

Borja Pérez Planells

TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LA ENERGÍA SOLAR 2.0

🔍 EN UN CLICK



www.academiaenergiasolar.com



@academiadenergiasolar



Introducción

¿Estás listo para aventurarte en el mundo de la energía solar y aprender a dimensionar tu propio sistema de autoconsumo? Si es así, has llegado al lugar correcto.

Este libro es la guía definitiva para todos aquellos que quieren aprender a utilizar la energía del sol para producir electricidad en su hogar, y está diseñado para ser accesible para aquellos que están empezando desde cero.

¿Qué encontrarás en este libro?

En este libro, abordaremos los conceptos básicos de la tecnología eléctrica aplicada a la energía fotovoltaica, los fundamentos de la radiación solar, los componentes principales de un sistema fotovoltaico y el dimensionado de una instalación de energía solar residencial. Además, también abordaremos cómo funcionan los sistemas de energía solar con y sin baterías.

Aprenderás los conceptos básicos de la tecnología fotovoltaica, incluyendo cómo funciona la producción de electricidad a partir de la energía del sol y cómo se relaciona con la tecnología eléctrica. Además, también aprenderás acerca de la geometría solar, incluyendo la importancia de la orientación y la inclinación de los paneles solares para maximizar la producción de energía.

Luego, exploraremos los componentes principales de un sistema fotovoltaico, incluyendo paneles solares, inversores fotovoltaicos y baterías, y cómo trabajan juntos para producir electricidad. Finalmente, abordaremos el proceso de dimensionado de una instalación fotovoltaica, incluyendo la normativa relativa al autoconsumo y cómo calcular la cantidad de energía que se necesita para alimentar tu hogar con energía solar.

Este libro es un recurso valioso para ingenieros, instaladores y estudiantes que están empezando en el sector de la energía solar, y está diseñado para ser accesible y fácil de seguir. Con el conocimiento que adquirirás de las páginas de este libro, estarás listo para dar el primer paso en la creación de un sistema de autoconsumo fotovoltaico en tu hogar.

Así que, ¿estás listo para comenzar esta aventura en el mundo de la energía solar? ¡Vamos!

Disclaimer

Este libro es propiedad intelectual de Borja Pérez y de Academia de Energía Solar. No está registrado para la venta y no debe ser distribuido sin la autorización expresa de Borja Pérez o de Academia de Energía Solar.

Distribución Prohibida: Este libro solo puede ser distribuido por Borja Pérez y Academia de Energía Solar. Si ha recibido este libro a través de un previo pago que no ha sido realizado directamente a los propietarios mencionados, por favor, denúncielo. La distribución no autorizada de este material puede constituir una infracción de los derechos de autor y está sujeta a las sanciones legales correspondientes.

Uso de Imágenes: Las imágenes incluidas en este libro no están destinadas para uso comercial. Si usted es el autor de alguna de las imágenes o se siente incómodo con su inclusión en este libro, le pedimos que nos contacte inmediatamente en bperez@academiaenergiasolar.com para proceder a retirarlas si es necesario.

Índice

LECCIÓN I. Tecnología eléctrica aplicada a la energía fotovoltaica	6
Introducción	7
Conceptos básicos	8
Tensión (o Voltaje) eléctrica	9
Intensidad de corriente	10
Resistencia eléctrica	14
Energía	15
Potencia	20

LECCIÓN II. Conceptos básicos de geometría solar	27
Introducción	28
Conceptos básicos	35
Influencia de la situación geográfica sobre la radiación incidente sobre dicha ubicación	35
Diferencia entre irradiancia y radiación	39
Componentes de la radiación	40
¿Por qué la radiación incidente sobre la tierra es inferior a la radiación incidente sobre la atmosfera terrestre?	42
Movimiento de la Tierra alrededor del Sol e influencia sobre la radiación incidente en una determinada ubicación	46
Bases de datos de irradiancia	49

LECCIÓN III. Fundamentos de la energía fotovoltaica	52
Introducción a la energía fotovoltaica	53
Clasificación de la energía fotovoltaica	59
Elementos principales de un sistema fotovoltaico	64
Panel solar	69
Distribución de los arrays solares	111
Inversor fotovoltaico	132
Programas y herramientas para el dimensionado fotovoltaico	146

LECCIÓN IV. Dimensionado de una instalación fotovoltaica	148
Introducción y normativa relativa al autoconsumo	149
¿Cómo dimensionar una instalación de autoconsumo fotovoltaico?	155

PROGRAMA DE MENTORÍA EXPERTO SOLAR



El Programa de Mentoría Experto Solar es una formación integral diseñada para que te conviertas en un experto en energía solar. **Durante 3 meses, recibirás dos sesiones semanales en grupos ultra reducidos**, lo que garantiza un acompañamiento personalizado y efectivo. No solo te proporciona conocimientos técnicos sobre el diseño de instalaciones y el uso de herramientas avanzadas de simulación, sino que también te prepara en el ámbito estratégico del sector. Además te ayudamos a dominar las normativas clave y a desarrollar tu visión de negocio para tener éxito en un mercado competitivo.

Cada sesión está diseñada para que obtengas las habilidades necesarias para avanzar en tu carrera y convertirte en un referente dentro del sector de la energía solar.



¡Actúa Ahora!



Si quieres llevar tu carrera al siguiente nivel o mejorar la visibilidad de tu marca en el sector de la energía solar, contacta con nosotros hoy mismo. Escríbenos a **hola@academiaenergiasolar.com** o agenda una reunión privada a través de nuestro enlace reserva tu sesión en el siguiente enlace. **¡Estamos aquí para ayudarte a alcanzar tus metas!**

<https://calendly.com/bperez-kq43/llamada-de-admision?month=2024-10>

LECCIÓN I.

Tecnología eléctrica aplicada a la energía fotovoltaica



1.1. Introducción

La tecnología eléctrica es un pilar fundamental para entender el funcionamiento de la energía fotovoltaica, ya que la energía solar se transforma en energía eléctrica a través de células fotovoltaicas. Por ende, es esencial contar con conocimientos básicos sobre la tecnología eléctrica antes de adentrarnos en el mundo de la energía fotovoltaica.

La electrotecnia, ciencia dedicada a la producción, distribución y utilización de la electricidad, ha recorrido un largo camino desde el descubrimiento de la electricidad en 1752 por Benjamin Franklin. Hoy en día, la tecnología eléctrica ha alcanzado un nivel de desarrollo tal que influye profundamente en nuestra vida cotidiana.

En esta lección, repasaremos los conceptos básicos de la tecnología eléctrica necesarios para entender cómo opera la energía fotovoltaica. No nos detendremos en los fundamentos de la electrotecnia, sino que nos enfocaremos exclusivamente en los parámetros que resultan útiles para comprender la energía fotovoltaica y su funcionamiento.

Entre estos conceptos se incluyen los parámetros eléctricos fundamentales, como la corriente eléctrica, el voltaje y la resistencia, así como los distintos tipos de circuitos eléctricos, tales como los circuitos en serie y paralelo. También se abordarán las leyes de Ohm y Kirchhoff, esenciales para entender el comportamiento de un sistema fotovoltaico.

En definitiva, esta lección sobre los conceptos básicos de la tecnología eléctrica es un paso crucial para poder entender el funcionamiento de la energía fotovoltaica y cómo dimensionar una instalación de autoconsumo solar en el ámbito residencial. Con los conocimientos adquiridos aquí, los lectores estarán mejor preparados para las lecciones posteriores, que tratarán sobre los fundamentos de la radiación solar, los componentes principales de un sistema fotovoltaico y el dimensionado de una instalación fotovoltaica.



1.2. Conceptos Básicos

Los conceptos que se abordarán en esta lección son los pilares sobre los que seremos capaces de entender como un módulo fotovoltaico es capaz de producir energía eléctrica, y a pesar de que puedan resultar muy básicos, es de interés poder repasarlos.

TENSIÓN (O VOLTAJE) ELÉCTRICA



INTENSIDAD DE CORRIENTE



RESISTENCIA ELÉCTRICA



ENERGÍA



POTENCIA



TENSIÓN (O VOLTAJE) ELÉCTRICA

La tensión es un concepto fundamental en la tecnología eléctrica, ya que permite el transporte de energía eléctrica a través de conductores. Es una medida de la fuerza electromotriz que impulsa los electrones desde un punto de mayor potencial hacia uno de menor potencial, generando un flujo de corriente eléctrica.

La ley de Ohm, formulada por Georg Simon Ohm en 1827, describe la relación que existe entre la corriente eléctrica que fluye a través de un conductor y la diferencia de potencial que hay en sus extremos. Esta ley establece que la corriente es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia.

Además, la tensión es esencial para el funcionamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos, desde los más sencillos como una bombilla hasta los más complejos como un ordenador. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, la tensión es un parámetro clave para dimensionar la instalación, ya que, entre otros aspectos, permitirá determinar la cantidad de paneles solares necesarios, la capacidad de las baterías, entre otros componentes.

En definitiva, la tensión es una magnitud fundamental para entender el funcionamiento de la tecnología eléctrica y la energía fotovoltaica, y es esencial conocerla para poder dimensionar adecuadamente un sistema de autoconsumo con paneles solares.

$$U = R * I$$

TENSIÓN ELÉCTRICA

- R = Resistencia eléctrica
- U = Tensión
- I = Intensidad

La unidad utilizada para representar la tensión o voltaje son los volts (V).



INTENSIDAD DE CORRIENTE

La intensidad eléctrica puede definirse como la magnitud física utilizada para cuantificar la cantidad de carga eléctrica que pasa a través de un determinado conductor en un intervalo de tiempo. La unidad del sistema internacional utilizada para corriente son los amperios, y se representa con una A.

Como se ha visto anteriormente, cuando existe una diferencia de tensión entre dos puntos, se crea un flujo de electrones entre ambos puntos, y a este flujo de electrones a lo que se le denomina corriente o intensidad. Ya pesar de que anteriormente, la dirección del flujo de electrones es siempre del polo de menor potencial al de mayor, la polaridad de la corriente es inversa, considerándose como positiva, la corriente que circula desde el punto de más tensión al de menos.

La intensidad se trata de una magnitud compleja, compuesta por una parte real, llamada parte activa, y otra parte imaginaria, llamada parte reactiva. Esto se verá en más profundidad cuando se explique el termino de potencia.

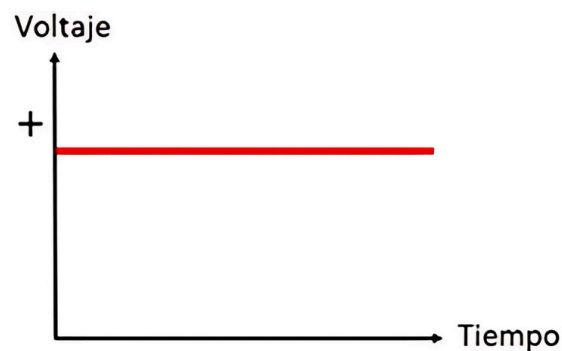
La corriente puede ser corriente continua o corriente alterna en función de la variación de esta respecto del tiempo.



CORRIENTE CONTINUA

La corriente continua es aquella en la que el flujo de electrones, y por ende la tensión, se mantiene constante a lo largo del tiempo. Esto significa que la dirección de la corriente no cambia, permaneciendo estable en un solo sentido desde el polo negativo hacia el positivo.

Este tipo de corriente es común en dispositivos que funcionan con baterías, donde la tensión se mantiene fija, proporcionando una fuente de energía constante y predecible.



CORRIENTE CONTINUA

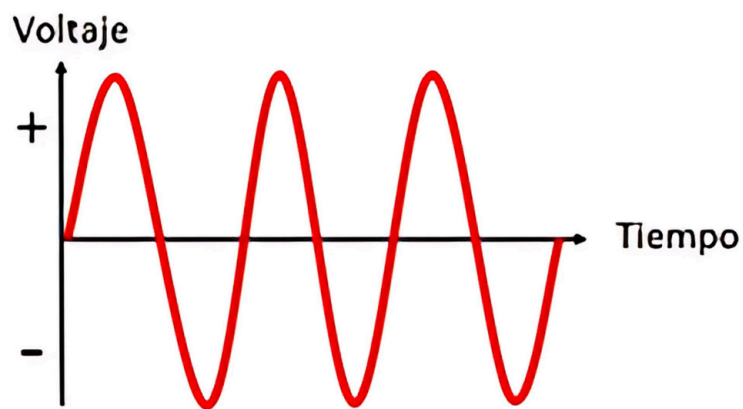


CORRIENTE ALTERNA

La corriente alterna, por otro lado, es aquella en la que tanto la tensión como la corriente varían cíclicamente con el tiempo, siguiendo típicamente una forma de onda senoidal.

En este tipo de corriente, la dirección del flujo de electrones cambia periódicamente, lo que permite que la corriente oscile entre un valor positivo y negativo.

Este comportamiento cíclico es la razón por la cual la corriente alterna es ampliamente utilizada en la distribución de energía eléctrica a gran escala, como en la red eléctrica doméstica.



CORRIENTE ALTERNA



La corriente alterna, generalmente puede encontrarse compuesta por una única fase o por 3 fases.

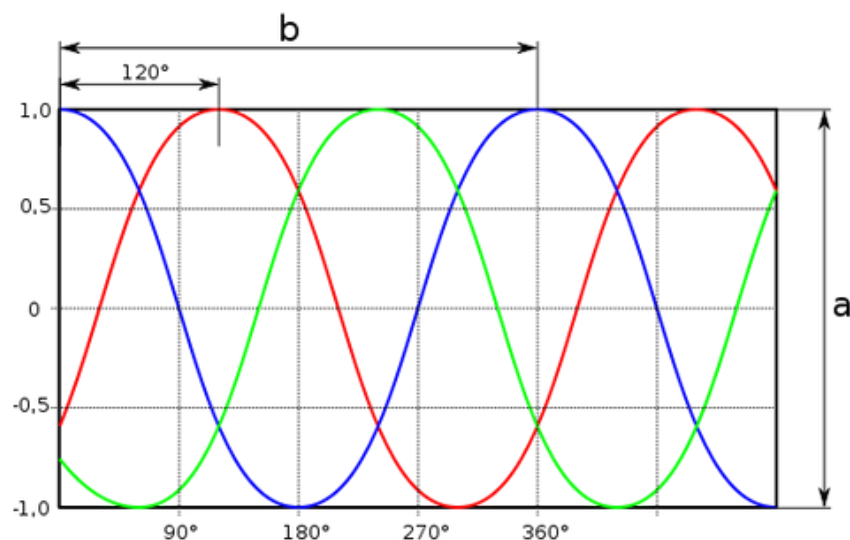
La corriente alterna monofásica es el tipo de corriente alterna más simple y se caracteriza por tener una única fase de tensión que varía en forma senoidal a lo largo del tiempo.

Es el sistema más comúnmente utilizado en la mayoría de los hogares y pequeñas empresas, donde los aparatos eléctricos están diseñados para funcionar con una sola fase de corriente alterna.

La corriente monofásica se distribuye a través de dos conductores: uno activo, que transporta la corriente, y uno neutro, que sirve como retorno.

La corriente alterna trifásica es una forma avanzada de corriente alterna que consiste en tres ondas senoidales, cada una desfasada 120° con respecto a las otras.

Este sistema trifásico es especialmente eficiente y es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y en la transmisión de energía eléctrica de alta potencia.



CORRIENTE TRIFÁSICA

La disposición de las tres fases permite un suministro de energía más constante y equilibrado, reduciendo las vibraciones y mejorando la eficiencia de motores y otros equipos industriales.

RESISTENCIA ELÉCTRICA

La resistencia eléctrica se define como la oposición que presenta un material al paso de la corriente eléctrica a través de él. Es un concepto fundamental en el campo de la electrotecnia, ya que la resistencia determina cómo fluye la corriente en un circuito y afecta directamente a la eficiencia de los dispositivos eléctricos.

La unidad de medida de la resistencia en el Sistema Internacional es el ohmio (Ω), en honor al físico alemán Georg Simon Ohm, quien formuló la ley de Ohm. Esta ley establece que la corriente (I) que atraviesa un conductor entre dos puntos es directamente proporcional a la tensión (V) aplicada a esos puntos e inversamente proporcional a la resistencia (R) del conductor.

La resistencia eléctrica es un parámetro clave en cualquier circuito, ya que todos los materiales por los que circula corriente eléctrica presentan algún grado de resistencia. Esta resistencia puede variar enormemente dependiendo del material: por ejemplo, los metales como el cobre y el aluminio tienen una resistencia baja, lo que los convierte en excelentes conductores de electricidad, mientras que materiales como el plástico o la cerámica tienen una resistencia muy alta, actuando como aislantes.

Además, es importante destacar que la resistencia no solo depende del material, sino también de factores como la temperatura, la longitud y la sección transversal del conductor. Por ejemplo, al aumentar la temperatura, la resistencia de la mayoría de los conductores metálicos también aumenta. Asimismo, un conductor más largo o con menor sección transversal presentará mayor resistencia.

En aplicaciones prácticas, la resistencia es utilizada deliberadamente en componentes como resistencias (resistores), que se emplean para controlar y limitar la corriente en los circuitos, proteger componentes sensibles, o dividir voltajes. Sin embargo, la resistencia también puede ser una fuente de pérdidas energéticas en un sistema eléctrico, ya que la energía disipada en forma de calor, según la ley de Joule, es proporcional al cuadrado de la corriente multiplicada por la resistencia.

$$P = I^2 \times R$$

Por lo tanto, comprender y gestionar la resistencia eléctrica es esencial para el diseño y la optimización de sistemas eléctricos y electrónicos, incluidos los sistemas fotovoltaicos. En estos sistemas, la resistencia de los conductores y componentes debe ser minimizada para maximizar la eficiencia en la conversión y transmisión de la energía generada por los paneles solares.

ENERGÍA

La energía es la capacidad que tiene la materia para realizar trabajo en forma de calor, luz, movimiento, entre otros. En otras palabras, es lo que permite que los sistemas físicos y químicos funcionen y cambien. La unidad de medida internacionalmente aceptada para la energía es el Julio (J), aunque en aplicaciones prácticas, como en los sistemas fotovoltaicos, es más común medir la energía en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (kWh), que indican la cantidad de energía consumida o generada a lo largo del tiempo.



La energía se puede clasificar en diversas formas, cada una con características específicas:

Energía mecánica: Es la energía que posee un cuerpo debido a su movimiento o posición en un campo de fuerzas. Se divide en dos subcategorías:



Energía cinética: La energía asociada al movimiento de un cuerpo. Cuanto mayor es la velocidad de un objeto, mayor es su energía cinética.



Energía potencial: La energía almacenada en un objeto debido a su posición o altura en relación con otros objetos. Por ejemplo, un objeto elevado en un campo gravitatorio tiene energía potencial.



Energía calorífica (o térmica): Es la energía interna de un cuerpo debido a la agitación de sus partículas, relacionada con la temperatura del objeto. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la energía térmica contenida en el cuerpo.



Energía magnética: Es la energía resultante de las interacciones entre materiales magnéticos, generando fuerzas de atracción o repulsión. Los campos magnéticos almacenan energía que puede ser aprovechada en aplicaciones como generadores y transformadores eléctricos.



Energía eléctrica: Es la energía transportada por una corriente eléctrica, producida por la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Esta es la forma de energía más utilizada en la mayoría de aplicaciones tecnológicas, incluyendo los sistemas fotovoltaicos, donde la radiación solar se convierte en energía eléctrica.



Energía química: Es la energía almacenada en los enlaces químicos de las moléculas. Se libera o absorbe durante las reacciones químicas, como en el proceso de combustión o en las baterías, donde la energía química se convierte en energía eléctrica.



Energía lumínica (o radiante): Es la energía transportada por la luz y otras formas de radiación electromagnética. En el contexto de la energía solar, es la energía de la radiación solar que los paneles fotovoltaicos convierten en electricidad.



Energía nuclear: Es la energía contenida en los núcleos de los átomos y se libera en procesos como la fisión o fusión nuclear. Esta energía es extremadamente potente y es la base de las centrales nucleares.



Además de estas formas principales, existen otras fuentes de energía como la energía hidráulica, la energía eólica, la energía mareomotriz y, por supuesto, la energía fotovoltaica, que es una de las protagonistas en el campo de las energías renovables.

CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA SEGÚN SU MADUREZ TECNOLÓGICA:

Convencional: Se refiere a las formas de energía que han sido ampliamente desarrolladas y explotadas durante décadas, como la energía térmica (derivada de combustibles fósiles), la energía nuclear y la energía hidráulica. Estas tecnologías son consideradas maduras y forman la base del suministro energético global actual.



No convencional: Agrupa a las tecnologías más recientes o emergentes, como la energía fotovoltaica, la energía eólica y otras formas de energía renovable. Estas tecnologías, aunque cada vez más competitivas, aún están en proceso de mejora continua en términos de eficiencia y costos.



CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FUENTE DE ORIGEN Y SU CAPACIDAD DE REGENERACIÓN:

Energías renovables: Son aquellas que provienen de recursos naturales que se regeneran a una velocidad superior a la de su consumo, o bien son inagotables. Entre ellas se encuentran la energía solar (fotovoltaica y térmica), la energía eólica, la energía hidráulica, la biomasa y la geotérmica. Estas energías tienen la ventaja de ser más sostenibles a largo plazo y de tener un menor impacto ambiental en comparación con las energías convencionales.



Energías no renovables: Se refieren a aquellas formas de energía cuya fuente primaria es finita y se agota con su uso, como el petróleo, el carbón, el gas natural y el uranio (utilizado en energía nuclear). Estas fuentes de energía han sido fundamentales para el desarrollo industrial, pero presentan desventajas importantes en términos de agotamiento de recursos y generación de contaminación.



POTENCIA

La potencia se define como la cantidad de energía transferida o convertida por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional, la unidad de medida de la potencia es el vatio (W), que equivale a un julio por segundo (J/s).

En términos eléctricos, la potencia puede entenderse como la rapidez con la que se desplaza una carga eléctrica entre dos puntos con una diferencia de potencial, lo que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P = U * I = R * I^2$$

POTENCIA ELÉCTRICA

- P = potencia eléctrica (W)
- U = tensión eléctrica (V)
- I = intensidad eléctrica (A)

POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA

En un sistema de corriente continua (CC), la potencia se genera y se consume con una tensión constante. En este caso, solo existe la componente activa de la potencia, lo que significa que toda la energía eléctrica se convierte directamente en trabajo útil, como en calor, luz o movimiento. La ecuación de la potencia en corriente continua es simplemente:

$$P = U * I$$

POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA



POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA

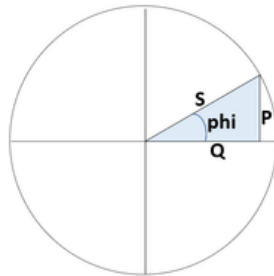
La potencia en corriente alterna (CA) es más compleja debido a la naturaleza senoidal de la onda de tensión y corriente. En un sistema de CA, la tensión y la corriente varían con el tiempo, y si existe un desfase entre ambas, la potencia total (llamada potencia aparente) se divide en dos componentes: una componente real (potencia activa) y una componente imaginaria (potencia reactiva).

Esta separación se debe al hecho de que, en un circuito de corriente alterna, no toda la energía suministrada se convierte en trabajo útil, debido al desfase entre la tensión y la corriente.



POTENCIA APARENTE (S)

Es la potencia total entregada a un circuito de CA, y se mide en voltamperios (VA). Representa la combinación de la potencia activa y la potencia reactiva. Se calcula utilizando la siguiente fórmula, derivada del teorema de Pitágoras:



POTENCIA APARENTE

En la imagen anterior, puede verse como la potencia aparente (S) está compuesta por la parte real o potencia activa (P) y la parte imaginaria (Q).

De esta forma, y aprovechando el teorema de Pitágoras, puede calcularse la potencia aparente como:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

POTENCIA APARENTE:

- S = Potencia aparente (VA)
- P = Potencia activa (W)
- Q = Potencia reactiva (VAR)



POTENCIA ACTIVA (P)

Es la componente de la potencia que realmente realiza trabajo útil en el circuito, como mover un motor o generar calor. Se mide en vatios (W) y se calcula de la siguiente manera:

$$P = U \times I \times \cos \phi$$

POTENCIA REACTIVA (Q)

Es la componente de la potencia que no realiza trabajo útil, pero es necesaria para mantener los campos magnéticos en los dispositivos como transformadores y motores. Se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se calcula así:

$$P = U \times I \times \sin \phi$$

De las dos componentes de la potencia aparente, la potencia activa es la única capaz de realizar trabajo efectivo.

En un sistema de corriente alterna, la potencia aparente puede dividirse en dos tipos de sistemas, monofásico o trifásico, estando compuesta esta primera por una única fase (la electricidad que llega normalmente a las viviendas es monofásica), la segunda compuesta por 3 fases (Maquinaria de industria).



De forma que la fórmula empleada para calcular la potencia en cada uno de los casos queda como:

MONOFÁSICA

$$S = V * I$$

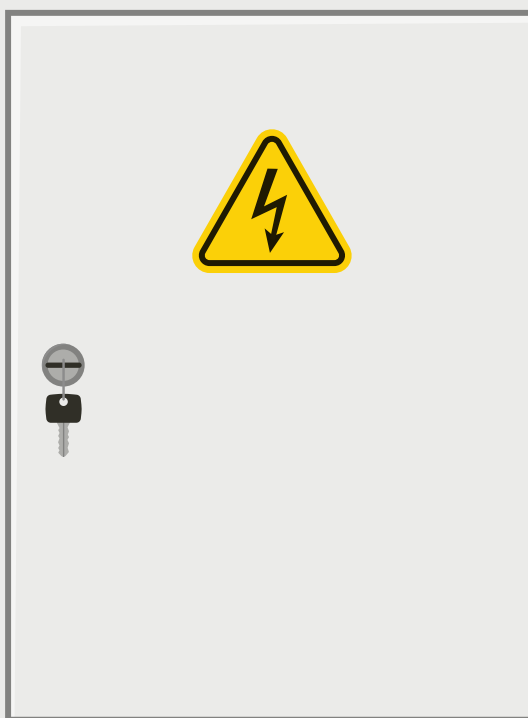
POTENCIA APARENTE MONOFÁSICA

$$P = V * I * \cos \phi$$

POTENCIA ACTIVA MONOFÁSICA

$$Q = V * I * \sin \phi$$

POTENCIA REACTIVA MONOFÁSICA



TRIFÁSICA

$$S = \sqrt{3} * V * I$$

POTENCIA APARENTE TRIFÁSICA

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

POTENCIA ACTIVA TRIFÁSICA

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin \phi$$

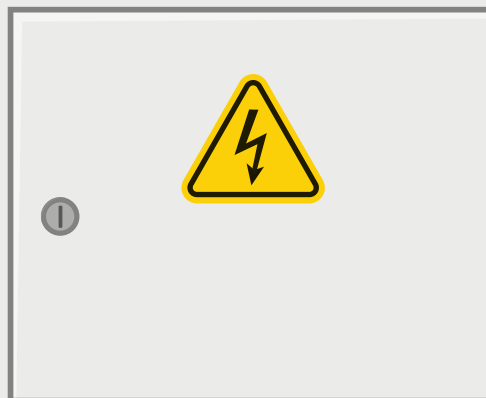
POTENCIA REACTIVA TRIFÁSICA

El Ángulo de Desfase (ϕ) y el Factor de Potencia:

El ángulo representa el desfase entre la tensión y la corriente en un sistema de CA. El factor de potencia, $\cos \phi$, es un parámetro crítico en sistemas eléctricos, ya que indica la proporción de la potencia aparente que se convierte en potencia activa. Un factor de potencia cercano a 1 indica un sistema eficiente, donde la mayor parte de la potencia se convierte en trabajo útil.

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

$\cos \phi$



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 1

1.1. Según la ley de Ohm, ¿cuál de las siguientes ecuaciones es correcta?

- a. $R = U/I$
- b. $R = U * I$
- c. $U = R/I$

1.2. En un sistema de corriente alterna, la tensión varía siguiendo una forma de onda:

- a. No varía, es constante.
- b. Sigue una forma cuadrática
- c. Sigue una forma senoidal

1.3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?

- a. La energía hidráulica es una energía convencional y renovable.
- b. Los ciclos combinados son una fuente de generación energética convencional y no renovable.
- c. La energía fotovoltaica es una fuente convencional y renovable.

1.4. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?

- a. El factor de potencia 1 se da cuando $Q = 1$
- b. El valor del ángulo del factor de potencia es 90° cuando $Q=1$
- c. El factor de potencia 0.5 se da cuando $Q=P$

1.5.Cuál de las siguientes fórmulas es la correcta (referida a sistemas trifásicos)

- a. $S = P + Q$

b. $\cos PHI = \frac{\sqrt{S^2 - Q^2}}{S}$

c. $Q = \sqrt{3} * V * I * \cos PHI$



LECCIÓN II.
Conceptos básicos de geometría solar

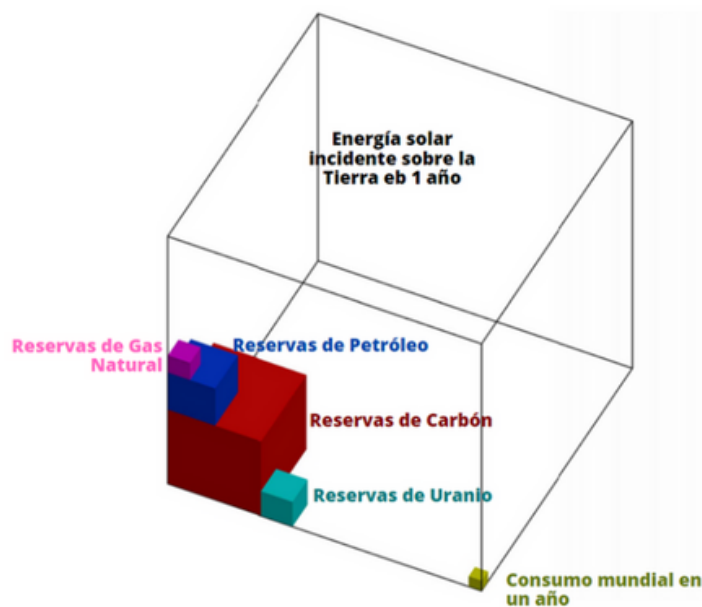


2.1. INTRODUCCIÓN

El Sol es la fuente de energía más significativa para la Tierra, contribuyendo aproximadamente con el 94% de la energía total que recibe nuestro planeta. Esta aportación es fundamental no solo para sostener los ecosistemas terrestres, sino también para posibilitar la vida en todas sus formas.

La energía solar, que se manifiesta a través de la radiación solar, impulsa procesos esenciales como la fotosíntesis, la circulación atmosférica y el ciclo del agua, entre otros.

Si analizamos la contribución solar a la energía total disponible en la Tierra, los datos resultan asombrosos y subrayan el enorme potencial de la energía solar para satisfacer nuestras necesidades energéticas:



COMPARACIÓN RECURSOS ENERGÉTICOS



En 2004, la energía solar recibida por la Tierra fue 14,000 veces mayor que el consumo energético total de la humanidad. Este dato ilustra el inmenso desequilibrio entre la energía que el Sol nos proporciona y la que actualmente somos capaces de utilizar. Es un testimonio del vasto potencial sin explotar que la energía solar representa.

La energía irradiada por el Sol e incidente en la Tierra en un solo año es 10 veces mayor que todas las reservas de carbón del planeta. Esto significa que, si pudiéramos capturar eficientemente la energía solar durante un año, tendríamos acceso a una cantidad de energía diez veces superior a la contenida en todas las reservas de carbón disponibles, una fuente que ha sido fundamental para la revolución industrial y sigue siendo una gran fuente de energía a nivel mundial.

La energía solar anual es 20 veces mayor que las reservas globales de petróleo. Este dato pone en perspectiva la dependencia global del petróleo, un recurso finito, frente a la abundancia continua y renovable de la energía solar.

La energía solar es 50 veces mayor que las reservas de uranio en el planeta. Considerando que el uranio es utilizado para generar energía nuclear, que a su vez tiene impactos ambientales y riesgos asociados, la energía solar emerge como una opción mucho más segura y sustentable a largo plazo.

La energía solar es 100 veces mayor que las reservas de gas natural. El gas natural, aunque considerado un combustible fósil más limpio, sigue siendo una fuente de energía no renovable. En contraste, la energía solar ofrece una alternativa sin emisiones y prácticamente ilimitada.



Estos datos subrayan una realidad poderosa: si fuéramos capaces de aprovechar tan solo el 0,001% de la energía solar que incide en la Tierra, podríamos satisfacer el consumo energético mundial actual.

Este potencial increíble destaca la importancia de invertir en tecnologías solares y mejorar su eficiencia, para que podamos aprovechar mejor este recurso abundante y sostenible.

Además, la energía solar no solo es abundante, sino también distribuida globalmente, lo que reduce la dependencia de fuentes de energía localizadas geográficamente.

La transición hacia la energía solar no solo tiene el potencial de mitigar el cambio climático y reducir la contaminación, sino también de proporcionar seguridad energética y favorecer el desarrollo sostenible a nivel global.

Las tecnologías actuales más comunes para convertir la radiación solar en energía utilizable son la energía fotovoltaica y la energía solar térmica. Aunque ambas tecnologías aprovechan la misma fuente de energía —el Sol—, sus principios de funcionamiento y aplicaciones son notablemente diferentes.



TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

La tecnología fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, un fenómeno mediante el cual ciertos materiales, como el silicio, son capaces de convertir la luz solar directamente en energía eléctrica. Cuando la radiación solar incide sobre las células fotovoltaicas, los fotones de luz excitan los electrones en el material semiconductor, generando una corriente eléctrica continua.

Esta energía eléctrica puede ser utilizada de inmediato, almacenada en baterías, o convertida en corriente alterna para alimentar la red eléctrica.

La energía fotovoltaica es particularmente versátil, con aplicaciones que van desde pequeñas calculadoras hasta grandes plantas solares capaces de suministrar electricidad a miles de hogares.



TECNOLOGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica, por otro lado, utiliza la radiación solar para calentar un fluido, como agua o aceite, que luego se utiliza para producir energía térmica.

Esta energía térmica puede ser empleada directamente para calefacción, agua caliente sanitaria, o puede ser utilizada para generar electricidad mediante un ciclo termodinámico en plantas de energía solar concentrada (CSP, por sus siglas en inglés).

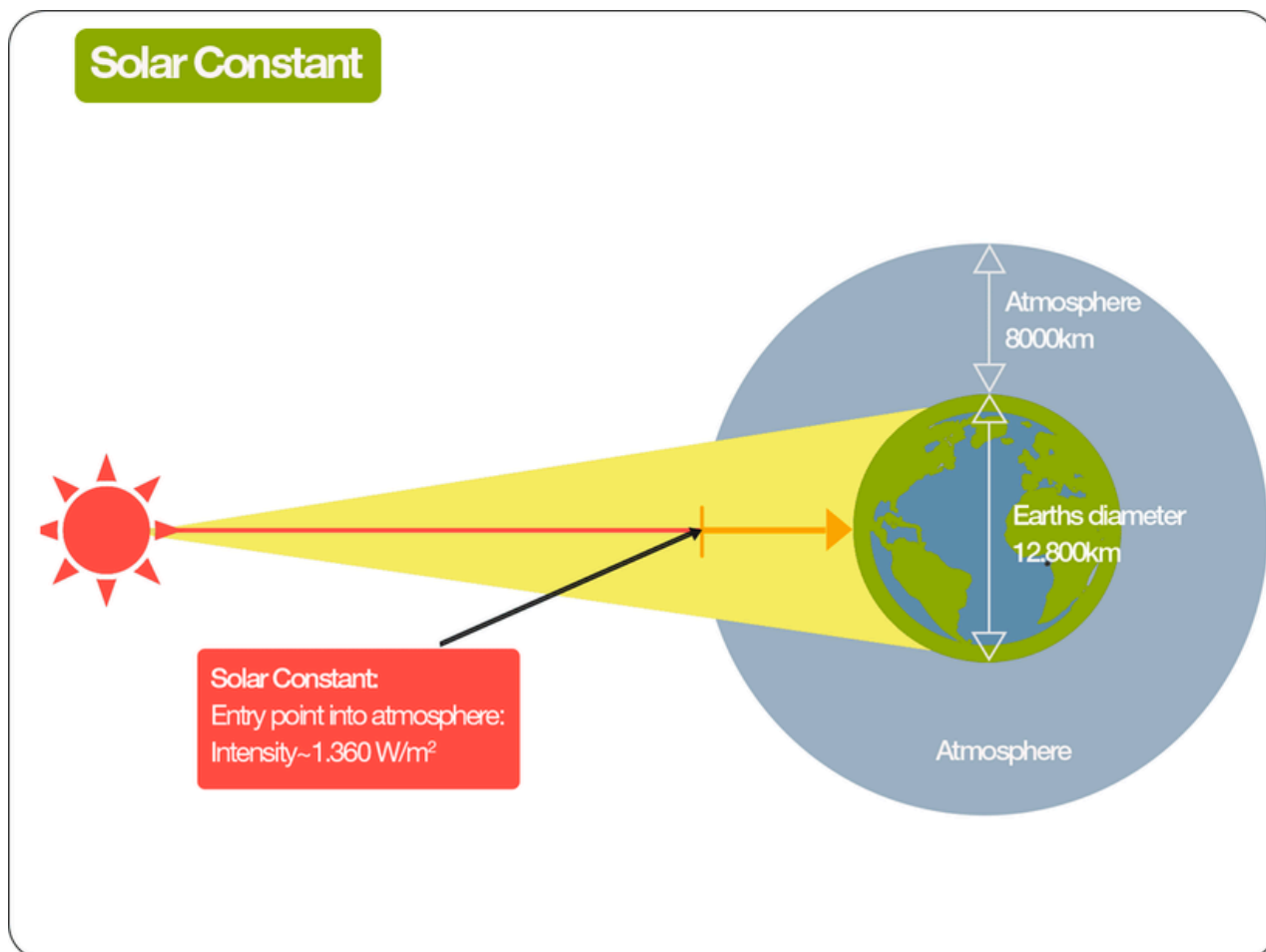
Las tecnologías solares térmicas se dividen en dos categorías principales:

Sistemas de baja temperatura: Utilizados principalmente para aplicaciones residenciales y comerciales, como calentadores solares de agua.

Sistemas de alta temperatura: Utilizados en plantas de energía solar concentrada, donde espejos o lentes concentran la radiación solar para alcanzar temperaturas extremadamente altas, que luego se utilizan para generar vapor y, a través de este, electricidad.



La energía irradiada por el sol se expande de forma esférica, de forma que la Tierra únicamente recibe una mínima parte de esta. La siguiente foto ilustra rápidamente lo comentado:



ENERGÍA INCIDENTE

El tamaño del Sol es 109 veces mayor que el de la Tierra, lo que lo convierte en una gigantesca esfera de plasma en comparación con nuestro planeta. Sin embargo, debido a la enorme distancia que separa ambos cuerpos celestes —aproximadamente 149,6 millones de kilómetros—, la representación gráfica del Sol desde la perspectiva de un observador cercano a la Tierra lo muestra como un pequeño disco luminoso en el cielo.

A pesar de esta aparente pequeñez, los rayos solares que inciden sobre la Tierra poseen un valor energético considerable, estimado en aproximadamente 1360 W/m².

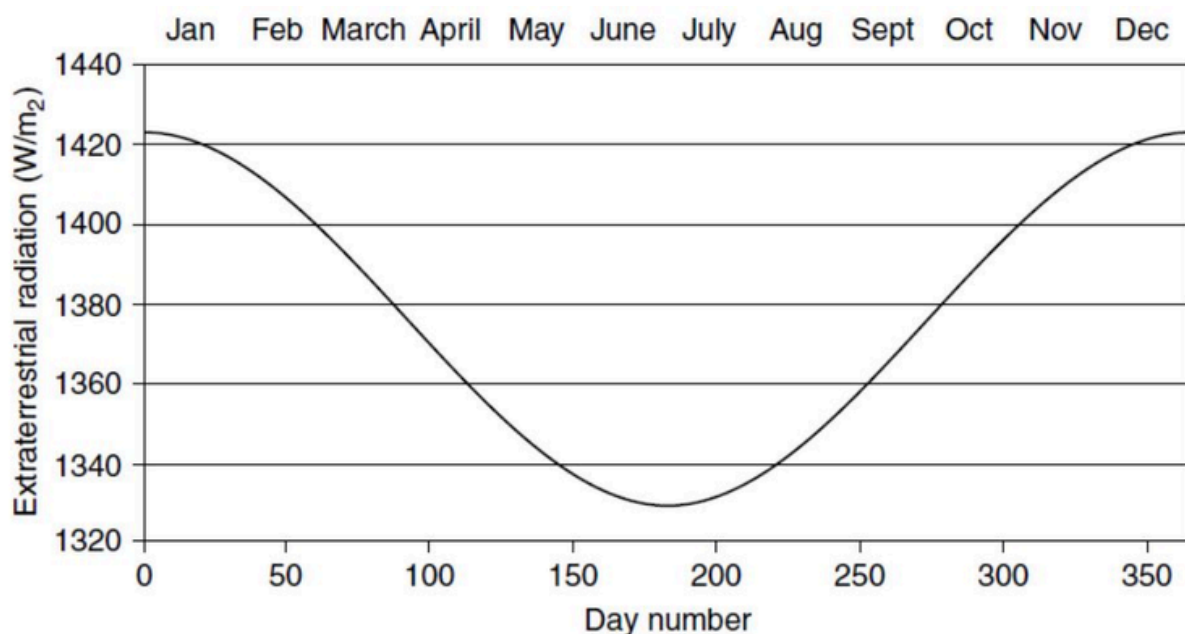
Esta cifra se refiere a la potencia de la radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera terrestre, antes de que se produzca cualquier atenuación por absorción o dispersión en la atmósfera.

Este valor es conocido como la constante solar (GSC), y representa una medida de la densidad de flujo radiante, es decir, la cantidad de energía solar por unidad de área medida en una superficie perpendicular a los rayos solares en el límite de la atmósfera terrestre.

La constante solar incluye todas las formas de radiación emitidas por el Sol, abarcando un amplio espectro que va desde la radiación visible hasta la radiación infrarroja y ultravioleta.

Es importante notar que este valor es una aproximación media, ya que la distancia entre la Tierra y el Sol varía a lo largo del año debido a la excentricidad de la órbita terrestre.

Como resultado, la constante solar fluctúa ligeramente, como se muestra en la siguiente gráfica:



VARIACIÓN ANUAL DE LA CONSTANTE SOLAR

La gráfica ilustra cómo la constante solar no es un valor fijo, sino que cambia a lo largo del año debido a la variación en la distancia Tierra-Sol.

Por ejemplo, es ligeramente mayor en el perihelio (cuando la Tierra está más cerca del Sol, alrededor de principios de enero) y menor en el afelio (cuando la Tierra está más alejada, alrededor de principios de julio).

Si se desea determinar el valor de la constante solar para un día específico del año, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$G_{SC}(n) = G_{SC} \times (1 + 0.034 \times \cos(2\pi(n - 3)/365))$$

CONSTANTE SOLAR

Donde:

- $G_{SC}(n)$ es la constante solar en el día n del año.
- G_{SC} es el valor medio de la constante solar (1360 W/m^2).
- n es el día del año, con $n = 1$ de enero.

Esta ecuación tiene en cuenta la variación estacional en la radiación solar debida a la órbita elíptica de la Tierra.

Es una herramienta útil para obtener una estimación más precisa de la energía solar disponible en un día específico, lo cual es crucial para el dimensionamiento y optimización de sistemas solares, tanto fotovoltaicos como térmicos.



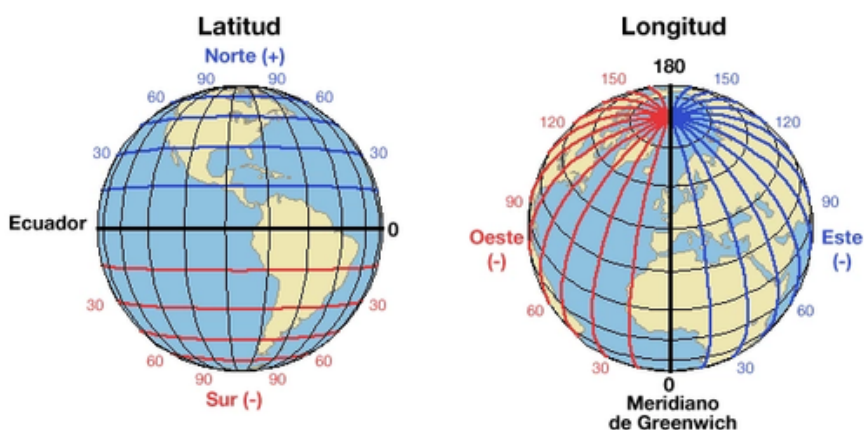
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

Para entender de manera correcta el comportamiento de la radiación solar, es fundamental conocer algunos conceptos básicos que influyen directamente en la cantidad de energía solar que incide sobre un lugar específico. Estos conceptos son esenciales para cualquier análisis relacionado con el diseño y la optimización de sistemas solares.

INFLUENCIA DE LA SITUACIÓN GEOGRÁFICA SOBRE LA RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE DICHA UBICACIÓN.

LATITUD: La latitud es una medida angular que expresa la posición de un punto en la Tierra en relación al ecuador, determinando su distancia en dirección norte-sur. Los valores de latitud oscilan desde 0° en el ecuador hasta 90° en los polos (norte o sur). La latitud influye directamente en la cantidad de radiación solar que recibe una ubicación, ya que afecta el ángulo de incidencia de los rayos solares a lo largo del año.

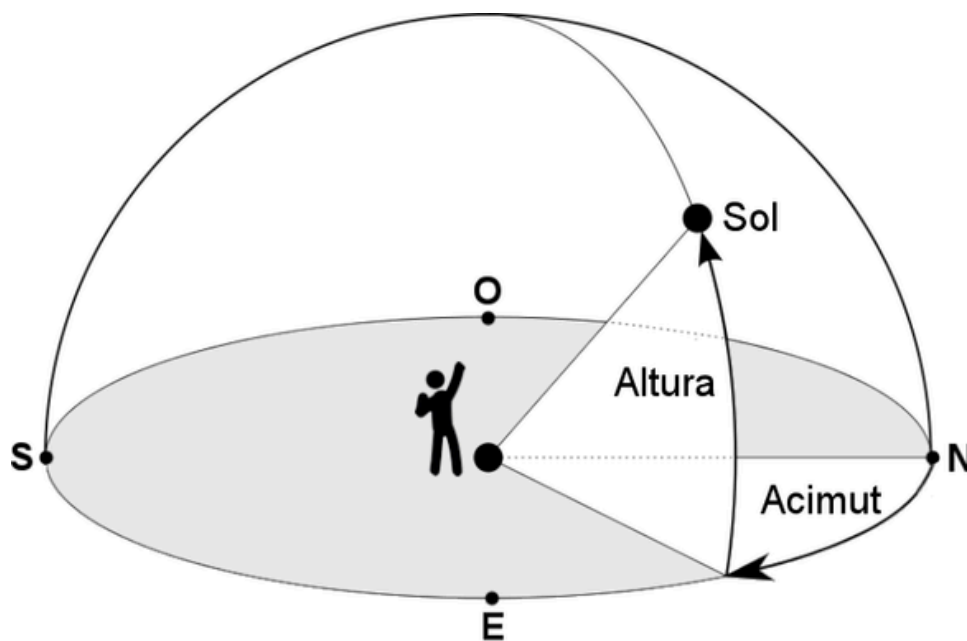
LONGITUD: La longitud indica la distancia de un punto en la Tierra en dirección este-oeste respecto al Meridiano de Greenwich, que se toma como referencia con un valor de 0° . Los valores de longitud se extienden desde 0° hasta 180° hacia el este o el oeste. Aunque la longitud no influye directamente en la cantidad de radiación solar recibida, es crucial para determinar el huso horario y, por ende, la hora local de un lugar, lo que afecta el cálculo del mediodía solar y la posición del sol en el cielo.



LATITUD Y LONGITUD

ÁNGULO AZIMUT: El azimut es el ángulo que forma la dirección de referencia, generalmente el norte, con la línea que conecta al observador con un punto de interés, como la posición del Sol en un momento dado. Se mide en el plano horizontal y es crucial para determinar la dirección horizontal en la que el Sol se encuentra en relación al observador.

ÁNGULO ALTITUD: El ángulo de altitud es la medida angular de la altura del Sol en el cielo, tomada desde la horizontal hasta el Sol. Este ángulo varía a lo largo del día, alcanzando su valor máximo al mediodía solar, cuando el Sol está en su punto más alto en el cielo. La altitud del Sol es un factor determinante en la intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.

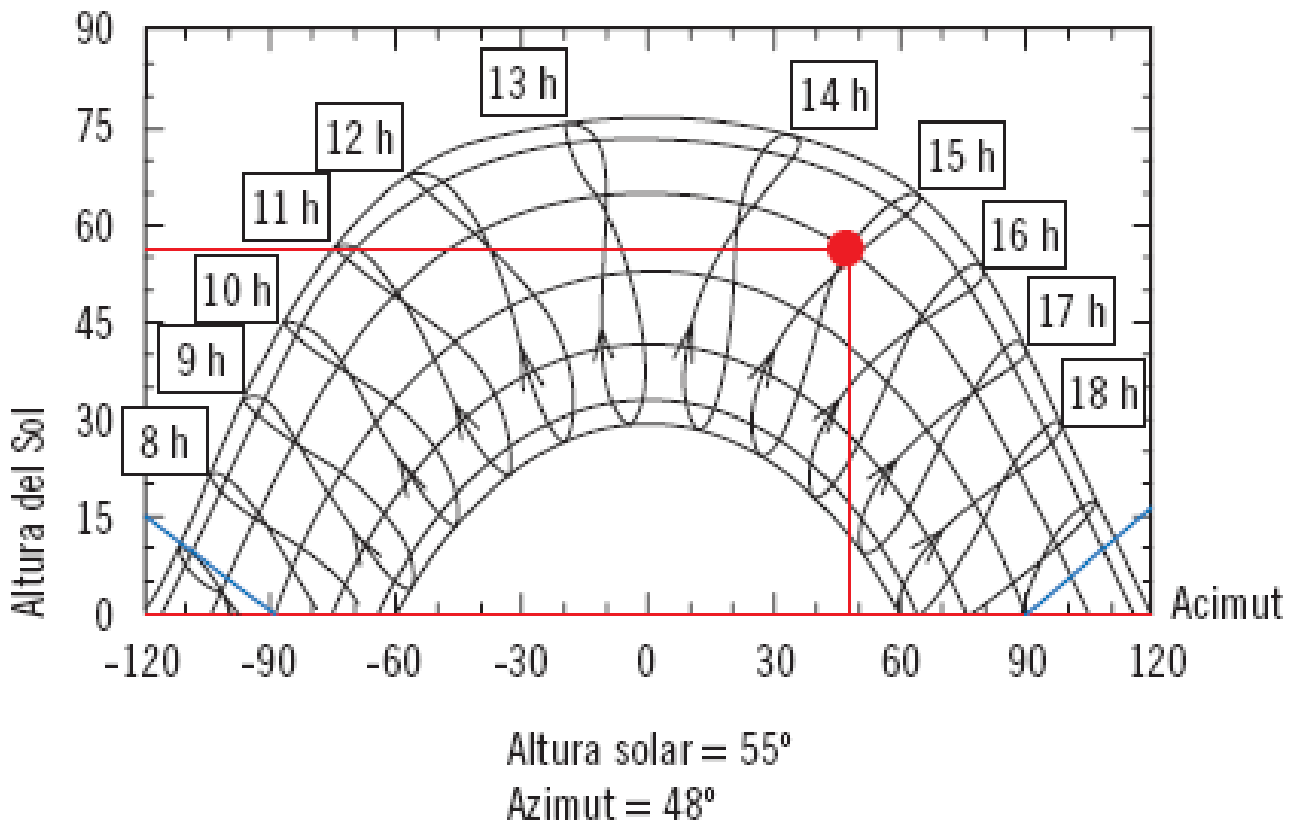


ALTITUD Y ACIMUT



Una herramienta muy utilizada para conocer la posición exacta del Sol en cualquier momento del día es la carta solar cilíndrica.

Esta representación gráfica permite determinar tanto el ángulo azimutal como el ángulo de altitud del Sol para una fecha y hora específicas, lo que es fundamental para el diseño de sistemas solares y la orientación óptima de los paneles solares.



CARTA SOLAR CILÍNDRICA

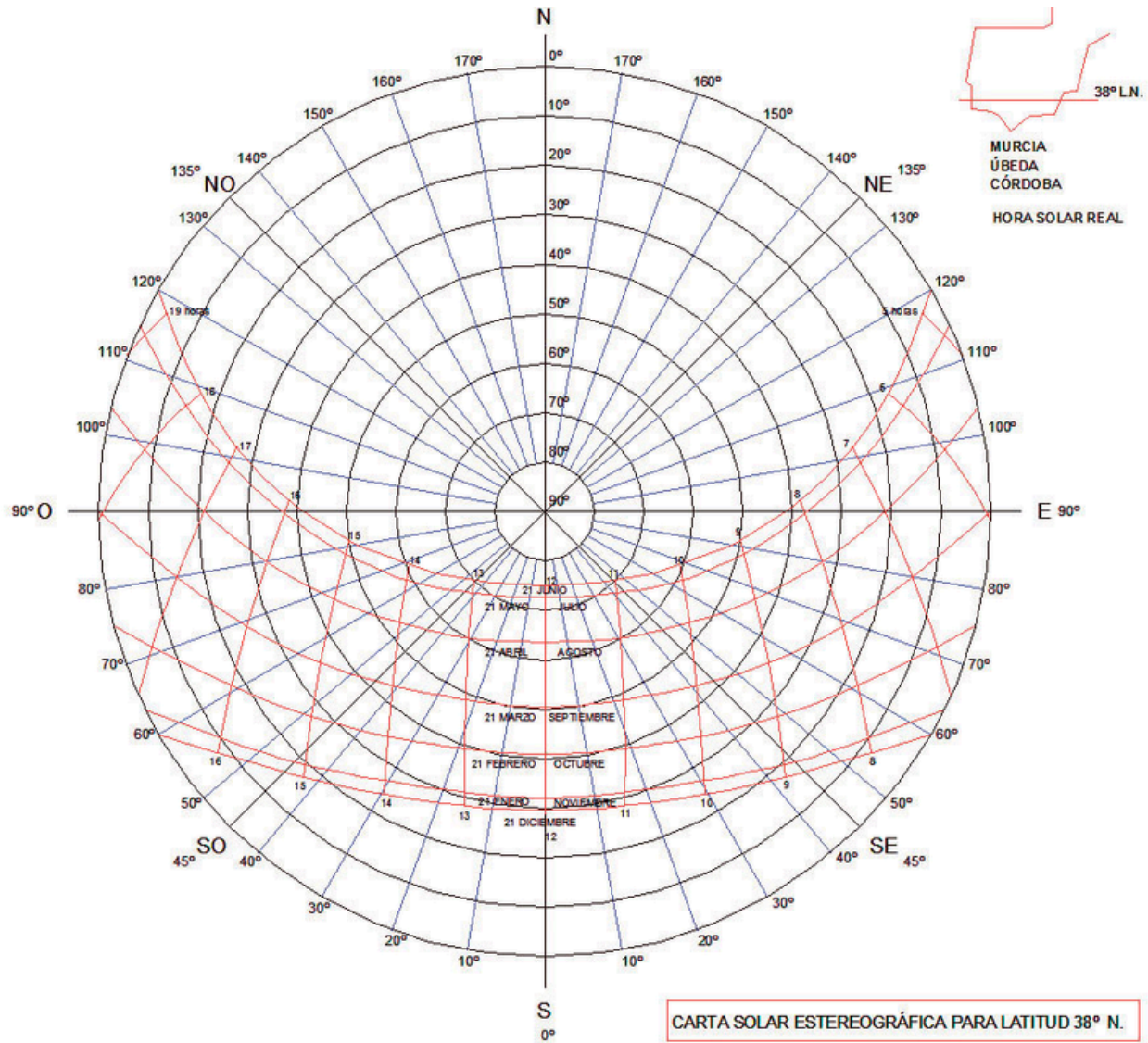
En el mediodía solar, el Sol se encuentra en su posición más alta en el cielo y está completamente:

- Orientado hacia el SUR en el hemisferio norte.
- Orientado hacia el NORTE en el hemisferio sur.

Ángulo de altitud:

- Es igual a 0° al amanecer y al atardecer.
- Alcanza su valor máximo al mediodía solar (aunque generalmente es inferior a 90°).
- En el ecuador, durante los equinoccios, el ángulo de altitud puede alcanzar los 90° .

Otra representación gráfica útil es la carta solar estereográfica, que muestra la posición del Sol en una semiesfera, relativa a la localización del observador. Esta carta permite calcular, para una latitud específica, el ángulo solar y el azimut en función de la hora y la fecha seleccionadas.



CARTA SOLAR ESTEREOGRÁFICA

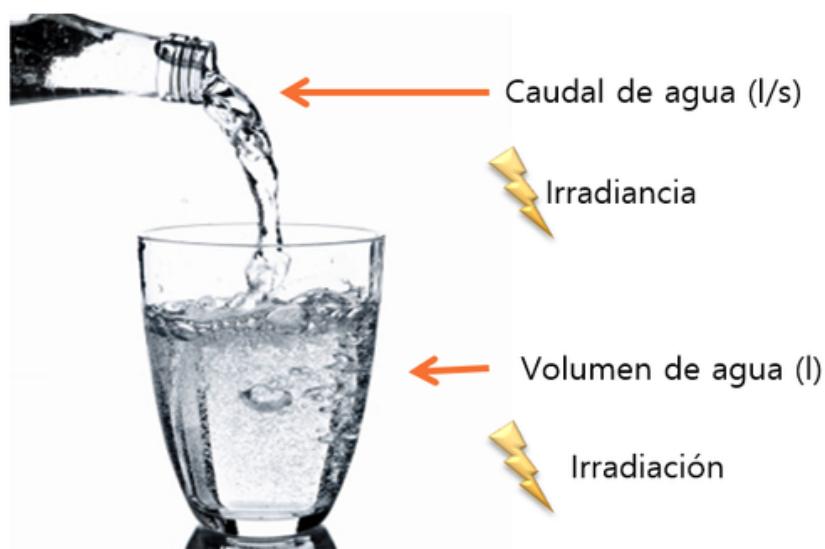
DIFERENCIA ENTRE IRRADIANCIA Y RADIACIÓN.

Uno de los errores más comunes al utilizar ciertos términos relativos a la energía solar es confundir irradiancia con irradiación o radiación, pudiendo definirse estos de la siguiente forma:

Para entender y diferenciar de manera sencilla los términos irradiancia e irradiación, podemos utilizar una analogía con el agua:

- **Irradiancia:** Imagina un caudal de agua fluyendo por una tubería. El caudal de agua, que representa la cantidad de agua que pasa por un punto específico por unidad de tiempo, es equivalente a la irradiancia en el contexto de la energía solar. La irradiancia mide la cantidad de energía solar (potencia) que llega a una superficie específica en un instante dado, expresada en kW/m^2 .
- **Irradiación:** Ahora, piensa en el volumen total de agua que se ha recogido en un depósito durante un período de tiempo. Este volumen es similar a la irradiación, que mide la energía solar total acumulada en una superficie a lo largo del tiempo, expresada en kWh/m^2 . Así como el volumen de agua depende de cuánto tiempo fluye el caudal, la irradiación depende de la duración y la intensidad de la irradiancia.

Esta comparación permite visualizar la diferencia clave entre ambos conceptos: mientras que la irradiancia es una medida instantánea de la intensidad de la radiación solar, la irradiación es una medida acumulativa, que refleja la cantidad total de energía solar recibida durante un determinado periodo.



IRRADIANCIA Y RADIACIÓN

COMPONENTES DE LA RADIACIÓN

El Sol es la fuente principal de energía para la Tierra, y la radiación solar es el medio a través del cual esta energía llega a nosotros.

Aunque la radiación directa es la principal contribuyente a la energía que recibimos, incluso en días nublados, la radiación difusa juega un papel importante al proporcionar luminosidad.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede subdividir en tres componentes principales:

RADIACIÓN DIRECTA:

La radiación directa es la parte de la radiación solar que llega directamente desde el Sol sin ser dispersada ni reflejada en su camino hacia la Tierra.

Esta radiación es la más intensa y es la que se aprovecha principalmente en sistemas solares que requieren alta concentración, como los sistemas de energía solar concentrada (CSP).

La cantidad de radiación directa que llega a la superficie terrestre depende significativamente de la nubosidad, la calidad del aire, y la época del año.

En días despejados, la radiación directa es predominante, pero disminuye considerablemente en días nublados o cuando el Sol está bajo en el cielo, como durante el invierno.

RADIACIÓN DIFUSA:

La radiación difusa es la radiación solar que ha sido dispersada en todas direcciones debido a su interacción con las moléculas del aire, partículas de polvo, nubes, y vapor de agua en la atmósfera.

A diferencia de la radiación directa, la radiación difusa no proviene de una única dirección sino que llega a la superficie terrestre desde todas partes del cielo.

En días soleados, la radiación difusa representa alrededor del 10% de la radiación total, mientras que, en días nublados, puede constituir casi la totalidad de la radiación disponible.

Esta componente es crucial para el rendimiento de sistemas solares en condiciones de cielo parcialmente nublado.

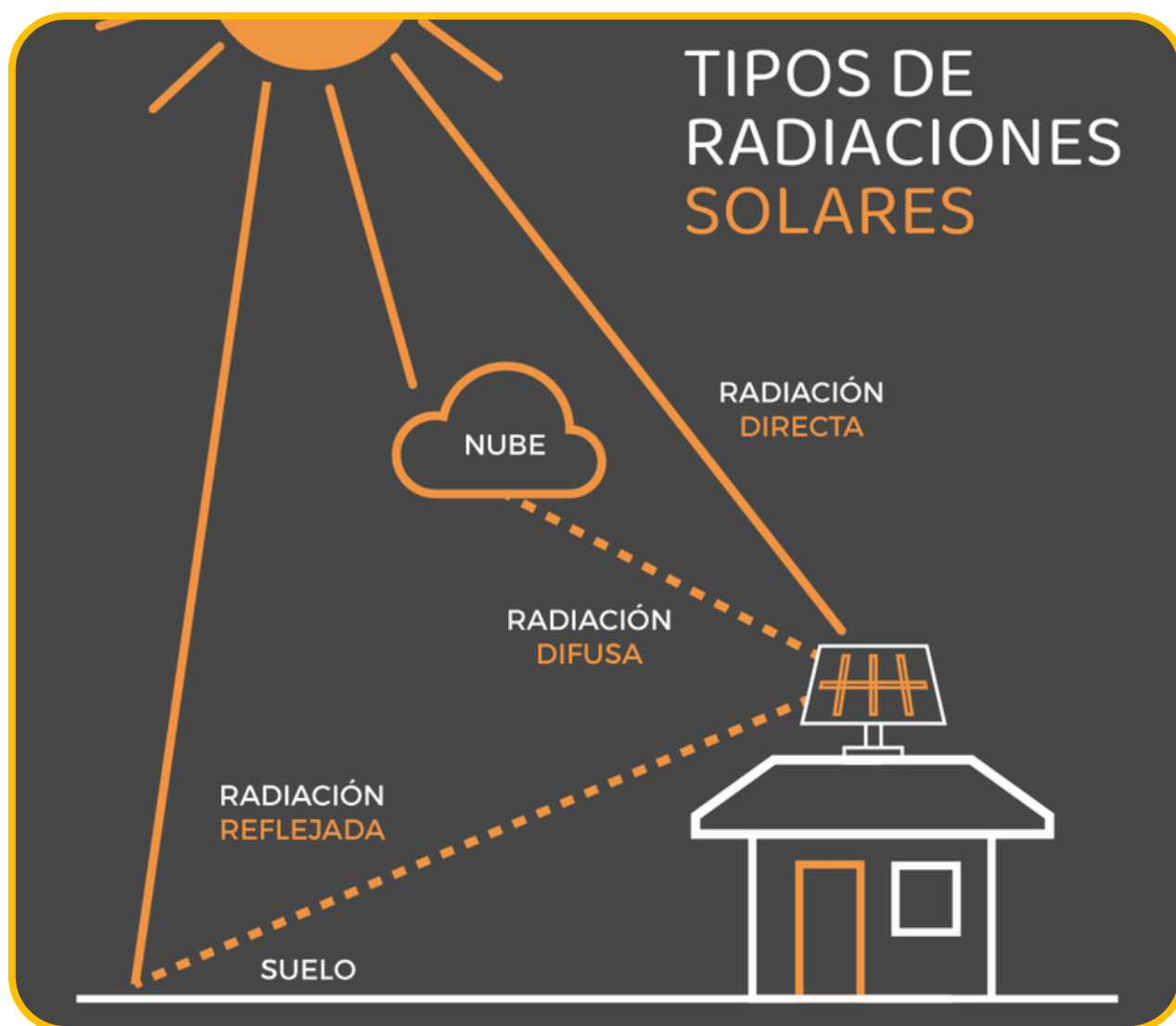
ALBEDO:

El albedo es la fracción de la radiación solar que se refleja en la superficie terrestre y vuelve al espacio o es captada por los alrededores.

Esta radiación reflejada puede provenir de diversas superficies como el suelo, cuerpos de agua, edificios, y montañas.

El albedo varía según el tipo de superficie: superficies claras como la nieve o la arena reflejan más radiación que superficies oscuras como los bosques o los océanos.

Este fenómeno es particularmente importante en zonas montañosas y urbanas, donde las superficies reflejantes pueden influir significativamente en la radiación total recibida por un panel solar.



RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y ALBEDO

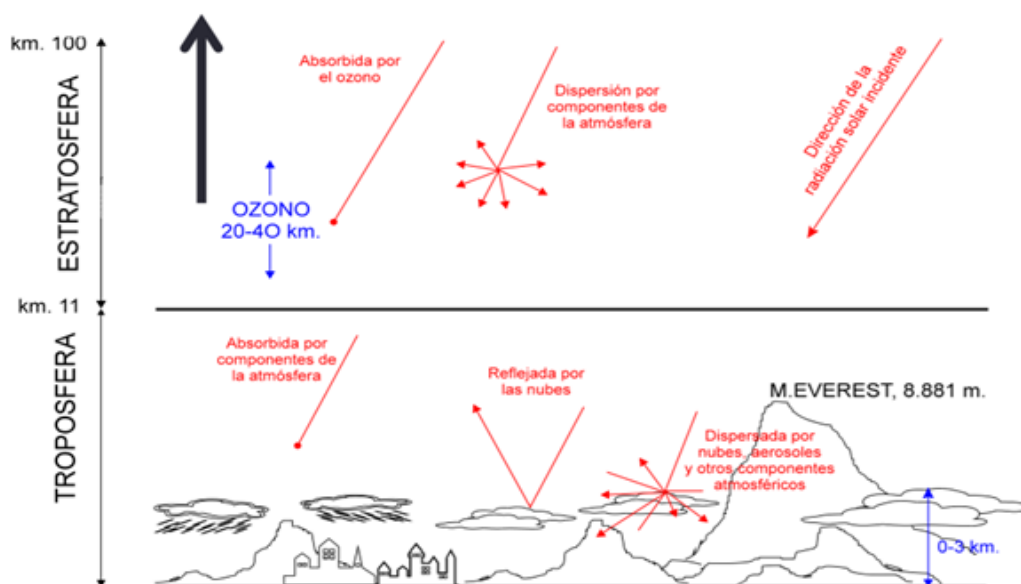
¿POR QUÉ LA RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE LA TIERRA ES INFERIOR A LA RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE LA ATMOSFERA TERRESTRE?

Como se ha visto con anterioridad, se define como la constante solar a la cantidad de radiación que incide por unidad de superficie sobre la atmósfera terrestre, y el cual hemos visto que es igual a 1360 W/m^2 . Pero, sin embargo, la radiación incidente sobre la superficie terrestre es menor, y esto es debido principalmente a los siguientes factores:

SCATTERING:

El scattering es el fenómeno por el cual la energía electromagnética es redirigida en múltiples direcciones debido a su interacción con partículas suspendidas en la atmósfera, como polvo, agua, y gases. La cantidad y el tipo de dispersión dependen del tamaño de las partículas y de la longitud de onda de la radiación solar. Existen dos tipos principales de scattering:

- **Rayleigh scattering:** Afecta principalmente a las longitudes de onda más cortas, como la luz azul, lo que explica por qué el cielo es azul.
- **Mie scattering:** Afecta a todas las longitudes de onda y es causado por partículas más grandes, como gotas de agua y partículas de polvo.



RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE LA TIERRA

Debido a este proceso, parte de la radiación directa se convierte en radiación difusa, disminuyendo la cantidad de radiación directa que llega a la superficie terrestre.

ÁNGULO DE INCIDENCIA:

El ángulo con el que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre también juega un papel crucial.

Cuando la radiación solar llega de manera perpendicular, su energía se distribuye sobre una menor área, y la reflexión es mínima, lo que maximiza la cantidad de energía absorbida por la superficie.

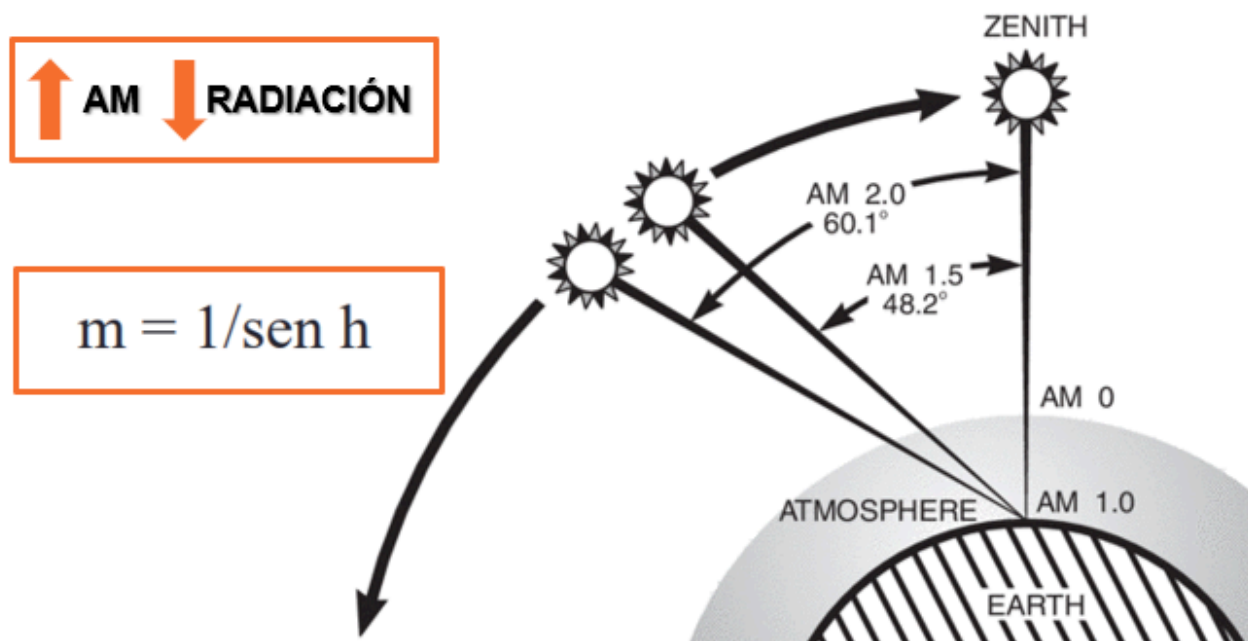
Sin embargo, cuando la radiación incide en un ángulo más oblicuo, la misma cantidad de energía se distribuye sobre una mayor área y se incrementa la reflexión, reduciendo la cantidad de energía que realmente es absorbida.

AIR MASS:

La masa de aire es una medida que describe la cantidad de atmósfera que los rayos solares deben atravesar antes de llegar a la superficie terrestre.

Cuando el Sol está directamente sobre la cabeza (en el cenit), la radiación pasa a través de una menor masa de aire, minimizando las pérdidas por absorción y scattering.

Sin embargo, cuando el Sol está bajo en el horizonte, los rayos solares deben atravesar una mayor masa de aire, lo que aumenta las pérdidas por dispersión y absorción, resultando en una menor radiación incidente sobre la superficie terrestre.



AIR MASS

WAVELENGTH:

El espectro visible es la porción del espectro electromagnético que puede ser percibida por el ojo humano. Esta radiación electromagnética, comprendida en el rango de longitudes de onda entre aproximadamente 390 y 700 nanómetros, es conocida como luz visible o simplemente luz. Dentro de este espectro, diferentes longitudes de onda corresponden a diferentes colores: por ejemplo, la luz azul tiene una longitud de onda más corta, mientras que la luz roja tiene una longitud de onda más larga.

El espectro de la radiación solar es, sin embargo, mucho más amplio que solo el espectro visible. Incluye radiación ultravioleta (UV), visible e infrarroja (IR). Al atravesar la atmósfera terrestre, la radiación solar se encuentra con diversos gases y partículas que actúan como filtros, absorbiendo y dispersando determinadas longitudes de onda. Por ejemplo:

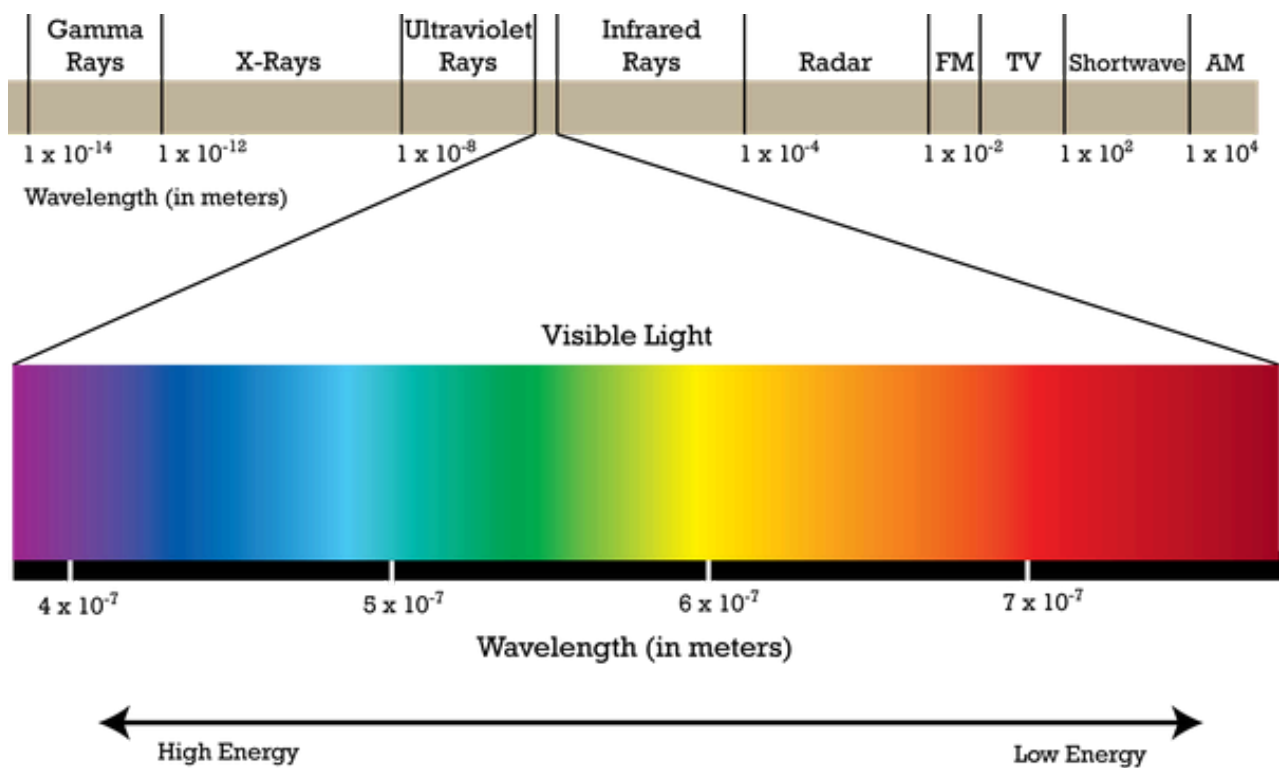
- **Radiación Ultravioleta (UV):** Gran parte de la radiación UV es absorbida por la capa de ozono en la estratosfera, especialmente la radiación UV-C, que es la más energética y dañina. Solo una pequeña fracción de la radiación UV-A y UV-B llega a la superficie terrestre, lo que protege la vida en la Tierra de la exposición a niveles peligrosos de radiación.
- **Radiación Infrarroja (IR):** Parte de la radiación infrarroja es absorbida por el vapor de agua y el dióxido de carbono en la atmósfera, lo que contribuye al efecto invernadero. Sin embargo, la radiación infrarroja cercana (cerca del espectro visible) puede penetrar la atmósfera y es responsable de la sensación de calor que experimentamos cuando estamos bajo el sol.
- **Radiación Visible:** La mayor parte de la radiación visible logra atravesar la atmósfera y llegar a la superficie terrestre, lo que permite la visión diurna y la fotosíntesis en plantas.



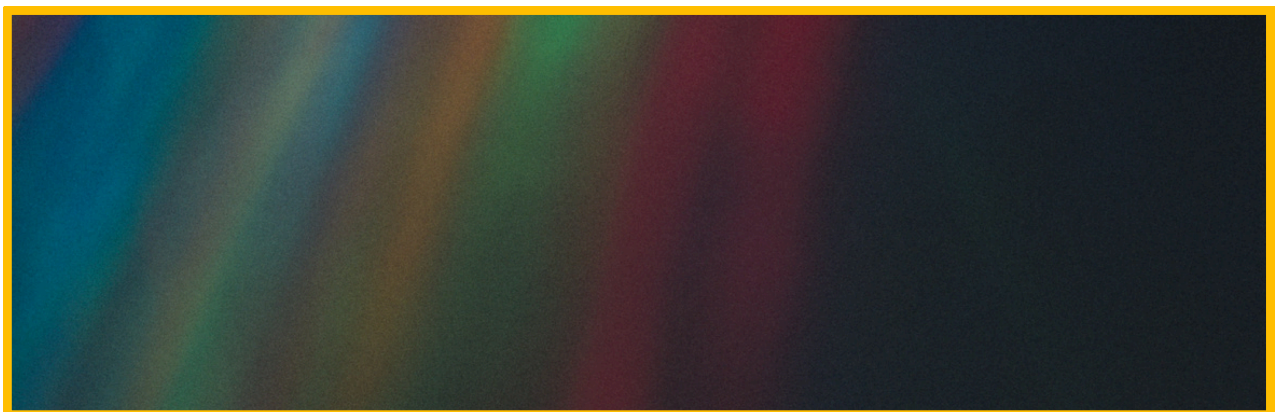
El comportamiento de la radiación en función de su longitud de onda es un factor clave para la eficiencia de los sistemas solares.

Los paneles fotovoltaicos, por ejemplo, están diseñados para captar eficientemente la luz visible y convertirla en electricidad, mientras que los sistemas de energía solar térmica aprovechan principalmente la radiación infrarroja.

La atmósfera, al filtrar ciertas longitudes de onda, determina en gran medida la cantidad y el tipo de radiación solar que finalmente llega a la superficie terrestre.

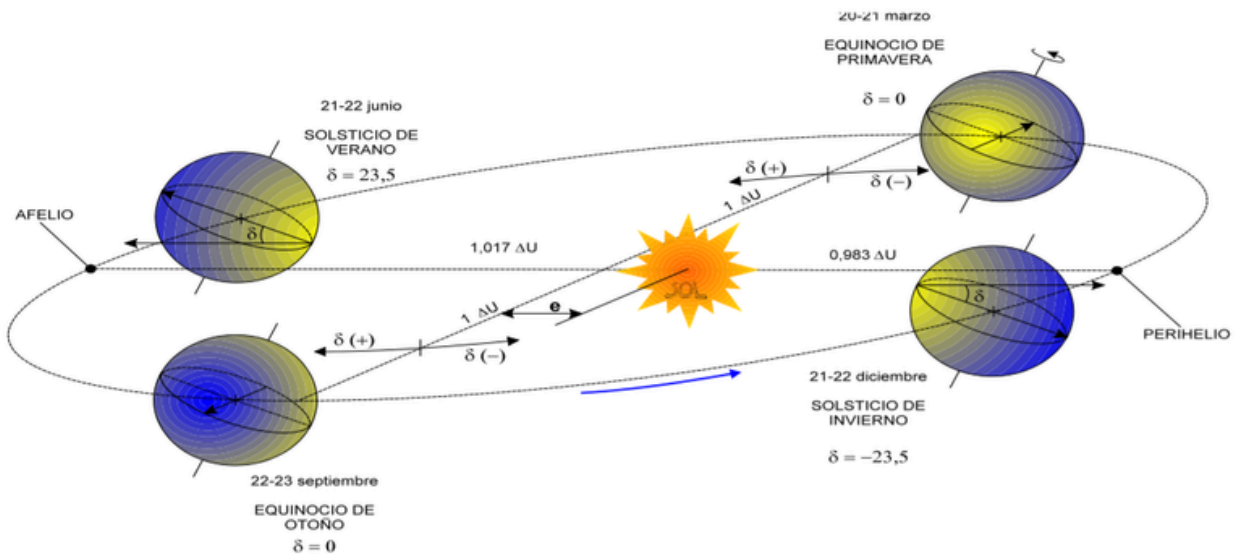


ESPECTRO DE RADIACIÓN



MOVIMIENTO DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL E INFLUENCIA SOBRE LA RADIACIÓN INCIDENTE EN UNA DETERMINADA UBICACIÓN.

Como es bien sabido, la Tierra sigue una órbita elíptica alrededor del Sol, donde el Sol se sitúa en uno de los focos de esta elipse. Esta órbita elíptica implica que la distancia entre la Tierra y el Sol varía a lo largo del año, alcanzando su punto más cercano en el perihelio y su punto más lejano en el afelio.



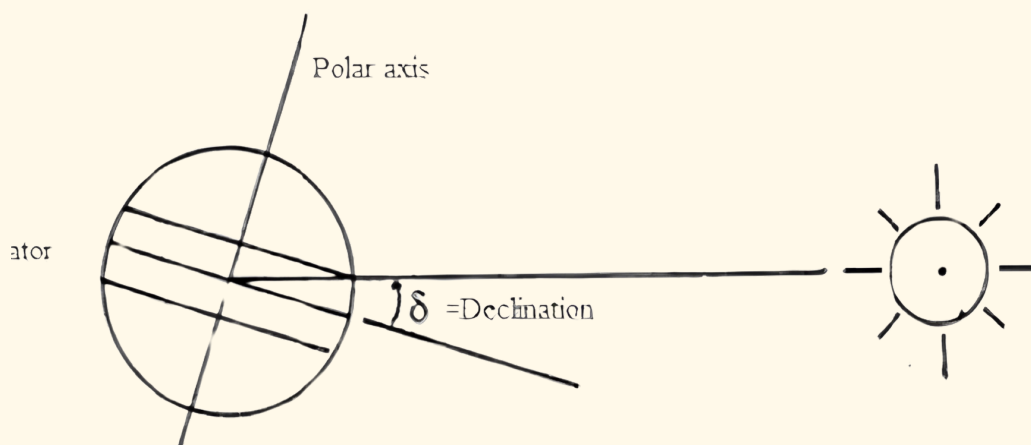
MOVIMIENTO TERRESTRE ALREDEDOR DEL SOL



A primera vista, podría parecer lógico pensar que las variaciones de temperatura que experimentamos durante las distintas estaciones del año se deben a estos cambios en la distancia Tierra-Sol. Es decir, podríamos suponer que cuando la Tierra está más cerca del Sol estaríamos en verano, y cuando está más alejada estaríamos en invierno. Sin embargo, esto es TOTALMENTE FALSO.

La verdadera causa de las variaciones estacionales en la temperatura y en la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre no radica en la variación de la distancia entre la Tierra y el Sol, sino en la inclinación del eje de rotación de la Tierra. El eje de la Tierra está inclinado aproximadamente 23,5 grados respecto al plano de su órbita alrededor del Sol, un ángulo conocido como ángulo de inclinación axial o ángulo de declinación solar.

Esta inclinación provoca que durante diferentes épocas del año, distintas partes de la Tierra reciban los rayos solares con mayor o menor perpendicularidad. Cuando un hemisferio está inclinado hacia el Sol, los rayos solares inciden más directamente sobre esa región, lo que resulta en días más largos y temperaturas más altas, dando lugar al verano. Por el contrario, cuando el hemisferio está inclinado en dirección opuesta al Sol, los rayos solares llegan de manera más oblicua, produciendo días más cortos y temperaturas más bajas, lo que da lugar al invierno.



DECLINACIÓN SOLAR

Por ejemplo, durante el solsticio de junio, el hemisferio norte está inclinado hacia el Sol, lo que provoca que los rayos solares incidan de manera más directa sobre latitudes más altas, resultando en el verano para ese hemisferio. Al mismo tiempo, en el hemisferio sur, los rayos solares inciden más oblicuamente, llevando al invierno. Seis meses después, durante el solsticio de diciembre, la situación se invierte.

Además, la variación en la declinación solar afecta no solo la cantidad de radiación solar que llega a una ubicación específica, sino también la duración del día. Durante el verano, los días son más largos, lo que permite una mayor acumulación de energía solar, mientras que en invierno, los días son más cortos, reduciendo la cantidad de radiación solar disponible.

En resumen, las estaciones y las variaciones en la radiación solar que experimentamos a lo largo del año son el resultado de la inclinación del eje terrestre y no de la distancia entre la Tierra y el Sol.

Este fenómeno explica por qué es posible tener verano en un hemisferio mientras que en el otro es invierno, a pesar de la misma distancia respecto al Sol.



BASES DE DATOS DE IRRADIANCIA

Cuando se realiza el dimensionado de un sistema de energía solar, uno de los pasos más cruciales es determinar la cantidad de recurso solar disponible, es decir, la irradiancia en el emplazamiento donde se va a instalar el sistema.

La evaluación precisa de la irradiancia es fundamental para estimar la cantidad de energía que podrá generar el sistema y, por lo tanto, para garantizar su viabilidad y eficiencia.

Para facilitar esta tarea, existen varias bases de datos y herramientas globales que permiten obtener datos de irradiancia de prácticamente cualquier ubicación del mundo.

Entre las más utilizadas se encuentran: PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) PVGIS es una herramienta ampliamente utilizada y desarrollada por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. PVGIS permite a los usuarios extraer datos de irradiancia solar para cualquier ubicación geográfica, proporcionando estimaciones precisas basadas en datos históricos y modelos atmosféricos. Es particularmente útil para el diseño preliminar de sistemas fotovoltaicos, ya que también ofrece cálculos de producción de energía y permite simular el rendimiento de sistemas solares a lo largo de los años.

The screenshot displays the PVGIS web application. The top navigation bar includes the European Commission logo and the title 'PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM'. Below the navigation bar, there is a map of the world with a color-coded irradiance scale. The right-hand side of the interface contains a form for inputting location and system parameters. The 'RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CONECTADO A RED' section is currently active, showing fields for 'Base de datos de radiación solar', 'Tecnología FV' (Silicio cristalino), 'Potencia FV pico instalada [kWp]' (1), 'Pérdidas sistema [%]' (14), and 'Opciones de montaje fijo'. The 'Posición de montaje' section shows 'Inclinación [°]' (35) and 'Azimut [°]' (0). There are also checkboxes for 'Optimizar inclinación' and 'Optimizar inclinación y azimut'. At the bottom, there are buttons for 'Visualizar resultados' and 'Descargar csv'.

BASE DE DATOS PVGIS

SOLARGIS

SolarGIS es otra base de datos líder en la evaluación de recursos solares, conocida por su alta precisión y resolución espacial. SolarGIS proporciona datos detallados de irradiancia, así como información sobre temperatura, velocidad del viento y otras variables meteorológicas que son esenciales para el diseño y optimización de sistemas solares. Esta plataforma es utilizada tanto por desarrolladores de proyectos solares como por investigadores y entidades gubernamentales para realizar estudios de viabilidad y asegurar la rentabilidad de los proyectos.



NASA POWER es una herramienta desarrollada por la NASA que ofrece datos de irradiancia solar, así como otras variables meteorológicas necesarias para el dimensionado de sistemas energéticos, incluidos los sistemas solares. Esta base de datos es particularmente útil porque proporciona información global basada en observaciones satelitales y modelos atmosféricos avanzados. Es ampliamente utilizada para estudios preliminares y análisis a gran escala.



Meteonorm es una herramienta que proporciona datos climáticos, incluyendo irradiancia solar, a partir de datos medidos y modelados. Meteonorm es especialmente valiosa porque permite generar datos históricos y de referencia para cualquier ubicación del mundo, incluso en áreas donde los datos medidos son limitados o inexistentes. Esta flexibilidad la convierte en una herramienta útil para diseñadores de sistemas solares y consultores energéticos.



TRNSYS es un programa de simulación que, aunque más complejo que los anteriores, permite modelar el comportamiento dinámico de sistemas energéticos, incluyendo sistemas solares. TRNSYS utiliza bases de datos de irradiancia como input para realizar simulaciones detalladas del rendimiento de sistemas solares, considerando variaciones horarias, estacionales y otros factores que pueden afectar la producción de energía.

REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 2

2.1. El ángulo formado entre la dirección de referencia (norte) y una línea entre el observador y un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia es:

- a. Ángulo longitud
- b. Ángulo latitud
- c. Ángulo acimut

2.2. Los componentes de la radiación son:

- a. Radiación directa, albedo y reflejada.
- b. Radiación directa, difusa y reflejada.
- c. Radiación albedo, directa e infrarroja.

2.3. ¿Cuál de los siguientes factores afecta en mayor medida en la disminución de la radiación incidente sobre la Tierra?

- a. Air Mass
- b. Ángulo de incidencia
- c. Wavelength

2.4. La variación de radiación que se produce en la Tierra a lo largo de las distintas estaciones es debido a:

- a. La distancia Tierra-Sol
- b. El ángulo de incidencia de la radiación sobre la Tierra.
- c. Las lluvias.

2.5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

- a. La radiación mide la cantidad de energía incidente en un periodo de tiempo determinado.
- b. La radiación albedo es siempre la más pequeña de las 3 componentes.
- c. PVGIS es una herramienta que permite realizar el dimensionado de una instalación fotovoltaica por completo.

EXAM!

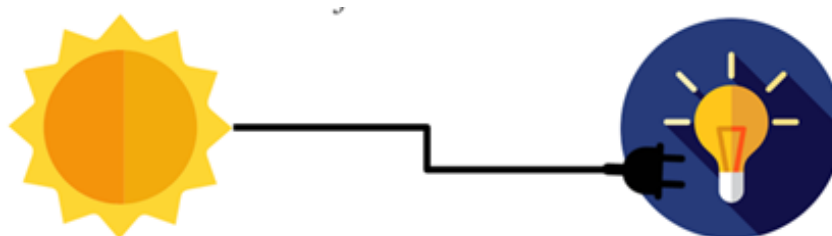
LECCIÓN III.

FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA



1. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía fotovoltaica se define como la energía generada a partir de la transformación de la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.



ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía solar ha sido aprovechada por la humanidad desde tiempos prehistóricos, principalmente para la conversión en energía térmica. Sin embargo, no fue hasta 1876 cuando William Grylls Adams, junto con su estudiante Richard Day, descubrieron que el selenio, al ser expuesto al Sol, producía una diferencia de potencial, lo que resultaba en un desplazamiento de electrones y huecos que generaba una corriente eléctrica. Aunque la eficiencia de esta transformación era muy baja, fue la primera vez que se demostró que la radiación solar podía convertirse directamente en energía eléctrica, sin necesidad de pasar primero por una transformación térmica o cinética.

Pocos años después, el estadounidense Charles Fritts construyó la primera celda solar, compuesta por selenio recubierto con una fina capa de oro, logrando una eficiencia de aproximadamente el 1%. Este fue un hito importante en el desarrollo de la tecnología fotovoltaica.

No obstante, fue en 1953 cuando Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chapin descubrieron la primera célula de silicio, uno de los materiales más utilizados en las células solares actuales. Este descubrimiento marcó un punto de inflexión, y unos años después, estas células de silicio comenzaron a comercializarse, aunque con un coste elevado de alrededor de 300 \$/W.

Durante la década de 1960, la energía fotovoltaica se consolidó como una de las principales tecnologías para alimentar naves espaciales, demostrando su capacidad para generar electricidad en entornos extremos.

El desarrollo continuo de la tecnología y las innovaciones en técnicas de producción han reducido significativamente los costos de los módulos fotovoltaicos, aunque su uso para la generación de electricidad a gran escala era todavía limitado hasta finales del siglo XX.

EXPANSIÓN EN EL SIGLO XXI

En la primera década del siglo XXI, la energía fotovoltaica comenzó a ganar terreno gracias a la drástica reducción de costos, convirtiéndose en una opción viable para las centrales de producción eléctrica y el autoconsumo residencial e industrial. A medida que los precios de los módulos fotovoltaicos continuaban disminuyendo, la adopción de la energía solar se aceleró.

Durante la segunda década del siglo XXI, la energía fotovoltaica experimentó un auge significativo, convirtiéndose en una tecnología económicamente competitiva en comparación con las fuentes de energía tradicionales. Esta tendencia se ha visto impulsada por la reducción constante de los costos, que ha hecho que la energía solar sea cada vez más rentable.

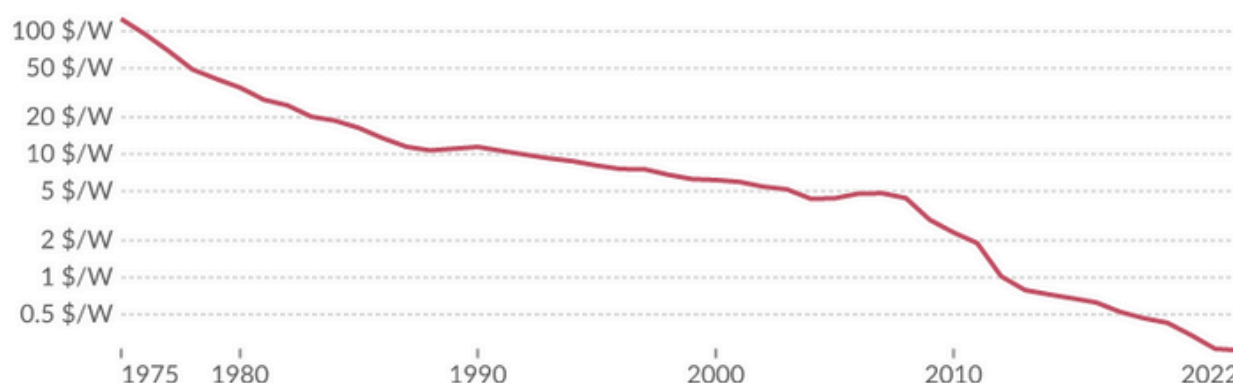
EVOLUCIÓN RECIENTE Y PERSPECTIVAS HACIA 2024

Con el auge de los vehículos eléctricos, la reducción de los costes de los sistemas de almacenamiento de energía como las baterías, y las políticas globales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías de generación con mayor proyección de futuro.

Solar (photovoltaic) panel prices

Our World
in Data

This data is expressed in US dollars per Watt, adjusted for inflation.

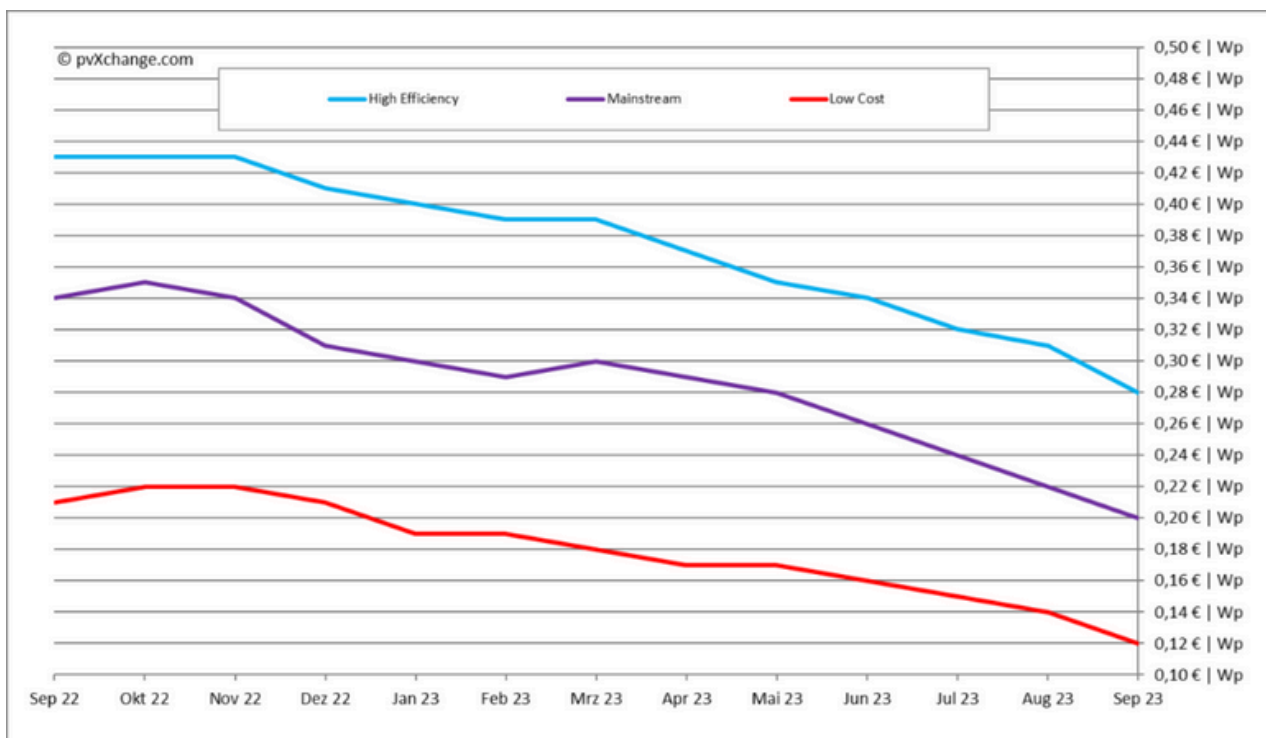


Data source: International Renewable Energy Agency (2023); Nemet (2009); Farmer and Lafond (2016)

Note: Data is expressed in constant 2022 US\$ per Watt.

OurWorldInData.org/energy | CC BY

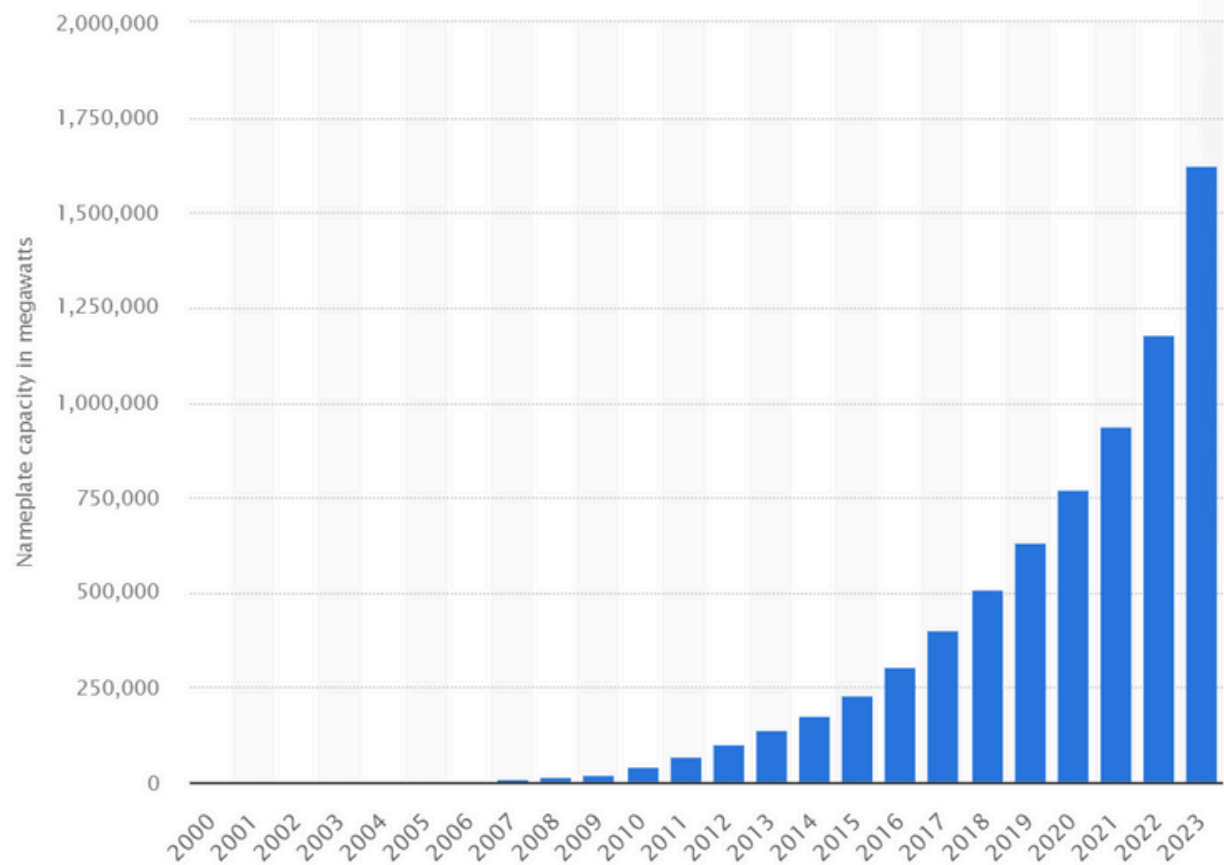
EVOLUCIÓN DEL PRECIO DE LOS MÓDULOS SOLARES



Si actualizáramos la gráfica anterior a los precios de 2024, podríamos encontrar valores de precio de 0,08-0,10\$/W. Los costes de la energía fotovoltaica se han visto reducidos en más de un 95% en los últimos 10 años.

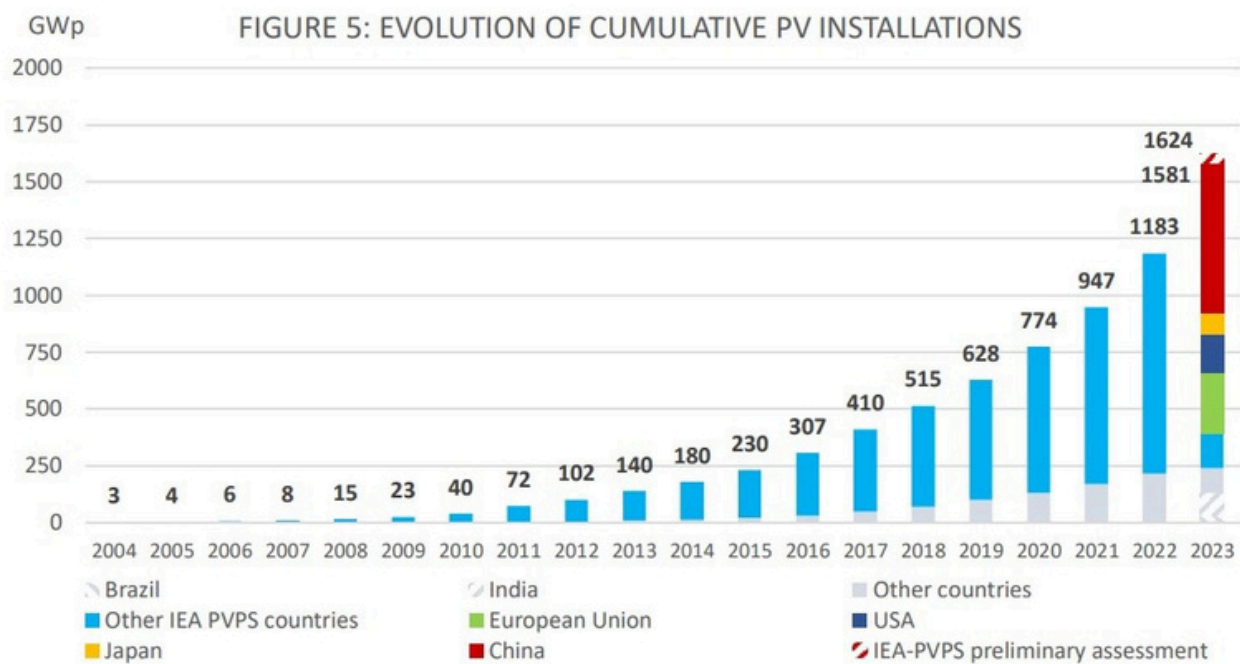
La potencia instalada de energía solar fotovoltaica en todo el mundo a finales de 2023 alcanzó los 1,624 GW (1,6 TW) según Statista y el informe "Snapshot of Global PV Markets" de la IEA Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS). Este crecimiento representa un aumento significativo desde los 1,2 TW en 2022, con entre 407,3 GW y 446 GW de nuevos sistemas fotovoltaicos comisionados en 2023. Además, se estima que había aproximadamente 150 GW de módulos en inventarios a nivel mundial.





POTENCIA SOLAR TOTAL INSTALADA

Las fuertes apuestas de las grandes potencias mundiales como Estados Unidos, China, Alemania, India y Japón muestran claramente la tendencia hacia la adopción masiva de tecnologías renovables, y en particular de la energía solar.



Source: IEA PVPS

DISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA

- China se consolidó como el líder absoluto en capacidad instalada, con un récord de 235 GW DC (con estimaciones que lo elevan hasta 277 GW), alcanzando una capacidad acumulada de 662 GW. Este crecimiento anual representa más del 60% de la nueva capacidad global instalada en 2023 y equivale a más del 15% de la capacidad global acumulada total.
- Europa mostró un crecimiento continuo con 61 GW instalados, de los cuales 55,8 GW corresponden a la Unión Europea. Alemania lideró la región con 14,3 GW, seguido de España con 7,7 GW, Polonia con 6,0 GW, Italia con 5,3 GW y los Países Bajos con 4,2 GW. A pesar de una ligera disminución en comparación con 2022, España alcanzó una capacidad acumulada de 37,6 GW, lo que la posiciona como el sexto país a nivel mundial en capacidad fotovoltaica y el primero en términos de penetración de energía solar, con una tasa del 21,1%.
- Américas: En Estados Unidos, después de un año lento en 2022, se instalaron 33,2 GW en 2023, mientras que Brasil mantuvo su dinámica, instalando 11,9 GW. Ambos países se colocaron entre los diez primeros a nivel mundial en capacidad acumulada.
- India experimentó un crecimiento moderado con 16 GW instalados, principalmente en sistemas centralizados, lo que le permitió mantenerse como uno de los principales actores en el sector.
- Asia-Pacífico: Otros mercados de la región, como Australia (3,8 GW), Corea (3,3 GW) y Japón (6,3 GW), mostraron un crecimiento más lento pero estable.

TABLE 1: TOP 10 COUNTRIES FOR ANNUAL AND CUMULATIVE INSTALLED CAPACITY IN 2023

FOR ANNUAL INSTALLED CAPACITY				FOR CUMULATIVE CAPACITY			
1		China	235.5 GW*	1		China	662.0 GW*
(2)		European Union	55.8 GW	(2)		European Union	268.1 GW
2		United States	33.2 GW	2		United States	169.5 GW
3		India	16.6 GW	3		India	95.3 GW
4		Germany	14.3 GW	4		Japan	91.4 GW
5		Brazil	11.9 GW	5		Germany	81.6 GW
6		Spain	7.7 GW	6		Spain	37.6 GW
7		Japan	6.3 GW	7		Brazil	35.5 GW
8		Poland	6.0 GW	8		Australia	34.6 GW
9		Italy	5.3 GW	9		Italy	30.3 GW
10		Netherlands	4.2 GW	10		Korea	27.8 GW

Note: The European Union grouped 27 European countries in 2023, out of which Germany, Spain, Poland, Italy and the Netherlands also appear in the Top Ten, either for the annual installed capacity or the cumulative installed capacity. The European Commission is a member of IEA-PVPS through its Joint Research Centre (EU-JRC).

*Official China reporting capacity, below IEA-PVPS preliminary assessment of 277 GW / 704 GW

Source: IEA PVPS

TENDENCIAS Y DESAFÍOS

El mercado fotovoltaico global experimentó una sobreproducción significativa en 2023, lo que llevó a una caída drástica en los precios de los módulos debido a la oferta excedente. A pesar de la reducción de precios en la electricidad después de los picos históricos de 2022, la competitividad de la energía solar se mantuvo fuerte.

La cantidad de países con tasas de penetración fotovoltaica superiores al 10% se duplicó en 2023, alcanzando un total de 18 países. España lideró este grupo con una tasa de penetración del 21,1%, seguida de los Países Bajos (20,5%) y Chile (19,5%). A pesar de los desafíos como la congestión de la red, las medidas políticas, las soluciones técnicas y el almacenamiento energético están proporcionando soluciones viables para mejorar la penetración fotovoltaica.



2. CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía fotovoltaica, al ser una tecnología versátil y aplicable en diversos contextos, puede clasificarse según varios criterios.

A continuación, se presentan las principales categorías basadas en la escala de la instalación y en la presencia o ausencia de sistemas de almacenamiento, así como su aplicación específica:



1. CLASIFICACIÓN POR ESCALA DE LA INSTALACIÓN



a) Instalaciones de Gran Escala (Utility-Scale Solar)

Las instalaciones de gran escala están diseñadas principalmente para la generación de electricidad a gran volumen, con el objetivo de suministrar energía a la red eléctrica pública o a grandes consumidores.

Estas instalaciones suelen estar localizadas en zonas con altos niveles de irradiación solar y grandes extensiones de terreno disponibles.

- **Objetivo principal:** Generación de electricidad para su venta a la red o uso en grandes industrias.
- **Potencia instalada:** Se considera una instalación de gran escala a partir de 5 MW, aunque este umbral puede variar según el contexto regulatorio y el mercado.
- **Situación en España:** Según el informe de la IEA-PVPS, España es el país con mayor penetración de energía solar fotovoltaica en el mundo. En 2023, España fue el sexto país por nueva capacidad solar añadida, con un total de 7,7 GW, y el sexto a nivel global por capacidad solar acumulada, con 37,6 GW instalados..



b) Instalaciones de Pequeña Escala (Distributed Solar)

Las instalaciones de pequeña escala están orientadas principalmente al autoconsumo, ya sea doméstico o industrial. Estas instalaciones permiten a los usuarios generar su propia electricidad, reduciendo su dependencia de la red y, en muchos casos, disminuyendo sus costos energéticos.

- **Aplicación doméstica:** Las instalaciones domésticas típicamente tienen una potencia instalada que varía entre 3 y 10 kW. Están diseñadas para cubrir las necesidades energéticas de hogares unifamiliares o edificios de apartamentos.
- **Aplicación industrial:** Las instalaciones industriales pueden variar significativamente en tamaño, dependiendo de la demanda energética de la empresa. Pueden ir desde unos pocos kilovatios hasta varios megavatios en grandes fábricas o centros logísticos.
- **Legislación española:** Según la normativa vigente en España, el autoconsumo se clasifica en dos tipos:
 - **Con excedentes:** Donde el usuario puede vender el excedente de energía generado a la red. Dentro de esta categoría, existen dos subtipos:
 - **Acogidos a compensación simplificada:** La energía vertida a la red se compensa económicamente en la factura eléctrica del usuario.
 - **No acogidos a compensación:** La energía excedente se vende a la red bajo un acuerdo específico con la empresa distribuidora.
 - **Sin excedentes:** El sistema está diseñado para evitar que cualquier exceso de producción se vierta a la red, usando limitadores de potencia para ajustarse exactamente a la demanda interna.





2. CLASIFICACIÓN POR LA PRESENCIA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO



a) Instalación Fotovoltaica sin Almacenamiento

En este tipo de instalación, no se incluye ningún sistema de almacenamiento de energía. Toda la electricidad generada por el sistema fotovoltaico debe ser consumida instantáneamente o, en el caso de excedentes, vendida a la red (en los sistemas de autoconsumo con excedentes).

- **Adaptación a la curva de producción:** La demanda energética del usuario debe alinearse con la producción solar, lo que puede ser un desafío durante horas de baja radiación (como por la noche).
- **Red como "sistema de almacenamiento":** En instalaciones de autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada, la red eléctrica actúa como un sistema de apoyo, permitiendo que la energía vertida durante las horas de alta producción se compense económicamente en las facturas de las horas de baja producción.
- **Inversión inicial:** Estas instalaciones suelen requerir una inversión menor en comparación con las que incluyen almacenamiento, ya que no necesitan baterías u otros sistemas de almacenamiento.

b) Instalación Fotovoltaica con Almacenamiento

Estas instalaciones incluyen baterías u otros sistemas de almacenamiento energético que permiten acumular la electricidad generada por los paneles solares para su uso posterior. Este tipo de configuración ofrece una mayor flexibilidad y autonomía al usuario.

- **Mayor flexibilidad en el consumo:** Al almacenar la energía solar generada, los usuarios pueden consumirla en cualquier momento, incluso cuando no hay producción solar (por ejemplo, durante la noche o en días nublados).
- **Ventajas industriales:** En el ámbito industrial, las instalaciones con almacenamiento ofrecen una protección adicional contra los microcortes o interrupciones en la red eléctrica, que pueden causar daños o paradas en la maquinaria.
- **Resiliencia y autonomía:** Estas instalaciones son especialmente útiles en zonas rurales o en lugares donde la red eléctrica es inestable, proporcionando una fuente de energía confiable y continua.



3. CLASIFICACIÓN POR CONEXIÓN A LA RED



a) Instalaciones Conectadas a la Red

Estas instalaciones están diseñadas para generar electricidad que se inyecta directamente en la red eléctrica pública. La mayoría de las grandes instalaciones y muchas de las pequeñas instalaciones de autoconsumo están conectadas a la red, permitiendo la venta de excedentes de energía y la compensación en la factura eléctrica.

- **Interacción con la red:** La energía generada se consume en tiempo real, y cualquier exceso se vende a la red. En los sistemas de autoconsumo con compensación, la red actúa como un "almacén" virtual.
- **Beneficios económicos:** Los usuarios pueden reducir sus costos energéticos y, en algunos casos, generar ingresos adicionales mediante la venta de electricidad a la red.

b) Instalaciones Aisladas (Off-Grid)

Las instalaciones aisladas no están conectadas a la red eléctrica y están diseñadas para ser completamente autosuficientes. Estas son comunes en ubicaciones remotas donde no hay acceso a la red eléctrica o donde la confiabilidad de la red es baja.

- **Sistemas de almacenamiento:** Estas instalaciones dependen en gran medida de baterías u otros sistemas de almacenamiento para garantizar un suministro de energía continuo, especialmente durante la noche o en días nublados.
- **Aplicaciones típicas:** Residencias rurales, sistemas de telecomunicaciones remotos, estaciones meteorológicas y otros sitios donde la conexión a la red no es viable.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.1 Y 3.2

3.1.1. ¿Cuál es el precio aproximado de un módulo monocristalino de 450 W en 2024 (precio a empresa)?

- a. 50 – 100 €
- b. 100 – 160 €
- c. 160 – 200€

3.1.2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a. El país que más energía FV instaló en 2013 fue China.
- b. La potencia FV total instalada en China hasta 2018 es superior a la instalada en Europa y EEUU juntos.
- c. La producción eólica de España en 2018 fue inferior a la fotovoltaica.

3.2.1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

- a. La energía fotovoltaica se define como la energía proveniente de la transformación de la radiación solar en energía calorífica.
- b. La transformación de la radiación solar en electricidad solo puede ocurrir mediante el efecto fotoeléctrico.
- c. Un módulo fotovoltaico está compuesto por células fotovoltaicas.

3.2.2. Según la legislación española (Real Decreto 244/2019), las instalaciones de autoconsumo pueden clasificarse en:

- a. Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3.
- b. Con excedentes o sin excedentes.
- c. Con baterías o sin baterías.



3. ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los elementos que componen una instalación solar fotovoltaica varían según la finalidad del sistema y las necesidades específicas del proyecto. No obstante, existen ciertos componentes fundamentales que son comunes en la mayoría de las instalaciones, independientemente de su tamaño o aplicación.

Entre estos, destacan los módulos fotovoltaicos y el inversor, que son esenciales para la conversión de la energía solar en energía eléctrica utilizable.



Los componentes de una instalación fotovoltaica se pueden clasificar en dos categorías principales: elementos esenciales y elementos auxiliares.

ELEMENTOS ESENCIALES

1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares, son el corazón del sistema. Están formados por células fotovoltaicas que convierten la radiación solar en corriente eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico. Dependiendo de la tecnología utilizada, los módulos pueden ser de silicio monocristalino, policristalino o de película delgada, cada uno con sus propias características en términos de eficiencia, costo y durabilidad.

- o **Función:** Captar la energía solar y convertirla en corriente continua (DC).

- o **Consideraciones:** La eficiencia, la orientación, y la inclinación de los módulos son factores clave para maximizar la producción de energía.

2. INVERSOR SOLAR

El inversor es un componente crítico en cualquier instalación fotovoltaica. Su función principal es convertir la corriente continua (DC) generada por los módulos en corriente alterna (AC), que es el tipo de corriente que se utiliza en la mayoría de los hogares, empresas e infraestructuras eléctricas.

- o **Función:** Convertir la corriente continua en corriente alterna y optimizar la producción de energía gestionando la operación del sistema.

- o **Tipos:** Existen diferentes tipos de inversores, como los inversores string, inversores centrales e inversores microinversores, cada uno adecuado para diferentes tamaños y configuraciones de sistemas.



3. REGULADOR DE CARGA (OPCIONAL)

El regulador de carga es un componente necesario en sistemas que incluyen baterías para el almacenamiento de energía. Su función es gestionar la carga y descarga de las baterías para evitar sobrecargas, sobredescargas, y prolongar la vida útil del sistema de almacenamiento.

- o **Función:** Regular la cantidad de energía que fluye hacia y desde las baterías, protegiéndolas y optimizando su rendimiento.
- o **Aplicación:** Es fundamental en instalaciones aisladas o en sistemas de autoconsumo que requieren almacenamiento.

4. BATERÍAS (OPCIONAL)

Las baterías permiten almacenar la energía generada por los módulos fotovoltaicos para su uso posterior, especialmente durante la noche o en períodos de baja radiación solar. Son esenciales en instalaciones aisladas o en sistemas donde se busca independencia de la red eléctrica.

- o **Función:** Almacenar energía para su uso cuando la generación solar no es suficiente para cubrir la demanda.
- o **Tipos:** Existen varios tipos de baterías, como las de plomo-ácido, litio-ion y otras tecnologías avanzadas, cada una con sus propias ventajas en términos de ciclo de vida, eficiencia y costos.



ELEMENTOS AUXILIARES

1. ESTRUCTURAS DE MONTAJE

Las estructuras de montaje son esenciales para sostener y orientar los módulos fotovoltaicos en la posición óptima. Pueden ser fijas o móviles (seguidores solares) y están diseñadas para resistir las condiciones climáticas del lugar de instalación.

o **Función:** Asegurar los módulos en su lugar y orientarlos adecuadamente para maximizar la captación solar.

o **Materiales:** Generalmente se fabrican de aluminio o acero galvanizado para ofrecer durabilidad y resistencia a la corrosión.



2. CUADROS ELÉCTRICOS Y PROTECCIONES

Los cuadros eléctricos albergan los dispositivos de protección y control del sistema fotovoltaico. Incluyen interruptores, fusibles, seccionadores, y sistemas de monitoreo que aseguran la seguridad y el buen funcionamiento del sistema.

o **Función:** Proteger el sistema contra sobrecargas, cortocircuitos, y otros eventos eléctricos que podrían dañarlo.

o **Consideraciones:** Es fundamental que el sistema de protección cumpla con las normativas eléctricas locales y esté correctamente dimensionado para la capacidad del sistema.



3. ANALIZADORES DE ENERGÍA Y SISTEMAS DE MONITOREO

Los analizadores de energía y los sistemas de monitoreo permiten supervisar en tiempo real la producción de energía del sistema fotovoltaico, detectar posibles fallos, y optimizar el rendimiento.

- o **Función:** Ofrecer datos en tiempo real sobre la producción de energía, el consumo, el estado de las baterías, y otros parámetros clave.
- o **Tecnología:** Pueden ser sistemas locales o conectados a la nube, lo que permite el acceso remoto y la gestión del sistema a través de aplicaciones móviles o plataformas web.



FLEXIBILIDAD Y ADAPTACIÓN SEGÚN EL PROYECTO

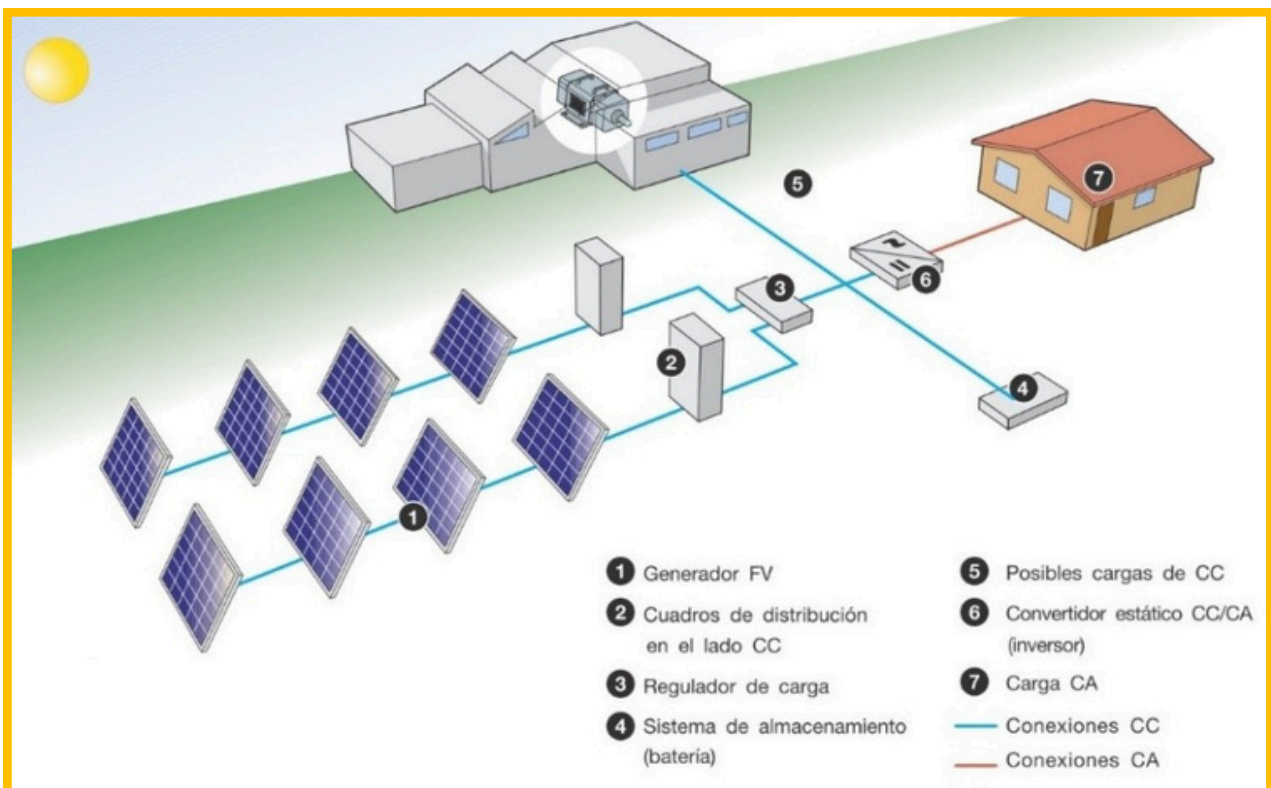
Los sistemas fotovoltaicos se diseñan para ser flexibles y adaptables a las necesidades específicas de cada proyecto. Por ejemplo, en instalaciones de autoconsumo conectadas a la red, el regulador de carga y las baterías pueden ser elementos prescindibles, ya que la energía excedente puede ser vertida a la red, reduciendo así la necesidad de almacenamiento. En cambio, en instalaciones aisladas o en lugares donde la red eléctrica es inestable, estos componentes se vuelven esenciales para garantizar un suministro constante de energía.

3.4. PANEL SOLAR

El panel solar es quizás el componente más crítico de una instalación fotovoltaica, ya que es responsable de realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Esta transformación es la base de cualquier sistema fotovoltaico y es lo que permite aprovechar la irradiancia solar para generar electricidad.



Las instalaciones fotovoltaicas están compuestas por un número determinado de módulos fotovoltaicos, los cuales se conectan en configuraciones específicas para maximizar la producción de energía. Generalmente, los módulos se organizan en strings (donde los paneles están conectados en serie), y estos strings se agrupan en paralelo para formar un campo fotovoltaico más grande.



INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

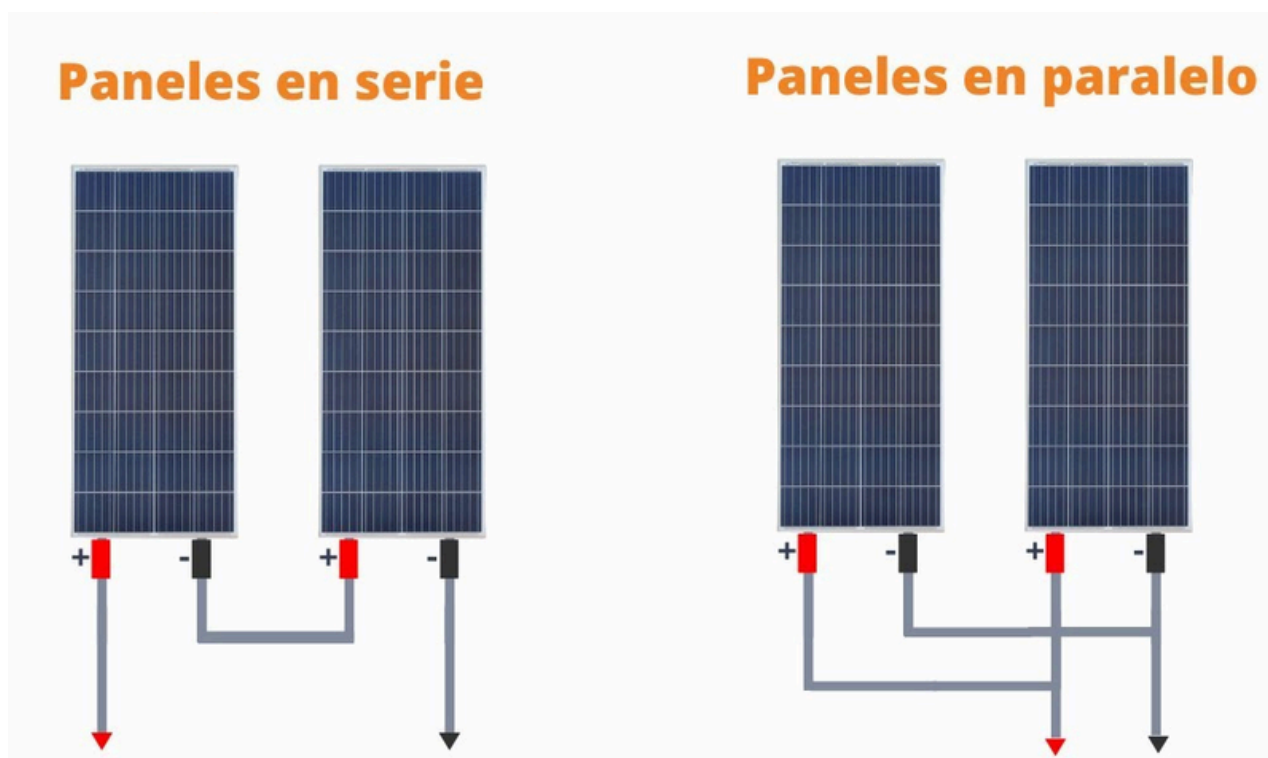
CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Estructura Interna y Organización de las Células Fotovoltaicas

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por células solares, las cuales son los elementos fundamentales para convertir la luz solar en electricidad. Estas células suelen ser de silicio, en su mayoría monocristalino o policristalino, dependiendo de su proceso de fabricación. La disposición de las células dentro de un módulo puede variar en función del diseño específico y del propósito del módulo, existiendo varias configuraciones posibles:

- **Conexión en Serie:** Aumenta la tensión de salida del módulo.
- **Conexión en Paralelo:** Aumenta la corriente de salida del módulo.

Estas conexiones son esenciales para ajustar las características eléctricas del módulo a las necesidades del sistema donde se instalará.



CONFIGURACIONES COMUNES DE CÉLULAS EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado múltiples configuraciones de módulos fotovoltaicos, cada una con un número específico de células solares para adaptarse a diferentes aplicaciones y necesidades energéticas. A continuación, se describen las configuraciones más comunes:

- **Módulos de 60 células:** Compuestos generalmente por células de silicio cristalino, organizadas en una matriz de 6 filas por 10 columnas. Este tipo de módulo es muy utilizado en instalaciones residenciales y comerciales debido a su tamaño manejable y su adecuada relación potencia-tamaño. Las potencias típicas oscilan entre 350 y 400 W, pero con las últimas tecnologías, algunos modelos alcanzan hasta 425 W.
- **Módulos de 72 células:** Tienen una configuración de 6 filas por 12 columnas y son ideales para aplicaciones comerciales e industriales, donde se requiere mayor potencia por módulo. Estos módulos ofrecen potencias que varían entre 400 y 450 W, aunque los modelos más recientes pueden llegar a ofrecer hasta 500 W.
- **Módulos de 120 células (half-cut):** Este diseño consiste en cortar las 60 células convencionales por la mitad, resultando en 120 células más pequeñas. Esta tecnología de medio corte ayuda a reducir las pérdidas resistivas y a aumentar la eficiencia del módulo, lo que se traduce en una mayor potencia de salida, generalmente entre 370 y 440 W.
- **Módulos de 144 células (half-cut):** Siguiendo el mismo principio de corte por la mitad, estos módulos dividen las 72 células originales en 144 células más pequeñas. Esta configuración es muy efectiva para aplicaciones donde la eficiencia y la durabilidad son críticas. Estos módulos pueden alcanzar potencias de entre 450 y 600 W, dependiendo de las tecnologías adicionales utilizadas, como las células bifaciales que pueden captar luz por ambas caras.



- **Módulos de 96 células:** Este diseño, menos común, se utiliza principalmente en aplicaciones específicas que requieren alta tensión de salida. Los módulos de 96 células pueden proporcionar potencias que oscilan entre 500 y 550 W, siendo ideales para instalaciones que necesitan un rendimiento elevado en un espacio limitado.
- **Módulos de 108 células (half-cut):** Compuestos por células cortadas de un módulo convencional de 54 células, este diseño es popular en instalaciones residenciales donde se busca una alta eficiencia en un tamaño compacto. La potencia de estos módulos generalmente varía entre 350 y 410 W.
- **Módulos de 120 células (half-cut, alta potencia):** En versiones avanzadas de los módulos de 120 células, con tecnologías como PERC o módulos bifaciales, se pueden alcanzar potencias superiores a 500 W, lo que los convierte en una opción muy atractiva para aplicaciones tanto residenciales como comerciales.
- **Módulos de 132 células (half-cut):** Este diseño intermedio entre los módulos de 120 y 144 células está ganando popularidad debido a su capacidad para ofrecer una potencia elevada en un formato manejable. Las potencias de estos módulos pueden oscilar entre 450 y 550 W.
- **Módulos de 144 células (half-cut):** Son actualmente una de las configuraciones más potentes disponibles en el mercado, con potencias que pueden alcanzar hasta 600 W, gracias a innovaciones como las células bifaciales y el uso de materiales avanzados.



Módulos de Alta Potencia: 600W y 700W

Recientemente, han surgido en el mercado módulos fotovoltaicos con potencias que superan los 600 W, llegando incluso a los 700 W. Estos módulos de alta potencia suelen utilizar células de medio corte (half-cut) y combinan tecnologías avanzadas como las células bifaciales, PERC y heterounión (HJT).

- **Módulos de 700 W:** Estos módulos están diseñados para grandes instalaciones solares comerciales e industriales donde la eficiencia y la maximización del espacio son cruciales. La estructura típica de estos módulos puede variar, pero a menudo se basan en configuraciones de 144 células de medio corte o incluso en diseños personalizados que permiten alcanzar estas potencias extremas. Además, suelen incorporar tecnologías que optimizan la captación de luz, como recubrimientos antirreflectantes y vidrios de alta transparencia.

Dimensiones de los Módulos Fotovoltaicos

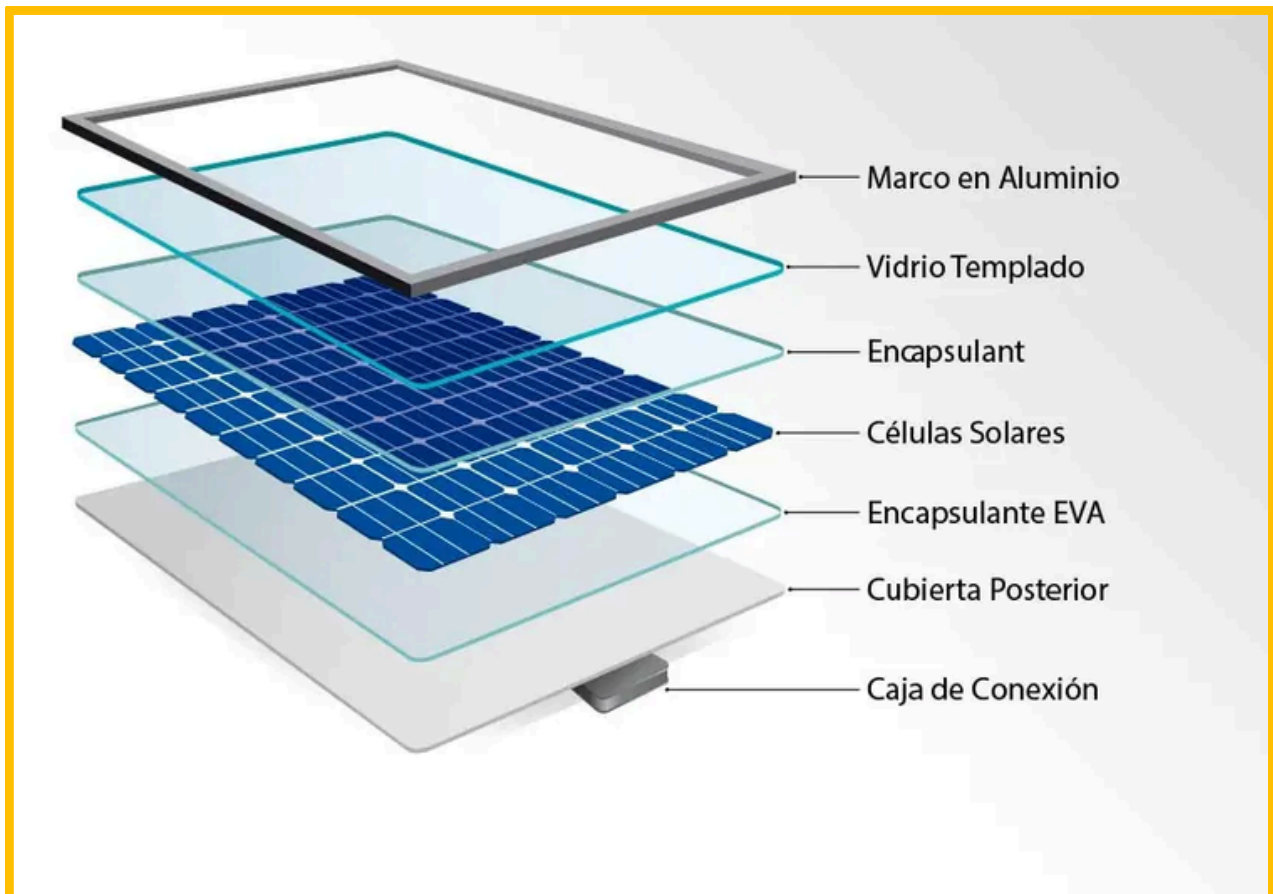
Las dimensiones de los módulos solares también varían según el número de células y el diseño específico:

- **Módulos de 60 células:** Tienen dimensiones típicas de aproximadamente 1,75 x 1,05 metros.
- **Módulos de 72 células:** Suelen medir cerca de 2,1 x 1,05 metros.
- **Módulos de 120 células (half-cut):** Aunque pueden variar, suelen mantener dimensiones similares a los módulos de 60 células, aproximadamente 1,75 x 1,05 metros.
- **Módulos de 144 células (half-cut):** Tienen dimensiones similares a los módulos de 72 células, aunque pueden ser ligeramente más largos, llegando a medir alrededor de 2,2 x 1,05 metros.
- **Módulos de 700 W:** Debido a la alta potencia, estos módulos pueden ser ligeramente más grandes que los módulos de 144 células, aunque generalmente se mantienen dentro de un tamaño manejable para facilitar su instalación en diversas aplicaciones.

En resumen, la variedad de configuraciones y potencias de los módulos fotovoltaicos permite una adaptación precisa a las necesidades energéticas de diferentes tipos de instalaciones, desde pequeñas residencias hasta grandes plantas solares industriales. Los avances en tecnología continúan impulsando la eficiencia y la potencia de estos módulos, ofreciendo soluciones cada vez más eficientes y rentables para la generación de energía solar.

COMPOSICIÓN DETALLADA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos están diseñados con una estructura de capas múltiples, cada una desempeñando un papel crucial en la protección y eficiencia de las células solares. La composición típica de un módulo fotovoltaico incluye varias capas, dispuestas de manera que aseguren la máxima durabilidad, eficiencia energética y protección contra los elementos ambientales.



1. Primera Capa: Vidrio Protector

o **Función:** La primera capa de un módulo fotovoltaico suele estar hecha de vidrio templado. Su función principal es proteger las células solares contra las condiciones climáticas adversas, como el granizo, la lluvia, el polvo y otros contaminantes ambientales. Este vidrio es altamente transparente para permitir la máxima entrada de luz solar y, al mismo tiempo, es lo suficientemente robusto como para soportar impactos mecánicos.

o **Características:** Este vidrio generalmente tiene un espesor de 3-4 mm y está diseñado para resistir temperaturas extremas y tensiones mecánicas. Además, puede contar con tratamientos antirreflectantes para mejorar la eficiencia del módulo al reducir las pérdidas de luz reflejada.

2. Segunda Capa: Encapsulante (EVA)

o **Función:** Inmediatamente debajo del vidrio protector se encuentra la capa de encapsulante, típicamente hecha de acetato de vinilo-etileno (EVA). Su función es mantener las células solares en su lugar, proporcionar un enlace hermético entre las células y el vidrio, y proteger las células contra la humedad y las vibraciones mecánicas.

o **Características:** El EVA es un material transparente que, al ser calentado durante el proceso de laminación, se adhiere firmemente tanto al vidrio como a las células solares, formando una barrera protectora contra la penetración de agua y otros agentes externos. Es resistente a la radiación UV y al calor, lo cual es esencial, dado que las temperaturas dentro del módulo pueden alcanzar hasta 70°C durante su operación.

3. Capa Posterior: Lámina Posterior (Backsheet)

o **Función:** La capa posterior del módulo, conocida como la lámina posterior o backsheet, es crucial para proteger las células solares de la humedad y el daño mecánico. Esta capa es la barrera final contra los elementos ambientales y es clave para mantener la integridad eléctrica del módulo.

o **Características:** Este material debe ser resistente al calor y a la radiación UV, al mismo tiempo que actúa como un aislante eléctrico. Generalmente, está compuesta por polímeros como TPT (Tedlar-Poliéster-Tedlar) o TPE (Tedlar-Poliéster-Etileno). En módulos bifaciales, esta capa puede ser sustituida por una segunda capa de vidrio para permitir la captura de luz por ambas caras del módulo.

4. Capa de las Células Solares

o **Función:** La capa de las células solares es el corazón del módulo fotovoltaico, donde ocurre la conversión de la luz solar en electricidad. Las células están hechas de silicio, el material semiconductor más común en la industria fotovoltaica, y están interconectadas mediante hilos o cintas conductoras para formar un circuito eléctrico.

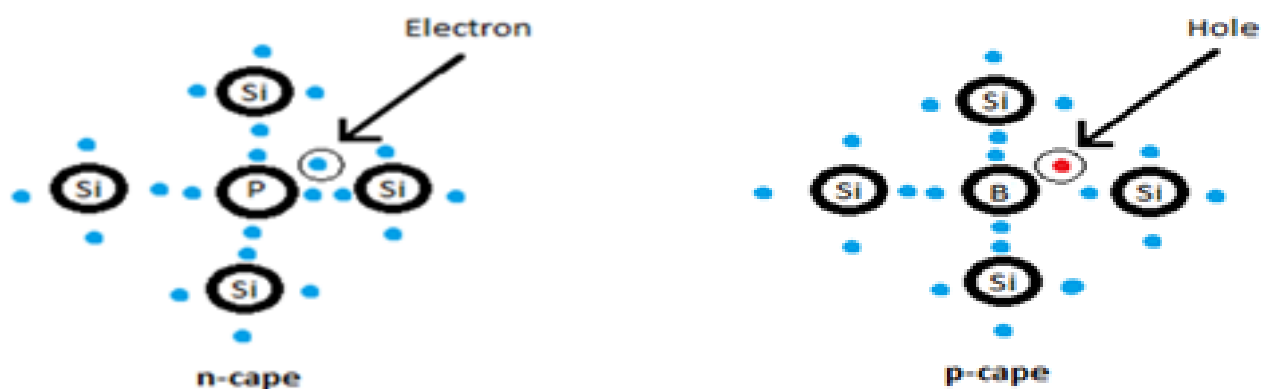
o **Características:** Esta capa está constituida por células que se organizan en serie y paralelo, dependiendo del diseño del módulo. Las células están encapsuladas para protegerlas de la degradación y garantizar su estabilidad operativa a lo largo del tiempo.

5. Capa P y Capa N de una Célula Fotovoltaica

o **Estructura Interna de una Célula Solar:** Una célula solar está compuesta principalmente por dos capas de silicio, conocidas como la capa P y la capa N.

Capa P: Esta es la capa cargada positivamente. Se forma mediante la dopación del silicio con boro, lo que introduce "huecos" electrónicos, o sitios donde un electrón puede ser aceptado. Estos huecos actúan como portadores de carga positiva.

Capa N: Esta es la capa cargada negativamente. Se forma mediante la dopación del silicio con fósforo, lo que añade electrones libres, que son portadores de carga negativa.



CAPAS P Y N DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

o **Junta PN:** En la interfaz entre la capa P y la capa N se forma la llamada junta PN. Cuando la luz solar incide sobre la célula, los fotones excitan los electrones en la capa N, haciéndolos moverse hacia la capa P. Este movimiento de electrones genera una corriente eléctrica, que puede ser recogida y utilizada para alimentar dispositivos eléctricos o almacenarse en baterías.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA.

El proceso por el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad es un fenómeno fascinante que se basa en las propiedades de los materiales semiconductores, principalmente el silicio. A continuación, se describe en detalle cada paso del proceso que sigue la radiación solar hasta transformarse en energía eléctrica.

1. CREACIÓN DE LA DIFERENCIA DE POTENCIAL

En una célula fotovoltaica, el material semiconductor (generalmente silicio) se trata para crear dos regiones distintas:

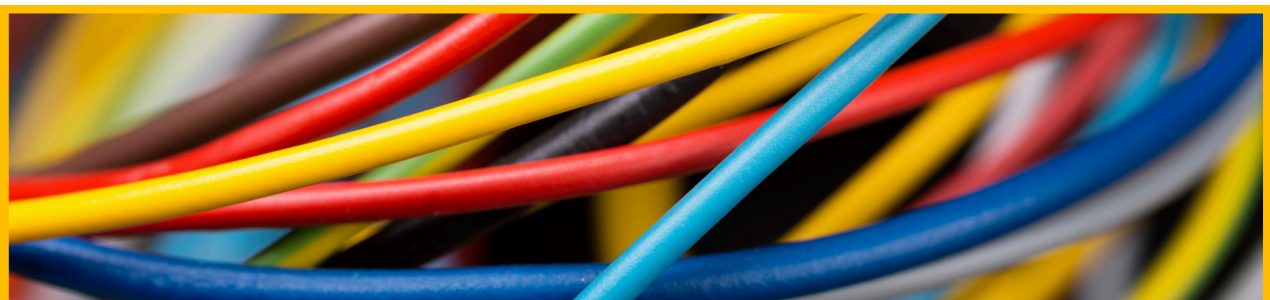
- **Capa N:** Se dopa con fósforo, lo que añade electrones adicionales, generando un exceso de carga negativa.
- **Capa P:** Se dopa con boro, lo que crea "huecos" o sitios donde faltan electrones, generando un exceso de carga positiva.

En la interfaz entre estas dos capas se forma una junta PN. Esta interfaz crea un campo eléctrico debido a la diferencia de potencial entre las cargas positivas (en la capa P) y las negativas (en la capa N). Este campo eléctrico es crucial, ya que actúa como una especie de diodo que permite que los electrones se muevan en una sola dirección: desde la capa N hacia la capa P.

2. SUPERAR LA BANDA DE CONDUCCIÓN

Para que los electrones se muevan de la capa N a la capa P, deben ganar suficiente energía para superar una barrera energética conocida como banda de conducción. En el silicio, esta banda representa la cantidad de energía que un electrón debe adquirir para liberarse de su átomo y moverse libremente dentro del material semiconductor.

Esta energía necesaria se denomina energía de activación. En el caso del silicio, la energía necesaria para que un electrón supere la banda de conducción es de aproximadamente 1,1 electronvoltios (eV).



3. ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE LOS FOTONES

La radiación solar está compuesta por fotones, que son partículas de luz que transportan energía. Cuando los fotones inciden sobre la célula fotovoltaica, algunos de ellos tienen suficiente energía (es decir, una energía mayor o igual a 1,1 eV) para excitar a los electrones en la capa N, proporcionándoles la energía necesaria para superar la banda de conducción.

Cuando un fotón con la energía adecuada golpea un electrón, este último se libera de su átomo en la capa N y se vuelve un electrón libre. Este electrón libre ahora puede moverse a través del material semiconductor hacia la capa P, impulsado por el campo eléctrico de la junta PN.

4. CREACIÓN DE UNA CORRIENTE DE ELECTRONES

Una vez que los electrones libres cruzan la junta PN y entran en la capa P, dejan atrás un "hueco" en la capa N, que actúa como una carga positiva móvil. Este movimiento de electrones hacia la capa P y de huecos hacia la capa N genera un flujo continuo de cargas, es decir, una corriente eléctrica dentro de la célula.

El campo eléctrico presente en la junta PN asegura que este flujo de electrones se dirija siempre en la misma dirección, lo que permite que se mantenga una corriente continua (DC) dentro del circuito eléctrico.

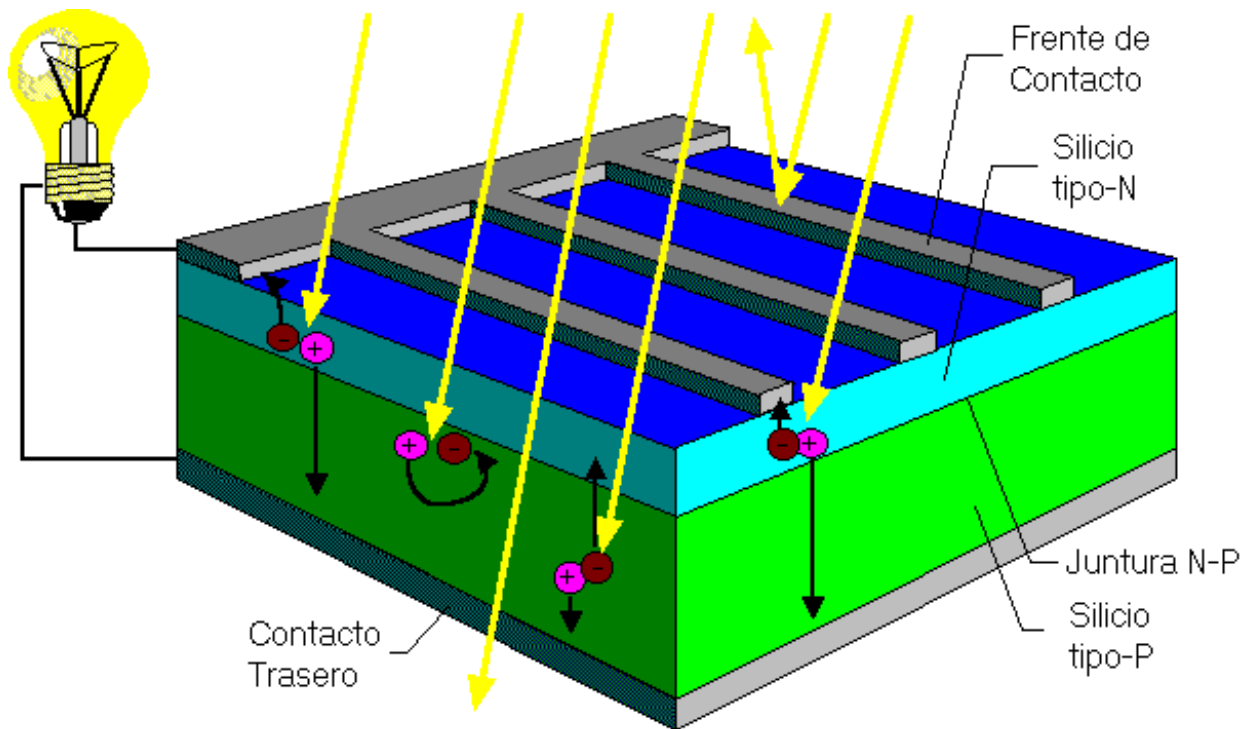
5. GENERACIÓN DE CORRIENTE CONTINUA (DC)

El flujo de electrones que se genera a través de la célula fotovoltaica crea una corriente continua (DC). La magnitud de esta corriente y el voltaje generado dependen de varios factores:

- **Intensidad de la radiación solar:** Mayor cantidad de fotones incidiendo sobre la célula genera más electrones libres y, por tanto, una corriente mayor.
- **Área de la célula:** Un área más grande permite capturar más fotones, aumentando la generación de electricidad.
- **Eficiencia de la célula:** La capacidad de la célula para convertir la luz en electricidad, medida en porcentaje, determina cuánta de la energía solar incidente se convierte en energía eléctrica.

Una célula fotovoltaica típica de silicio monocristalino genera un voltaje de aproximadamente 0,5 a 0,6 V. Para obtener un voltaje mayor, se conectan varias células en serie dentro de un módulo fotovoltaico.

Al conectar varios módulos fotovoltaicos en serie y paralelo dentro de un panel solar o un sistema solar completo, se puede obtener la tensión e intensidad necesarias para aplicaciones específicas, como alimentar una casa, cargar una batería o inyectar energía en la red eléctrica.



FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

El siguiente video de SciTOONS puede ayudarte a entender mejor el funcionamiento de las células.



<https://www.youtube.com/watch?reload=9&app=desktop&v=UJ8XW9AgUrw>

DIFERENCIAS ENTRE LOS TÉRMINOS CÉLULA FV, MÓDULO FV, STRING FV Y ARRAY FV

En la tecnología fotovoltaica, es crucial entender la diferencia entre varios términos que describen las distintas etapas y configuraciones en la conversión de la radiación solar en electricidad.

Desde la unidad mínima, que es la célula fotovoltaica (célula FV), hasta la estructura más grande, que es el array fotovoltaico (array FV), cada componente juega un papel específico en el proceso de generación de energía eléctrica.

A continuación, se detallan las características y funciones de cada uno de estos términos:

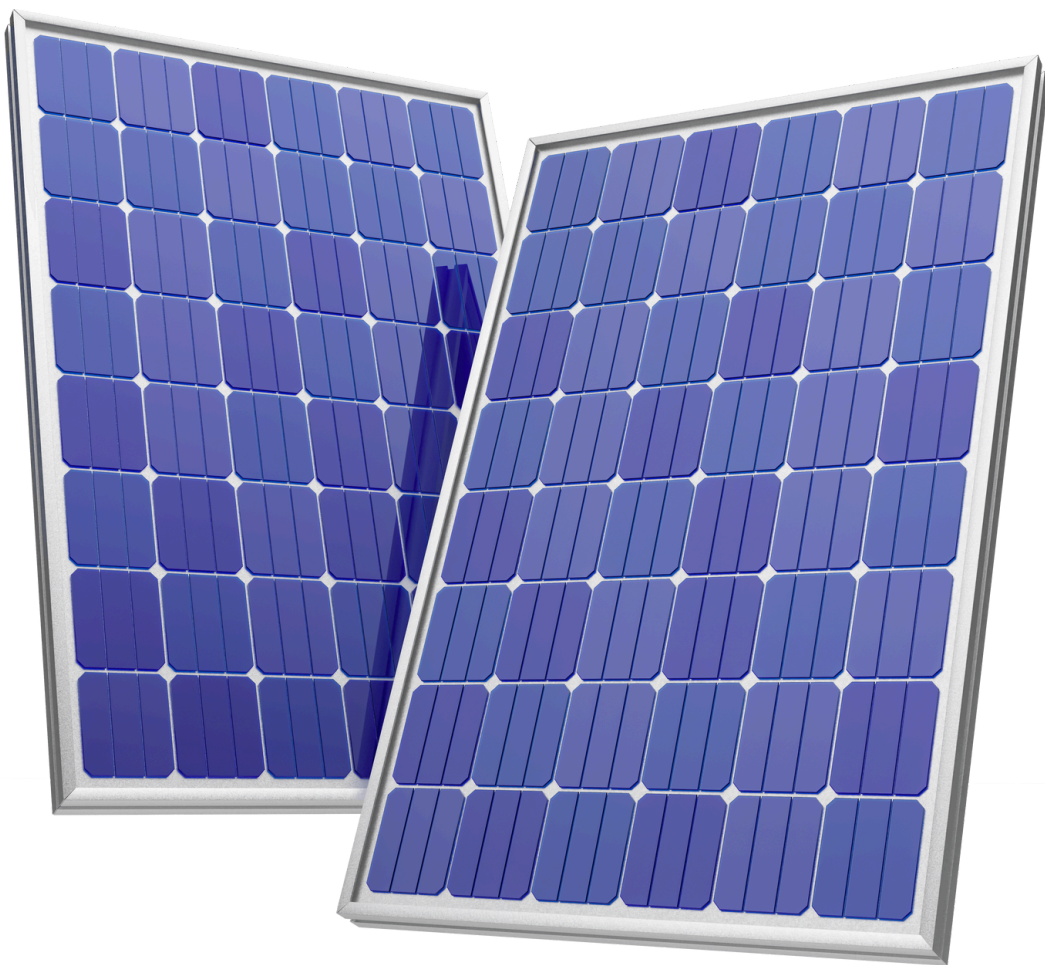
1. Célula Fotovoltaica (Célula FV)

- **Definición:** La célula fotovoltaica es la unidad mínima en un sistema fotovoltaico capaz de convertir la radiación solar en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. Es un dispositivo semiconductor, generalmente hecho de silicio, que genera una pequeña cantidad de corriente continua (DC) cuando es expuesto a la luz solar.
- **Funcionamiento:** Cada célula FV está compuesta por capas de materiales semiconductores con una unión PN que, al recibir la luz solar, permite la liberación de electrones y genera una corriente eléctrica. La cantidad de energía que una célula individual puede producir es limitada, por lo que se suelen agrupar en mayor número para aumentar su capacidad de generación de energía.
- **Aplicación:** Las células FV son la base de los módulos fotovoltaicos. Se ensamblan en serie y en paralelo para crear configuraciones que maximicen la producción de energía en función del diseño del módulo.



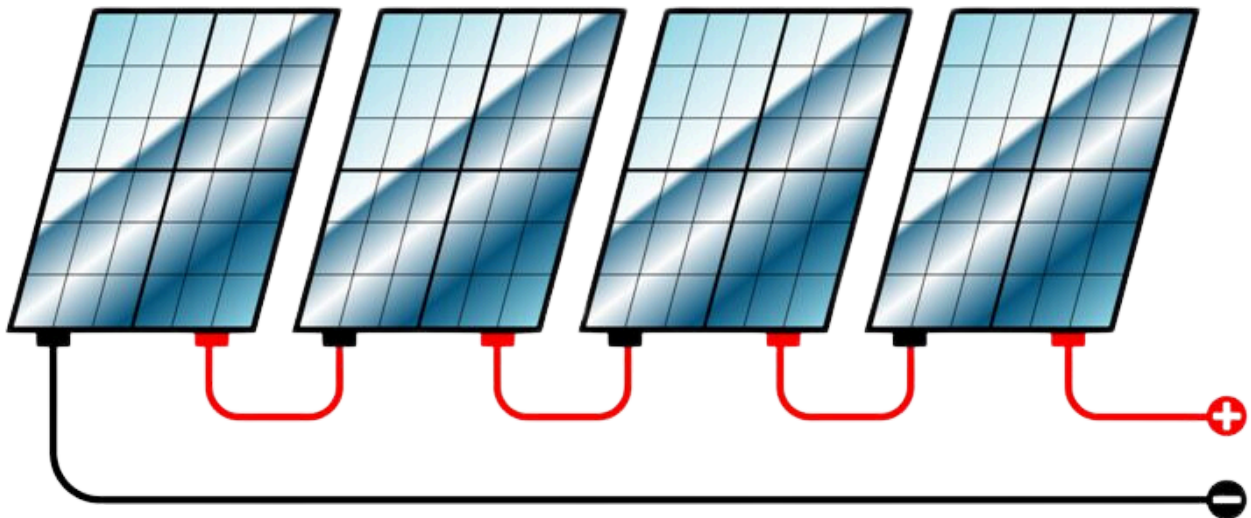
2. Módulo Fotovoltaico (Módulo FV)

- **Definición:** Un módulo fotovoltaico es un conjunto de células FV conectadas entre sí en serie y paralelo, encapsuladas y protegidas dentro de una estructura robusta. Los módulos FV son comúnmente conocidos como paneles solares y son la unidad práctica más utilizada en instalaciones solares para la generación de electricidad.
- **Configuración:** Los módulos fotovoltaicos comerciales suelen estar compuestos por 60, 72, 96, 120 o 144 células, dependiendo del diseño y la aplicación. La conexión en serie de las células dentro del módulo aumenta la tensión de salida, mientras que la conexión en paralelo incrementa la corriente generada.
- **Potencia:** La potencia de un módulo FV depende del número y tipo de células que lo componen, así como de la eficiencia de estas células. Los módulos actuales pueden tener potencias que van desde 250 W hasta más de 700 W.



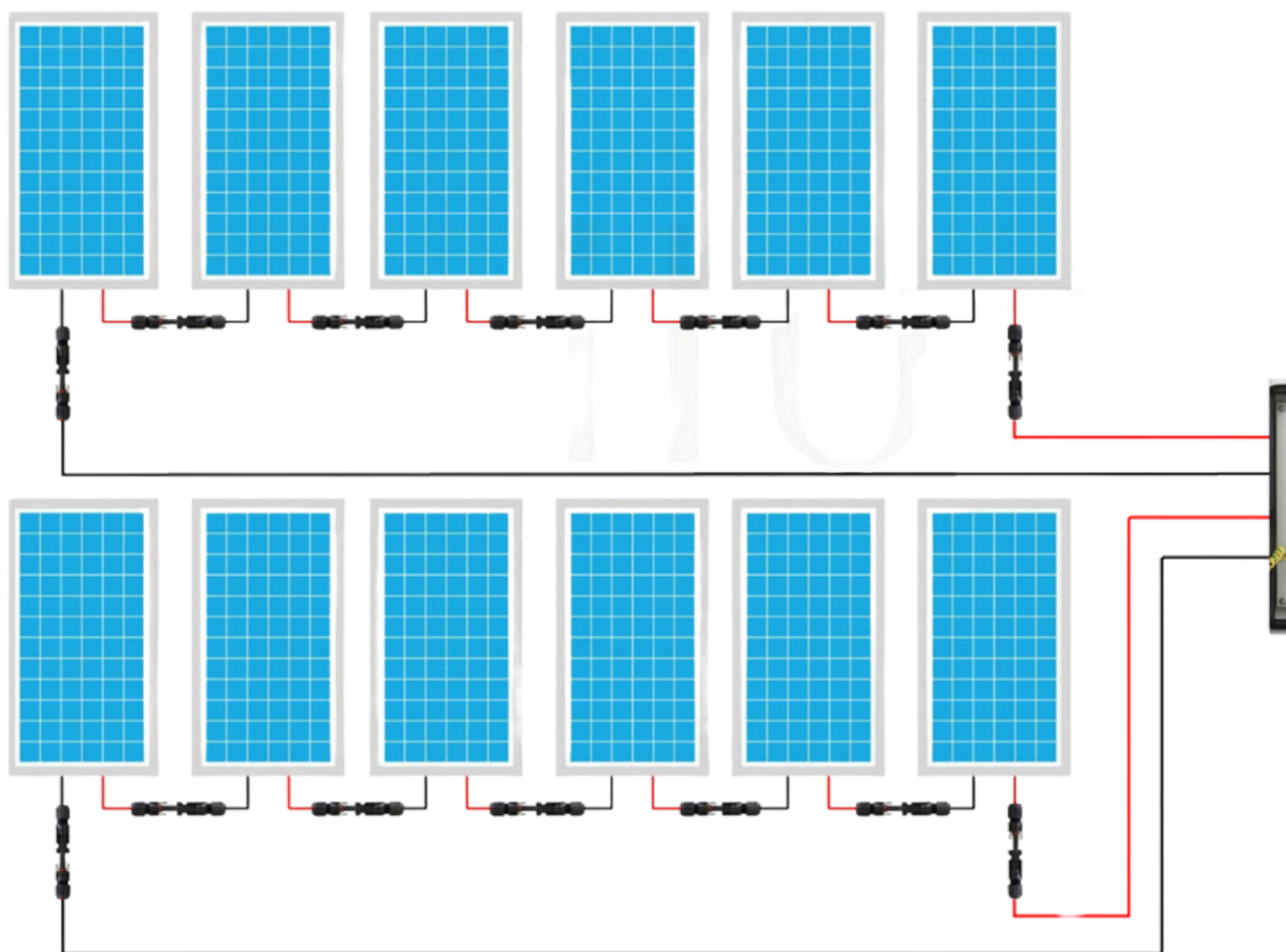
3. String Fotovoltaico (String FV)

- **Definición:** Un string fotovoltaico es un conjunto de módulos fotovoltaicos conectados en serie. Esta disposición permite sumar las tensiones de cada módulo para obtener una tensión más alta en el string, adecuada para alimentar inversores o para su conexión directa a un sistema eléctrico.
- **Configuración:** Los strings FV suelen estar compuestos por un número específico de módulos que se conectan en serie, lo que significa que el voltaje total del string es la suma de los voltajes de todos los módulos individuales, mientras que la corriente del string es igual a la corriente de un solo módulo.
- **Aplicación:** Los strings FV son una parte crucial de las instalaciones solares. La cantidad de módulos en un string depende de factores como el voltaje del sistema, el tipo de inversor utilizado y las condiciones climáticas locales.



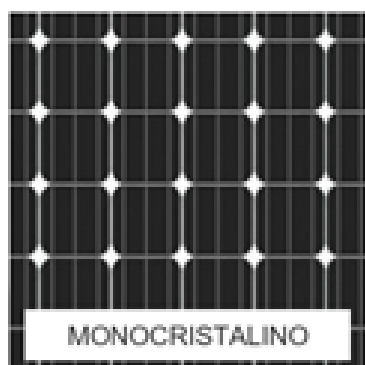
4. Array Fotovoltaico (Array FV)

- **Definición:** Un array fotovoltaico es la estructura más grande en un sistema solar, compuesta por múltiples strings FV conectados en paralelo. Esta configuración permite sumar las corrientes generadas por cada string, manteniendo el voltaje constante, y maximiza la capacidad de generación de energía.
- **Configuración:** Los arrays FV son fundamentales en instalaciones solares a gran escala, como las plantas solares. La conexión en paralelo de los strings permite manejar mayores corrientes y suministrar electricidad a grandes inversores o directamente a la red eléctrica.
- **Aplicación:** Los arrays FV son utilizados en aplicaciones comerciales e industriales, donde se requiere una gran cantidad de energía eléctrica. Son diseñados para optimizar el espacio disponible y maximizar la producción de energía mediante la disposición adecuada de los módulos y strings.



TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

En el mercado actual de la energía solar, existen varios tipos de módulos fotovoltaicos que se diferencian principalmente por el tipo de célula que utilizan. Las tecnologías más comunes son las basadas en silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo.



MÓDULOS DE SILICIO MONOCRISTALINO

Los módulos de silicio monocristalino continúan siendo los más eficientes y populares en el mercado. En 2024, la eficiencia de conversión lumínica de estos módulos ha mejorado aún más, alcanzando tasas de hasta el 22-24% en los productos más avanzados. Esta mejora en la eficiencia es resultado de avances en la tecnología de fabricación, como el uso de celdas PERC (Passivated Emitter and Rear Cell), tecnologías de heterounión (HJT), y mejoras en la pureza del silicio.

En cuanto a los costos, la producción masiva y las mejoras en los procesos de fabricación han permitido una reducción significativa en el precio de los módulos monocristalinos. En 2024, los precios oscilan entre 12 y 20 cent€/W, dependiendo del fabricante y de la tecnología específica utilizada en los módulos. Esta disminución en los precios, junto con la alta eficiencia, ha consolidado a los módulos monocristalinos como la opción dominante en la mayoría de las aplicaciones solares, tanto residenciales como comerciales e industriales.



MÓDULOS DE SILICIO POLICRISTALINO

Aunque los módulos de silicio policristalino han sido superados por los monocristalinos en términos de eficiencia, siguen siendo una opción viable en algunos mercados, especialmente en instalaciones donde el coste inicial es un factor determinante. En 2024, la eficiencia de estos módulos se sitúa entre el 18 y el 21%, ligeramente inferior a la de los módulos monocristalinos pero suficiente para muchas aplicaciones.

El costo de los módulos policristalinos ha continuado disminuyendo, situándose actualmente entre 10 y 15 cent€/W. Sin embargo, la brecha de precio entre los módulos monocristalinos y policristalinos se ha reducido, lo que ha llevado a una disminución en la cuota de mercado de los policristalinos, ya que muchos desarrolladores de proyectos prefieren pagar un poco más por la mayor eficiencia y el mejor rendimiento a largo plazo de los monocristalinos.



MÓDULOS DE SILICIO AMORFO

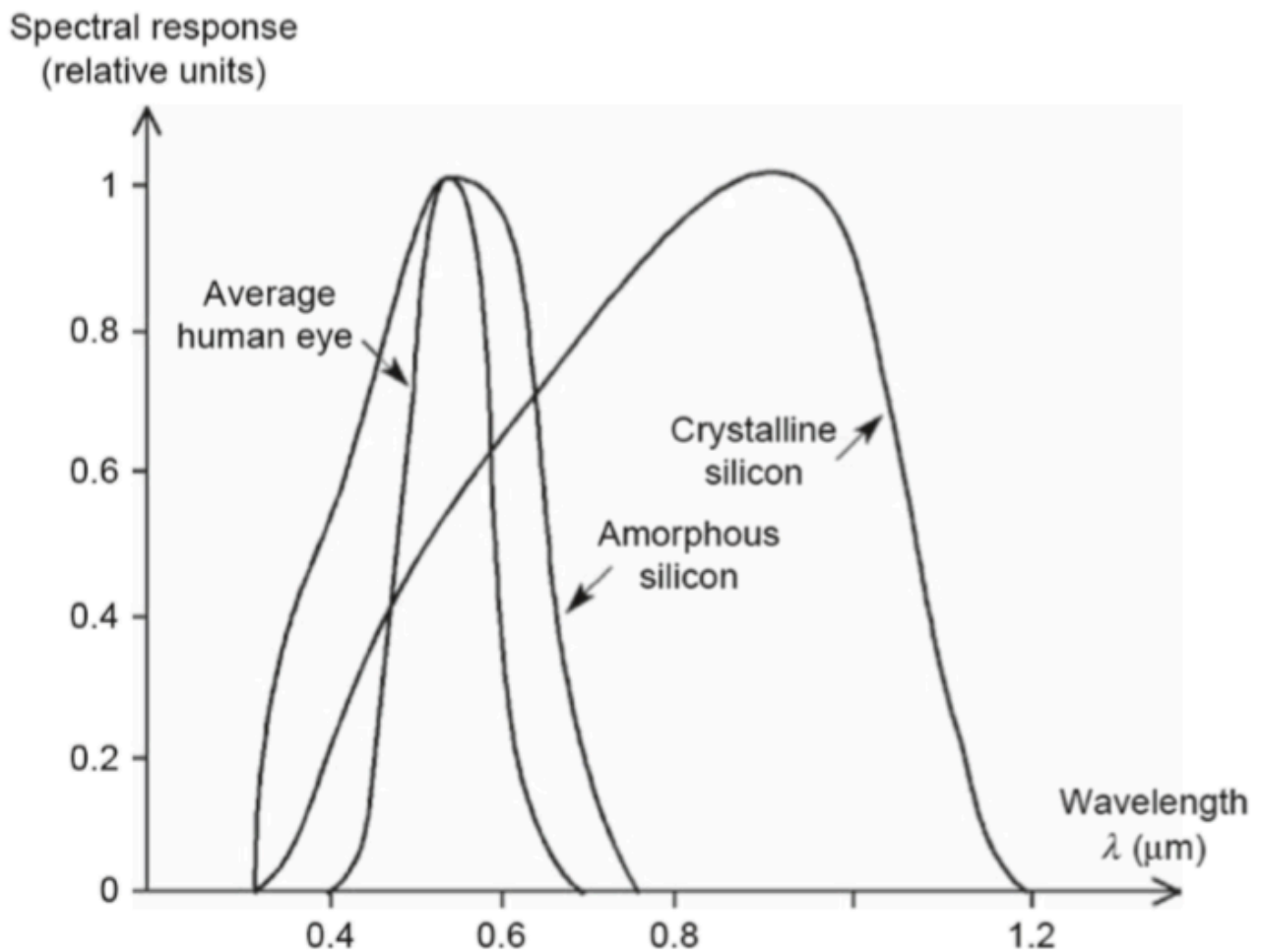
Los módulos de silicio amorfo, que representan una tecnología de película delgada, siguen siendo los menos eficientes entre las tecnologías fotovoltaicas basadas en silicio. En 2024, la eficiencia de los módulos de silicio amorfo ha mejorado ligeramente, alcanzando alrededor del 10 al 13%. Estos módulos son particularmente útiles en aplicaciones específicas donde se valora la flexibilidad, el peso ligero y el bajo costo más que la eficiencia energética.

El costo de los módulos de silicio amorfo en 2024 sigue siendo el más bajo de los tres tipos principales, situándose entre 8 y 10 cent€/W. Esta tecnología es utilizada principalmente en aplicaciones donde el costo es el principal factor decisivo y donde se pueden aceptar menores tasas de conversión, como en ciertas instalaciones fuera de la red o en productos electrónicos integrados.

Respuesta Espectral y Capacidad de Absorción

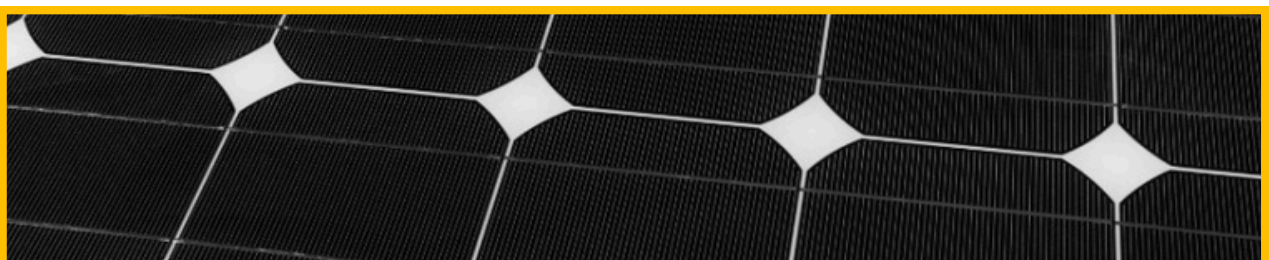
Los módulos de silicio monocristalino y policristalino continúan ofreciendo una capacidad de absorción espectral más amplia en comparación con los módulos de silicio amorfo. Esto les permite capturar una mayor cantidad de energía del espectro solar, incluyendo parte de la radiación infrarroja, lo que contribuye a su mayor eficiencia y producción de energía. Los avances tecnológicos han permitido que incluso en condiciones de baja luz o luz difusa, los módulos monocristalinos en particular mantengan un rendimiento superior, lo que los hace ideales para una amplia variedad de condiciones ambientales y geográficas.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento comentado.



RESPUESTA ESPECTRAL DE LOS TIPOS DE CÉLULAS

En resumen, en 2024, los módulos de silicio monocristalino se destacan como la opción preferida en la mayoría de las aplicaciones solares debido a su alta eficiencia, costos cada vez más competitivos y rendimiento confiable. Los módulos policristalinos, aunque todavía utilizados, están viendo una disminución en su cuota de mercado, mientras que los módulos de silicio amorfo siguen siendo relevantes en nichos específicos donde su bajo costo y otras propiedades distintivas son valoradas.





NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PANEL EN DESARROLLO.



Previamente

El sector de la energía solar ha experimentado un rápido avance tecnológico en los últimos años, impulsado por la necesidad de mejorar la eficiencia, reducir costos y maximizar la producción de energía. En 2024, varias tecnologías innovadoras han ganado protagonismo en el diseño y fabricación de módulos fotovoltaicos. Estas tecnologías incluyen módulos de célula partida, bifaciales, y tecnologías avanzadas de celdas como HJT (Heterounión), TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact), PERC (Passivated Emitter and Rear Cell), células de tipo N, e IBC (Interdigitated Back Contact). A continuación, se describe en detalle cada una de estas tecnologías y su impacto en la industria solar.

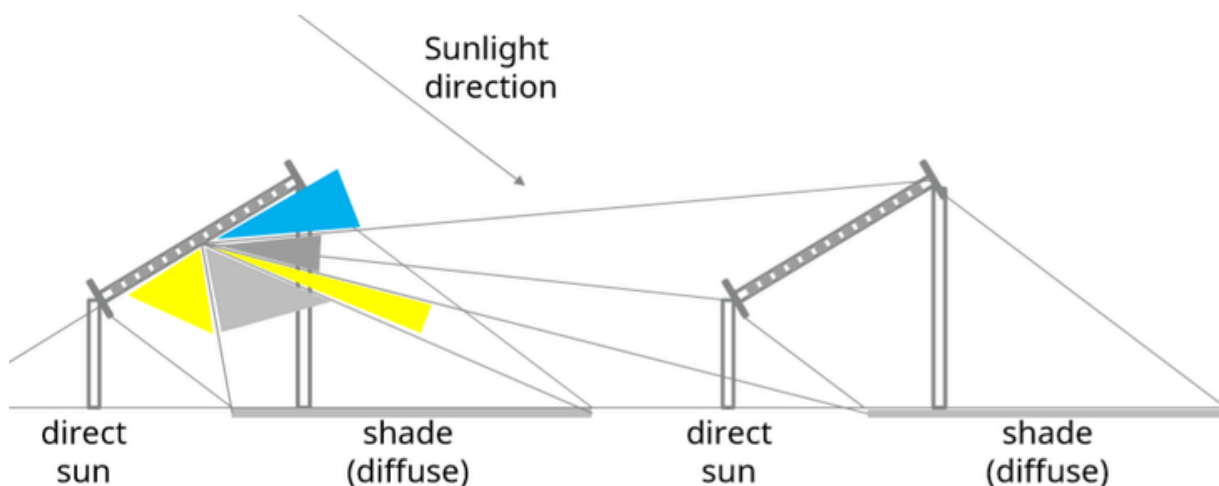
Módulos de Célula Partida (Half-Cell)

Los módulos de célula partida, o half-cell, representan una innovación significativa en el diseño de módulos fotovoltaicos. En estos módulos, las células solares tradicionales se cortan por la mitad, lo que reduce la corriente que circula por cada célula y disminuye las pérdidas resistivas. Esta técnica también mejora la durabilidad del módulo al hacer que sea menos susceptible a puntos calientes.

Los módulos de célula partida ofrecen varias ventajas, incluyendo un ligero aumento en la eficiencia (generalmente un 2-3% más en comparación con las células completas), mejor rendimiento en condiciones de sombreado parcial y mayor fiabilidad a largo plazo. Además, su diseño permite una mayor flexibilidad en la instalación, ya que los módulos pueden seguir generando electricidad incluso si una parte está sombreada. Esta tecnología es ampliamente adoptada en la mayoría de los módulos modernos de alta eficiencia.

Módulos Bifaciales

Los módulos bifaciales son una tecnología que permite captar la luz solar por ambas caras del módulo, en lugar de solo por la parte frontal, como en los módulos tradicionales. Esto se logra utilizando una capa posterior de vidrio o materiales transparentes en lugar de una lámina opaca, lo que permite que la luz reflejada desde el suelo u otras superficies sea absorbida por la parte trasera del módulo.



La capacidad de los módulos bifaciales para generar electricidad desde ambas caras puede aumentar la producción de energía entre un 10% y un 30% en comparación con los módulos monofaciales, dependiendo del albedo (capacidad de reflejar luz) de la superficie bajo el módulo. Estos módulos son ideales para instalaciones en terrenos reflectantes, como desiertos o superficies cubiertas de nieve, y están siendo cada vez más utilizados en grandes plantas solares y en aplicaciones comerciales.

Tecnología HJT (Heterounión)

La tecnología HJT (Heterounión) combina las ventajas del silicio cristalino con las propiedades de las células solares de película delgada. En un módulo HJT, las células solares están formadas por una capa de silicio monocristalino (usualmente tipo N) entre dos capas de silicio amorfo. Esta estructura en capas mejora significativamente la eficiencia y reduce las pérdidas por recombinación de electrones.

Los módulos HJT pueden alcanzar eficiencias de hasta 25-26% y tienen una excelente respuesta a bajas irradiancias y temperaturas elevadas, lo que los hace ideales para climas cálidos y soleados. Además, esta tecnología es compatible con el diseño de módulos bifaciales, permitiendo una maximización adicional de la generación de energía. Aunque los costos de fabricación de HJT han sido históricamente altos, la reducción gradual de estos costos está impulsando una mayor adopción de esta tecnología.

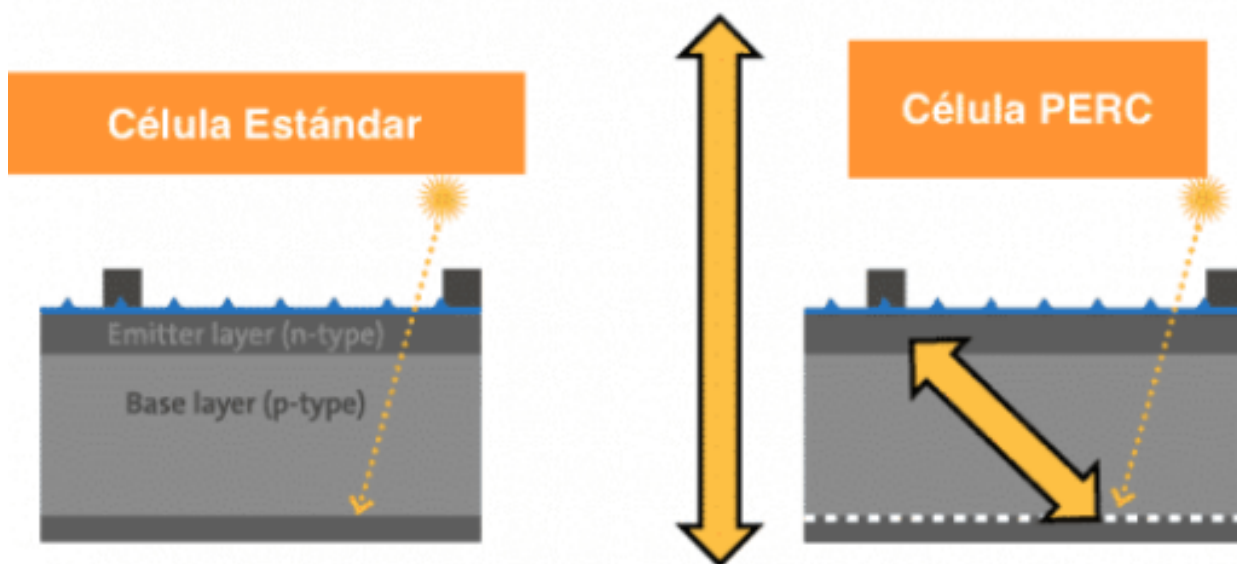
Tecnología TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact)

La tecnología TOPCon es una evolución de la tecnología PERC y se centra en la mejora de los contactos eléctricos en las células solares para reducir las pérdidas y aumentar la eficiencia. En las células TOPCon, se añade una capa de óxido túnel entre el silicio y los contactos metálicos, lo que mejora la pasivación de la superficie y reduce la recombinación de electrones.

Esta mejora en la pasivación permite a las células TOPCon alcanzar eficiencias cercanas al 26%, situándolas entre las tecnologías de mayor rendimiento disponibles en la actualidad. TOPCon es una tecnología que está ganando terreno rápidamente, especialmente en el ámbito de las celdas tipo N, debido a su capacidad para mejorar tanto la eficiencia como la longevidad del módulo.

Tecnología PERC (Passivated Emitter and Rear Cell)

La tecnología PERC, que ha sido una de las más importantes innovaciones en la última década, sigue siendo ampliamente utilizada en 2024. PERC mejora la eficiencia de las células solares al añadir una capa adicional en la parte posterior de la célula que refleja la luz no absorbida de vuelta a la célula para su reabsorción, aumentando así la cantidad de electricidad generada.



Los módulos PERC pueden alcanzar eficiencias de hasta 22-23% en configuraciones monocristalinas y siguen siendo una opción popular debido a su equilibrio entre costo y rendimiento. La tecnología PERC ha sido un precursor para otras innovaciones, como TOPCon, y sigue evolucionando para ofrecer mejores rendimientos a un costo competitivo.

Células de Tipo N

Las células solares de tipo N utilizan silicio dopado con fósforo, lo que les confiere una carga negativa predominante. Estas células son menos propensas a la degradación inducida por la luz (LID) y a la degradación por alta temperatura (PID), problemas comunes en las células de tipo P (dopadas con boro). Como resultado, los módulos de tipo N tienden a ser más duraderos y mantienen su eficiencia a lo largo del tiempo mejor que los módulos de tipo P.

Además, las células de tipo N son más compatibles con tecnologías avanzadas como HJT y TOPCon, lo que permite alcanzar eficiencias superiores al 24-26%. Esta tecnología está ganando popularidad en aplicaciones que requieren una alta fiabilidad y eficiencia a largo plazo, especialmente en climas extremos.

Tecnología IBC (Interdigitated Back Contact)

La tecnología IBC (Interdigitated Back Contact) es una de las más avanzadas en la actualidad. En los módulos IBC, todos los contactos eléctricos se colocan en la parte posterior de la célula solar, lo que elimina las sombras en la parte frontal de la célula y permite una mayor captación de luz. Esto resulta en una eficiencia superior, con algunos módulos IBC alcanzando eficiencias de hasta 25-26%.

Los módulos IBC son especialmente apreciados por su alto rendimiento estético, ya que la ausencia de contactos visibles en la parte frontal les da un aspecto más limpio y uniforme. Aunque más costosa de fabricar, la tecnología IBC es ideal para instalaciones donde la estética y la máxima eficiencia son prioritarias, como en proyectos arquitectónicos y en aplicaciones de alto rendimiento.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

3.3.1. ¿Cuál de los siguientes elementos es imprescindible en una instalación fotovoltaica?

- a. Inversores solares
- b. Paneles solares
- c. Baterías

3.3.2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a. Un array es un conjunto de strings en serie.
- b. Un string es un conjunto de módulos en serie.
- c. Un módulo FV es un conjunto de células en paralelo.

3.3.3. ¿Qué tecnología de módulos tiene un mayor rendimiento?

- a. Silicios monocristalinos.
- b. Silicios policristalinos
- c. Amorfos.

3.3.4. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los módulos bifaciales es incorrecta?

- a. Son capaces de absorber la radiación por ambas caras.
- b. Producen una mayor cantidad de energía que los monocristalinos.

La cantidad de radiación que sea capaz de absorber la cara trasera no dependerá de la radiación difusa y la radiación reflejada que sea capaz de incidir sobre esta cara.



COMO ENTENDER LA HOJA DE CARACTERÍSTICAS DE UN PANEL SOLAR

La gran variedad de módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado hace que sea esencial entender y seleccionar el panel adecuado para cualquier instalación solar. Conocer las especificaciones técnicas de un panel es crucial para aprovechar sus ventajas y maximizar su rendimiento. Esta información se encuentra en la hoja de características del módulo, también conocida como datasheet, la cual proporciona detalles esenciales sobre las capacidades y limitaciones del panel.

Por lo general, un datasheet de un módulo solar está compuesto por dos páginas en las que se detallan diversas características del panel. Para ilustrar esto, consideremos un datasheet de un panel solar como el Jinko Swan Bifacial 72H 380-400W.

1

Swan Bifacial 72H 380-400 vatios
MÓDULO MONOCRISTALINO

Tolerancia de potencia positiva 0~+3 %

ISO9001:2008, ISO14001:2004, OHSAS18001
certificados en fábrica

Productos certificados IEC61215, IEC61730

PERC

2

CARACTERÍSTICAS CLAVE

- SIN PID:** La posibilidad de generación del efecto PID se reduce enormemente gracias a su diseño exclusivo de rejilla.
- Mayor rendimiento de potencia de por vida:** Degradación de potencia anual del 0.5 %
Garantía de potencia lineal de 30 años
- Ahorro en el coste del BOS:** Diseñado para sistemas de alto tensión de hasta 1500 V DC, con un ahorro en el coste del BOS.
- Mayor potencia:** La potencia del módulo aumenta generalmente de un 3-23 % (por cada condición de reflexión).
- Mejor rendimiento con baja luminosidad:** Excelente rendimiento en entornos de baja luminosidad (n.º, nubes, niebla, etc.).
- Soporte mecánico reforzado:** Carga de nieve de 5400 Pa, carga de viento de 2400 Pa.

3

Garantía del producto de 12 años - Garantía de potencia lineal de 30 años
Degradación anual en un periodo de 30 años de 0.5 %

4

Dibujos técnicos

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura

Curvas de intensidad luminosa y rendimiento

Dependencia de la temperatura de la potencia

Características mecánicas

Tipo de célula: Monocristalina (20.7% ± 10.7 mm)

Nº de células: 144 (6x24)

Dimensiones: 2026x1052x30 mm (79.8x41.4x1.18 in)

Peso: 26.5 kg (58.3 lb)

Vidrio frontal: Vidrio reforzado térmicamente de 2.5 mm, alta transmisión, capa antirreflejante

Vidrio posterior: Vidrio reforzado térmicamente de 2.5 mm

Capa de conexiones: Certificación IP67

Capas de cables: 1x14 (4x4) mm²

Cables de cables: 1x14 AWG, 1x14 AWG, 1x14 AWG, 1x14 AWG

Configuración de embalaje

Una pieza por paquete

32 ud./paquete, 64 ud./paquete, 128 ud./paquete, 256 ud./paquete

5

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JMK6000A-72H-B01P	JMK6000B-72H-B01P	JMK6000C-72H-B01P	JMK6000D-72H-B01P	JMK6000E-72H-B01P
	380W	385W	390W	395W	400W
Potencia nominal (P _{max})	380W	385W	390W	395W	400W
Tensión en el punto P _{max} (V _{MPP})	40.0V	40.5V	41.0V	41.5V	42.0V
Corriente en el punto P _{max} (I _{MPP})	9.50A	9.55A	9.60A	9.65A	9.70A
Tensión en circuito abierto (V _{OC})	47.0V	47.5V	48.0V	48.5V	49.0V
Corriente de cortocircuito (I _{SC})	9.98A	10.03A	10.08A	10.13A	10.18A
Eficiencia del módulo (%)	19.14%	19.24%	19.34%	19.44%	19.54%
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C
Tensión máxima del sistema	1500VDC (IEC)	1500VDC (IEC)	1500VDC (IEC)	1500VDC (IEC)	1500VDC (IEC)
Valores máximos recomendados de los fusibles	20A	20A	20A	20A	20A
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%	0~+3%	0~+3%	0~+3%	0~+3%
Coefficiente de temperatura de P _{max}	-0.36%/°C	-0.36%/°C	-0.36%/°C	-0.36%/°C	-0.36%/°C
Coefficiente de temperatura de V _{OC}	-0.26%/°C	-0.26%/°C	-0.26%/°C	-0.26%/°C	-0.26%/°C
Coefficiente de temperatura de I _{SC}	0.06%/°C	0.06%/°C	0.06%/°C	0.06%/°C	0.06%/°C
Temperatura operacional nominal de célula	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C	45±2°C
Ref. Sector bifacial	70%	70%	70%	70%	70%

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

	380W	385W	390W	395W	400W
8%	380W	385W	390W	395W	400W
10%	380W	385W	390W	395W	400W
12%	380W	385W	390W	395W	400W
14%	380W	385W	390W	395W	400W
16%	380W	385W	390W	395W	400W
18%	380W	385W	390W	395W	400W
20%	380W	385W	390W	395W	400W
22%	380W	385W	390W	395W	400W
24%	380W	385W	390W	395W	400W
26%	380W	385W	390W	395W	400W
28%	380W	385W	390W	395W	400W
30%	380W	385W	390W	395W	400W

* STC: Irradiación 1000 W/m², Temperatura de las células 25 °C, AM=1.5
 NOCT: Irradiación 800 W/m², Temperatura de las células 20 °C, AM=1.5, Velocidad del viento 1 m/s
 * Tolerancia de medición de potencia ± 3 %
 La empresa se reserva el derecho final de explicar cualquiera de los datos aquí incluidos. JMK6000-72H-B01P-A2-GP

DATASHEET MÓDULOS JINKO SOLAR

92

Al analizar un datasheet de un panel solar, se pueden identificar cinco secciones clave:

1. Nombre del panel, número de células, potencia y certificados: Esta sección proporciona una identificación básica del módulo, incluyendo el nombre del modelo, el número de células solares que contiene, la potencia nominal y los certificados de conformidad con normas internacionales.

2. Características destacadas del módulo: Aquí se resaltan las características más importantes del panel, como su eficiencia, capacidad bifacial (si aplica), resistencia a condiciones climáticas adversas, entre otros aspectos clave que diferencian al módulo en el mercado.

3. Garantía de rendimiento del panel: En esta sección se describe la garantía que ofrece el fabricante sobre el rendimiento del panel a lo largo del tiempo, incluyendo la degradación anual esperada y la producción mínima garantizada al final de la vida útil del módulo.

4. Datos estructurales y curvas V-I del módulo: Esta parte incluye las dimensiones físicas del panel, su peso, materiales de construcción, y las gráficas de las curvas V-I (voltaje-corriente), que muestran cómo se comporta el módulo bajo diferentes condiciones de operación.

5. Datos técnicos del módulo: Aquí se encuentran los parámetros eléctricos y térmicos que describen el rendimiento del panel bajo condiciones específicas.



PARÁMETROS TÉCNICOS CLAVE EN LA HOJA DE CARACTERÍSTICAS

Al enfocarse en la sección de datos técnicos, es fundamental comprender los siguientes parámetros, que determinan el rendimiento del módulo:

- **Potencia nominal (P_{max}):** Es la cantidad de energía que el módulo puede generar por unidad de tiempo bajo condiciones estándar. Se mide en vatios (W).
- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}):** Este valor indica el voltaje en el cual el producto de la tensión por la corriente (potencia) es máximo. Se identifica en la curva V-I del panel.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}):** Similar al V_{mpp} , este valor indica la corriente en el punto donde la potencia es máxima.
- **Tensión en circuito abierto (V_{oc}):** Es la máxima tensión que el módulo puede proporcionar cuando no hay corriente fluyendo (circuito abierto).
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** Representa la máxima corriente que el módulo puede producir cuando los terminales están en cortocircuito (sin resistencia externa).
- **Eficiencia del módulo:** Es la relación entre la energía solar que incide sobre el panel y la cantidad de esa energía que se convierte en electricidad. Se expresa en porcentaje.
- **Temperatura de funcionamiento:** Indica el rango de temperaturas en las cuales el módulo puede operar de manera segura y eficiente.
- **Tensión máxima del sistema:** Este parámetro define la máxima tensión que las protecciones y componentes internos del módulo pueden soportar sin sufrir daños.
- **Coeficientes de temperatura (P_{max} , V_{oc} , I_{sc}):** Estos coeficientes indican cómo varían la potencia, tensión y corriente del módulo con los cambios de temperatura. Son esenciales para calcular el rendimiento del panel en condiciones distintas a las estándar.

Condiciones de Medición: STC y NOCT

Los parámetros mencionados se miden bajo dos conjuntos de condiciones estándar:

- **STC (Condiciones Estándar de Prueba):** Corresponden a una temperatura de célula de 25°C, irradiancia de 1000 W/m² y una masa de aire (Air Mass) de 1,5. Estas condiciones son ideales y no necesariamente reflejan el rendimiento real en el campo.
- **NOCT (Temperatura Nominal de Funcionamiento de la Célula):** Estas condiciones son más representativas del rendimiento real en condiciones operativas, con una temperatura de célula de 20°C, irradiancia de 800 W/m², masa de aire de 1,5 y una velocidad del viento de 1 m/s.

Para ajustar los cálculos del rendimiento del panel a las condiciones reales de operación, se deben utilizar los coeficientes de temperatura proporcionados en el datasheet.



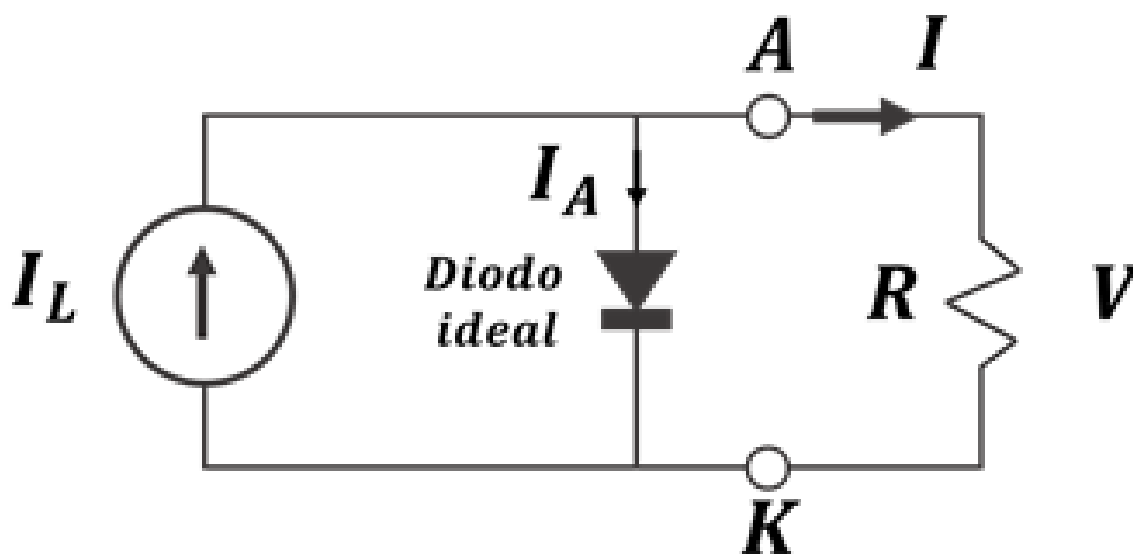
ENTENDER LA CURVA DE CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

La curva de características de un módulo fotovoltaico es una representación gráfica esencial que describe cómo se comporta el módulo bajo diferentes condiciones de operación. Esta curva, comúnmente conocida como la curva V-I (voltaje-corriente), es fundamental para comprender los puntos de operación del panel y maximizar su eficiencia en una instalación solar.

En la gráfica, la corriente (I) se representa en el eje Y, mientras que la tensión (V) se muestra en el eje X. La forma de esta curva revela cómo varían la corriente y el voltaje a medida que cambian las condiciones de carga y de irradiación solar. Para entender plenamente esta curva, es crucial primero conocer la ecuación que la define, lo que requiere un análisis detallado del circuito eléctrico equivalente de una célula fotovoltaica.

El circuito equivalente de una célula fotovoltaica puede simplificarse a partir de sus componentes fundamentales, que incluyen una fuente de corriente dependiente de la luz, una o más resistencias internas, y un diodo que representa la unión PN de la célula. Estos elementos se combinan para formar un modelo que describe el comportamiento eléctrico de la célula bajo diferentes condiciones de iluminación y temperatura.

En este modelo, la fuente de corriente genera una corriente proporcional a la cantidad de luz solar que incide sobre la célula. El diodo en el circuito introduce una caída de voltaje no lineal, que es crucial para la forma de la curva V-I. Además, las resistencias en serie y paralelo en el circuito representan las pérdidas internas dentro de la célula, que afectan tanto el voltaje como la corriente disponibles en los terminales del módulo.



CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Al entender cómo estos componentes interactúan, podemos derivar la ecuación que describe la curva de la célula fotovoltaica. Esta ecuación tiene en cuenta la corriente generada por la luz, la tensión en la unión PN, y las pérdidas debido a las resistencias internas. Una vez que se tiene esta ecuación, se puede trazar la curva V-I del módulo completo, que es la suma de las curvas individuales de todas las células conectadas en serie y paralelo dentro del módulo.

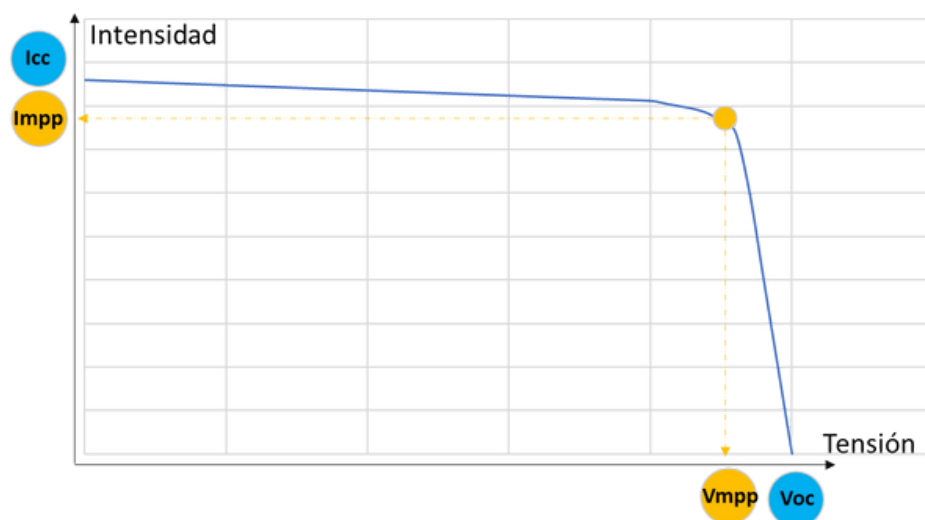
$$I = I_L - I_A = I_L - I_0(T) \cdot \left(e^{\frac{V \cdot q}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$$

ECUACIÓN DE LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Donde:

- $I_L = I_S C$ es la corriente proporcional a la irradiancia. Esta aumenta cuando aumenta el rendimiento de la célula.
- I_A es la corriente de ánodo por el diodo ideal. El valor de esta depende de la temperatura y de la tensión.
- k es el valor de la constante de Boltzman, y su valor es de $1,38E-23$ J/K.
- n es el factor de identidad del diodo.

De esta forma, la siguiente gráfica representaría la curva típica de un panel:



CURVA I-V

Al analizar la curva de características de un módulo fotovoltaico, hay varios parámetros fundamentales que deben entenderse para evaluar y optimizar su rendimiento. Estos parámetros, que ya se han mencionado al revisar el datasheet de los módulos, incluyen la intensidad de cortocircuito (I_{sc}), la tensión de circuito abierto (V_{oc}), la intensidad y tensión en el punto de máxima potencia (I_{mpp} y V_{mpp}), y la potencia máxima del módulo (P_{mpp}). A continuación, se explican en detalle:

Intensidad de Cortocircuito (I_{sc})

La intensidad de cortocircuito (I_{sc}) es la corriente máxima que puede generar un módulo fotovoltaico cuando su resistencia externa es prácticamente cero, es decir, cuando los terminales del módulo están en cortocircuito. En este estado, aunque la corriente es máxima, la tensión en el módulo es cercana a cero, como se observa en la curva $V-I$.

Este valor es crucial para determinar el número máximo de strings que un inversor solar puede manejar. A medida que se agregan más strings en paralelo en un campo fotovoltaico, la corriente total del sistema aumenta. El inversor tiene una capacidad máxima de corriente admisible, y la corriente combinada de todos los strings no debe superar esta capacidad, ya que podría dañar los componentes electrónicos del inversor.

Tensión de Circuito Abierto (V_{oc})

La tensión de circuito abierto (V_{oc}) es el voltaje máximo que puede generar un módulo fotovoltaico cuando no hay corriente circulando por el circuito, es decir, cuando el circuito está abierto. Este valor se alcanza cuando el módulo está expuesto a la radiación solar pero no está conectado a ninguna carga. Es común observar V_{oc} cuando un panel está bajo irradiación solar sin estar conectado a un sistema o carga. En el momento en que se conecta una carga, la tensión del panel disminuye y la corriente comienza a fluir, siguiendo la curva característica $I-V$. V_{oc} es un parámetro importante para calcular la configuración del sistema, especialmente en la selección de componentes como inversores y reguladores de carga.



Tensión de Circuito Abierto (V_{oc})

La tensión de circuito abierto (V_{oc}) es el voltaje máximo que puede generar un módulo fotovoltaico cuando no hay corriente circulando por el circuito, es decir, cuando el circuito está abierto. Este valor se alcanza cuando el módulo está expuesto a la radiación solar pero no está conectado a ninguna carga.

Es común observar V_{oc} cuando un panel está bajo irradiación solar sin estar conectado a un sistema o carga. En el momento en que se conecta una carga, la tensión del panel disminuye y la corriente comienza a fluir, siguiendo la curva característica I-V. V_{oc} es un parámetro importante para calcular la configuración del sistema, especialmente en la selección de componentes como inversores y reguladores de carga.

Intensidad en el Punto de Máxima Potencia (I_{mpp})

La intensidad en el punto de máxima potencia (I_{mpp}) es la corriente en la cual el producto de la corriente y la tensión del módulo, es decir, la potencia, es máxima. Este punto específico en la curva I-V se conoce como el Punto de Máxima Potencia o MPP (Maximum Power Point). En la curva I-V, I_{mpp} es el valor de corriente en este punto óptimo de operación.

Este parámetro es fundamental para dimensionar el sistema fotovoltaico, ya que los inversores y otros componentes del sistema deben estar configurados para operar cerca de este punto para maximizar la eficiencia del sistema.

Tensión en el Punto de Máxima Potencia (V_{mpp})

De manera similar, la tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}) es el voltaje correspondiente al punto de máxima potencia en la curva I-V. V_{mpp} y I_{mpp} juntos definen el MPP, donde la energía generada por el módulo es mayor. Mantener el sistema operando en o cerca de V_{mpp} y I_{mpp} asegura que se esté extrayendo la máxima cantidad de energía del módulo fotovoltaico.



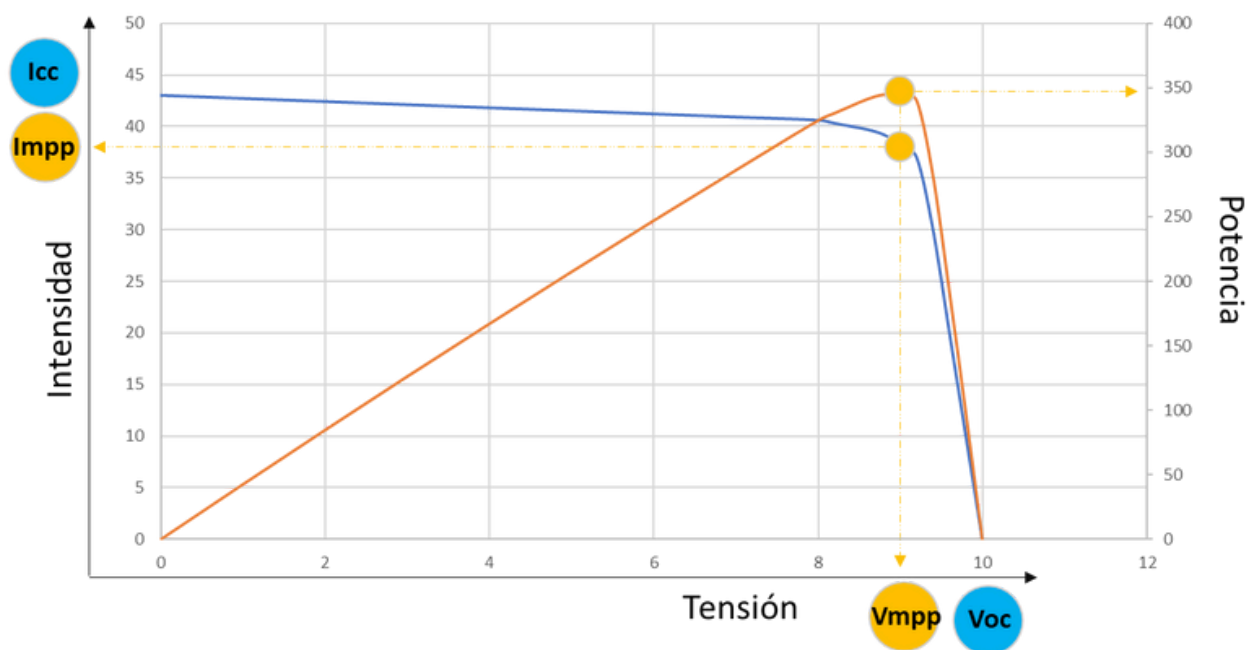
Potencia Máxima del Módulo (P_{mpp})

La potencia máxima del módulo (P_{mpp}) es el valor máximo de salida de energía que el módulo puede entregar bajo condiciones óptimas, medida en vatios (W). Este valor se obtiene en el MPP, donde el producto de V_{mpp} e I_{mpp} es máximo.

Este parámetro es crucial para el dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico, ya que define la capacidad de generación de energía del módulo en condiciones ideales.

Factor de Forma (FF)

El Factor de Forma (FF) es un indicador de la calidad de la célula fotovoltaica y de la eficiencia con la que convierte la luz solar en electricidad. Se define como la relación entre la potencia real obtenida en el MPP y el producto de V_{oc} e I_{sc} . De esta forma, si a partir de la gráfica anterior, se hace el producto de tensión e intensidad, puede encontrarse una curva como la siguiente:



CURVA P-V

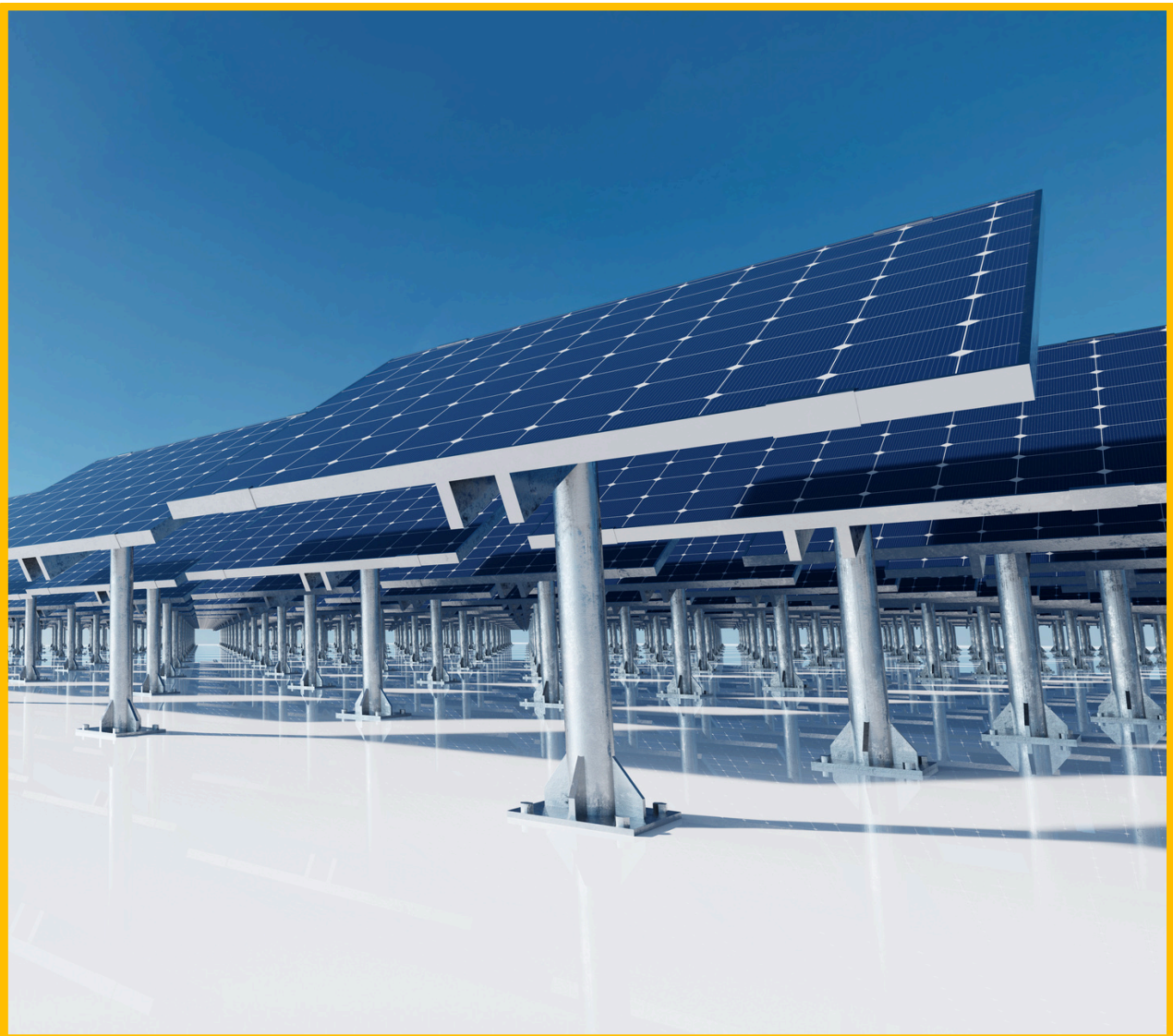
Donde la curva naranja representa la potencia en todos los puntos de operación del módulo fotovoltaico.

A partir de los datos de tensión de circuito abierto, tensión y corriente en el punto de máxima potencia, corriente de cortocircuito, puede sacarse el factor de forma (FF):

$$FF = (V_{mp} * I_{mp}) / (V_{OC} * I_{SC}) \leq 1$$

FACTOR DE FORMA

El factor de forma mide la calidad de unión de la célula, de forma, que para una célula ideal el valor de este será igual a 1, siendo la curva de operación totalmente rectangular.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

3.3.3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a. La corriente de cortocircuito es la máxima corriente de un módulo.
- b. La tensión de cortocircuito es la máxima tensión de un módulo fotovoltaico.
- c. Ambas son correctas.

3.3.4. El factor de forma... (señala la incorrecta)

- a. Mide como de cuadrada es la curva de un módulo.
- b. Es la relación $(V_{OC} * I_{SC}) / (V_{MPP} * I_{MPP})$
- c. Es siempre mayor conforme mayor sea la potencia del módulo.

3.3.5. Las condiciones STC defienden el módulo a: (señala la incorrecta)

- a. Air Mass = 1
- b. Irradiancia = 1000 W/m²
- c. Tamb de 25°C

3.3.6. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre los módulos bifaciales es incorrecta?

- a. Son capaces de absorber la radiación por ambas caras.
- b. Producen una mayor cantidad de energía que los monocristalinos.
- c. La cantidad de radiación que sea capaz de absorber la cara trasera no dependerá de la radiación difusa y la radiación reflejada que sea capaz de incidir sobre esta cara.



EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA IRRADIACION EN LA CURVA I-V DEL PANEL.

La curva I-V (corriente-voltage) de un módulo fotovoltaico y su correspondiente hoja de características suelen presentarse bajo las Condiciones Estándar de Prueba (STC), que son:

- Temperatura ambiente de 25°C
- Irradiancia de 1000 W/m²
- Masa de aire (Air Mass) de 1.5

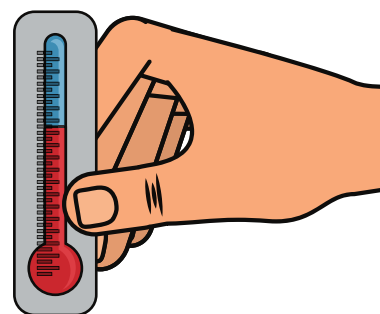


Estas condiciones ideales se utilizan como referencia para comparar diferentes módulos, pero es importante recordar que en condiciones reales, los módulos rara vez operan en un entorno STC. Por lo tanto, para dimensionar correctamente una instalación solar, es crucial comprender cómo la temperatura y la irradiancia afectan el rendimiento del panel.

Variación con la Temperatura

La temperatura es uno de los factores que más influyen en el rendimiento de un módulo fotovoltaico, y la tensión es el parámetro más afectado por los cambios en la temperatura. Contrariamente a lo que podría parecer, en ubicaciones con alta irradiancia solar, donde se espera una mayor producción de energía, el rendimiento de los módulos puede verse reducido debido a las altas temperaturas.

A medida que aumenta la temperatura ambiente, la temperatura de operación del módulo también se incrementa, lo que provoca una disminución significativa en la tensión de salida. Por ejemplo, en una temperatura ambiente de 35°C, común en áreas con alta irradiancia, la temperatura de operación del módulo puede alcanzar fácilmente los 70°C, resultando en una caída pronunciada de su rendimiento. Los coeficientes de temperatura, que se encuentran en la hoja de características del módulo, indican en qué medida la temperatura afecta a cada uno de los parámetros del panel, como la tensión en circuito abierto (V_{oc}), la tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}), la corriente de cortocircuito (I_{sc}) y la potencia máxima (P_{mpp}).

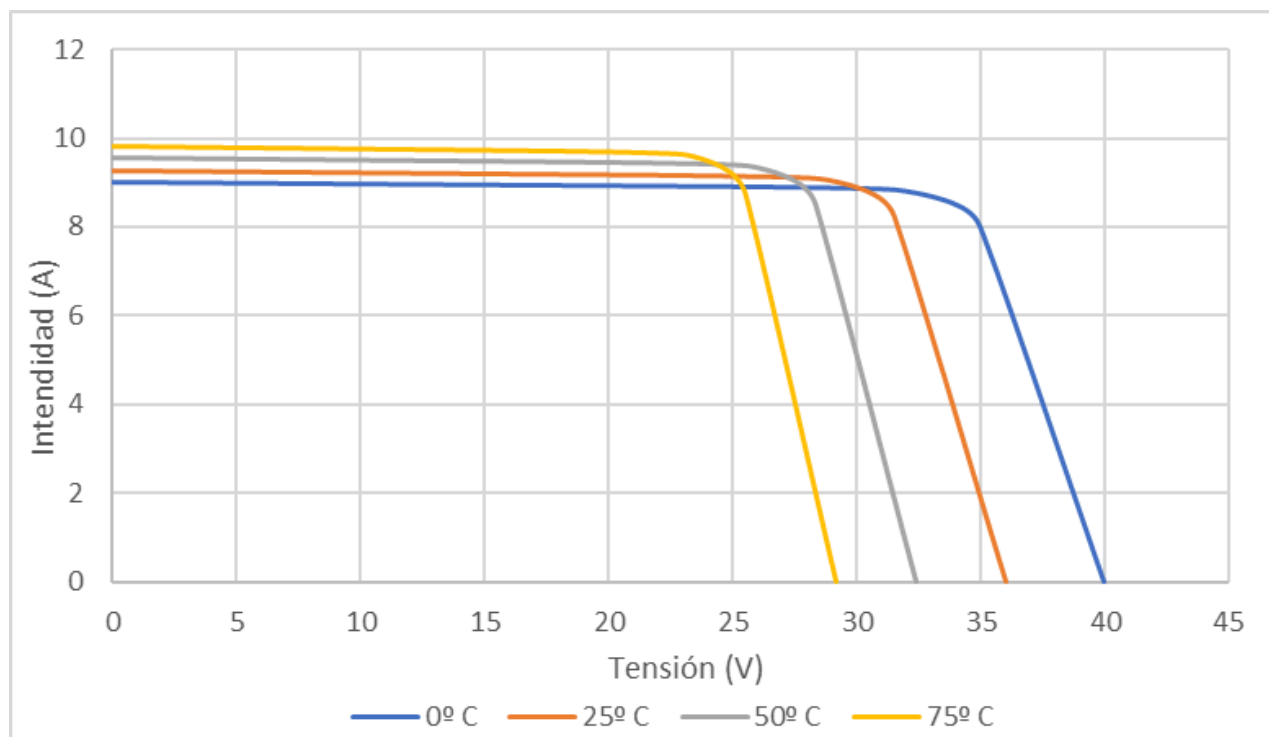


Los coeficientes que aparecen en la hoja de características determinan en qué medida afecta la temperatura a cada uno de los parámetros del módulo.

Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C
Tensión máxima del sistema	1500VDC (IEC)
Valores máximos recomendados de los fusibles	20A
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%
Coeficiente de temperatura de P _{MAX}	-0.36%/°C
Coeficiente de temperatura de V _{OC}	-0.29%/°C
Coeficiente de temperatura de I _{SC}	0.048%/°C
Temperatura operacional nominal de célula	45±2°C

TABLA DE COEFICIENTES DE PERDIDAS

Las siguientes curvas muestran la variación de la curva de operación de una célula al aumentar la temperatura del panel.



VARIACIÓN DE LA CURVA I-V CON LA TEMPERATURA

Como puede verse a partir de la gráfica anterior, la temperatura puede influir en gran medida tanto en la potencia como en la tensión de salida del inversor, y, por lo tanto, a la hora de dimensionar en sistema, deberán de tenerse muy en cuenta las siguientes consideraciones:

- La potencia de salida puede llegar a bajar hasta un 20-25% de la potencia de salida definida en la ficha técnica. Es por esto, que a la hora de dimensionar el campo FV, este deberá de sobredimensionarse para que se capaz de suministrar la potencia requerida por la red eléctrica, bomba hidráulica, sistema de autoconsumo...
- Para temperaturas inferiores a las de las condiciones STC, la tensión del panel puede aumentar. El equipo que normalmente se conecta seguidamente del campo fotovoltaica, el inversor solar, dispone también de una serie de parámetros que han de considerarse, siendo uno de estos, la tensión máxima admisible por este. De esta forma, habrá que garantizar que, para las mínimas temperaturas del emplazamiento, la tensión en circuito abierto del campo solar sea SIEMPRE inferior a la máxima admisible por el inversor fotovoltaico.
- Otro de los parámetros importantes del inversor, es un rango de tensión de operación a máxima potencia. Este rango define la tensión que tienen que llegar al inversor para que este funcione en su máximo rendimiento.

Como se ha visto, para temperaturas elevadas, la tensión disminuye, por lo tanto, se deberá garantizar, que con el campo FV dimensionado, la tensión que llegue al inversor este en su rango de tensión de MPP (habrá de analizar la situación más desfavorable, es decir, la temperatura del emplazamiento más elevada).

- Con el aumento de temperatura también se produce un aumento en la corriente de salida del campo solar. Deberá verificarse que la corriente DC de salida en condiciones de cortocircuito no supera la máxima corriente admisible por el inversor.

Para obtener las condiciones de funcionamiento del panel a una determinada temperatura ambiente, el primer paso primero es calcular la temperatura del módulo.

Esta deberá de calcularse mínimo para la máxima y mínima temperatura ambiente del emplazamiento seleccionado.

La siguiente ecuación muestra el procedimiento a seguir para el Cálculo de la temperatura de célula.

$$T_{\text{módulo}}(^{\circ}\text{C}) = T_{\text{ambiente}}(^{\circ}\text{C}) + G\left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right) * \frac{NOTC - 20^{\circ}\text{C}}{0,8\left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right)}$$

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN DE LA CÉLULA

Donde:

- G es la irradiancia máxima del lugar, y normalmente se considera 1 KW/m2.
- NOTC es la temperatura de operación de la célula, y es un parámetro que aparece en la hoja de características del panel.

Y una vez calculada la temperatura de operación de la célula, ha de calcularse la tensión de circuito abierto para T_{min}, potencia MPP, tensión MPP e intensidad de cortocircuito para la temperatura de operación del panel solar máxima, para lo cual se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$V_{oc}(T_{Min}) = V_{OC-T_{STC}} + \beta * (T_{Min} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{mpp}(T_{\text{mód-max}}) = V_{MPP-T_{STC}} + \beta * (T_{\text{módulos-max}} - 25^{\circ}\text{C})$$

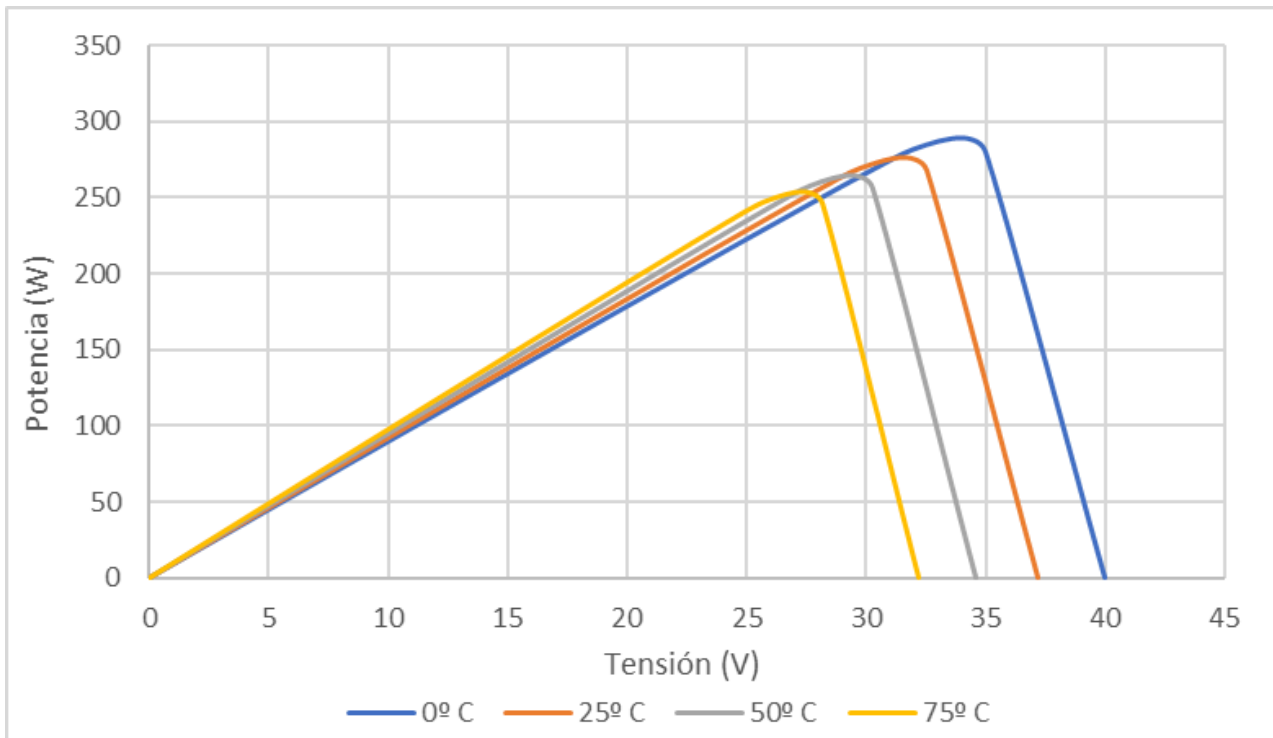
$$I_{sc}(T_{\text{mód-max}}) = I_{sc-T_{STC}} + \alpha * (T_{\text{módulos-max}} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$P_{mpp}(T_{\text{mód-max}}) = P_{MPP-T_{STC}} + \gamma * (T_{\text{módulos-max}} - 25^{\circ}\text{C})$$

ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LOS PARAMETROS A UNA T DETERMINADA

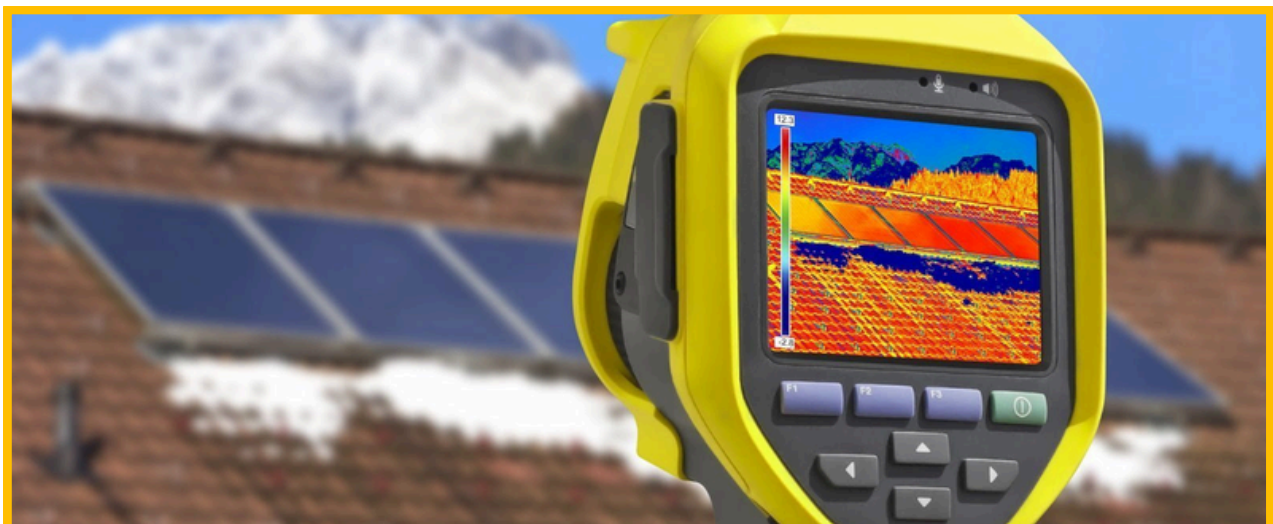


Al igual que la temperatura influye de forma significativa en las intensidad y tensión del módulo, dado que la potencia es una variable resultado del producto de ambas, también se producirá una variación importante, tal y como puede observarse en la siguiente ilustración.



INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA CURVA P-V

En la siguiente página, se va a realizar un ejemplo práctico, para el cálculo de las condiciones de operación de un panel, considerando una temperatura máxima del emplazamiento de 35°C y una temperatura mínima de 0 °C.



Ejemplo 1. Calcula las condiciones de operación de módulos para una temperatura máxima de 35° C y mínima de 0°C.

Con los datos siguientes han de calcularse las condiciones de operación para una temperatura máxima de 35° C y mínima de 0°C.

STC	Pmpp	Voc	Isc	Vmpp	Impp	α'	β'	γ'	NOCT
	370W	40,3V	10,1A	38,2V	9,68A	0,05 A/K	- 0,142V/K	- 0,37V/K	45°C

PASO 1

El primer paso es calcular la temperatura máxima que va a alcanzar el módulo fotovoltaico para las condiciones de $T_{amb} = 35^{\circ}C$.

$$T_{módulo}(^{\circ}C) = 35^{\circ}C + 1 \left(\frac{kW}{m^2} \right) * \frac{45^{\circ}C - 20^{\circ}C}{0,8 \left(\frac{kW}{m^2} \right)} = 66,25^{\circ}C$$

PASO 2

El siguiente paso es calcular los parámetros de la célula que van a ser de utilidad, y estos son:

- Voc ($T_{módulo_min}$)
- Vmpp ($T_{módulo_max}$)
- Isc ($T_{módulo_max}$)
- Pmpp ($T_{módulo_max}$)

Y para el cálculo de estos parámetros se emplearán las ecuaciones vistas anteriormente.

$$Voc(0^{\circ}C) = 40,3 V + (-0,142 \frac{V}{^{\circ}C}) * (0 - 25^{\circ}C) = 43,85 V$$

$$Vmpp(66,25^{\circ}C) = 38,2 V + -0,142 \frac{V}{^{\circ}C} * (66,25 - 25^{\circ}C) = 32,34 V$$

$$Isc(66,25^{\circ}C) = 10,1A + 0.05 \frac{A}{K} * (66,25^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 12,16 A$$

$$Pmpp(66,25^{\circ}C) = 370W + \left(-0.37 \frac{W}{K} \right) * (66,25^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 354,73 W$$

VARIACIÓN CON LA IRRADIANCIA

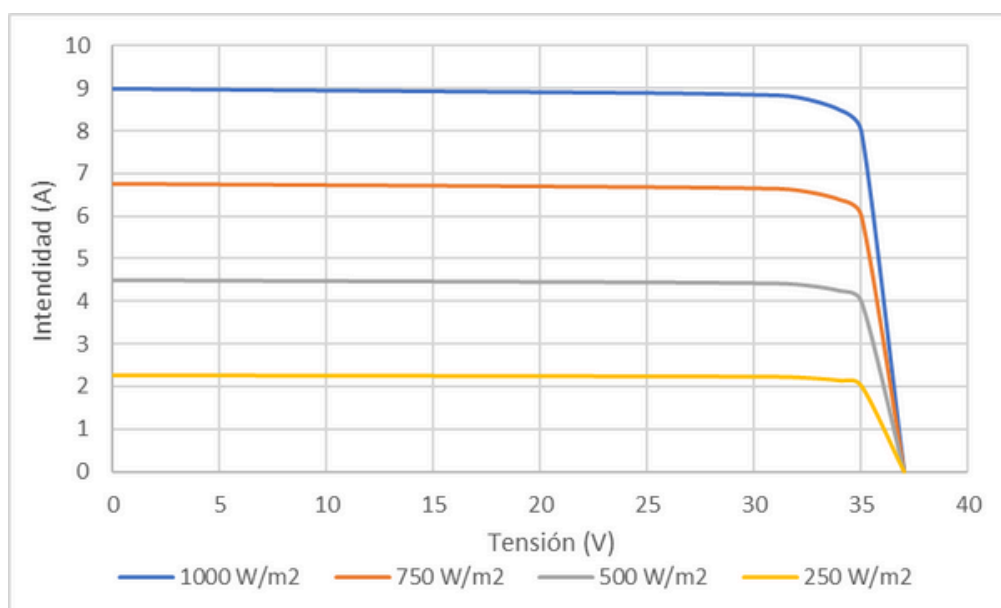
La irradiancia solar tiene un impacto directo y casi proporcional en la corriente de salida de un módulo fotovoltaico y, en consecuencia, en su potencia de salida. A medida que la cantidad de luz solar que incide sobre el panel aumenta, la corriente generada también lo hace de manera casi lineal, lo que incrementa la producción de energía del módulo.

A lo largo de un día, la irradiancia solar varía significativamente, desde el amanecer hasta el atardecer, lo que provoca fluctuaciones en la producción de energía del módulo fotovoltaico. Durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, la irradiancia es menor, lo que resulta en una producción de energía reducida. En contraste, durante el mediodía, cuando la irradiancia es máxima, el módulo alcanza su mayor producción de energía.

Este mismo efecto se observa a lo largo de las estaciones del año. En una ciudad como Valencia, la producción de un módulo fotovoltaico en un día promedio de invierno es aproximadamente la mitad de lo que se produce en un día promedio de verano, debido a las diferencias en la irradiancia solar recibida.

Análisis de la Curva I-V con Variaciones de Irradiancia

Al observar las curvas I-V bajo diferentes niveles de irradiancia, se puede ver claramente que la relación entre la irradiancia y la corriente de salida es casi proporcional en todo el rango de operación del módulo. Esto significa que, cuando la irradiancia se duplica, la corriente de salida del panel también tiende a duplicarse, lo que resulta en un aumento correspondiente en la potencia de salida.



VARIACIÓN CURVA I-V CON LA RADIACIÓN

Sin embargo, es importante notar que, aunque la corriente aumenta con la irradiancia, la tensión del módulo permanece prácticamente constante hasta que se alcanza el punto de máxima potencia (MPP). Después de este punto, cualquier aumento adicional en la irradiancia no incrementará la tensión, pero sí continuará aumentando la corriente, y, por lo tanto, la potencia de salida.

Entender esta relación es crucial para dimensionar correctamente un sistema fotovoltaico y prever su rendimiento a lo largo del año. Permite a los diseñadores anticipar la variabilidad en la producción de energía y optimizar la configuración del sistema para maximizar la eficiencia y la generación de electricidad en distintas condiciones de irradiancia.



DISTRIBUCIÓN DE LOS ARRAYS SOLARES

En este capítulo se ha hecho hincapié en conocer las diferencias existentes entre módulo, string y array.

La curva de operación del campo fotovoltaico depende fundamentalmente de los datos característicos del panel utilizado y de la disposición que se haga de esto, pudiendo ser esta en paralelo o en serie.

Cuando se realiza la conexión de varios módulos en serie, se denomina string al conjunto de esto, y cuando se combinan varios strings en paralelo, se le denomina array fotovoltaico.

Conexión de módulos en serie

Cuando los módulos fotovoltaicos se conectan en serie para formar un string, la curva I-V del conjunto se desplaza hacia la derecha, lo que refleja un aumento en la tensión de salida del sistema. Este aumento en la tensión es directamente proporcional al número de módulos conectados en serie, ya que la tensión total del string es la suma de las tensiones individuales de cada módulo.

En cuanto a la corriente de salida del string, esta permanece constante y es igual a la corriente de salida del módulo con la menor intensidad dentro del string. Esto se debe a que, en una conexión en serie, la corriente es la misma en todos los módulos del string. Si un módulo tiene una corriente de salida inferior a la de los otros, limitará la corriente total del string a su nivel, lo que podría afectar el rendimiento global del sistema si no se han seleccionado adecuadamente los módulos con características similares.



Por lo tanto, al analizar y dimensionar un string de módulos conectados en serie, es crucial asegurarse de que todos los módulos tengan características eléctricas similares, especialmente en términos de corriente. De esta forma, se puede maximizar la eficiencia y evitar que un solo módulo subóptimo reduzca el rendimiento de todo el string.

De esta forma, para los módulos en serie, se emplearán las siguientes fórmulas:

$$I_{string} = I_{módulo}$$

INTENSIDAD DE UN STRING

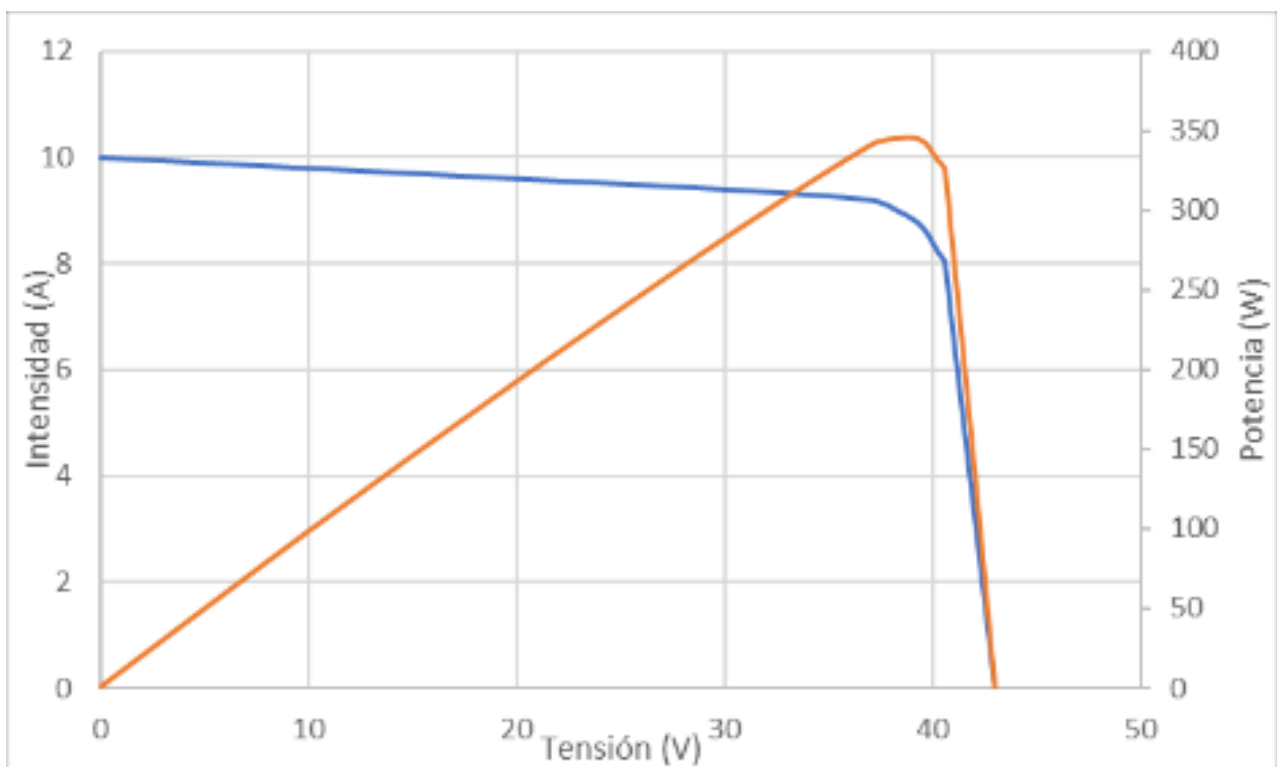
$$V_{string} = \sum V_{módulo}$$

TENSIÓN DE UN STRING





Si se aplican las fórmulas anteriores para toda la curva I-V de funcionamiento de los paneles, podría observarse, como se produce un desplazamiento de la curva hacia la derecha por el aumento de tensión.

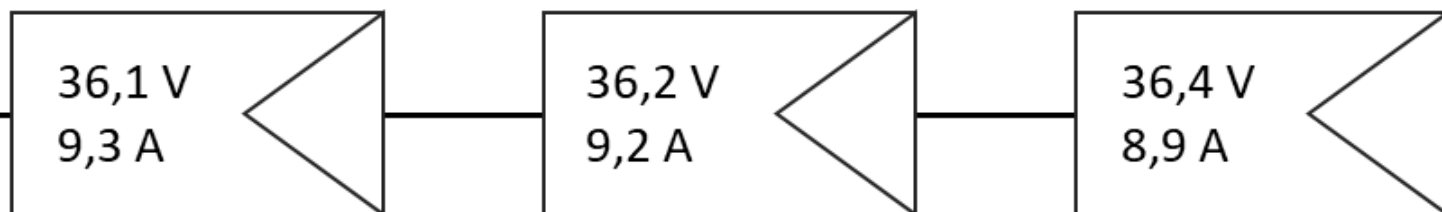


CURVA I-V Y P-V DE UN MÓDULO

(x3 módulos en serie)

A continuación, va a realizarse un ejemplo del cálculo de los parámetros de un string fotovoltaico.

Ejemplo 2. Cálculo de la tensión e intensidad de un Sting fotovoltaico.



Si se calcula la tensión e intensidad del string:

$$I_{string} = \text{Min} (I_1, I_2, I_3) = 8,9 A$$

$$V_{string} = V_1 + V_2 + V_3 = 108,7 V$$

Conexión de módulos en paralelo

La conexión en paralelo de módulos fotovoltaicos, o de series de módulos (strings), se realiza uniendo los terminales positivos de todos los módulos o strings entre sí, y haciendo lo mismo con los terminales negativos. Este tipo de conexión es común cuando se busca aumentar la corriente total del sistema sin alterar la tensión de operación.

En una conexión en paralelo, la tensión total del conjunto permanece constante y es igual a la tensión del módulo o string con el menor valor de tensión. Esto se debe a que, en un circuito paralelo, la tensión a través de todos los elementos conectados es la misma. Por lo tanto, si uno de los módulos o strings tiene una tensión más baja, determinará la tensión común de todo el sistema.

En cuanto a la corriente, la conexión en paralelo tiene el efecto de sumar las corrientes de cada módulo o string. La corriente total que fluye por el sistema será la suma de las corrientes individuales de todos los módulos o strings conectados en paralelo. Esto permite que el sistema maneje una mayor cantidad de corriente, lo que es útil para aplicaciones que requieren más potencia sin incrementar la tensión.

Es fundamental que los módulos o strings conectados en paralelo tengan tensiones similares para evitar desequilibrios que podrían reducir la eficiencia del sistema o incluso causar daños a los módulos. La correcta selección y emparejamiento de los módulos en paralelo asegura un rendimiento óptimo y una operación segura del sistema fotovoltaico.

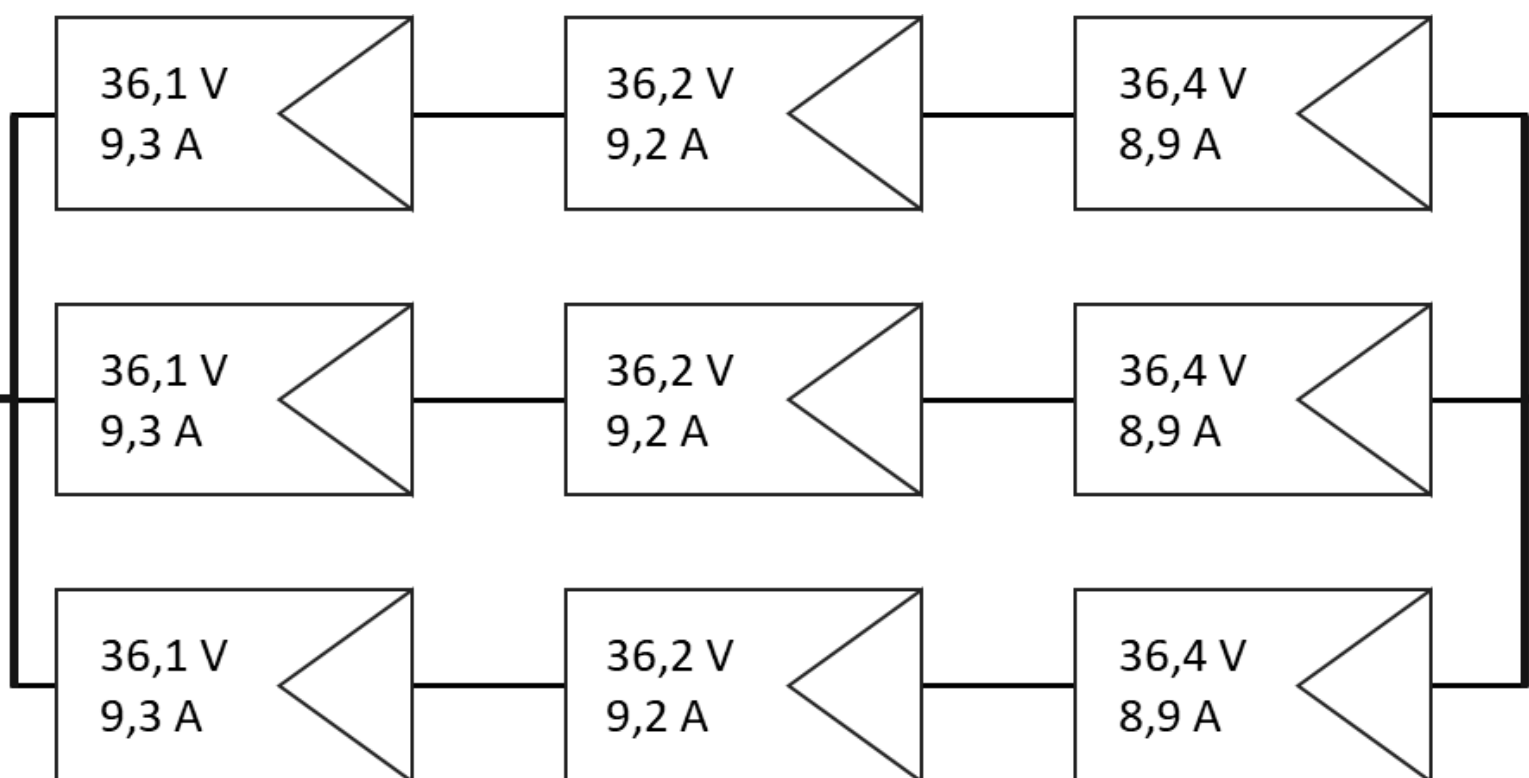
$$V_{array} = V_{string}$$

TENSIÓN DE UN ARRAY

$$I_{array} = \sum I_{módulo} = \sum I_{string}$$

INTENSIDAD DE UN ARRAY

Ejemplo 3. Cálculo de la tensión e intensidad de varios Stings.



Si se calculan las intensidades y tensión del array fotovoltaico anterior:

$$V_{array} = V_{string} = V_1 + V_2 + V_3 = 108,7 \text{ V}$$

$$I_{array} = I_{string-1} + I_{string-2} + I_{string-3} = 8,9 + 8,9 + 8,9 = 26,7 \text{ A}$$

MISMATCH LOSSES // PÉRDIDAS POR DESACOPLO

En el punto anterior se ha visto la variación de la curva de operación I-V cuando se realiza el conexionado de grupos de módulos fotovoltaicos, y como en función de si los módulos están en serie o en paralelo, uno de los parámetros, intensidad o tensión, adopta el de módulo con el valor más bajo. Es por esto por lo que se producen, lo que se conocen como mismatch losses, o pérdidas por desacoplo.

· Cuando los paneles se conectan en serie, el valor de intensidad adquiere el valor del módulo con corriente más baja, obligando al resto de módulos a funcionar a esa intensidad.

Ejemplo 4. Mismatch losses en serie.

Si se tiene la agrupación de dos módulos en serie con las siguientes características cada uno.

Módulo 1 à $V_{mpp} = 30 \text{ V}$; $I_{mpp} = 8 \text{ A}$

Módulo 2 à $V_{mpp} = 32 \text{ V}$; $I_{mpp} = 7,5 \text{ A}$

Si se calcula la potencia de cada uno de ellos por separado y se suman tendríamos:

$$P_{total} = P_1 + P_2 = V_1 * I_1 + V_2 * I_2 = 30 * 8 + 32 * 7,5 = 480 \text{ W}$$

Sin embargo, si se calcula la potencia como string fotovoltaico:

$$V_{string} = V_1 + V_2 = 62 \text{ V}$$

$$I_{string} = \text{Min}(I_1, I_2) = 7,5 \text{ A}$$

$$P_{total} = P_{string} = V_{string} * I_{string} = 62 * 7,5 = 465 \text{ W}$$

Por lo que, puede verse, como cuando se calcula la potencia del string, está es inferior a la suma de potencias de ambos módulos de forma independiente.

De esta forma, se podrán calcular las Mismatch losses como:

$$Perdidas = P_{string} - P_1 - P_2 = 15 W$$

Cuando se produce el acoplamiento de strings en paralelo, la corriente de estos se suma, sin embargo, la tensión resultante es la tensión del string de menor potencial, produciéndose así también pérdidas por acoplamiento.

Ejemplo 5. Mismatch losses en paralelo.

Si se tiene la agrupación de dos módulos en paralelo con las siguientes características cada uno.

Módulo 1 - $V_{mpp} = 30 V$; $I_{mpp} = 8 A$

Módulo 2 - $V_{mpp} = 32 V$; $I_{mpp} = 7,5 A$

Si se calcula la potencia de cada uno de ellos por separado y se suman tendríamos:

$$P_{total} = P_1 + P_2 = V_1 * I_1 + V_2 * I_2 = 30 * 8 + 32 * 7,5 = 480 W$$

Sin embargo, si se calcula la potencia como string fotovoltaico:

$$I_{array} = I_1 + I_2 = 15,5 V$$

$$V_{array} = \text{Min}(V_1, V_2) = 30 A$$

$$P_{total} = P_{array} = V_{array} * I_{array} = 30 * 15,5 = 465 W$$

Por lo que, puede verse, como cuando se calcula la potencia del , está es inferior a la suma de potencias de ambos módulos de forma independiente.

De esta forma, se podrán calcular las Mismatch losses como:

$$Perdidas = P_{string} - P_1 - P_2 = 15 W$$

REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

3.3.3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

- a. Un aumento de temperatura ambiente produce una disminución de la potencia, corriente y tensión del panel.
- b. Un aumento de temperatura ambiente produce un aumento de la potencia, corriente y tensión del panel.
- c. Un aumento de temperatura ambiente produce una disminución de la potencia, y tensión del panel y un aumento de la corriente.

3.3.4. Para una $T_{amb} = 31^{\circ}\text{C}$ y $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$, la temperatura del módulo fotovoltaica se aproximará a:

- a. $T_{mód} = 62^{\circ}\text{C}$
- b. $T_{mód} = 67^{\circ}\text{C}$
- c. $T_{mód} = 52^{\circ}\text{C}$

3.3.5. ¿Qué son las “mismatch losses”?

- a. Pérdidas en los módulos FV debido a la temperatura.
- b. Pérdidas ópticas del panel.
- c. Pérdidas debidas a la disposición en serie y paralelo de módulos cuya tensión o corriente de salida difiere ligeramente, ya sea por ser modelos distintos, o por ser modelos de panel iguales pero sometidos a condiciones ligeramente distintas.

3.3.6. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta?

- a. La tensión en los módulos en paralelo se suma.
- b. La tensión en los módulos en serie se suma.
- c. La corriente en los módulos en serie se suma.



DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MÓDULOS SOLARES

Uno de los aspectos más críticos en el diseño de una instalación solar es la correcta distribución geométrica de los módulos fotovoltaicos. Este proceso requiere una planificación cuidadosa para maximizar la eficiencia energética y asegurar un rendimiento óptimo a lo largo del tiempo. A continuación, se detallan las principales consideraciones que deben tenerse en cuenta al distribuir geométricamente los módulos solares:

Optimización de la Inclinação del Módulo Solar

La inclinación de los módulos solares debe ser cuidadosamente ajustada para maximizar la captación de energía solar. Esto implica encontrar el ángulo óptimo que permita maximizar la producción anual o estacional de energía, dependiendo de la ubicación geográfica y los objetivos específicos del sistema. En muchas regiones, la inclinación ideal varía a lo largo del año, por lo que es importante considerar si se optimizará para una producción constante durante todo el año o para maximizar la producción en una temporada particular.

Optimización de la Longitud de los Cables

La disposición de los módulos debe diseñarse para minimizar la longitud de los cables utilizados. Los cables no solo representan un coste significativo en la inversión inicial, sino que también introducen pérdidas energéticas debido a la resistencia eléctrica. Al reducir la distancia entre los módulos y entre los módulos y el inversor, se minimizan las pérdidas de energía, mejorando así la eficiencia general del sistema. Una distribución geométrica eficiente también facilita el mantenimiento y reduce el riesgo de fallos eléctricos.

Aprovechamiento de Elementos Constructivos

La integración de los módulos solares en estructuras existentes, como tejados con inclinaciones y orientaciones adecuadas, puede reducir considerablemente los costos de instalación. Utilizar superficies ya disponibles evita la necesidad de estructuras adicionales, lo que disminuye la inversión inicial y simplifica las tareas de mantenimiento. Además, la orientación y la inclinación del tejado pueden alinearse con los ángulos óptimos para la captación solar, mejorando la eficiencia del sistema.





Análisis de Sombras

El análisis de sombras es crucial para evitar pérdidas significativas de producción de energía. Las sombras, ya sean de elementos externos o de los propios módulos, pueden bloquear la radiación solar y reducir la eficiencia del sistema. Existen dos tipos principales de sombras a considerar:

- **Sombras producidas por elementos externos:** Estos pueden incluir árboles, edificios, muros u otras estructuras cercanas. Es esencial calcular la longitud de la sombra proyectada por estos objetos a diferentes horas del día y en diferentes estaciones del año. Una vez determinado, es importante asegurarse de que los módulos solares se coloquen a una distancia suficiente para evitar ser sombreados.
- **Sombras producidas por los propios módulos:** Cuando los módulos se organizan en filas, es necesario asegurar que la distancia entre ellas sea suficiente para que los módulos de una fila no proyecten sombras sobre los de la fila siguiente, especialmente durante los meses de invierno, cuando el sol está más bajo en el cielo. Un espaciado adecuado entre filas es fundamental para evitar la pérdida de rendimiento y asegurar una producción uniforme de energía.

En resumen, la distribución geométrica de los módulos solares es un paso esencial en el diseño de una instalación fotovoltaica que debe abordarse con una estrategia bien planificada. La correcta orientación e inclinación de los módulos, la optimización de las rutas de cableado, el aprovechamiento de las estructuras existentes y la gestión de las sombras son factores clave que determinan el rendimiento y la eficiencia de todo el sistema solar.

OPTIMIZACIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS SOLARES.

Debido a la inclinación y la órbita elíptica de la Tierra, la radiación solar no incide perpendicularmente sobre su superficie de manera uniforme durante todo el año. El ángulo de incidencia de los rayos solares varía según la latitud, la longitud y la época del año, lo que hace que la optimización de la inclinación de los paneles solares sea un factor clave para maximizar la absorción de energía.

Para lograr la máxima captación de energía, los paneles solares deben estar orientados de manera que la luz solar incida sobre ellos lo más perpendicularmente posible durante el mayor tiempo posible. Idealmente, esto se lograría utilizando sistemas de seguimiento solar (trackers), que ajustan la orientación de los paneles a lo largo del día y las estaciones del año, similar a cómo los girasoles siguen el sol. Estos sistemas permiten mantener un ángulo de 90° entre los rayos solares y la superficie del panel durante gran parte del día, maximizando así la generación de energía.



COMPARACIÓN GIRASOL CON TRACKERS



Sin embargo, en instalaciones residenciales e industriales, donde la simplicidad y el costo son consideraciones importantes, se suele optar por una inclinación fija de los paneles. Esta inclinación se ajusta para optimizar la producción solar a lo largo del año, aunque con una inclinación fija, no se puede alcanzar el rendimiento máximo que ofrecen los sistemas de seguimiento solar.

Cálculo del Ángulo Óptimo de Inclinación

Para maximizar la producción solar a lo largo de un año completo, la regla general es que el ángulo de inclinación (β) del módulo fotovoltaico debe ser aproximadamente igual al ángulo de latitud del lugar donde se encuentra la instalación:

$$\beta = \textit{latitud}$$

Este enfoque busca un balance entre las variaciones estacionales en la posición del sol, optimizando la producción durante todo el año. No obstante, en algunas aplicaciones, es posible que se desee optimizar la producción solar para una temporada específica. A continuación, se describen las adaptaciones del ángulo de inclinación para maximizar la generación en verano o invierno:

- **Optimización para los meses de verano:** Si la instalación fotovoltaica está destinada a aplicaciones que requieren un mayor consumo de energía en verano, como el bombeo solar para riego agrícola, es recomendable ajustar el ángulo de inclinación restando aproximadamente 15° a la latitud del lugar. Esto permite que los paneles capten más energía cuando el sol está más alto en el cielo.

$$\beta = \textit{latitud} - 15^\circ$$

- **Optimización para los meses de invierno:** Por otro lado, si la prioridad es maximizar la producción durante el invierno, cuando el sol está más bajo en el horizonte, el ángulo de inclinación debe aumentarse sumando 15° a la latitud. Esto inclina los paneles hacia el sol bajo del invierno, mejorando la captación de energía en esos meses críticos.

$$\beta = \textit{latitud} + 15^\circ$$

Consideraciones Adicionales

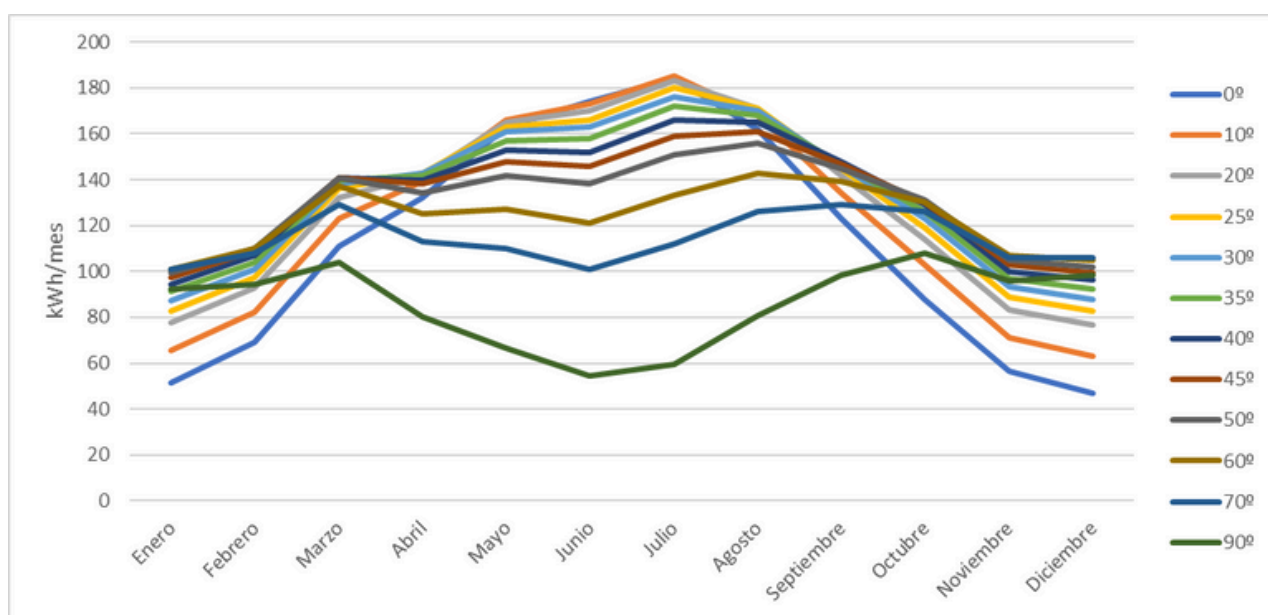
Además de la optimización estacional, otros factores como la orientación del techo, la posibilidad de sombras durante diferentes momentos del día y la capacidad estructural deben tenerse en cuenta al decidir el ángulo de inclinación. En algunos casos, puede ser beneficioso ajustar la inclinación de los paneles una o dos veces al año, aunque este enfoque sigue siendo más simple y económico que los sistemas de seguimiento solar.

La optimización de la inclinación de los paneles solares es un paso crucial para maximizar la eficiencia energética de una instalación fotovoltaica. Al considerar la latitud y los requisitos específicos de producción energética, se puede encontrar el equilibrio adecuado entre costo y rendimiento, asegurando que la instalación proporcione la máxima cantidad de energía posible durante todo el año.

Influencia de la inclinación en la producción del módulo FV

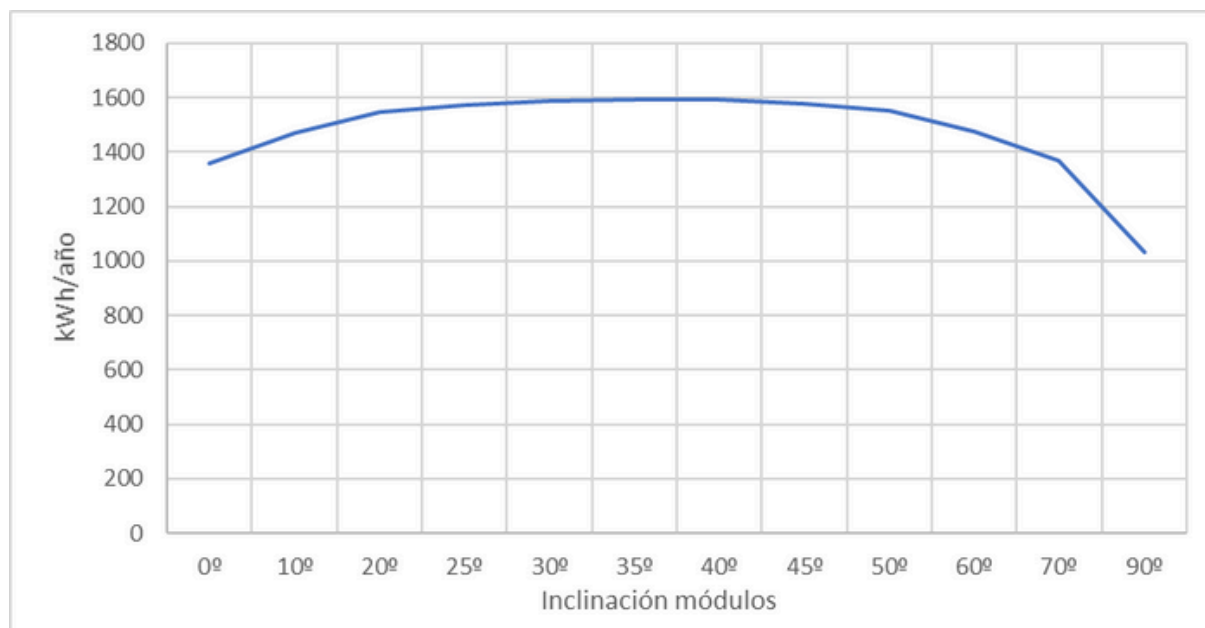
La inclinación de los módulos fotovoltaicos tiene un impacto significativo en la cantidad de energía que una instalación solar puede generar a lo largo del año. Para una latitud específica, como la de Madrid (latitud de 40°), la variación de la producción anual en función de la inclinación de los módulos se puede representar gráficamente para ilustrar cómo este factor afecta el rendimiento energético.

En la gráfica que se podría obtener, se muestra la producción mensual de un campo fotovoltaico con una capacidad de 1 kWp en Madrid, en función de diferentes ángulos de inclinación de los módulos. Los datos para esta gráfica han sido extraídos utilizando la herramienta de cálculo gratuita PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), que proporciona estimaciones precisas de la producción solar para diferentes configuraciones y ubicaciones.



VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN FV EN FUNCIÓN DE LA INCLINACIÓN DEL MÓDULO

Si ahora se analiza la producción anual de cada una de las inclinaciones graficadas.



PRODUCCIÓN FV ANUAL EN FUNCIÓN DE LA INCLINACIÓN DEL MÓDULO

Al observar la gráfica, se pueden identificar varios puntos clave:

1. Pico de Producción en Inclinación Óptima: Para la latitud de 40°, se espera que la producción anual sea máxima cuando los módulos estén inclinados cerca de este ángulo. En Madrid, la inclinación óptima suele estar alrededor de 35° a 40°, dependiendo de si se prioriza la producción durante todo el año o se busca optimizar para temporadas específicas.

2. Variación Estacional: La gráfica mostrará cómo, a diferentes ángulos de inclinación, la producción varía considerablemente entre los meses de invierno y verano. Por ejemplo, una inclinación menor (más cercana a la horizontal) favorece la captación de energía durante los meses de verano, mientras que una inclinación mayor (más vertical) optimiza la captación durante los meses de invierno.

3. Producción Total Anual: Al integrar las producciones mensuales a lo largo del año, se puede observar cómo una desviación significativa del ángulo óptimo reduce la producción total anual. Una inclinación fija que esté muy por debajo o por encima del ángulo óptimo resultará en una menor captación de energía, subrayando la importancia de ajustar la inclinación de los módulos lo más cerca posible de la latitud del lugar.

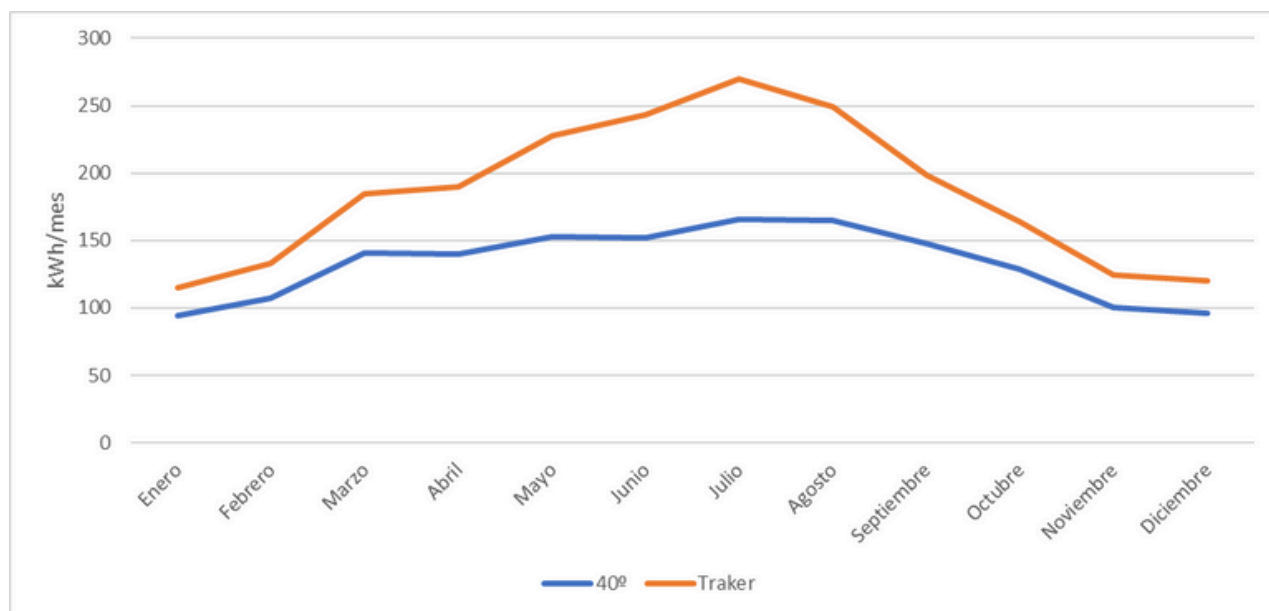
4. Flexibilidad según Aplicación: Dependiendo de la aplicación específica de la instalación solar, puede ser deseable ajustar la inclinación de los módulos para maximizar la producción durante ciertos meses del año. Por ejemplo, en una instalación destinada al autoconsumo en verano, podría ser más beneficioso optar por una inclinación menor que maximice la producción en esos meses.

PRODUCCIÓN MEDIANTE INCLINACIÓN FIJA VS MEDIANTE TRACKER

Como se ha mencionado anteriormente, la forma más eficiente de aprovechar la energía solar es mediante el uso de seguidores solares (trackers), que ajustan la orientación de los paneles durante el día para mantener un ángulo óptimo respecto al sol. Los sistemas de seguimiento solar de 2 o 3 ejes permiten que los módulos sigan el movimiento del sol tanto en su trayectoria diaria como estacional, maximizando la captación de radiación solar y, por lo tanto, la producción de energía.

Comparación de Producción: Inclinación Fija vs. Trackers

Si tomamos como referencia un sistema fotovoltaico con inclinación fija a 40° en una latitud como Madrid y lo comparamos con un sistema que utiliza trackers, se observa una diferencia significativa en la producción de energía.



TRACKERS VS ESTRUCTURA FIJA

Los datos muestran que la producción de un campo fotovoltaico equipado con trackers es aproximadamente un 39% superior en comparación con un sistema con inclinación fija. Esta mejora se debe a la capacidad de los trackers para mantener una orientación óptima del panel a lo largo del día, captando más radiación solar y generando más electricidad.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TRACKERS

A pesar de los beneficios en términos de producción, el uso de trackers en instalaciones fotovoltaicas no es tan común en aplicaciones residenciales, industriales, o en pequeños huertos solares. Esto se debe a varias razones importantes:



Mantenimiento Elevado: Los trackers son dispositivos mecánicos y electrónicos, lo que significa que requieren un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento correcto. En contraste, los sistemas con inclinación fija tienen un mantenimiento mínimo, lo que reduce los costos operativos a largo plazo.



Consumo Energético: Los trackers consumen energía para operar, lo que puede reducir ligeramente el performance ratio (PR) de la planta fotovoltaica. Este consumo energético, aunque relativamente bajo, debe ser considerado al evaluar el costo-beneficio de implementar trackers.



Costo Inicial: Los trackers son significativamente más caros que las estructuras fijas. De hecho, el costo de un sistema de seguimiento puede ser superior al costo de los propios paneles solares. En muchos casos, resulta más económico y eficiente incrementar el número de paneles solares en lugar de invertir en trackers.



Sombras y Espaciado: Los trackers permiten una mayor variación en la inclinación de los paneles (usualmente de 0° a 70°), lo que puede generar sombras más alargadas. Esto obliga a aumentar la distancia entre filas de paneles para evitar que las sombras afecten la producción de energía, lo que a su vez puede reducir la densidad de instalación y aumentar el uso de terreno.

EFFECTO DE LAS SOMBRAS SOBRE LOS MÓDULOS

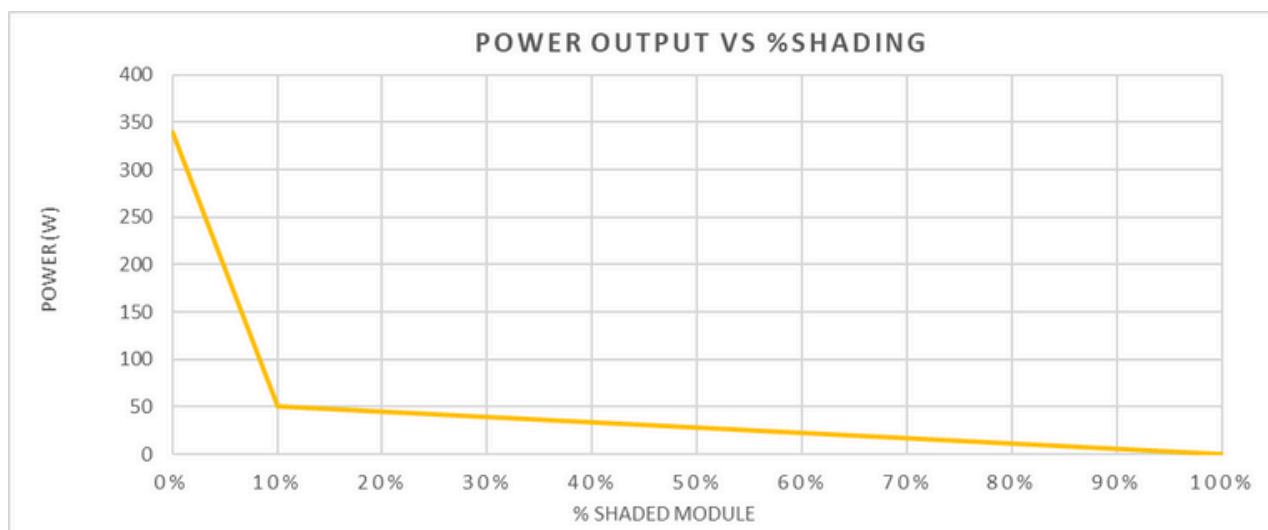
El análisis de sombras es un aspecto crucial en el diseño de sistemas solares fotovoltaicos, ya que la presencia de sombras puede reducir drásticamente el rendimiento de la instalación. Incluso una pequeña sombra sobre una parte del módulo puede llevar a una caída significativa en la producción de energía, en algunos casos, reduciendo el rendimiento casi a cero.

Impacto de las Sombras en la Producción de Energía

Los módulos solares están compuestos por múltiples celdas fotovoltaicas conectadas en serie y paralelo. La forma en que estas celdas interactúan eléctricamente significa que la sombra que cae sobre una sola célula puede afectar de manera desproporcionada la producción de energía de todo el módulo o incluso de todo el sistema.

- **Celdas en Serie:** Cuando las celdas están conectadas en serie, la corriente de todo el string de celdas está limitada por la célula con la menor corriente. Si una célula está sombreada, su corriente cae casi a cero, lo que a su vez reduce la corriente de todo el string a ese nivel bajo. Esto significa que incluso una pequeña sombra sobre una sola célula puede reducir la corriente de salida del módulo completo.
- **Strings en Paralelo:** De manera similar, cuando los strings de celdas están conectados en paralelo, la tensión de todo el conjunto de strings es dictada por el string con la menor tensión. Si un string está sombreado y su tensión cae, esta caída afectará a todo el conjunto en paralelo, disminuyendo la tensión total del sistema.

Dado que la potencia generada por un módulo fotovoltaico es el producto de la corriente y la tensión ($P = V \times I$), cualquier disminución en estos parámetros debido a sombras resulta en una caída significativa de la potencia de salida. De hecho, la reducción de la producción de energía es exponencial en relación con el porcentaje de la superficie del módulo que está sombreada.



INFLUENCIA DE LAS SOMBRAS EN LA PRODUCCIÓN DEL MÓDULO FV

Al diseñar una instalación fotovoltaica, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las posibles sombras que puedan afectar a los módulos. Las sombras pueden ser causadas por dos tipos principales de elementos:

1. Sombras producidas por elementos externos: Estos pueden incluir árboles, edificios, postes, antenas u otros objetos que proyectan sombras sobre los módulos solares a diferentes horas del día o durante distintas épocas del año. Es crucial evaluar la ubicación de estos elementos y calcular la longitud de las sombras proyectadas para evitar su impacto en los módulos.

2. Sombras producidas por los propios módulos: Cuando los módulos se organizan en filas, es importante asegurarse de que la distancia entre las filas sea suficiente para evitar que una fila proyecte sombras sobre la siguiente, especialmente durante los meses de invierno cuando el sol está más bajo en el horizonte. Esta distancia mínima entre filas debe calcularse cuidadosamente para maximizar la eficiencia y minimizar las pérdidas de energía.

Mitigación del Efecto de las Sombras

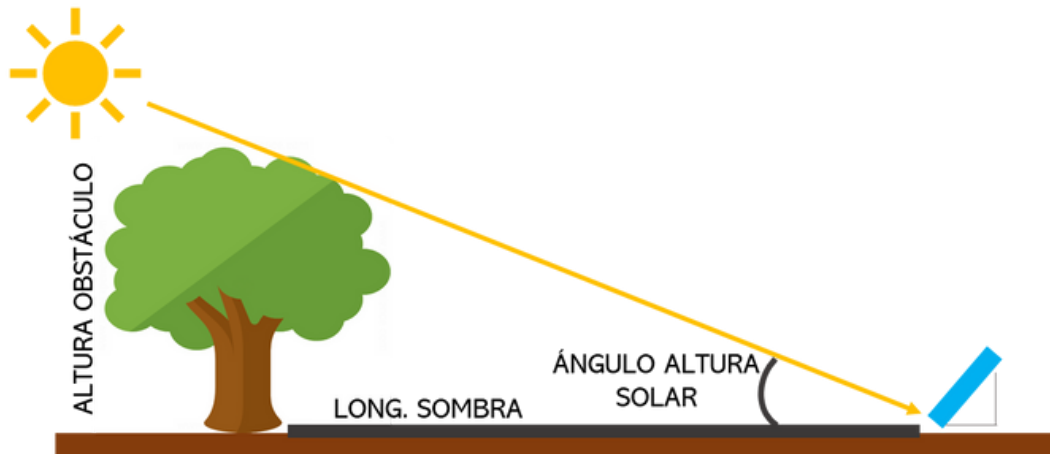
Existen varias estrategias para mitigar los efectos negativos de las sombras en un sistema fotovoltaico:

- **Optimización del diseño geométrico:** Asegurar un diseño que minimice las sombras proyectadas sobre los módulos, especialmente durante las horas de mayor radiación solar.
- **Uso de diodos de bypass:** Los diodos de bypass permiten que la corriente "salte" las celdas o los strings afectados por sombras, evitando que una célula o string sombreado reduzca la producción de todo el módulo.
- **Implementación de microinversores o optimizadores de potencia:** Estas tecnologías permiten optimizar la producción de energía a nivel de módulo individual, reduciendo el impacto de las sombras sobre la producción total del sistema.

En resumen, las sombras pueden tener un impacto devastador en la producción de energía de un sistema fotovoltaico, y es crucial considerarlas cuidadosamente en la fase de diseño. Con una planificación adecuada y la implementación de tecnologías de mitigación, es posible minimizar estos efectos y asegurar un rendimiento óptimo del sistema.

CÁLCULO DE SOMBRAS PRODUCIDAS POR ELEMENTOS EXTERNOS

Para realizar el cálculo de las distancias mínimas a respetar para evitar las pérdidas producidas por las sombras, deberán seguirse los siguientes pasos:



CÁLCULO DE SOMBRAS

Paso 1. Cálculo del ángulo de altura solar mínimo para la localización (considerar la altura solar durante el mediodía solar). Dicho valor es igual a la declinación solar. Puede obtenerse matemáticamente mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Alt. solar} = 90^\circ - |\text{latitud} - \delta| = 90^\circ - |\text{latitud} - [23,45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)]|$$

CÁLCULO DE LA ALTURA SOLAR

Donde n corresponde con el número del día del año para el que se quiere calcular la declinación solar.

La Altura solar mínima se dará (en el polo norte) el 21 de Diciembre (n =355).

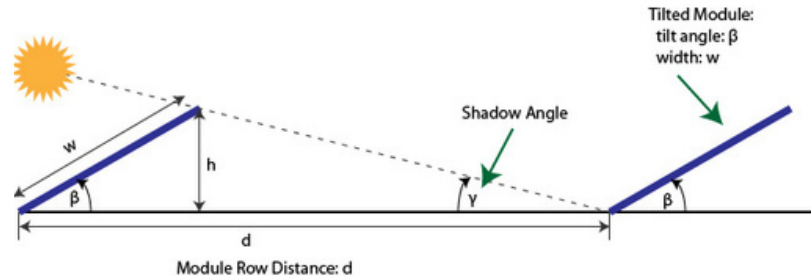
Paso 2. Cálculo de la longitud de sombra. Conocidos el ángulo de la altura solar mínima y la altura del objeto que obstruye la radiación solar, mediante simples relaciones trigonométricas puede obtenerse la longitud de la sombra, y por tanto, la distancia mínima a la que hay que colocar los módulos fotovoltaicos.

$$\text{Long. Sombra} = \frac{\text{Altura Obstaculo}}{\tan(\text{Ángulo Altura Solar})}$$

CÁLCULO LONGITUD DE SOMBRAS

CÁLCULO DE DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE PANELES

El cálculo de la distancia mínima entre filas de panel es fundamental a la hora de hacer la distribución geométrica de los módulos, así pues, como se ha visto, el efecto de las sombras puede llegar a ser crítico. Por ello, a continuación, van a explicarse los pasos que han de seguirse para calcular esta distancia de forma adecuada.



CÁLCULO DISTANCIA ENTRE MÓDULOS

Paso 1. Una vez se ha decidido la inclinación que se le va a dar al módulo β , se calculará la proyección del panel sobre la horizontal d_1 y la altura del panel.

$$d_1 = \cos(\beta) * w$$

CÁLCULO PROYECCIÓN DEL PANEL SOBRE LA HORIZONTAL

$$h = \text{sen}(\beta) * w$$

CÁLCULO PROYECCIÓN VERTICAL DEL PANEL O ALTURA

Donde:

w es la longitud de panel (tener cuidado si está colocado horizontal o verticalmente)

d_1 es la proyección del panel sobre la horizontal

h es la altura del panel

Paso 2. Cálculo del ángulo de altura solar más restrictivo para el cálculo de distancias entre filas γ .

$$\gamma = 61^\circ - \text{latitud}$$

CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ALTURA SOLAR

Paso 3. Cálculo de la distancia d_2 . O distancia que va desde el final de la proyección del panel, hasta la siguiente fila.

$$d_2 = \frac{h}{\tan(\gamma)}$$

CÁLCULO DISTANCIA D2

Paso 4. Cálculo de la distancia total entre filas.

$$d = d_1 + d_2$$

CÁLCULO DISTANCIA ENTRE MÓDULOS

REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

3.3.3. ¿Cuál es la disposición óptima en verano de los módulos FV para una instalación situada en el hemisferio sur, latitud 45°

- a. Inclinación de 60° orientada al sur.
- b. Inclinación 30° orientada al sur
- c. Inclinación 30° orientada al norte

3.3.4. Una instalación con trackers solares ... (señala la Incorrecta):

- a. Produce una mayor cantidad de energía que una con inclinación fija.
- b. Tiene un mantenimiento casi despreciable en comparación con las estructuras fijas.
- c. Requiere de un aumento entre las distancias de filas de módulos.

3.3.5. Señala la verdadera.

- a. La influencia de las sombras en a la producción fotovoltaica es mínima.
- b. Si estamos es invierno, las sombras producidas por una fila de módulos a la siguiente será mayor.
- c. La declinación solar de un determinado día del año determinará el ángulo de altura solar, y facilitará el cálculo de perdidas por mismatch.

3.3.6. Dado un módulo de 1,65 m de largo inclinado 30° , y una latitud de 25° norte, cual deberá ser la distancia mínima entre filas:

- a. 1,96 metros
- b. 1,37 metros
- c. 2,55 metros









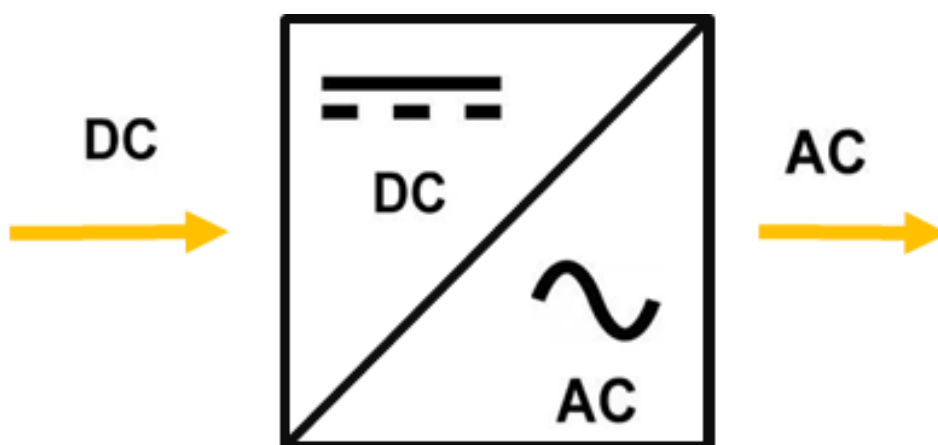
4. INVERSOR FOTOVOLTAICO

La corriente generada por los módulos fotovoltaicos es de naturaleza continua, lo que significa que mantiene una tensión constante a lo largo del tiempo.

Sin embargo, la mayoría de los dispositivos eléctricos, como motores, electrodomésticos y las redes eléctricas de la mayoría de los países, operan con corriente alterna, que se caracteriza por una onda senoidal.

Si intentáramos alimentar, por ejemplo, una bomba de agua diseñada para funcionar con una alimentación trifásica de 230/400 V utilizando corriente continua, podríamos dañar la electrónica del motor de la bomba debido a la incompatibilidad entre los tipos de corriente.

Para evitar este problema y asegurar que la energía generada por los módulos fotovoltaicos pueda ser utilizada de manera segura y eficiente en aplicaciones comunes, es necesario un equipo que transforme la corriente continua en corriente alterna. Este dispositivo se conoce como inversor.



SÍMBOLO DE INVERSOR FOTOVOLTAICO

Los inversores se clasifican en diferentes tipos según su aplicación y configuración. Entre las categorías más comunes se encuentran:

- **Inversores de conexión a red o inversores de autoconsumo:** utilizados en sistemas conectados a la red eléctrica o diseñados para maximizar el uso de la energía solar generada.
- **Inversores string o inversores centrales:** dependiendo de si gestionan un solo string de módulos fotovoltaicos o varios strings en grandes instalaciones.
- **Inversores base o inversores-cargadores:** donde los inversores-cargadores también gestionan la carga de baterías en sistemas híbridos.

Estos equipos electrónicos son extremadamente eficientes, con valores de eficiencia que generalmente superan el 95%. Aunque la diferencia en eficiencia puede no ser significativa en inversores de baja potencia, en inversores centrales, que manejan salidas de varios megavatios, incluso una mejora del 1% en eficiencia (por ejemplo, de 98% a 99%) puede resultar en una cantidad considerable de energía adicional aprovechada, lo que tiene un impacto notable en la rentabilidad y eficiencia global del sistema.



FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS INVERSORES SOLARES

Los inversores solares son componentes esenciales en cualquier sistema fotovoltaico, ya que cumplen varias funciones críticas para garantizar el funcionamiento eficiente y seguro del sistema. Entre las funciones más importantes de los inversores solares se encuentran:

- **Transformación de corriente continua a corriente alterna:** La función principal de un inversor solar es convertir la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos, que está en forma de corriente continua (DC), en corriente alterna (AC). Esta conversión es crucial porque la mayoría de los dispositivos eléctricos, electrodomésticos y la red eléctrica operan con corriente alterna.
- **Optimización del rendimiento del panel solar mediante el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT):** Los inversores están equipados con algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), que ajustan continuamente la carga de los módulos solares para que operen en el punto donde generan la mayor cantidad de energía posible. Esto maximiza la eficiencia del sistema, adaptándose a cambios en la irradiancia solar, la temperatura y otras condiciones ambientales.
- **Monitoreo del funcionamiento de la instalación:** Los inversores solares modernos incluyen capacidades de monitoreo que permiten supervisar en tiempo real el rendimiento del sistema fotovoltaico. Esto incluye el seguimiento de la producción de energía, la identificación de posibles fallos y la optimización del mantenimiento. Los datos recolectados por el inversor pueden ser accesibles a través de interfaces de usuario, aplicaciones móviles o sistemas de gestión de energía.
- **Protección del sistema fotovoltaico y la red eléctrica:** El inversor actúa como una barrera de protección entre el campo fotovoltaico y la red eléctrica. En caso de que ocurran condiciones anómalas como sobretensiones o cortocircuitos, el inversor tiene la capacidad de desconectar el sistema fotovoltaico para proteger tanto el campo solar como la red eléctrica. Esto asegura que cualquier fallo en uno de los lados no cause daños en el otro, manteniendo la integridad y seguridad de la instalación.

Estas funciones hacen del inversor solar un componente indispensable para la operación de sistemas fotovoltaicos, asegurando que la energía solar se transforme de manera eficiente, segura y optimizada para su uso en la red eléctrica o en aplicaciones específicas.

ELÉCTRONICA DE POTENCIA DEL INVERSOR

Aunque el propósito de este libro no es profundizar en el funcionamiento interno de los diversos equipos que componen las instalaciones solares, es importante proporcionar al lector una comprensión básica de cómo operan los convertidores de corriente, conocidos comúnmente como inversores.

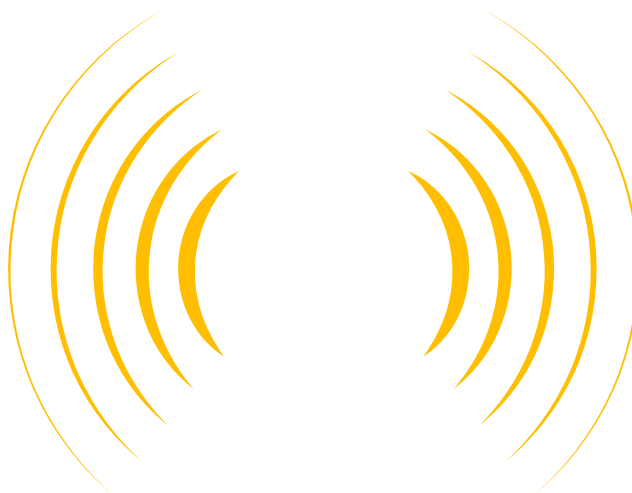
Configuración de la Etapa de Potencia

La etapa de potencia de los inversores, que es el corazón de estos dispositivos, generalmente presenta una configuración en puente monofásico. En esta configuración, se utilizan transistores MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) como semiconductores de potencia. Los MOSFET son elegidos por su alta eficiencia, capacidad de conmutación rápida y bajo costo, lo que los hace ideales para aplicaciones en inversores solares.

Generación de la Onda Senoidal

La función principal del inversor es convertir la corriente continua (DC) proveniente de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC). Esta conversión se logra generando una onda senoidal, que es la forma de onda estándar utilizada en las redes eléctricas y la mayoría de los dispositivos electrónicos.

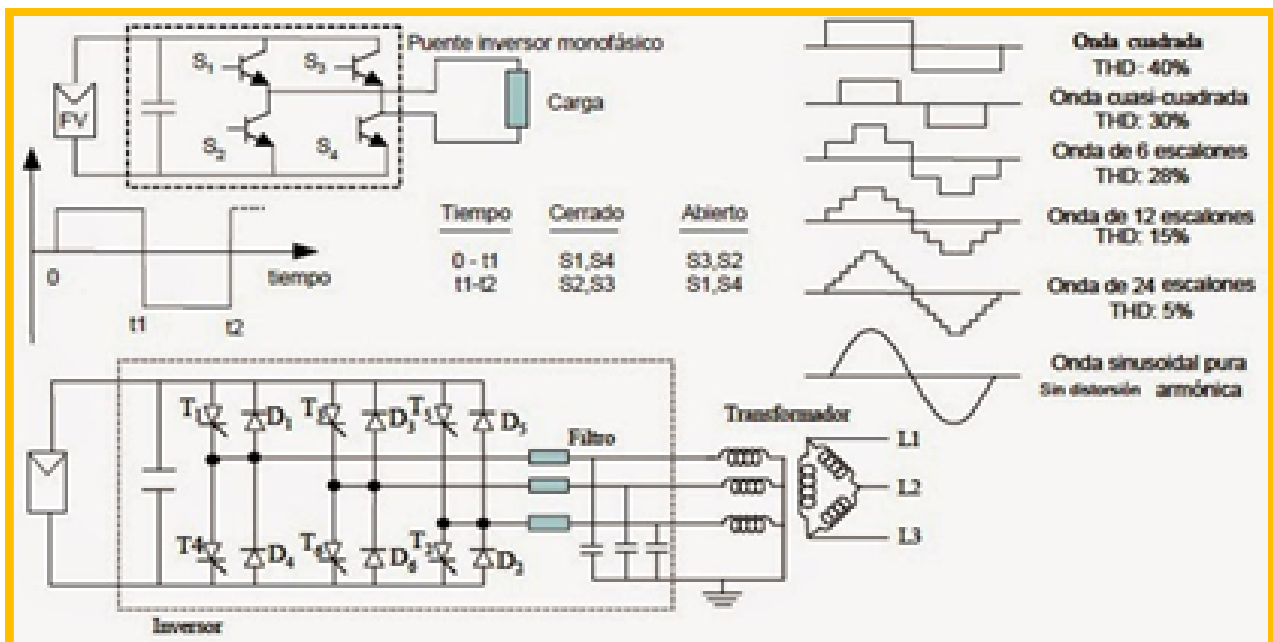
La onda senoidal se obtiene mediante una técnica conocida como modulación de ancho de pulsos (PWM). En este proceso, un microcontrolador en el inversor determina la forma exacta de la onda a partir de una tabla de valores predefinidos almacenados en la memoria del sistema. Este microcontrolador ajusta continuamente los tiempos de encendido y apagado de los MOSFET para construir una aproximación precisa de la onda senoidal deseada.



CONMUTACIÓN Y CALIDAD DE LA ONDA

Los MOSFET en el inversor operan a una frecuencia de conmutación típicamente alrededor de 20 kHz. Esta alta frecuencia permite generar una forma de onda senoidal con muy baja distorsión armónica (generalmente inferior al 1%), lo que es crucial para asegurar la calidad de la energía suministrada y minimizar el impacto de los armónicos en otros equipos conectados al mismo sistema.

El bajo contenido de armónicos es fundamental para mantener la estabilidad del sistema eléctrico, evitar interferencias con otros dispositivos y garantizar que la energía convertida por el inversor sea adecuada para su uso en aplicaciones domésticas, comerciales o industriales.



ESQUEMA ELECTRÓNICA INVERSOR SOLAR

En resumen, la electrónica de potencia de los inversores solares está diseñada para convertir de manera eficiente la corriente continua en corriente alterna, utilizando tecnologías avanzadas como los transistores MOSFET y la modulación de ancho de pulsos para asegurar una salida de alta calidad con mínima distorsión.

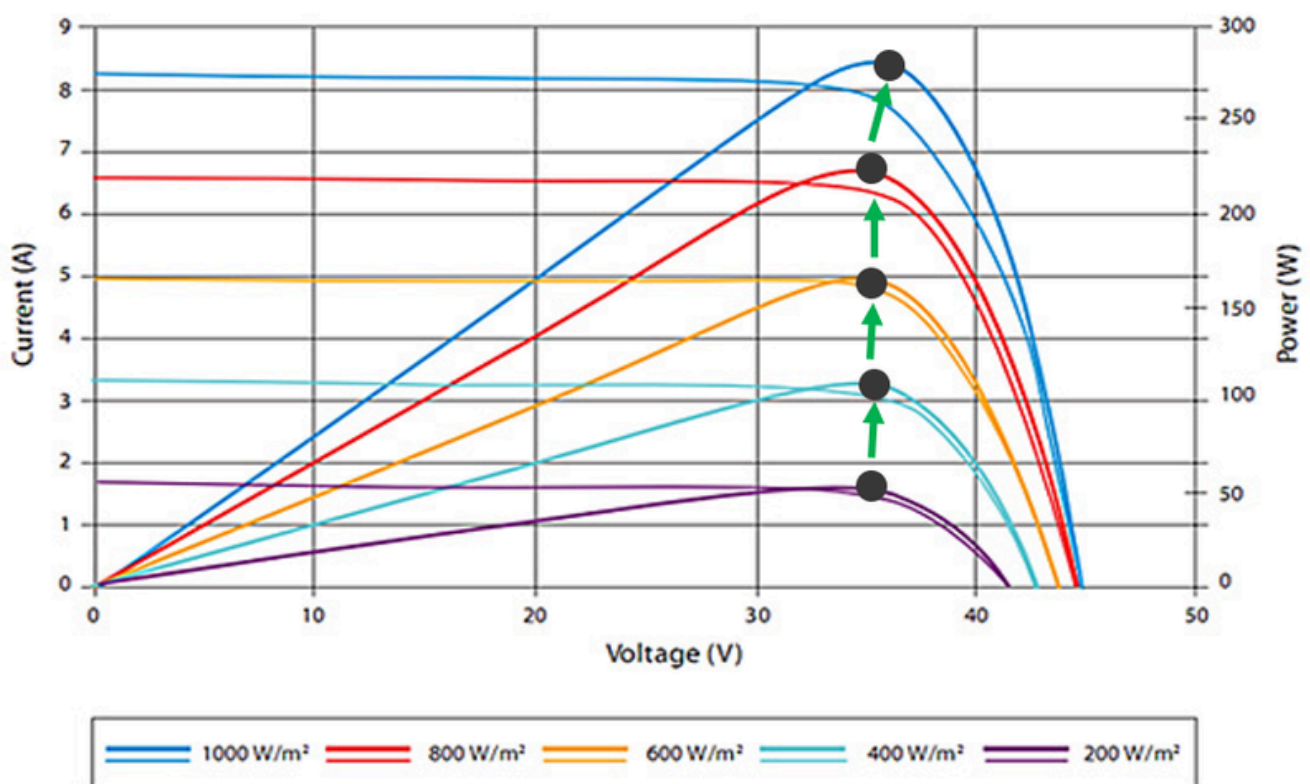
Esta comprensión básica ayuda a apreciar la sofisticación detrás de estos dispositivos y su papel crucial en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

REGULACIÓN DEL MPPT DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

Si bien la función principal de los inversores solares es convertir la corriente continua (DC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC), la evolución más significativa en la tecnología de inversores en los últimos años ha sido la implementación y perfeccionamiento de la regulación del Punto de Máxima Potencia (MPPT). Esta característica permite optimizar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos al asegurar que los módulos operen en el punto de su curva I-V donde la generación de potencia es máxima.

Importancia del MPPT

El MPPT es un proceso dinámico que ajusta continuamente la tensión de los módulos fotovoltaicos para encontrar y mantener el punto en el que la combinación de tensión y corriente resulta en la máxima potencia posible. Este punto óptimo puede variar debido a cambios en la irradiancia solar, temperatura y otras condiciones ambientales a lo largo del día. Sin la capacidad de ajustar dinámicamente este punto, el sistema no podría aprovechar al máximo la energía disponible, especialmente bajo condiciones cambiantes.



REGULACIÓN MPP

Funcionamiento de los Algoritmos MPPT

El proceso típico de los algoritmos MPPT utilizados por los inversores fotovoltaicos incluye los siguientes pasos:

1. Fijación Inicial de la Tensión: El inversor establece inicialmente la tensión de salida de los módulos en un valor cercano a la tensión máxima esperada.

2. Medición de Parámetros: Se mide la tensión y la corriente en este punto y se calcula la potencia generada.

3. Ajuste de la Tensión: El inversor modifica la tensión de funcionamiento de los módulos, generalmente reduciéndola ligeramente, y nuevamente mide la tensión y la corriente para calcular la nueva potencia.

4. Comparación y Ajuste Continuo: La nueva potencia calculada se compara con la potencia anterior. Si la nueva potencia es superior, el inversor continúa ajustando en la misma dirección; si es inferior, se retorna al punto de tensión anterior. Este proceso de ajuste se repite constantemente para garantizar que los módulos fotovoltaicos operen en el punto de máxima potencia en todo momento.



Variabilidad en la Regulación MPPT

Algunos inversores están equipados con un solo regulador MPPT, mientras que otros, especialmente los de mayor capacidad, pueden incluir varios reguladores MPPT. Tener múltiples MPPT permite que el inversor optimice de manera independiente diferentes strings de módulos, que pueden estar expuestos a condiciones diferentes, como sombras parciales o diferentes orientaciones. Esto es especialmente útil en instalaciones complejas donde no todos los módulos reciben la misma cantidad de irradiancia.

Impacto en el Rendimiento y Costo

La inclusión de múltiples reguladores MPPT en un inversor aumenta la capacidad del sistema para maximizar la producción de energía, especialmente en instalaciones con condiciones de irradiancia variables. Sin embargo, también incrementa el costo del inversor. Por lo tanto, el número de reguladores MPPT debe ser equilibrado con el costo total del sistema y las características específicas de la instalación.

Aunque el funcionamiento interno y la programación de los algoritmos MPPT son complejos, el conocimiento básico de su operación permite comprender cómo los inversores solares optimizan la generación de energía y aseguran un rendimiento máximo del sistema fotovoltaico bajo diversas condiciones ambientales.



REGULADORES DE TENSIÓN



En sistemas fotovoltaicos, aunque muchos dispositivos y equipos requieren corriente alterna (AC) para funcionar, hay una amplia gama de aparatos que operan directamente con corriente continua (DC). Estos incluyen ordenadores, teléfonos móviles, televisores, motores de corriente continua y baterías. Para estos dispositivos, no es necesario convertir la corriente continua generada por los módulos solares en corriente alterna. Sin embargo, hay un desafío: la tensión de entrada que requieren estos equipos es fija, usualmente en valores estándar como 12V, 24V o 48V, mientras que la tensión de salida del campo fotovoltaico varía según el voltaje de los módulos y su configuración.



REGULADOR DE TENSIÓN VICTRON

Función de los Reguladores de Tensión

Los reguladores de tensión ajustan la tensión variable proveniente del campo fotovoltaico y la convierten en una tensión fija y estable, adecuada para los dispositivos que se conectan a la instalación. Por ejemplo, si la salida de un campo fotovoltaico varía entre 20V y 40V dependiendo de las condiciones, un regulador de tensión puede reducir y estabilizar esta salida a 12V, 24V o 48V, según lo requerido por el sistema o el dispositivo en cuestión.

Este proceso es crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la longevidad de los dispositivos conectados, ya que fluctuaciones en la tensión pueden causar fallos, reducir la eficiencia o incluso dañar el equipo.

Aplicaciones Comunes

Los reguladores de tensión son comúnmente utilizados en sistemas que incluyen:

- **Baterías solares:** Donde es fundamental cargar las baterías a una tensión constante para evitar daños y asegurar una carga eficiente.
- **Dispositivos electrónicos sensibles:** Como ordenadores y equipos de telecomunicaciones que requieren una alimentación estable.
- **Motores de corriente continua:** Utilizados en aplicaciones como bombas de agua, donde la estabilidad de la tensión es clave para un funcionamiento seguro y eficiente.

En resumen, aunque la conversión de corriente continua a alterna es una función primaria en muchos sistemas solares, en aplicaciones donde se utilizan dispositivos de corriente continua, los reguladores de tensión son esenciales para adaptar la salida variable del campo fotovoltaico a los requisitos específicos de esos equipos. Estos reguladores aseguran que la energía solar generada pueda ser utilizada de manera segura y eficiente por todos los dispositivos conectados al sistema.



EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA ALTITUD EN LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA

Durante el funcionamiento de la electrónica de los inversores, al igual que en cualquier otro elemento electrónico, se produce un aumento de temperatura en el equipo. Este aumento de temperatura se combate gracias a los equipos de ventilación que incorpora el inversor, también llamados elementos de refrigeración.

En la gran mayoría de inversores, los elementos de refrigeración son pequeños ventiladores instalados dentro de la envoltura del equipo, cuya función principal es la disipación de calor.

Estos ventiladores son instalados por los fabricantes, y tienen una capacidad máxima de disipación de calor. De esta forma, se definen unas temperaturas de operación del equipo, por encima de las cuales no se podrá trabajar porque el inversor no es capaz de disipar el suficiente calor.



Efecto de la Temperatura.

Como se ha comentado, tanto potencia de disipación de los ventiladores como la temperatura de la electrónica es limitada, de forma que atendiendo a la ecuación de la disipación de la energía:

$$P_{disipada} = m * cp * (T_{max} - T_{amb})$$

POTENCIA CALORÍFICA DISIPADA

Siendo las siguientes variables:

- m , caudal másico de aire de ventilación.
- C_p , capacidad calorífica específica del aire
- T_{amb} , temperatura ambiente
- T_{max} , temperatura máxima

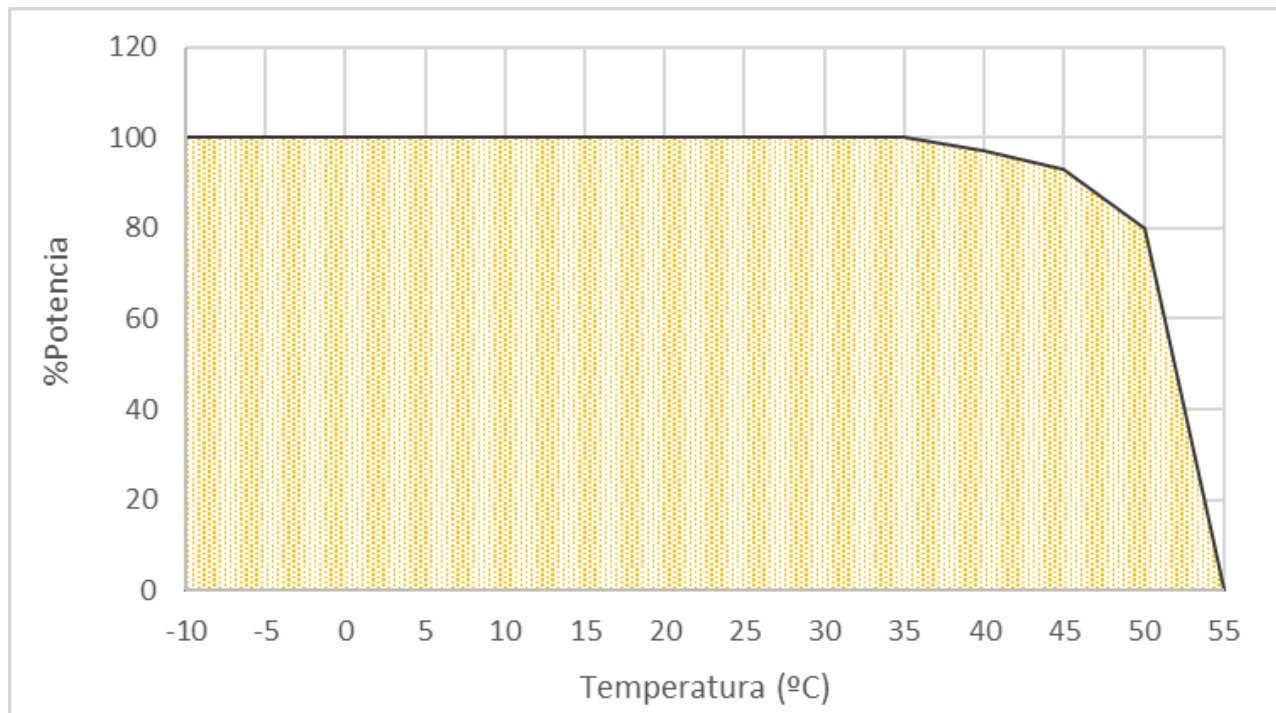
Y sabiendo que la temperatura máxima de la electrónica es un valor fijo, la temperatura ambiente es un valor impuesto por las condiciones atmosféricas, y el caudal de aire tienen un valor máximo impuesto por la curva Q-P del ventilador del equipo, se puede llegar a la conclusión de que, para temperaturas ambientales elevadas, la potencia de disipación de los equipos de refrigeración es menor, y por lo tanto para no sobrepasar los límites de temperatura de la electrónica se deberá limitar la potencia del inversor, de forma que se minimice la potencia de disipación requerida.

De esta forma, cuando el equipo funcione a temperaturas elevadas, se le deberá aplicar una reducción en su potencia de salida, conocido como el término "Derrating de potencia por temperatura".



Los inversores solares poseen una curva de derating que es importante conocer, pues la energía obtenida del campo fotovoltaico puede llegar a variar fuertemente cuando se le aplica el derating a estos.

En la siguiente imagen puede verse una curva típica de derating (los puntos de la curva variaran según lo declarado por el fabricante del inversor. La siguiente curva nbo es válida para ningún equipo en concreto).



DERRATING POR TEMPERATURA

Si se lee la gráfica de derating anterior, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

El inversor es capaz de funcionar a pleno rendimiento hasta temperaturas ambientes de 35°.

A partir de 35°C se le deberá aplicar una reducción de potencia acorde a la curva. Por ejemplo, para un inversor de 100 kW funcionando a una temperatura ambiente de 50°C, se le aplicará un derating del 80%, y por tanto su potencia máxima de salida se verá reducida a:

$$P_{out} = P_{max} * 0,8 = 80kW$$

A partir de 55°C el equipo ya no es capaz de funcionar, por lo tanto, su potencia de salida se verá reducida a 0kW.

Al igual que la temperatura, la altitud a la que se instale el equipo también tendrá un efecto sobre la cantidad de calor que pueden disipar sus equipos de refrigeración.

Volviendo a la fórmula de la disipación de calor:

$$P_{disipada} = m * cp * (T_{max} - T_{amb})$$

POTENCIA CALORÍFICA DISIPADA

El caudal de aire de ventilación del equipo dependerá de la potencia de los ventiladores, y del caudal volumétrico que puedan desplazar.

Si se analiza el caudal másico en función del caudal volumétrico y de la densidad de aire:

$$m = v * \rho$$

ILUSTRACIÓN 51. CAUDAL MÁSIKO

Donde:

- v , es el caudal volumétrico de aire.
- ρ , es la densidad del aire.

Y se tiene en cuenta la disminución de la densidad del aire con la altitud, puede observarse como la cantidad de caudal másico que es capaz de desplazar el ventilador del inversor se ve reducido, y por tanto, de forma proporcional su capacidad máxima de disipación de calor. De esta forma, al igual que pasa con la temperatura, para altitudes elevadas habrá que reducir la potencia de salida del equipo, aplicándole el llamado “Derating por altitud”.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.4

3.4.1. Un inversor tiene la siguiente función:

- a. Convertir la corriente alterna en continua.
- b. Regular la tensión.
- c. Transformar la corriente continua en alterna.

3.4.2. El seguimiento MPPT del inversor es:

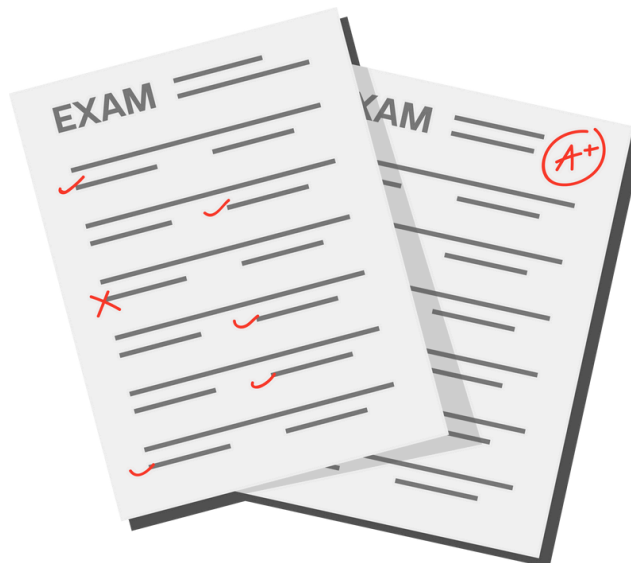
- a. Un modo de funcionamiento que permite regular la energía inyectada en función de la demanda.
- b. Un modo de funcionamiento que permite optimizar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos.
- c. Un modo de funcionamiento que fija la tensión e intensidad de los módulos FV en función de la radiación incidente.

3.4.3. La formación de armónicos... (señala la incorrecta)

- a. Mejora el rendimiento del inversor fotovoltaico.
- b. Pueden producir distorsiones en las ondas de otros equipos, modificando el funcionamiento de estos e incluso pudiendo llegar a producir los daños.
- c. Para eliminar los armónicos se requerirán de filtros senoidales y filtros dV/dt integrados en los inversores o a la salida de estos.

3.4.4. Señala la opción correcta.

- a. Los inversores fotovoltaicos funcionan mejor a alturas elevadas.
- b. La temperatura es un efecto beneficioso para el inversor, ya que aumenta la corriente de salida máxima.
- c. A temperaturas elevadas, la disipación de calor se ve reducida, limitando la salida de potencia del inversor.



5. Programas y herramientas para el dimensionado fotovoltaico

Excel es una de las herramientas más utilizadas en el ámbito del dimensionado fotovoltaico debido a su practicidad y la amplia variedad de funciones que ofrece. Permite crear ejecutables personalizados para calcular y optimizar la configuración de instalaciones solares, lo que lo convierte en una herramienta versátil y poderosa para diseñadores e ingenieros.

En Academia de Energía Solar, hemos desarrollado nuestro propio programa en Excel, denominado PV CALCULATOR, específicamente diseñado para el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas. Lo mejor de todo es que puedes descargar esta herramienta de manera gratuita desde nuestra página web.



Además, dentro de nuestro programa de mentoría, ofrecemos acceso gratuito a nuestras herramientas, incluida PV CALCULATOR. Si deseas más información sobre cómo unirte a nuestro programa de mentoría y acceder a estos recursos, puedes agendar una llamada informativa a través del siguiente enlace:

<https://calendly.com/bperez-kq43/llamada-de-admision?month=2024-10>

Estamos aquí para ayudarte a optimizar tus proyectos fotovoltaicos y llevar tus habilidades al siguiente nivel con nuestras herramientas y soporte especializado.

Para instalaciones más grandes y complejas, existen diversas herramientas especializadas reconocidas en la industria solar:

- **PVSYST:** Popular para el diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos de gran escala. Ofrece simulaciones detalladas y análisis de rendimiento.
- **HOMER:** Herramienta de modelado y optimización de sistemas híbridos que combina recursos renovables y convencionales.
- **HelioScope:** Combina diseño de sistemas fotovoltaicos con simulaciones de rendimiento energético. Es conocido por su interfaz intuitiva y capacidad para gestionar proyectos complejos.
- **SolarEdge Designer:** Herramienta gratuita para diseñar y simular sistemas fotovoltaicos con equipos SolarEdge, ideal para instalaciones con optimizadores de potencia y microinversores.
- **SAM (System Advisor Model):** Desarrollado por el NREL, permite modelar sistemas de energía renovable, ofreciendo análisis financieros y de rendimiento detallados.

(CONTINUACIÓN EN LA SIGUIENTE PÁGINA)

(CONTINUACIÓN)

- **SAM (System Advisor Model):** Desarrollado por el NREL, permite modelar sistemas de energía renovable, ofreciendo análisis financieros y de rendimiento detallados.
- **PV*SOL:** Permite la simulación dinámica y el dimensionado de sistemas fotovoltaicos, con capacidad de modelado en 3D para el análisis de sombras.
- **Aurora Solar:** Basado en la nube, permite diseñar, simular y optimizar sistemas solares, con análisis de sombras y una amplia base de datos de componentes.
- **SolarDesignTool:** Ideal para pequeños proyectos, ofrece una forma rápida y sencilla de diseñar instalaciones fotovoltaicas y generar informes técnicos.
- **RETScreen:** Software del Gobierno de Canadá para evaluar la viabilidad financiera y técnica de proyectos de energía renovable.
- **2Solar by Sollit:** Software especializado en la planificación y diseño de sistemas fotovoltaicos, conocido por su precisión en la simulación y optimización de proyectos solares.
- **PVCase:** Herramienta avanzada para el diseño de plantas solares, que permite un modelado detallado del terreno y optimización del layout de los paneles para maximizar la producción.
- **RatedPower (pvDesign):** Plataforma online que automatiza el diseño y la ingeniería de plantas solares, acelerando el proceso desde la concepción hasta el diseño final.



LECCIÓN IV.

Dimensionado de una instalación fotovoltaica



4.1. INTRODUCCIÓN Y NORMATIVA RELATIVA AL AUTOCONSUMO.

El autoconsumo eléctrico se refiere al uso de un sistema de generación de energía independiente de la red eléctrica convencional para satisfacer las necesidades energéticas de una vivienda, una nave industrial, o cualquier otra instalación. Este tipo de sistemas permite a los usuarios generar su propia energía, reduciendo la dependencia de la red y, en muchos casos, disminuyendo los costos de electricidad.



INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Las instalaciones de autoconsumo pueden ser diversas y no están limitadas a una única fuente de energía. Es común encontrar sistemas que combinan diferentes fuentes de generación, como energía fotovoltaica, energía eólica, y grupos diésel. Estas combinaciones permiten una mayor fiabilidad y flexibilidad en la generación de energía, asegurando un suministro constante incluso cuando una de las fuentes no está disponible o es insuficiente. Asimismo, las instalaciones de autoconsumo pueden clasificarse en dos grandes categorías:

- **Autoconsumo con generación renovable:** Sistemas que utilizan fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, la eólica, o la biomasa.
- **Autoconsumo con generación no renovable:** Sistemas que dependen de fuentes no renovables, como generadores diésel o de gas.

En este libro, el enfoque se centrará en las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, una de las formas más comunes y accesibles de generar energía renovable a nivel doméstico o industrial. Estas instalaciones no solo contribuyen a la sostenibilidad medioambiental, sino que también permiten a los usuarios optimizar su consumo energético y reducir sus facturas eléctricas.

Normativa Relativa al Autoconsumo

El marco legal que regula las instalaciones de autoconsumo en España se establece en el “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril”, que define las condiciones administrativas, técnicas y económicas para el autoconsumo de energía eléctrica. Este decreto ha sido un hito en la promoción del autoconsumo en España, facilitando la instalación y operación de sistemas fotovoltaicos y otras formas de generación distribuida.

El Real Decreto 244/2019 introduce varias modalidades de autoconsumo, como el autoconsumo con excedentes y sin excedentes, y permite a los usuarios recibir compensación por la energía excedente vertida a la red. Además, simplifica los trámites administrativos y técnicos para la instalación de estos sistemas, fomentando su adopción tanto a nivel residencial como industrial.

Entre los aspectos clave que regula el decreto se incluyen:

- **Modalidades de autoconsumo:** Define las diferentes modalidades, como el autoconsumo individual y colectivo, así como las condiciones bajo las cuales se pueden vender los excedentes de energía a la red.
- **Compensación de excedentes:** Establece las condiciones para que los usuarios reciban compensación económica por la energía excedente que inyectan a la red.
- **Requisitos técnicos y de seguridad:** Especifica las condiciones técnicas que deben cumplir las instalaciones para garantizar su seguridad y eficiencia.
- **Trámites administrativos:** Simplifica y aclara los procedimientos para la legalización de las instalaciones de autoconsumo, facilitando su implementación.

Este marco regulatorio ha permitido un crecimiento significativo del autoconsumo en España, contribuyendo al desarrollo de un modelo energético más sostenible y descentralizado. En los próximos capítulos, se explorará en detalle el funcionamiento de estas instalaciones, así como los beneficios y consideraciones a tener en cuenta para su implementación.



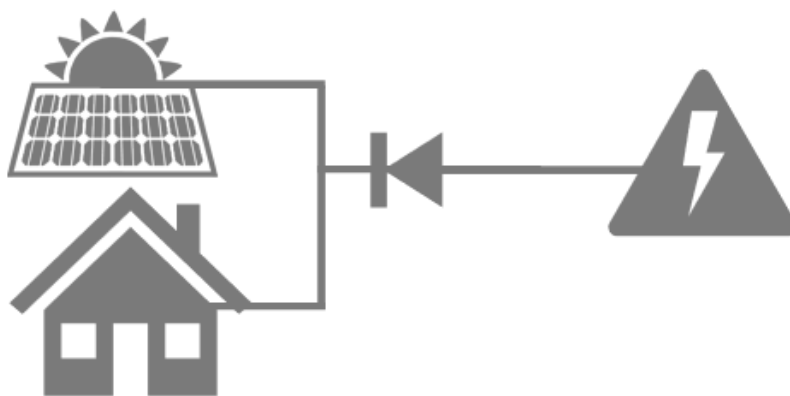
Tipos de Instalaciones Solares en España según Real Decreto 244/2019

El Real Decreto 244/2019 establece las bases para regular las instalaciones de autoconsumo en España, diferenciando entre varias modalidades según cómo se maneje la generación y el consumo de energía. A continuación, se presentan los tipos de instalaciones solares según esta normativa:

1. Autoconsumo SIN Excedentes

Este tipo de instalación se refiere a sistemas cuyo único objetivo es abastecer total o parcialmente la demanda energética del usuario, sin inyectar energía a la red eléctrica. Estas instalaciones pueden operar de dos formas:

- **Autoconsumo aislado:** En este caso, la instalación no está conectada a la red eléctrica. Toda la energía generada y consumida proviene del sistema fotovoltaico, y el exceso de energía, si lo hubiera, no se vierte a la red.
- **Autoconsumo conectado a la red con sistema antivertido:** Aunque estas instalaciones están conectadas a la red eléctrica, solo consumen energía de la red cuando la generación solar es insuficiente. Deben contar con un sistema antivertido que garantice que no se inyecte energía excedente a la red.



SISTEMA DE AUTOCONSUMO

2. Autoconsumo CON Excedentes

En estas instalaciones, parte de la energía generada que no es consumida puede ser vertida a la red eléctrica. Este tipo de autoconsumo se subdivide en dos modalidades:

- **Autoconsumo CON Excedentes Acogido a Compensación:**

- El propietario del sistema de autoconsumo, que también es el consumidor, puede optar por acogerse al procedimiento de compensación de excedentes.
- En esta modalidad, la energía vertida a la red se compensa económicamente, reduciendo el coste de la energía consumida de la red.
- Para acogerse a esta modalidad, las instalaciones deben cumplir con los siguientes requisitos:
 - La fuente de energía debe ser renovable.
 - La potencia instalada debe ser inferior a 100 kW.

- **Autoconsumo CON Excedentes No Acogido a Compensación:**

- Esta modalidad se refiere a instalaciones que, voluntariamente, optan por no acogerse a la compensación de excedentes, o que no cumplen con los requisitos para ello.
- Los propietarios pueden vender la energía excedente en el mercado mayorista (pool), como cualquier otro generador eléctrico.



CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA



El Real Decreto también introduce los conceptos de autoconsumo individual y autoconsumo colectivo, según el número de consumidores conectados al sistema de autoconsumo. Es importante señalar que, para cualquier modalidad de autoconsumo, los consumidores deben tener un contrato de suministro eléctrico en vigor.

Además, cualquier modalidad de autoconsumo descrita puede integrar sistemas de almacenamiento energético, permitiendo a los usuarios almacenar energía generada durante el día para usarla en momentos de menor producción solar o en picos de demanda.

GUÍA PARA LA TRAMITACIÓN DEL AUTOCONSUMO

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) ha publicado la “Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo”, que proporciona una explicación detallada sobre cada modalidad de autoconsumo, el proceso de compensación energética, y los pasos necesarios para la tramitación de estas instalaciones.

Puedes acceder a esta guía a través del siguiente enlace:

Guía Profesional de Tramitación del Autoconsumo – IDAE



Esta guía es una herramienta muy útil que resume de manera práctica e intuitiva los aspectos más relevantes del autoconsumo en España, facilitando la comprensión y tramitación de las instalaciones.

Autoconsumo INDIVIDUAL Un consumidor asociado O Autoconsumo COLECTIVO Varios consumidores asociados	Instalación PRÓXIMA en RED INTERIOR Conexión Red interior.	SIN excedentes (individual) Mecanismo anti-vertido. SIN excedentes ACOGIDA a compensación (colectivo) Mecanismo anti-vertido.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR No existe TITULAR INSTALACIÓN Consumidor PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes ACOGIDA a compensación Fuente renovable. Potencia de producción $\leq 100\text{kW}$. Si aplica, contrato único consumo-auxiliares. Contrato de compensación No hay otro régimen retributivo.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo PROPIETARIO Puede ser diferente
		CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Resto de instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente
	Instalación PRÓXIMA a TRAVÉS DE RED Conexión a red BT del mismo centro de transformación. Distancia entre contadores generación y consumo $< 500\text{ m}$, ambos conectados en BT. Misma referencia catastral (14dígitos).	CON excedentes NO ACOGIDA a compensación Instalaciones con excedentes.	CONSUMIDOR Titular del suministro PRODUCTOR Titular de la instalación TITULAR INSTALACIÓN El inscrito en el registro de autoconsumo y RAIPRE PROPIETARIO Puede ser diferente

CUADRO RESUMEN MODALIDADES DE AUTOCONSUMO (IDAE)

4.2. ¿CÓMO DIMENSIONAR UNA INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO?

Hasta este punto, en el libro se han tratado los temas más teóricos de la energía fotovoltaica, con el objetivo de poder adquirir de forma adecuada las competencias necesarias para ser capaces de dimensionar de forma correcta una instalación de autoconsumo.

Así pues, en este punto, se abordarán tanto las instalaciones de autoconsumo domésticas, con y sin excedentes, como las instalaciones de autoconsumo industriales, las cuales hay que abordar desde una perspectiva un poco distinta.

El sector de la energía fotovoltaica para autoconsumo domésticos es uno de los sectores con mayor proyección de desarrollo. La mentalidad sostenible, el deseo de ahorro energético y económico de los consumidores y la exponencial reducción de los costes de inversión de la fotovoltaica van a suponer un fuerte impulso en el sector.

En este punto vamos a aprender a dimensionar las instalaciones de autoconsumo doméstico desde 0.



INSTALACIÓN DE AUTOCONSUMO

Los pasos a seguir para realizar un correcto dimensionado son:



1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA



El primer paso en el proceso de dimensionamiento de una instalación de autoconsumo fotovoltaico es la recopilación de la información necesaria. Este paso es crucial porque establece la base sobre la cual se diseñará todo el sistema. Un entendimiento completo y preciso de las necesidades y condiciones del cliente permitirá realizar un dimensionado adecuado y evitar problemas futuros. A continuación, se detalla la información clave que debe recopilarse:

Datos del Cliente y Ubicación

- **Datos del Cliente:** Es fundamental obtener información básica del cliente, como su nombre, datos de contacto y detalles sobre la propiedad donde se instalará el sistema. Esto incluye verificar la ubicación geográfica exacta, que es vital para calcular la irradiancia solar disponible y ajustar el diseño en función de las condiciones climáticas locales.
- **Información sobre el Sitio:** Se debe recopilar información detallada sobre la propiedad, incluyendo cualquier elemento que pueda provocar sombras (como árboles, edificios cercanos, antenas, etc.) o dificultar la distribución geométrica de los módulos solares. La orientación y la inclinación del techo, así como la disponibilidad de espacio para la instalación, son aspectos cruciales a considerar.

Necesidades y Preferencias del Cliente

- **Objetivos del Cliente:** Es esencial entender las expectativas y objetivos del cliente. Esto incluye si desean una instalación con o sin baterías, si buscan cubrir el 100% de su consumo eléctrico con energía solar, o si prefieren una solución que optimice la inversión y el ahorro energético. Además, es importante saber si el cliente está interesado en un sistema conectado a la red (con o sin excedentes) o si la instalación será aislada.
- **Duración del Proyecto:** Preguntar al cliente sobre sus expectativas en cuanto a la duración del proyecto y cualquier preferencia sobre plazos de instalación y puesta en marcha.
- **Presupuesto:** Es útil obtener una idea del presupuesto disponible del cliente para ajustar el diseño del sistema y seleccionar los componentes más adecuados.



Análisis del Consumo Eléctrico

- **Factura Eléctrica:** Si es posible, se debe solicitar una copia de la factura eléctrica más reciente del cliente. Esta factura proporciona información valiosa, como el consumo energético total, la potencia contratada, y los patrones de consumo horarios o mensuales. Con esta información, se puede calcular mejor la demanda energética del cliente y dimensionar el sistema fotovoltaico en consecuencia.
- **Consumo Energético Detallado:** En caso de que el cliente no esté dispuesto a proporcionar su factura eléctrica, se le puede pedir un resumen de su consumo mensual para cada mes del año. Este detalle es esencial para dimensionar correctamente el sistema, asegurando que se pueda cubrir la demanda energética durante todo el año, especialmente durante los meses de menor irradiancia solar.
- **Perfil de Consumo:** Es importante comprender el perfil de consumo del cliente. ¿Existen picos de consumo durante ciertas horas del día? ¿Cómo varía el consumo entre estaciones? Esto ayudará a decidir si es necesaria una instalación con almacenamiento en baterías y cómo gestionar el excedente de energía.

Información Adicional

- **Conexión a la Red:** Es fundamental saber si la instalación estará conectada a la red eléctrica o si será una instalación aislada. Esto determina no solo el tipo de inversor que se utilizará, sino también si se debe considerar la opción de inyectar excedentes a la red o si se requerirá un sistema antivertido.
- **Regulaciones y Permisos:** Verificar si existen regulaciones locales específicas que deben cumplirse y si se requerirán permisos especiales para la instalación. Este es un aspecto que debe ser considerado desde el inicio para evitar retrasos en el proyecto.
- **Capacidad de Ampliación:** Preguntar al cliente si tiene planes de ampliar la instalación en el futuro, ya que esto puede influir en la selección de componentes y en el diseño del sistema para facilitar futuras expansiones.





2. ANÁLISIS GEOMÉTRICO DE LA DISPOSICIÓN DE LOS MÓDULOS



El análisis geométrico de la disposición de los módulos fotovoltaicos es un paso fundamental en el diseño de una instalación de autoconsumo, ya que determina la capacidad máxima de generación de energía que se puede lograr dentro del espacio disponible. A continuación, se detallan los pasos a seguir para realizar este análisis y se describen las estrategias de disposición según el tipo de cubierta.



Pasos para el Análisis Geométrico



1. Recopilación de Datos del Sitio:

A partir de la ubicación proporcionada por el cliente, se obtiene una vista aérea del lugar utilizando herramientas como Google Maps o Google Earth. Esto proporciona una vista clara de la disposición del techo, sombras potenciales y otros elementos que podrían influir en la colocación de los módulos.

2. Importación y Escalado en Software de Diseño:

La imagen aérea del sitio se introduce en un software de dibujo técnico, como AutoCAD, donde se escala para asegurar que las medidas sean precisas. Esto permite realizar un diseño exacto y optimizar la disposición de los módulos.

3. Diseño de la Distribución de los Módulos:

Una vez escalada la imagen, se procede a diseñar la distribución óptima de los módulos fotovoltaicos sobre la superficie disponible. Esto incluye considerar la orientación, inclinación y el espaciamiento necesario para evitar sombras entre filas de módulos.



ESTRATEGIAS DE DISPOSICIÓN SEGÚN EL TIPO DE CUBIERTA

CUBIERTA PLANA:

- **Orientación y Inclinación:** En una cubierta plana, los módulos se orientan hacia el sur para maximizar la captación de radiación solar. La inclinación recomendada es de 30° , ya que es un estándar en las estructuras de soporte y suele ser más económico. Sin embargo, si se busca optimizar al máximo la producción solar, los módulos pueden instalarse con una inclinación igual a la latitud del lugar, lo que puede mejorar el rendimiento pero podría aumentar los costos de instalación.
- **Espaciamiento:** Es crucial dejar suficiente espacio entre las filas de módulos para evitar sombras, especialmente durante los meses de invierno cuando el sol está más bajo en el horizonte.

CUBIERTA NORTE-SUR:

- **Disposición Coplanar:** En cubiertas orientadas de norte a sur, los módulos se instalan de manera coplanar en la parte sur de la cubierta, es decir, se adhieren directamente a la superficie del techo sin ninguna inclinación adicional. Esta disposición reduce costos al eliminar la necesidad de estructuras de soporte adicionales, aunque puede sacrificar algo de rendimiento en comparación con una inclinación optimizada.
- **Consideración de Sombras:** En este tipo de cubiertas, es importante considerar las posibles sombras de chimeneas, antenas u otros elementos presentes en el techo.

CUBIERTA ESTE-OESTE:

- **Instalación en Ambas Caras:** En cubiertas orientadas de este a oeste, los módulos pueden instalarse en ambas caras del techo. Si una de las cubiertas tiene una orientación más favorable hacia el sur, se puede priorizar esa cara para maximizar la producción solar.
- **Inclinación Coplanar vs. Inclinación Óptima:** Los módulos pueden instalarse de forma coplanar para minimizar costos, aunque esto generalmente resulta en una menor producción energética. Alternativamente, pueden inclinarse 30° hacia el sur para optimizar el rendimiento, aunque esto aumentará los costos debido a la necesidad de estructuras adicionales.
- **Distribución de la Producción:** Esta configuración puede ser ventajosa para distribuir la producción de energía a lo largo del día, capturando la luz solar tanto por la mañana (cara este) como por la tarde (cara oeste).



Ejemplo 6. Máximo número de paneles que pueden instalarse en la siguiente vivienda.



VISTA AEREA E ISOMÉTRICA

Mediante Google Maps se han realizado dos capturas, una primera aérea que introduciremos posteriormente en AutoCad (u otra herramienta de dibujo) y una segunda lateral, que servirá para analizar posibles sombras cercanas.

Dada la inclinación de 20° de la cubierta (proporcionada por el cliente), se ha decidido disponer los paneles de forma coplanar, maximizando el número de estos que podrán introducirse en la cubierta.

Una vez introducida la imagen, deberán de escalarse. Se deberá de tener en cuenta que la vista aérea muestra una imagen proyectada sobre el eje x. De esta forma, a la hora de dimensionar y colocar los paneles, se deberá tener en cuenta, que lo que se está dibujando es la proyección horizontal de los mismos, y por tanto el tamaño de la proyección será inferior al real. El lado que se disponga de forma párelo a la separación entre cubiertas no sufrirá ninguna deformación visual, sin embargo, el lado perpendicular deberá calcularse como.

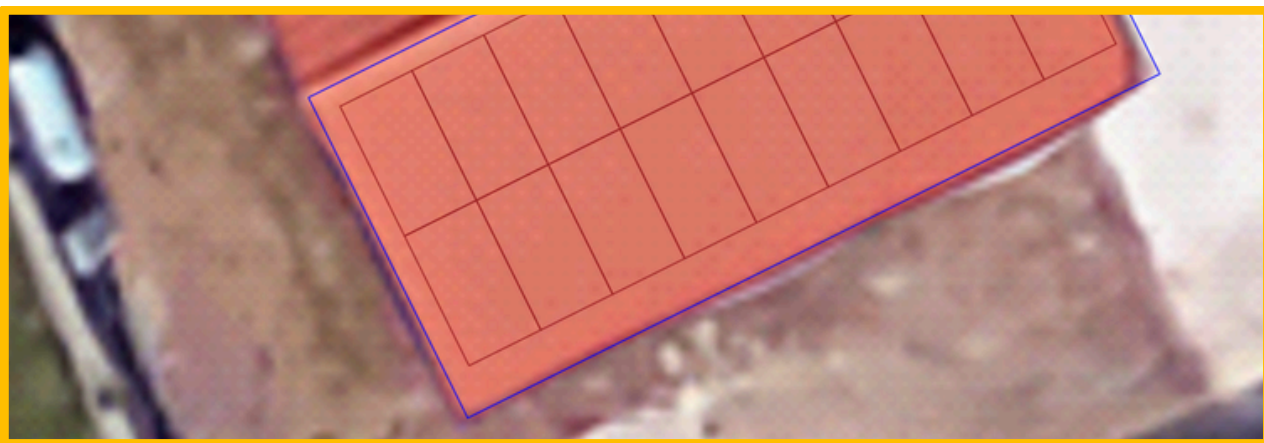
$$L_{\text{proyección}} = L * \cos \beta$$

PROYECCIÓN HORIZONTAL DEL MÓDULO

Donde:

- L es longitud del módulo
- B es el ángulo de inclinación del panel

De esta forma, para un panel de 2 x 1 m, dispuesto de forma coplanar sobre la cubierta a 20°, se le aplicarán unas longitudes de proyección de 1,88 x 1 m.



DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS

Para el ejemplo, el número máximo de módulos será de 18 módulos de 2x1 m. Sin embargo, como se verá en los siguientes pasos, puede que la potencia necesaria sea inferior.



3. OBTENER LA CURVA HORARIA DE CONSUMOS ENERGÉTICOS



Una vez que se ha realizado el análisis geométrico de la disposición de los módulos fotovoltaicos, el siguiente paso crucial en el dimensionamiento de una instalación de autoconsumo es obtener los consumos energéticos horarios del cliente. Este análisis es necesario para diseñar un sistema que optimice tanto la producción de energía como el ahorro económico. Dependiendo de la información disponible, se pueden seguir dos caminos:

OPCIÓN A: DISPONEMOS DE LA FACTURA ELÉCTRICA

Si se dispone de la factura eléctrica del cliente, el proceso se simplifica considerablemente. Con el consentimiento del cliente, se puede acceder a los consumos horarios a través de la página web del distribuidor eléctrico de la zona. Este acceso permitirá descargar un archivo en formato .csv que contiene los datos de consumo horario para todo el año.

1. Acceso a la Web del Distribuidor Eléctrico:

Con los datos del cliente, accede a la plataforma online del distribuidor eléctrico. Estas plataformas suelen permitir a los usuarios visualizar y descargar sus históricos de consumo eléctrico.

2. Descarga del Archivo .csv:

Descarga el archivo .csv que contiene los consumos horarios de todo el año. Este archivo incluirá información detallada sobre el consumo eléctrico para cada hora del día, lo que es esencial para realizar un análisis preciso del patrón de consumo del cliente.

3. Análisis de los Datos:

Importa el archivo .csv en un programa de análisis de datos como Excel o cualquier otro software similar.

A partir de estos datos, genera la curva de consumo horario para un día tipo de cada mes. Este paso permite identificar patrones estacionales y diarios de consumo, lo que es crucial para dimensionar el sistema fotovoltaico de manera óptima.

4. Generación de la Curva de Consumo Horario:

La curva de consumo horario para un día tipo de cada mes se utilizará para entender cómo varía la demanda energética del cliente a lo largo del día y el año. Esto ayudará a determinar el tamaño y tipo de sistema fotovoltaico que mejor se adapta a sus necesidades, así como la posible necesidad de almacenamiento en baterías.



OPCIÓN B: NO DISPONEMOS DE LA FACTURA ELÉCTRICA

Si no se dispone de la factura eléctrica del cliente, aún es posible estimar los consumos horarios utilizando la información proporcionada por el cliente sobre su consumo mensual. Esta estimación se realizará utilizando curvas de consumo normalizadas que se ajusten al tipo de consumidor (residencial, comercial, industrial, etc.).

1. Recopilación de Consumos Mensuales:

Solicita al cliente que proporcione los consumos mensuales de cada uno de los últimos 12 meses. Esta información es fundamental para crear una estimación de los patrones de consumo.

2. Aplicación de Curvas de Consumo Normalizadas:

Utiliza curvas de consumo normalizadas, que son perfiles de consumo típicos que reflejan cómo suele variar el consumo eléctrico en función de la hora del día y el mes del año. Estas curvas se seleccionan según el tipo de consumidor y pueden ajustarse utilizando bases de datos de consumo energético o estudios previos.

3. Estimación de la Curva de Consumo Horario:

Aplica la curva normalizada a los consumos mensuales proporcionados por el cliente para estimar la curva de consumo horario. Aunque este método no es tan preciso como el basado en datos horarios reales, ofrece una buena aproximación que permite dimensionar el sistema fotovoltaico de manera razonable.

4. Ajuste de la Curva:

Ajusta la curva de consumo estimada según cualquier información adicional proporcionada por el cliente, como horarios de mayor uso de electrodomésticos, cambios en los patrones de uso debido a estacionalidad o eventos especiales, etc.



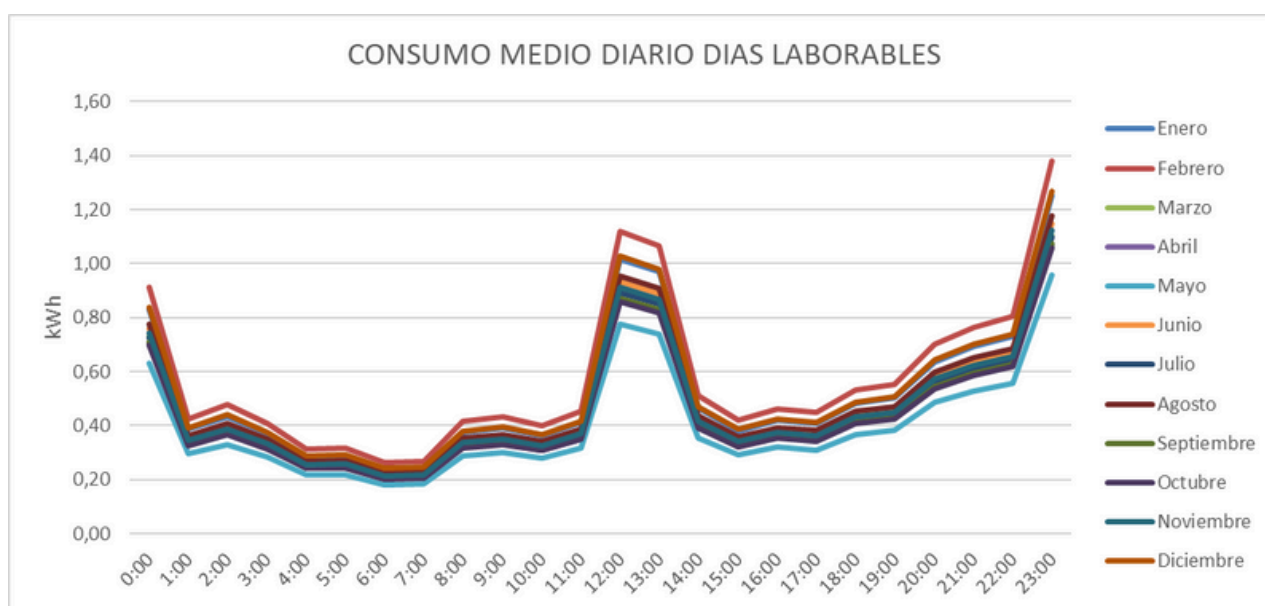


4. ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS ELÉCTRICOS



El análisis de los consumos eléctricos es un paso importante para determinar la potencia fotovoltaica óptima que debe tener la instalación.

Este análisis nos permite ajustar la capacidad del sistema a las necesidades energéticas específicas del cliente, asegurando que la producción de energía solar se optimice en función de su perfil de consumo. Para realizar este análisis de manera efectiva, es necesario utilizar una herramienta de cálculo adecuada que facilite el procesamiento y visualización de los datos.



ANÁLISIS DE LOS CONSUMOS ELÉCTRICOS.

Para manejar y analizar grandes cantidades de datos de consumo, Excel es una de las herramientas más potentes y versátiles. En AcademiaEnergía Solar, hemos desarrollado una aplicación específica en Excel que permite realizar un análisis detallado de los consumos horarios. Esta herramienta, PVCalculator, facilita la identificación de patrones de consumo y ayuda a determinar la configuración óptima del sistema fotovoltaico.

Si estás interesado en aprender más sobre cómo utilizar esta herramienta y optimizar el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas, te invitamos a agendar una reunión con Borja Pérez. Durante la reunión, podrás obtener información detallada sobre el programa de mentoría, donde tendrás acceso a PVCalculator y recibirás asesoramiento personalizado.

PRESIONA EN EL ENLACE PARA AGENDAR UNA REUNIÓN CON BORJA PÉREZ Y TE INFORME DEL PROGRAMA DE MENTORÍA



<https://calendly.com/bperez-kq43/llamada-de-admision?month=2024-10>

1.1. Cálculo de la potencia de la instalación fotovoltaica (SIN BATERÍAS)

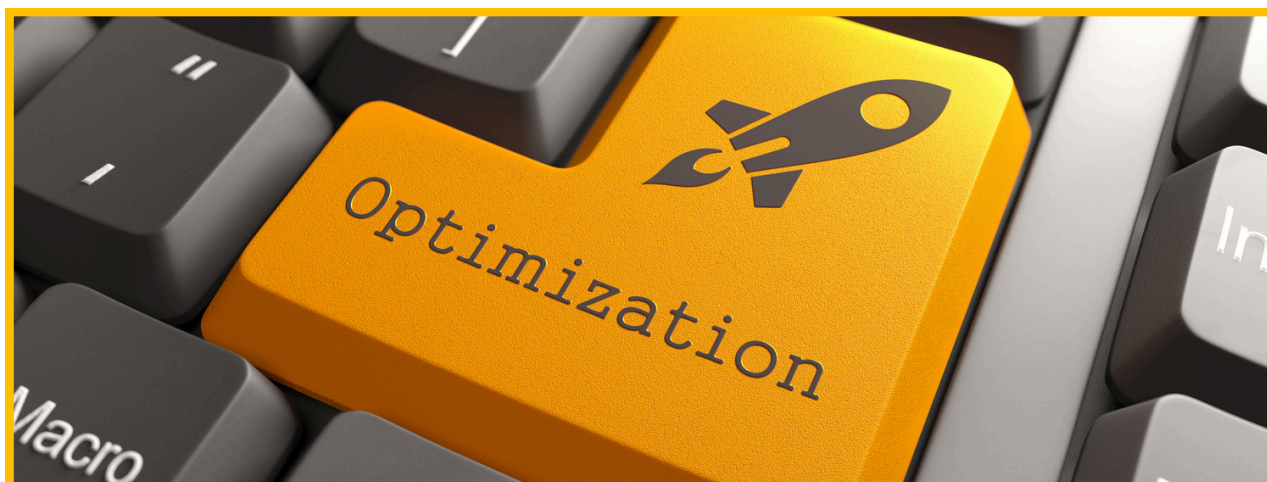
Una vez analizada la curva horaria de consumos energéticos, y conociendo los objetivos y requerimientos del cliente, podremos calcular la potencia FV necesaria.

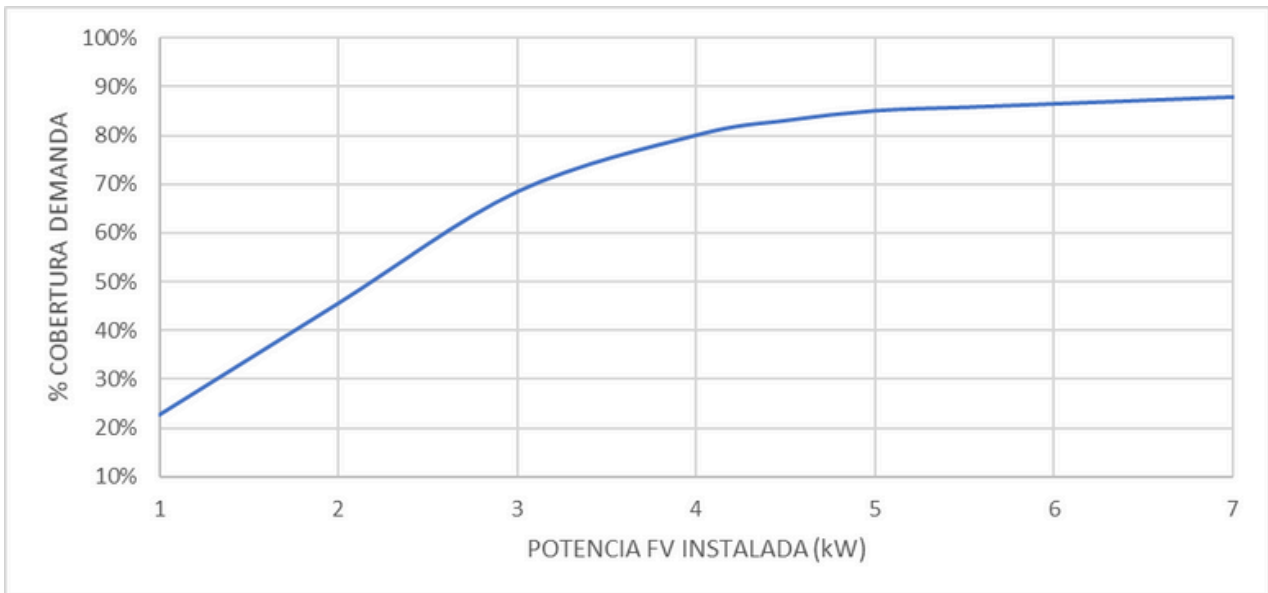
PV CALCULATOR permite de forma rápida y sencilla dimensionar el sistema fotovoltaico.

A la hora de dimensionar potencia del campo fotovoltaico, pueden seguirse diferentes criterios:

- Optimización de la instalación (teniendo en cuenta la compensación energética).

Para optimizar la potencia instalada, se analizan diferentes escenarios y se simula el rendimiento del sistema según la potencia fotovoltaica instalada. El objetivo es encontrar la configuración que ofrezca la mayor cobertura energética marginal.





OPTIMIZACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA

En la gráfica anterior, se muestra cómo la cobertura de la demanda varía en función de la potencia de la instalación solar. El punto óptimo de potencia estaría en torno a los 4 kW, ya que más allá de este valor, el incremento en la cobertura de la demanda se vuelve marginal.

De forma rápida y sencilla podría obtenerse este valor como.

$$P_{FV} = MIN\left(\frac{D_{enero}}{G_{enero}}, \frac{D_{febrero}}{G_{febrero}}, \dots, \frac{D_{diciembre}}{G_{diciembre}}\right)$$

OPTIMIZACIÓN DE POTENCIA INSTALADA

Donde:

- D representa el consumo medio diario en el mes determinado.
- G enero representa la generación diaria de 1 kW en el mes determinado.



Optimización de la instalación (sin tener en cuenta la compensación energética).

El procedimiento a seguir será muy similar, sin embargo, la cobertura de la demanda se verá muy penalizada, ya que la curva de consumos horarios puede no casar a la perfección con la de generación FV, produciéndose durante el día un exceso de energía, y por la noche un déficit.

Cubrir prácticamente el 100% de la energía diaria mediante el sistema solar (teniendo en cuenta la compensación energética).

En este caso, se buscará la mínima potencia fotovoltaica capaz de suministrar prácticamente el 100% de la demanda. Dado que el usuario se acogerá al autoconsumo con compensación energética, la energía vertida a red por el día servirá para "anular" el consumo nocturno.

El correcto dimensionado del sistema deberá realizarse mediante el uso de una herramienta de cálculo como EXCEL.

De forma rápida y sencilla podría obtenerse este valor como.

$$P_{FV} = MAX\left(\frac{D_{enero}}{G_{enero}}, \frac{D_{febrero}}{G_{febrero}}, \dots, \frac{D_{diciembre}}{G_{diciembre}}\right)$$

MAXIMIZACIÓN DE LAS COBERTURA DE DEMANDA

Especificación del cliente

Es posible que el cliente haya decidido de antemano la potencia del campo fotovoltaico, facilitando en gran medida este proceso de diseño de la instalación. No obstante, deberá verificarse que es un dimensionado válido.



1.2. Cálculo de la potencia de la instalación fotovoltaica (CON BATERÍAS)

Cuando se integran baterías en la instalación, se amplían significativamente las posibilidades de optimización del sistema. Las baterías permiten almacenar energía generada durante el día para usarla durante la noche o en momentos de baja irradiancia.

Dimensionado de la Capacidad de la Batería

La capacidad de la batería se mide en Wh o kWh y se dimensiona según:

- Demanda diaria máxima.
- Mínima irradiancia diaria.
- Número de días de capacidad.

La capacidad neta de la batería se dimensiona para asegurar que pueda suministrar la energía necesaria en días sin producción fotovoltaica, durante el número de días especificado. La capacidad de la batería se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_B = \frac{C_N}{DOD(\%)} = \frac{D_{max} * N}{DOD(\%)}$$

CAPACIDAD DE LA BATERÍA

Donde:

- C_B es la capacidad bruta de la batería
- DOD es el grado de descarga de la batería
- C_N es la capacidad neta de la batería
- D_{max} es la demanda diaria máxima
- N es el número de días de capacidad (en el supuesto, de que, por ejemplo, únicamente se requirieran 6 horas de autonomía, el valor de N sería 0,25)

El dimensionado de la potencia de campo fotovoltaica se deberá realizar teniendo en cuenta que la instalación ha de ser capaz de suministrar la demanda diaria, y además la capacidad de la batería.

De esta forma, la potencia podría calcularse como:

$$P_{FV} = \frac{D_{diaria} + C_N}{G_{min}}$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA FOTOVOLTAICA

Además del criterio básico mencionado anteriormente, existen otros criterios que pueden influir en el dimensionado del campo fotovoltaico, dependiendo de las necesidades y objetivos específicos del cliente:

1. Criterio de Maximización de la Autonomía Energética

- Este criterio busca maximizar la autonomía del sistema, es decir, reducir al mínimo la dependencia de la red eléctrica. En este caso, el dimensionado del sistema fotovoltaico y de las baterías se hace de manera que el cliente pueda operar independientemente de la red durante el mayor tiempo posible, incluso en días consecutivos de baja irradiancia.
- Para este criterio, se podría aumentar la capacidad de las baterías y sobredimensionar el campo fotovoltaico para asegurar suficiente generación y almacenamiento de energía, incluso en condiciones adversas.

2. Criterio de Minimización del Retorno de la Inversión (ROI)

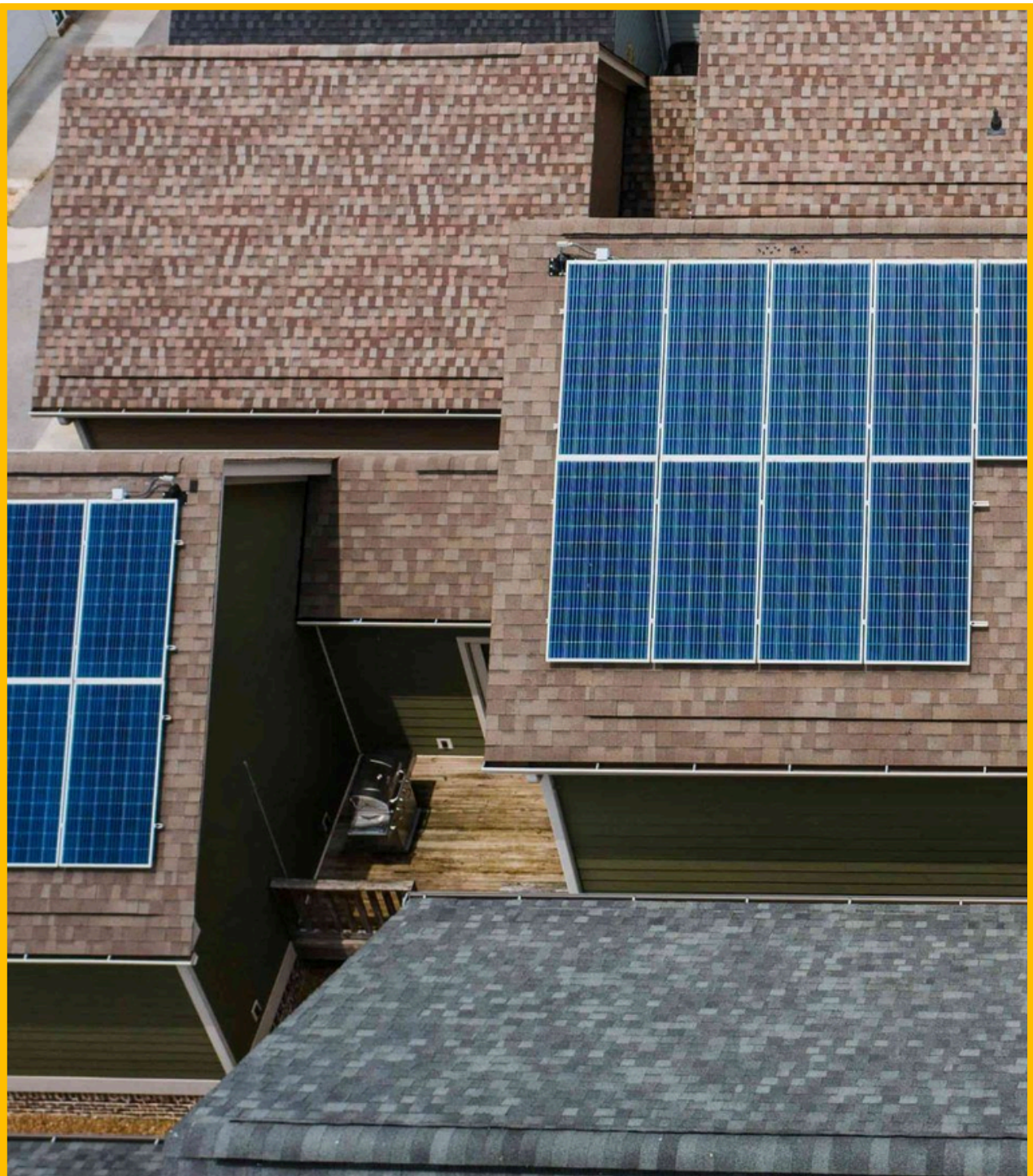
- En algunos casos, el cliente podría estar interesado en reducir el periodo de amortización de la inversión. Esto implicaría dimensionar el sistema de manera que maximice el ahorro energético y la compensación por excedentes, mientras se minimizan los costos iniciales.
- En este escenario, se buscaría una configuración óptima que no necesariamente cubra el 100% de la demanda energética, pero que ofrezca el mejor balance entre inversión y retorno financiero.

3. Criterio de Ahorro Económico

- Este enfoque se centra en maximizar el ahorro en la factura eléctrica. Se analiza cuándo es más costoso consumir energía de la red y se dimensiona el sistema para minimizar este consumo durante los periodos más caros.
- Esto podría implicar el uso de baterías para almacenar energía durante los periodos de alta generación solar y liberarla durante los picos de demanda, evitando así el consumo de energía de la red en horarios con tarifas más altas.

4. Criterio de Espacio Disponible

- A veces, el dimensionado del campo fotovoltaico está limitado por el espacio disponible en el sitio de instalación. En este caso, se debe optimizar el uso del espacio, seleccionando paneles de mayor eficiencia para maximizar la producción energética dentro del área disponible.
- Este criterio podría llevar a una solución en la que el tamaño del sistema se vea restringido, pero se busca maximizar la producción energética por metro cuadrado.



6.1. Elección del inversor fotovoltaico (SIN BATERÍA)

En una instalación fotovoltaica sin almacenamiento, el inversor es el componente clave que conecta el campo fotovoltaico con la red eléctrica o con los dispositivos eléctricos del cliente. Su función principal es convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC), que es la forma de electricidad utilizada por la mayoría de los dispositivos eléctricos y la red. La elección adecuada del inversor es crucial para maximizar la eficiencia del sistema y garantizar que la instalación funcione de manera óptima. A continuación, se describen los aspectos más importantes a considerar al seleccionar un inversor fotovoltaico.

TENSIÓN DE SALIDA

Uno de los primeros factores a considerar es la tensión de salida del inversor. Esta tensión debe ser compatible con la red eléctrica o con los dispositivos que recibirán la energía. Las tensiones de salida típicas varían según el tipo de instalación:

Instalaciones Domésticas:

- La mayoría de las instalaciones residenciales operan con una tensión de 230 V en monofásico, que es la norma para la mayoría de las viviendas en muchos países.
- En algunos casos, especialmente en viviendas más grandes o en zonas rurales, puede ser necesario un sistema trifásico de 230/400 V para manejar cargas más grandes.

Instalaciones Industriales:

- Las instalaciones industriales suelen requerir tensiones más altas debido a la mayor demanda de energía. Es común encontrar sistemas trifásicos de 400 V o incluso de 690 V en entornos industriales.
- Es fundamental asegurar que el inversor seleccionado sea compatible con la tensión de operación de la red a la que se conectará o de los equipos que se alimentarán.



POTENCIA DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

El siguiente aspecto crucial es la relación entre la potencia del campo fotovoltaico (medida en kWp) y la potencia nominal del inversor (medida en kW). Esta relación es importante porque afecta la eficiencia y el rendimiento general del sistema. Aquí hay algunas consideraciones clave:

Relación Potencia Campo Fotovoltaico/Inversor para Instalaciones Domésticas:

- Se recomienda que la potencia nominal del inversor esté entre el 85% y el 115% de la potencia del campo fotovoltaico.
- 85% de la Potencia del Campo Fotovoltaico: Un inversor con una potencia menor a la del campo FV se denomina "infradimensionado". Esto puede ser útil en casos donde la irradiancia solar es alta y constante, ya que el inversor operará cerca de su punto de máxima eficiencia durante más tiempo. Sin embargo, en condiciones de alta producción, parte de la energía generada podría no ser aprovechada debido a la limitación de potencia del inversor.
- 115% de la Potencia del Campo Fotovoltaico: Un inversor con una potencia mayor que la del campo FV, conocido como "sobredimensionado", puede ser beneficioso en situaciones donde la irradiancia solar es variable o baja. En estos casos, el inversor puede manejar mejor los picos de generación y asegurarse de que se aproveche la máxima energía disponible. Sin embargo, esto podría llevar a una menor eficiencia operativa en días de alta irradiancia si el inversor no opera cerca de su punto óptimo.

Relación Potencia Campo Fotovoltaico/Inversor para Instalaciones Industriales:

- Para instalaciones industriales, se recomienda un ratio DC/AC superior a 1. Esto significa que la potencia instalada en los paneles solares (DC) debería ser mayor que la potencia nominal del inversor (AC).
- Este enfoque se basa en el hecho de que la generación de energía de los paneles solares rara vez alcanza su capacidad máxima debido a factores como la temperatura, la orientación y las pérdidas por cableado. Al sobredimensionar el campo fotovoltaico, se maximiza la utilización del inversor, mejorando la rentabilidad y eficiencia del sistema.

OTROS FACTORES A CONSIDERAR

Además de la tensión de salida y la relación de potencia, hay otros factores que deben tenerse en cuenta al seleccionar un inversor:

- **Eficiencia del Inversor:** Es crucial elegir un inversor con una alta eficiencia de conversión para minimizar las pérdidas de energía durante el proceso de conversión de DC a AC. Las eficiencias típicas para inversores modernos superan el 95%, y algunas alcanzan el 98% o más.
- **Número de MPPTs (Seguidores de Punto de Máxima Potencia):** Los inversores con múltiples MPPTs permiten optimizar la producción de energía en sistemas donde diferentes secciones del campo fotovoltaico pueden estar expuestas a diferentes niveles de irradiancia (por ejemplo, debido a sombras parciales o diferentes orientaciones).
- **Capacidad de Sobrecarga:** Algunos inversores permiten una sobrecarga temporal, lo que significa que pueden manejar más potencia de la especificada durante breves periodos. Esto puede ser útil para gestionar picos de producción sin necesidad de sobredimensionar el inversor de manera permanente.
- **Compatibilidad con la Red Eléctrica:** Es esencial asegurarse de que el inversor cumple con las normativas locales y es compatible con la red eléctrica en términos de frecuencia, tensión, y requisitos de conexión. Además, debe incluir protecciones integradas como desconexión automática en caso de falla de la red.
- **Facilidad de Monitorización y Control:** Muchos inversores modernos vienen con opciones de monitorización remota que permiten a los usuarios supervisar el rendimiento del sistema en tiempo real, identificar fallos, y optimizar la operación.



6.2. Elección de los inversores/reguladores de carga (CON BATERÍA)

En instalaciones fotovoltaicas que incluyen almacenamiento en baterías, la complejidad del sistema aumenta debido a la necesidad de gestionar tanto la generación de energía como su almacenamiento y posterior uso. La elección de los inversores y reguladores de carga es crucial para asegurar que el sistema funcione de manera eficiente, fiable y segura. Existen diferentes configuraciones posibles que permiten adaptar el sistema a las necesidades específicas del cliente. A continuación, se describen estas configuraciones y los aspectos más importantes a considerar en cada caso.

INVERSOR-CARGADOR

El inversor-cargador es un dispositivo que combina en un solo equipo la función de convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) y la regulación de la tensión durante el proceso de carga de las baterías. Este tipo de inversor es una solución integral que simplifica la instalación al reducir el número de componentes necesarios.

Factores a Considerar en la Elección del Inversor-Cargador

- **Tensión de salida AC:** La tensión de salida es uno de los primeros aspectos a considerar al elegir un inversor-cargador. En instalaciones domésticas, lo más común es que la tensión de salida sea de 230 V en sistemas monofásicos o de 230/400 V en sistemas trifásicos. Es fundamental que la tensión de salida del inversor-cargador sea compatible con la red eléctrica o con los dispositivos eléctricos del hogar, para asegurar un funcionamiento sin problemas.
- **Potencia del campo fotovoltaico:** La relación entre la potencia del campo fotovoltaico y la potencia del inversor-cargador es clave para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente. Para instalaciones domésticas, se recomienda que la potencia del inversor-cargador esté entre un 85% y un 115% de la potencia del campo fotovoltaico. Esta recomendación se basa en la necesidad de mantener el inversor operando en su punto óptimo de eficiencia, lo que maximiza la conversión de energía y minimiza las pérdidas.
- **Tensión de entrada de las baterías:** El inversor-cargador debe ser compatible con la tensión de entrada de las baterías que se utilizarán en la instalación. Las tensiones más comunes en instalaciones domésticas son de 12 V, 24 V y 48 V. Sin embargo, en algunos sistemas más avanzados, especialmente aquellos que utilizan baterías de alta capacidad o de última generación, la tensión de entrada puede ser significativamente mayor, superando los 400 V. Es crucial que el inversor-cargador esté diseñado para manejar la tensión de las baterías seleccionadas, ya que una incompatibilidad podría afectar el rendimiento del sistema o incluso dañar los equipos.

INVERSOR + CARGADOR

Otra configuración común es utilizar un inversor y un cargador o regulador de carga como dispositivos separados. Esta opción ofrece mayor flexibilidad y control, ya que permite seleccionar equipos especializados para cada función, lo que puede ser ventajoso en instalaciones más complejas o personalizadas.

Factores a Considerar en la Elección del Inversor

- **Tensión de salida AC:** Al igual que con el inversor-cargador, la tensión de salida del inversor debe coincidir con la tensión requerida por la red o los dispositivos eléctricos del cliente. En instalaciones domésticas, esta tensión suele ser de 230 V para sistemas monofásicos y de 230/400 V para sistemas trifásicos. Es esencial asegurar que la tensión de salida del inversor sea adecuada para evitar problemas de compatibilidad y garantizar un suministro de energía estable.
- **Potencia del campo fotovoltaico:** La potencia del inversor en relación con la potencia del campo fotovoltaico sigue siendo un factor determinante para la eficiencia del sistema. Se recomienda que la potencia del inversor esté entre un 85% y un 115% de la potencia del campo fotovoltaico. Este rango asegura que el inversor opere cerca de su punto de máxima eficiencia, optimizando la conversión de la energía generada por los paneles solares.

Factores a Considerar en la Elección del Cargador

- **Potencia del inversor seleccionado:** El cargador o regulador de carga debe ser compatible con la potencia del inversor. Esto significa que debe estar dimensionado para manejar la energía que el inversor será capaz de gestionar, asegurando que las baterías se carguen de manera eficiente y segura.
- **Tensión de entrada de las baterías:** Al igual que con el inversor-cargador, es crucial que la tensión de entrada del cargador coincida con la tensión de las baterías utilizadas en la instalación. Las tensiones más comunes son 12 V, 24 V y 48 V, pero en sistemas más avanzados, la tensión puede ser significativamente mayor. Asegurarse de que el cargador esté diseñado para la tensión de las baterías evitará problemas de eficiencia y posibles daños al equipo.



7. Distribución de los módulos fotovoltaicos.

La distribución final del campo fotovoltaico debe realizarse de acuerdo con la potencia previamente dimensionada y los parámetros específicos del inversor seleccionado. Este proceso asegura que el sistema opere de manera óptima y cumpla con las limitaciones técnicas tanto del campo fotovoltaico como del inversor. A continuación, se detallan los pasos y cálculos necesarios para definir la configuración del campo fotovoltaico.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS NECESARIOS

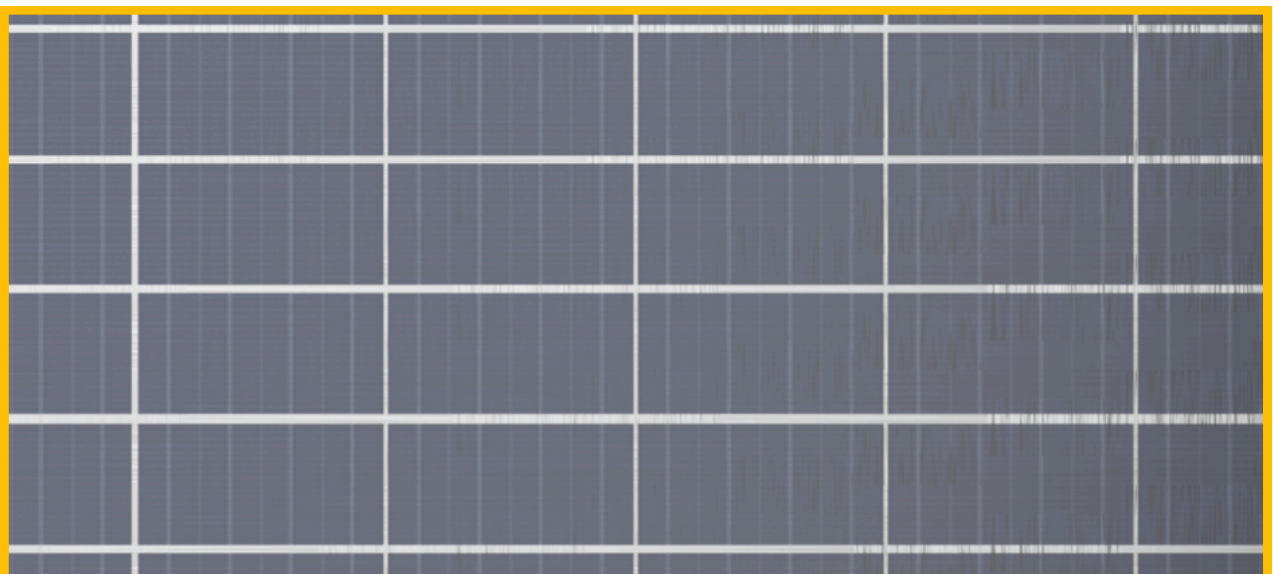
El primer paso es determinar cuántos módulos solares se requieren para alcanzar la potencia del campo fotovoltaico deseada. Este cálculo se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$N_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{CampoFV}}}{P_{\text{módulos}}}$$

NÚMERO DE MÓDULO NECESARIOS

Donde:

- $N_{\text{módulos}}$ es el número total de módulos solares necesarios.
- $P_{\text{Campo FV}}$ es la potencia total del campo fotovoltaico que se ha dimensionado previamente.
- $P_{\text{módulos}}$ es la potencia nominal de un módulo solar individual.



Configuración de Módulos en Serie y Paralelo

Una vez que se ha determinado el número total de módulos necesarios, el siguiente paso es configurar los módulos en serie y paralelo para que el sistema funcione correctamente con el inversor seleccionado.

Cálculo del Número de Módulos en Serie

Para determinar cuántos módulos deben conectarse en serie, se deben considerar la tensión mínima y máxima del punto de máxima potencia (MPP) del inversor. El número mínimo y máximo de módulos en serie se calcula con la siguiente fórmula

$$\frac{V_{\text{inversor-mpp-min}}}{V_{\text{módulo-mpp}}} \leq N_{\text{módulos-serie}} \leq \frac{V_{\text{inversor-mpp-max}}}{V_{\text{módulo-mpp}}}$$

MÁXIMO Y MÍNIMO NÚMERO DE MÓDULOS EN SERIE

Donde:

- $V_{\text{inversor-mpp-min}}$ es la tensión mínima de MPP del inversor.
- $V_{\text{inversor-mpp-max}}$ es la tensión máxima de MPP del inversor.
- $V_{\text{módulo-mpp}}$ es la tensión de MPP de un módulo solar.
- $N_{\text{módulos-serie}}$ es el número de módulos que se deben conectar en serie.

Este cálculo establece los límites para el número de módulos que se pueden conectar en serie, garantizando que la tensión del conjunto de módulos en serie se mantenga dentro del rango operativo del inversor.



Cálculo del Número de Strings en Paralelo

Una vez determinado el número de módulos en serie, se calcula cuántos strings (conjuntos de módulos en serie) deben conectarse en paralelo para alcanzar la potencia total requerida. Esto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_{strings-paralelo} = \frac{N_{módulos}}{N_{módulos-serie}}$$

NÚMERO DE STRINGS

Donde:

- $N_{strings-paralelo}$ es el número de strings que se deben conectar en paralelo.
- $N_{módulos}$ es el número total de módulos solares.
- $N_{módulos-serie}$ es el número de módulos conectados en serie por cada string.

VERIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN FINAL DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

Antes de definir la configuración final del campo fotovoltaico, es esencial realizar algunas verificaciones para asegurar que la configuración seleccionada es técnicamente válida y segura:

1.Verificación de la Tensión de Circuito Abierto:

Es necesario verificar que la tensión de circuito abierto del campo fotovoltaico, en las condiciones más desfavorables (es decir, a la temperatura mínima de operación), sea inferior a la tensión máxima de entrada del inversor:

$$V_{CampoFV-OC}(T_{min}) < V_{inversor-max}$$

CONDICIÓN DE TENSIÓN

Donde:

- $V_{(CampoFV - OC)}(T_{min})$ es la tensión de circuito abierto del campo fotovoltaico a la temperatura mínima.
- $V_{(inversor - max)}$ es la tensión máxima de entrada del inversor.

Esta condición asegura que el inversor no se vea sometido a tensiones superiores a su capacidad, lo que podría dañarlo o reducir su vida útil.

Verificación de la Corriente de Cortocircuito:

También se debe verificar que la intensidad de cortocircuito del campo fotovoltaico sea inferior a la corriente máxima admisible del inversor:

$$I_{CampoFV-SC}(T_{min}) < I_{inversor-max}$$

CONDICIÓN DE CORRIENTE

Donde:

- $I_{CampoFV-sc}(T_{min})$ es la corriente de cortocircuito del campo fotovoltaico a la temperatura mínima.
- $I_{inversor-max}$ es la corriente máxima admisible por el inversor.

Esta verificación es fundamental para garantizar que el inversor pueda manejar la corriente generada por los módulos solares sin sobrecargas que puedan causar fallos o daños.

Verificación del Número Total de Módulos:

Finalmente, se debe comprobar que el número total de módulos seleccionados en la configuración final sea inferior o igual al número máximo de módulos calculado inicialmente:

$$N_{módulos-final} \leq N_{módulos-max}$$

Donde:

- $N_{módulos-final}$ es el número de módulos utilizados en la configuración final.
- $N_{módulos-max}$ es el número máximo de módulos calculado en el paso inicial.

La distribución final del campo fotovoltaico debe ser cuidadosamente planificada y verificada para asegurar que todos los componentes del sistema, especialmente el inversor, operen dentro de sus límites especificados. El proceso de cálculo del número de módulos necesarios, su configuración en serie y paralelo, y las verificaciones finales son pasos esenciales para garantizar un sistema fotovoltaico seguro, eficiente y duradero. Cada uno de estos pasos debe realizarse con precisión para maximizar el rendimiento de la instalación y evitar problemas operativos en el futuro.

8. Simulación de la simulación final

Una vez seleccionada la configuración final del sistema fotovoltaico, es crucial realizar una simulación para analizar su funcionamiento bajo condiciones reales.

Esta simulación permite verificar si el sistema ha sido dimensionado correctamente y optimizar su rendimiento.

En las siguientes páginas, se presentan algunos ratios e indicadores clave que pueden ser utilizados para evaluar la eficacia del sistema.



1. Cobertura de Demanda Anual

La Cobertura de Demanda Anual mide el porcentaje de la demanda energética total del cliente que es cubierta por la energía generada por el sistema fotovoltaico.

Este ratio es fundamental para entender cuán eficiente es el sistema en satisfacer las necesidades energéticas del cliente.

$$CD (\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida}}{\text{Demanda energética}}$$

COBERTURA DE DEMANDA

2. Performance Ratio (PR)

El Performance Ratio es un indicador que compara la energía fotovoltaica autoconsumida con la energía teórica que el sistema debería producir bajo condiciones ideales. Este ratio permite evaluar la eficiencia global del sistema, teniendo en cuenta pérdidas debidas a factores como la temperatura, la orientación, la inclinación de los paneles, y la eficiencia del inversor.

$$PR(\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida}}{\text{Irradiancia anual} * \text{Potencia FV instalada}}$$

PERFORMANCE RATIO

Un PR del 100% indicaría un rendimiento perfecto bajo las condiciones de irradiancia disponibles. Sin embargo, en la práctica, valores típicos varían entre el 75% y el 90%, dependiendo de la calidad del diseño y las condiciones de operación.

3. Ratio de Aprovechamiento Fotovoltaico (AFV)

El Ratio de Aprovechamiento Fotovoltaico mide la eficiencia con la que se utiliza la energía generada por los paneles solares. Este ratio se centra en la relación entre la energía autoconsumida y la energía total generada por el sistema fotovoltaico.

$$AFV(\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida}}{\text{Energía FV producida}}$$

RATIO DE APROVECHAMIENTO FOTOVOLTAICO

Un AFV alto indica que la mayor parte de la energía generada se está utilizando directamente, minimizando las pérdidas o la energía vertida a la red.

4. Energía Vertida a la Red (VFV)

El Ratio de Energía Vertida a la Red mide la proporción de energía generada por el sistema fotovoltaico que no es autoconsumida y, en cambio, se inyecta en la red eléctrica. Este ratio es particularmente relevante en sistemas con compensación económica por la energía vertida.

$$VFV(\%) = \frac{\text{Energía FV vertida a red}}{\text{Energía FV producida}}$$

VERTIDO A RED

Un alto porcentaje de energía vertida puede indicar que el sistema está sobredimensionado para el consumo del cliente, lo que podría implicar una revisión del diseño o considerar soluciones de almacenamiento para maximizar el autoconsumo.

5. Autonomía Energética

El Ratio de Autonomía Energética mide el grado en que el sistema fotovoltaico permite al cliente operar de manera independiente de la red eléctrica. Este ratio es especialmente importante en sistemas con almacenamiento, donde el objetivo es minimizar la dependencia de la red.

$$AE(\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida} + \text{Energía Baterías}}{\text{Demanda Energética}}$$

Este ratio indica qué porcentaje de la demanda energética del cliente es cubierto por la energía generada y almacenada por el sistema fotovoltaico, lo que permite evaluar la independencia energética que ofrece el sistema.

6. Ratio de Sobredimensionamiento

El Ratio de Sobredimensionamiento compara la potencia instalada del sistema fotovoltaico con la demanda energética máxima. Este ratio ayuda a determinar si el sistema está sobredimensionado, lo que podría llevar a una sobreproducción de energía que no se puede autoconsumir o almacenar.

$$RS(\%) = \frac{\text{Potencia FV instalada}}{\text{Demanda Energética}}$$

Este ratio es útil para optimizar el tamaño del sistema en relación con las necesidades energéticas del cliente.

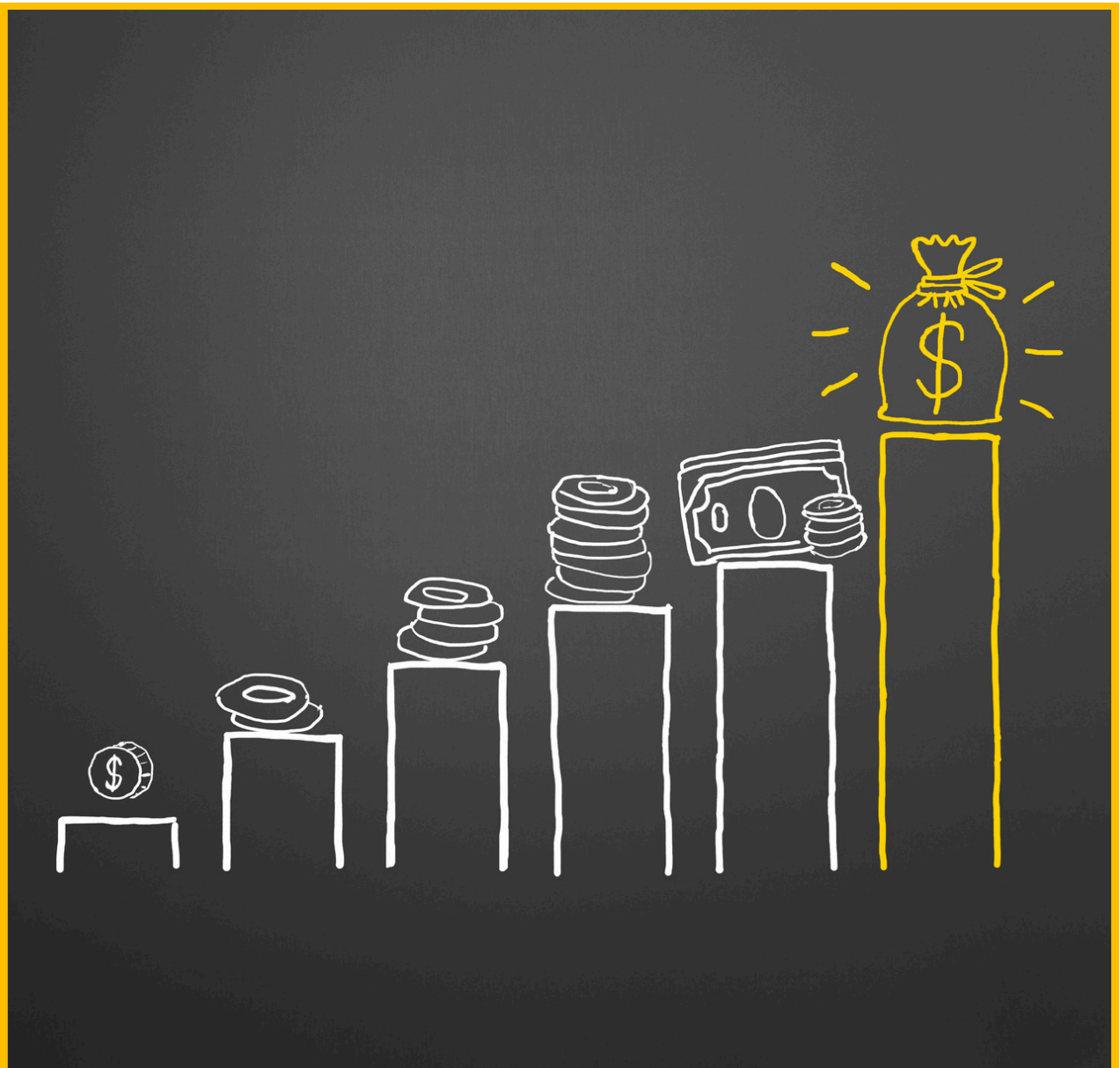
7. Retorno de la Inversión (ROI)

El Retorno de la Inversión o payback es un indicador financiero que mide la rentabilidad del sistema fotovoltaico. Se calcula comparando los ingresos generados o el ahorro en costes gracias a la instalación con la inversión inicial realizada.

$$ROI(\%) = \frac{\text{Ahorro anual}}{\text{Inversión inicial}}$$

RETORNO DE LA INVERSIÓN

Este ratio es fundamental para evaluar la viabilidad económica de la instalación fotovoltaica.



9. Generación de informe de la instalación

La generación de un informe detallado es una parte fundamental del proceso de diseño e implementación de una instalación fotovoltaica. Este informe no solo proporciona una visión clara y comprensible de los resultados obtenidos durante la simulación del sistema, sino que también sirve como un documento clave para la toma de decisiones por parte del cliente. A continuación, se describen los puntos esenciales que deben incluirse en este informe:

1. Datos del Sistema y de la Solución Propuesta

Este apartado debe ofrecer una descripción detallada de la instalación fotovoltaica diseñada. Incluirá información como:

- **Descripción del Sistema:** Información básica sobre la configuración del sistema, incluyendo el número de módulos, la potencia total instalada, la orientación e inclinación de los paneles, y el tipo de inversor utilizado.
- **Especificaciones Técnicas:** Datos técnicos clave, como la tensión y corriente nominal del sistema, la capacidad de las baterías (si las hay), y las características del inversor y otros componentes principales.
- **Objetivos del Proyecto:** Un resumen de los objetivos principales del cliente, como la cobertura de la demanda energética, la reducción de la factura eléctrica, o la maximización del autoconsumo.



2. Resultados Energéticos

En este apartado se presentarán los resultados de la simulación energética del sistema fotovoltaico, utilizando gráficos y tablas para facilitar la comprensión:

- **Cobertura de Demanda Anual:** Muestra el porcentaje de la demanda energética del cliente que es cubierta por la energía generada por el sistema fotovoltaico.
- **Performance Ratio (PR):** Proporciona una evaluación de la eficiencia global del sistema.
- **Ratio de Aprovechamiento Fotovoltaico (AFV):** Indica la proporción de energía generada que es efectivamente utilizada por el cliente.
- **Energía Vertida a la Red:** Detalla la cantidad de energía no autoconsumida que se inyecta en la red eléctrica.
- **Gráficos de Producción vs. Consumo:** Comparaciones visuales entre la energía generada y el consumo a lo largo de diferentes períodos (diarios, mensuales, anuales).

3. Análisis Económico

El análisis económico es uno de los aspectos más importantes para el cliente, ya que permite evaluar la rentabilidad de la inversión en el sistema fotovoltaico:

- **Coste Inicial del Sistema:** Desglose del coste total de la instalación, incluyendo componentes, mano de obra, y cualquier otro gasto relacionado.
- **Ahorro Anual Estimado:** Estimaciones del ahorro en la factura eléctrica gracias a la energía autoconsumida y a la compensación por la energía vertida a la red.
- **Retorno de la Inversión (ROI):** Cálculo del porcentaje de retorno de la inversión, basado en los ahorros anuales y el coste inicial.
- **Tiempo de Amortización:** Estimación del tiempo necesario para que los ahorros generados por el sistema igualen el coste inicial de la instalación.
- **Análisis de Sensibilidad:** Evaluaciones de cómo variaciones en factores como el precio de la electricidad o la irradiancia solar podrían afectar la rentabilidad del sistema.

Generación Automática del Informe

Gracias a herramientas especializadas como PV CALCULATOR de @AcademiaEnergiaSolar, es posible generar de forma automática un informe personalizado que incluya todos los aspectos mencionados. Esta automatización no solo ahorra tiempo, sino que también asegura que todos los detalles clave se incluyan de manera consistente y precisa, facilitando la presentación de los resultados al cliente y ayudándolo en la toma de decisiones.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 4.0

1.1. Según el nuevo decreto del autoconsumo 244/2019... (señala la verdadera)

- a. Las instalaciones de más de 100 kW podrán a cogerse al denominado como "Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada"
- b. Se distingue entre autoconsumo con excedentes y sin excedentes.
- c. Las instalaciones acogidas al régimen de compensación simplificada reducirán su factura eléctrica en un 40%.

1.2.Cuál de las siguientes etapas/pasos no es necesario a la hora de dimensionar un sistema fotovoltaico:

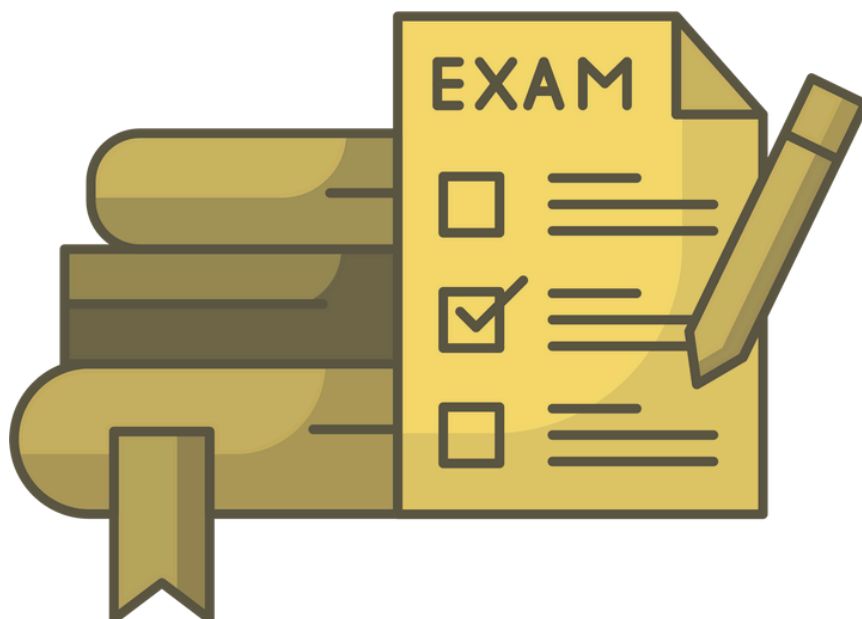
- a. Análisis energético.
- b. Análisis de sombras.
- c. Análisis económico.

1.3. La máxima producción energética de una instalación fotovoltaica dependerá de los siguientes parámetros (señala la verdadera)

- a. Potencia instalada, irradiancia y temperatura.
- b. Potencia instalada, consumos energéticos e irradiancia.
- c. Irradiancia, temperatura y consumos energéticos.

1.4. La aplicación de @bySolarEnergy Academy, permite:

- a. Realizar el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas.
- b. Apuntarte la lista de la compra.
- c. Realizar la contabilidad de tu empresa...



ANEXO I. Coviértete en un experto en la tecnología del futuro

El libro "El Arte de Dimensionar tu Sistema de Autoconsumo" te ha proporcionado una base sólida y detallada sobre los conceptos, tecnologías y procedimientos esenciales para el diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, el campo de la energía solar es vasto y en constante evolución, por lo que siempre hay más por aprender y descubrir. Para aquellos que desean llevar su conocimiento al siguiente nivel y convertirse en verdaderos expertos en el sector de la energía solar, ofrecemos recursos adicionales que pueden ayudarte a lograr tus objetivos.

ACADEMIA DE ENERGÍA SOLAR EN YOUTUBE

Uno de los mejores lugares para continuar tu aprendizaje es nuestro canal de YouTube, Academia de Energía Solar. Aquí encontrarás una amplia variedad de contenido educativo, desde tutoriales detallados sobre temas específicos hasta análisis de las últimas tendencias en tecnología solar. Algunos de los temas que cubrimos incluyen:

- **Tutoriales de Software:** Aprende a utilizar las herramientas y programas más avanzados para el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas, como PVGIS, PVSyst, y otros. Nuestros videos te guiarán paso a paso para que puedas sacar el máximo provecho de estas herramientas.
- **Conceptos Avanzados de Energía Solar:** Exploramos en profundidad temas como la integración de baterías en sistemas fotovoltaicos, la optimización de la producción energética en diferentes entornos y climas, y mucho más.
- **Estudios de Caso:** Analizamos proyectos reales de instalaciones fotovoltaicas, desde su diseño inicial hasta la implementación, para que puedas ver cómo se aplican los conceptos teóricos en el mundo real.

Visita nuestro canal de YouTube y suscríbete para no perderte ningún video. Estamos comprometidos en brindarte contenido de alta calidad que te ayudará a mantenerte actualizado y a seguir perfeccionando tus habilidades en el campo de la energía solar.

PROGRAMA DE MENTORÍA: CONVIÉRTETE EN UN EXPERTO SOLAR EN 3 MESES

Para aquellos que buscan una formación más intensiva y personalizada, hemos diseñado un Programa de Mentoría de 3 Meses. Este programa está pensado para llevarte desde un nivel básico o intermedio hasta convertirte en un experto solar, capaz de diseñar, dimensionar e implementar instalaciones fotovoltaicas con la máxima eficiencia y profesionalismo.

¿QUÉ INCLUYE EL PROGRAMA DE MENTORÍA?

- 1. Sesiones de Formación Personalizada:** Recibirás sesiones de formación a medida, adaptadas a tu nivel de conocimiento y a tus objetivos profesionales. Estas sesiones te permitirán profundizar en los aspectos más complejos del dimensionado y la gestión de proyectos solares.
- 2. Acceso Exclusivo a Herramientas de Cálculo:** Como parte del programa, tendrás acceso a herramientas avanzadas de cálculo y simulación que te permitirán diseñar instalaciones fotovoltaicas con una precisión sin precedentes.
- 3. Soporte Continuo:** Durante los tres meses, contarás con el apoyo continuo de nuestros expertos, quienes te guiarán y responderán a todas tus dudas. Este soporte es crucial para asegurarte de que estás aplicando correctamente lo aprendido y avanzando a buen ritmo.
- 4. Certificación:** Al finalizar el programa, recibirás una certificación que avala tu formación y te acredita como experto solar. Esta certificación es un reconocimiento a tu esfuerzo y un valioso añadido a tu currículum profesional.

¿CÓMO UNIRTE AL PROGRAMA DE MENTORÍA?

Si estás interesado en dar este paso y unirte a nuestro programa de mentoría, te invitamos a reservar una llamada de admisión. Durante esta llamada, podrás hablar directamente con Borja Pérez, quien te explicará en detalle cómo funciona el programa, resolverá cualquier duda que puedas tener y te orientará sobre cómo comenzar tu camino hacia la especialización en energía solar.

Reserva tu llamada ahora mismo utilizando el siguiente enlace:

<https://calendly.com/bperez-kq43/llamada-de-admision>

No pierdas la oportunidad de llevar tu carrera al siguiente nivel y convertirte en un referente en el sector de la energía solar. ¡Te esperamos en nuestra comunidad de expertos solares!

ANEXO II. HOJA DE RESPUESTAS





Q & A



Lección I		Lección III		3.3.12	
				3.3.13	
1.1		3.1.1		3.3.14	
1.2		3.1.2		3.3.15	
1.3		3.2.1		3.3.16	
1.4		3.2.2		3.4.1	
1.5		3.3.1		3.4.2	
		3.3.2		3.4.3	
Lección II		3.3.3		3.4.4	
		3.3.4			
2.1		3.3.5		Lección IV	
2.2		3.3.7			
2.3		3.3.8		4.1	
2.4		3.3.9		4.2	
2.5		3.3.10		4.3	
		3.3.11		4.4	

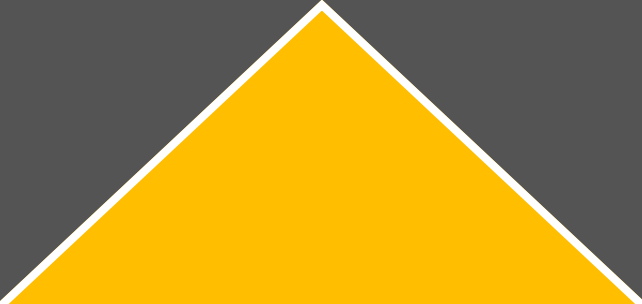
¿QUIERES DEMOSTRAR CUANTO VALES COMO INGENIERO?!

Comparte una captura con tus respuestas etiquetando a @bySolarEnergy, te corregiremos y explicaremos una a una tus respuestas y te incluiremos en nuestro ranking más top!

Además, como buen energético, ¡te proporcionaremos la herramienta EXCEL PV CALCULATOR para que puedas dimensionar tus propias instalaciones fotovoltaicas!



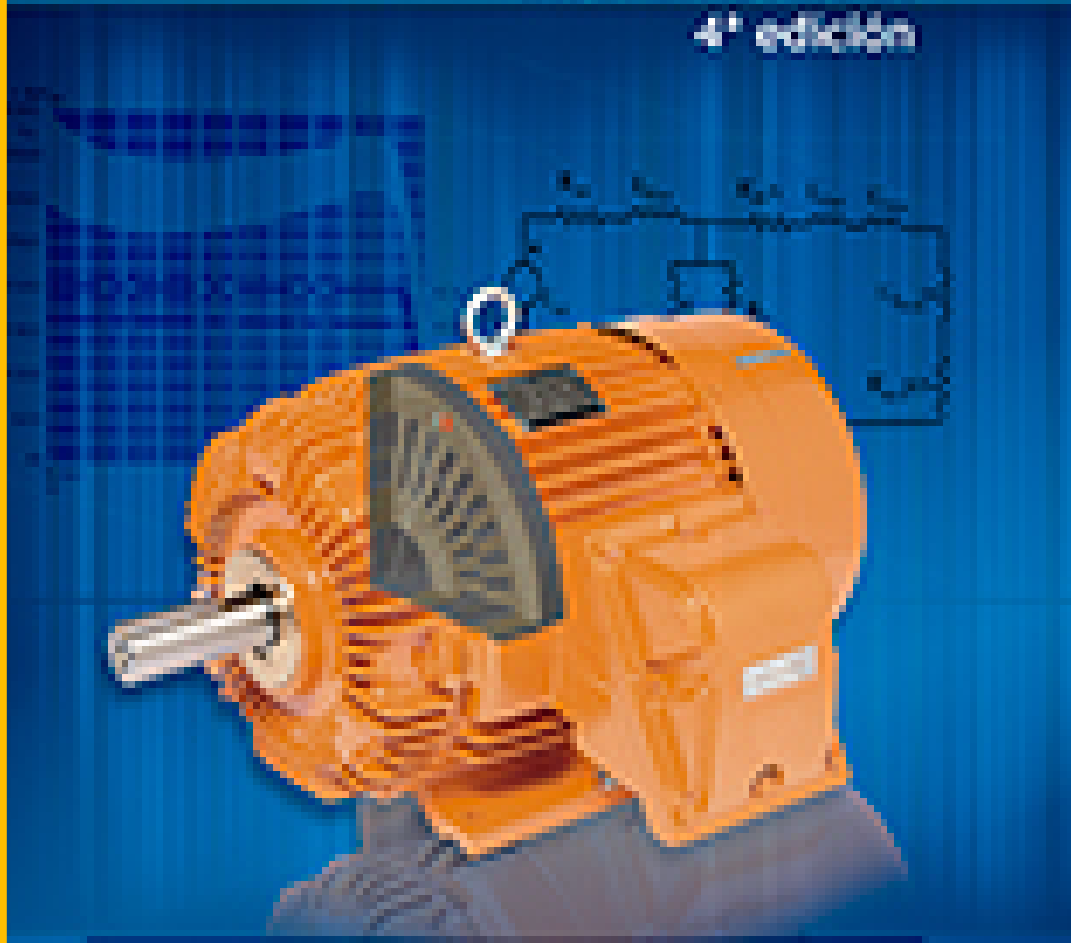
BIBLIOGRAFÍA



MÁQUINAS ELÉCTRICAS

LUIS FERRANDO VILLANUEVA GARCÍA
JUAN CARLOS MARTÍN Z. ROMÁN

4ª edición



Editorial:
ingeniería multipoint de valencia

SOLAR PV OFF-GRID POWER

HOW TO BUILD SOLAR PV
ENERGY SYSTEMS FOR STAND
ALONE LED LIGHTING, CAMERAS,
ELECTRONICS, AND REMOTE
COMMUNICATION POWER SYSTEMS



CHRISTOPHER
KINKAID

Anuario Fotovoltaico 2019



Photovoltaic System Design

Procedures, Tools and Applications

Suneel Deambi

 CRC Press
Taylor & Francis Group

