

TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE
LA ENERGÍA
FOTOVOLTAICA
PARA DUMMIES

ESCRITO Y EDITADO POR
BORJA PÉREZ

EN COLABORACIÓN CON
@BYSOLARENERGY ACADEMY
ACADEMIA DE ENERGÍA SOLAR





TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE LA **ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

PARA DUMMIES

VERSIÓN3

Borja Pérez
@BySolarEnergy Academy
Academia de Energía Solar



El contenido de esta publicación tiene carácter **únicamente divulgativo**, en el cual se expone el conocimiento del autor en base a conceptos teóricos y experiencias adquiridas. El autor no se hace responsable de posibles fallos presentes en la publicación que puedan ocasionar cualquier tipo de perjuicio.

Esta primera versión se trata de una **versión gratuita**, sobre la cual **no está permitido obtener ningún beneficio económico**.

Las imágenes presentes en el mismo han sido obtenidas a partir de repositorios de imágenes gratuitos. En caso de que por error alguna de las imágenes presentes requiera de licencia de uso, por favor póngase en contacto con bperez@academiaenergiasolar.com o bysolarenergy@gmail.com y procederemos a su retirada.

LICENCIA

Este archivo ha sido descargado desde la cuenta de @bySolarEnergy u otra cuenta habilitada para su descarga, y está sujeto a una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 3.0 Unported (CC BY-NC-SA 3.0). Lea las condiciones de la licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/3.0/deed.es> ES



PERMISOS

El autor del libro da libertad al usuario para compartir esta publicación, respetando la autoría del mismo y prohibiendo cualquier modificación sobre este.

Tercera edición, Junio 2020

© Borja Pérez

© @bySolarEnergy

© Academia de Energía Solar

PRÓLOGO

Esta publicación ha sido desarrollada por Borja Pérez en colaboración con @bySolarEnergy Academy y Academia de Energía Solar, y está basada en los conocimientos adquiridos durante su formación académica y su experiencia laboral.

Academia de Energía Sola nace como un proyecto destinado a mejorar la educación presente en materia de energías renovables y aumentar la concienciación, preocupación e implicación del ser humano para encontrar un modelo energético sostenible.

Con esta publicación @BySolarEnergy se dirige a un público amplio, el cual incluye desde estudiantes de Secundaria y Bachiller con curiosidad sobre las energías renovables, como estudiantes de ingeniería hasta trabajadores inquietos que busquen mejorar su formación.

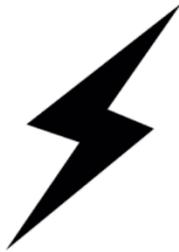


ÍNDICE

LECCIÓN I. Tecnología eléctrica aplicada a la energía fotovoltaica ...	9
1.1. Introducción.....	11
1.2. Conceptos básicos.....	11
LECCIÓN II. Conceptos básicos de solumetria	23
2.1. Introducción.....	25
2.2. Conceptos básicos.....	28
LECCIÓN III. Fundamentos de la energía fotovoltaica	41
3.1. Introducción a la energía fotovoltaica	43
3.2. Clasificación de la energía fotovoltaica.....	47
3.3.Elementos principales de un sistema fotovoltaico.....	51
3.4. Panel solar.....	52
3.4. Inversor fotovoltaico.....	103
3.5. Programas y herramientas para el dimensionado fotovoltaico	113
LECCIÓN IV. Dimensionado de una instalación fotovoltaica.....	117
4.1. Introducción y normativa relativa al autoconsumo.....	119
4.2. Como dimensionar una instalación de autoconsumo fotovoltaico	124

LECCIÓN 1

TECNOLOGÍA ELÉCTRICA APLICADA A LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA



1.1. Introducción

En esta primera lección va a realizarse un repaso a los conceptos básicos de la tecnología eléctrica necesarios para entender el funcionamiento de la energía fotovoltaica.

La tecnología eléctrica, también llamada electrotecnia, se define como el estudio de las aplicaciones técnicas de la electricidad, siendo esta una de las ciencias con mayor potencial y recorrido.

El comienzo de la energía tecnología eléctrica deriva del descubrimiento de la electricidad, el cual data de 1752, cuando Franklin realizó su famoso experimento en el que demostraría que los rayos son una forma de energía eléctrica.

En esta primera lección no se va a entrar en detalle en las bases, leyes y fundamentos sobre los que se sustenta la electrotecnia, así pues, la intención principal es entender aquellos parámetros que posteriormente serán de utilidad a la hora de comprender que es a la energía fotovoltaica y como funciona.

1.2. Conceptos básicos

Los conceptos que se abordan en esta lección son pilares básicos de la tecnología eléctrica, necesarios para el correcto entendimiento de los fundamentos en los que se basa la energía fotovoltaica.

Tensión eléctrica

Magnitud física que representa una diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos, y cuya unidad de medida según el sistema internacional son los voltios (V).

Una diferencia de potencial entre dos puntos produce un flujo de electrones, los cuales se desplazan desde el polo de carga negativa hacia el de carga positiva, de modo, que, en ausencia de un generador, dicho flujo finalizará cuando exista un equilibrio de tensiones en ambos puntos.

Dicho comportamiento es muy similar al que se produce cuando se pone en contacto dos cuerpos a diferentes temperaturas, donde al juntarlos, el de mayor temperatura cede calor al de menor, hasta que entran en equilibrio térmico.

La polaridad de la caída de tensión vendrá determinada por la dirección de los flujos de electrones (los electrones son cargas negativas), de forma que estos siempre irán del polo de menor tensión al de mayor.

La ley de Ohm, una de las leyes más importantes de la física electromagnética, define la siguiente relación:

$$U = R * I$$

Ecuación 1. Tensión eléctrica

Donde:

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

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 la medida de 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, y es a este flujo de electrones a lo que se le denomina corriente o intensidad.

A pesar de que la dirección del flujo de electrones se define siempre desde 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 mayor tensión al de menor.

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

La corriente puede ser corriente continua o corriente alterna en función de la variación de la misma respecto del tiempo, de forma que:

- En la **corriente continua**, el valor de la tensión permanece constante a lo largo del tiempo.

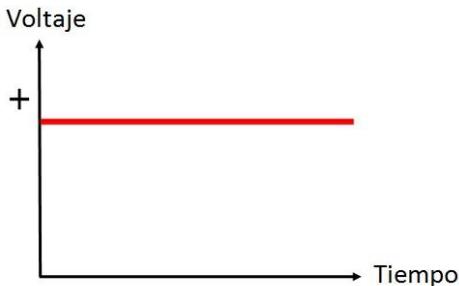


Ilustración 1. Corriente continua

- En la **corriente alterna**, el valor de la tensión varía cíclicamente con el tiempo siguiendo una forma de onda senoidal.

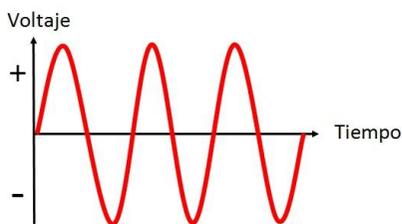


Ilustración 2. Corriente alterna

La corriente alterna, generalmente puede encontrarse compuesta por una única fase o por 3 fases, como puede verse en la siguiente gráfica.

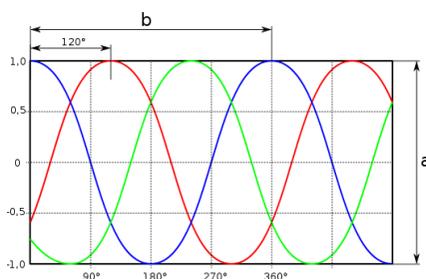


Ilustración 3. Corriente trifásica

La corriente trifásica equilibrada está compuesta por 3 ondas senoidales desfasadas 120° entre ellas.

Resistencia eléctrica

Resistencia es la oposición que ofrece un cuerpo ante algo. Esta misma definición es fácilmente extrapolable al campo de la electrotecnia, incluyendo el matiz de que, una resistencia eléctrica puede definirse como la oposición al paso de una corriente eléctrica.

La unidad utilizada por el sistema internacional para la medida de resistencia son los ohmios (Ω).

La resistencia eléctrica es uno de los principales actores de la ya comentada ley de Ohm, siendo esta una relación directa entre la tensión y la intensidad.

Todos los elementos por los que pasa una determinada corriente oponen una cierta resistencia al paso de la misma, pudiendo ser este valor muy elevado (como por ejemplo la resistencia del aire) o más pequeña (como en los materiales conductores).

Energía

Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de calor, luz, movimiento, etc. La unidad internacional utilizada en la medida de energía es el Julio (J), sin embargo, en aplicaciones fotovoltaicas es más común referirse a la energía mediante el Wh, o kWh.

La energía puede clasificarse principalmente en:

- **Energía mecánica.** Se define como la energía que posee un cuerpo debida a su velocidad o posición específica. Esta a su vez puede subclasificarse como:
 - Energía cinética. Debida a la velocidad.
 - Energía potencial. Debido a la posición/altura.
- **Energía calorífica.** Se define como la energía de un cuerpo debida a la temperatura de este. A mayor temperatura, mayor energía posee el cuerpo.
- **Energía magnética.** Fuerza de atracción o repulsión que se produce entre materiales magnéticos.
- **Energía eléctrica.** Energía electromagnética producida por la diferencia de potencial eléctrico existente entre 2 puntos.
- **Energía química.** Energía de unión de los átomos y energía derivada de las reacciones moleculares.
- **Energía lumínica.** Debida a la luz perceptible.

- **Energía nuclear.** Fuerte energía que mantiene a los núcleos atómicos unidos.

Además de las anteriores, hay muchas otras formas de energía como la hidráulica, eólica, mareomotriz, fotovoltaica...

La energía también puede subclasificarse como:

- **Convencional.** Hace referencia a las energías maduras, como la térmica, nuclear, hidráulica...
- **No convencional.** Hace referencia a las nuevas tecnologías energéticas, como la fotovoltaica, eólica...

Atendiendo a su fuente de origen y si está puede regenerarse:

- **Renovable.** Todas aquellas energías cuya fuente primaria se renueva más rápido de lo que se consume o es infinita. Algunos ejemplos serían la energía fotovoltaica, energía hidráulica, biomasa...
- **No renovable.** Aquellas cuyo recurso primario es agotable.

Potencia

La potencia se puede definir como la energía por unidad de tiempo, cuya unidad del sistema internacional es el Watio (W), equivalente a los Julios por segundo (J/s)

Además, esta puede también definirse como el desplazamiento de una carga eléctrica entre dos puntos, de forma, que puede encontrarse la siguiente ecuación:

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

Ecuación 2. Potencia eléctrica

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

Potencia en corriente continua

La potencia continua es el desplazamiento de cargas eléctricas que se produce manteniendo una tensión constante. Únicamente tiene la componente activa, por lo que el cálculo queda definido según la Ecuación 1.

Potencia en corriente alterna

La potencia en corriente alterna, dado el carácter senoidal de su onda, adquiere un valor que varía en función del tiempo. Cuando se produce un desfase entre las funciones de onda de la intensidad y voltaje que la componen, esta adquiere un determinado ángulo (igual al desfase entre ambas curvas), de forma, que lo que antes era únicamente una componente real (en corriente continua únicamente existe la componente real de la potencia), ahora hay una componente real y una imaginaria.

A la potencia total se le denomina potencia aparente, y esta a su vez puede subdividirse en la componente real, denominada potencia activa, y en la componente imaginaria denominada potencia reactiva.

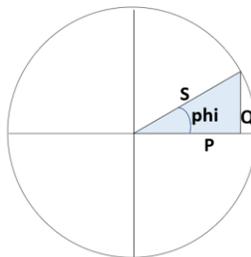


Ilustración 4. Potencia aparente

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

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

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

Ecuación 3. Potencia aparente

La potencia aparente normalmente se divide entre monofásica y trifásica, estando compuesta esta primera por una única fase (la electricidad que llega normalmente a las viviendas es monofásica), mientras que la trifásica se compone de 3 fases (como podría ser la maquinaria de industria).

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

La fórmula empleada para el cálculo de la potencia en cada uno de los casos queda como:

Monofásica

$$S = V * I$$

Ecuación 4. Potencia aparente monofásica

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

Ecuación 5. Potencia activa monofásica

$$Q = V * I * \text{sen } PHI$$

Ecuación 6. Potencia reactiva monofásica

Trifásica

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

Ecuación 7. Potencia aparente trifásica

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

Ecuación 8. Potencia activa trifásica

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sen PHI$$

Ecuación 9. Potencia reactiva trifásica

De las variables anteriores, únicamente no conocemos PHI, el cual se trata del valor del ángulo de la potencia aparente, y representa el desfase presente entre la onda de intensidad y la onda de tensión.

El cos PHI es un parámetro muy usual cuando se tratan temas eléctricos, prácticamente equivalente al factor de potencia y que define la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, de forma que cuanto mayor sea este valor, mayor será el rendimiento efectivo de esta potencia.

$$FP \text{ (factor de potencia)} = \cos PHI = \frac{P}{S}$$

Ecuación 10. Cos PHI



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 1

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

- a. $R = \frac{U}{I}$
- b. $R = U * I$
- c. $U = \frac{R}{I}$

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?

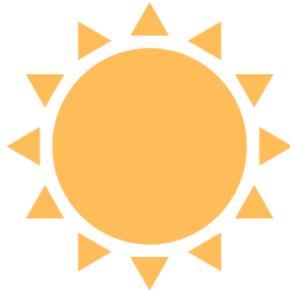
- a. El factor de potencia 1 se da cuando $Q = 1$
- b. El valor del ángulo del factor de potencia es 90° cuando $Q=1$
- c. El factor de potencia 0.5 se da cuando $Q=P$

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 2

CONCEPTOS BÁSICOS DE SOLIMETRÍA



2.1. Introducción

El sol contribuye al 94% de la energía total de la Tierra, siendo el aporte energético más importante para poder sostener el ecosistema terrestre y permitir la vida.

Si se analiza la contribución solar a la energía de la Tierra podrían verse algunos datos muy sorprendentes:

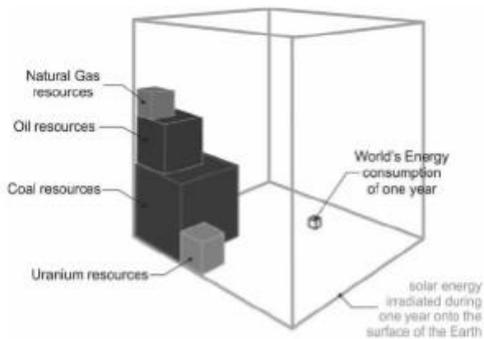


Ilustración 5. Comparación recursos energéticos

- En 2004, la energía solar fue 14000 veces mayor que el consumo energético humano.
- La energía irradiada por el Sol e incidente en la Tierra en un año es 10 veces mayor que las reservas de carbón.
- Es 20 veces mayor que las reservas de fuel.
- Es 50 veces mayor que las reservas de Uranio.
- 100 veces mayor que las reservas de Gas Natural.

Siendo capaces de utilizar el 0,001% de la energía solar, sería posible abastecer el consumo energético mundial.

Las tecnologías actuales más comunes para convertir la radiación solar en energía útil son la energía fotovoltaica y la energía solar térmica, dos

tecnologías, que, a pesar de aprovechar la misma fuente de energía, tiene dos principios de funcionamiento muy distinto.

Tecnología Fotovoltaica. A partir del principio fotoeléctrico es capaz de convertir la energía solar en energía eléctrica.

Tecnología Solar Térmica. Aprovecha la energía solar para calentar un fluido, convirtiendo la radiación en energía térmica.

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

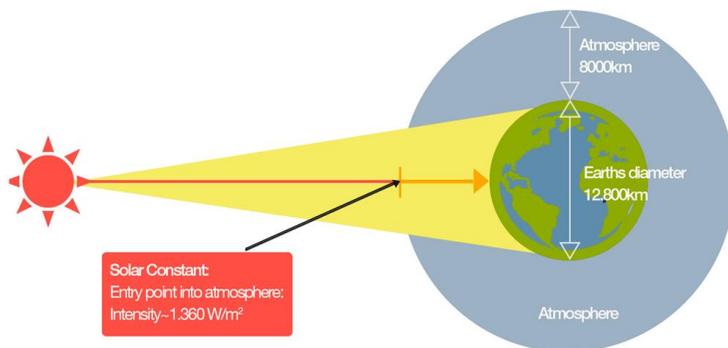


Ilustración 6. Energía incidente

El tamaño del sol es 109 veces mayor que el de la Tierra, sin embargo, dado la gran distancia que existe entre ambos, la representación gráfica del sol desde un observador cercano a la Tierra podría aproximarse a la de la ilustración.

Así pues, tal como se observa en la imagen, los rayos solares que inciden sobre la Tierra tienen un valor energético de 1360W/m^2 . Esta potencia hace referencia a la incidente sobre la atmósfera terrestre (la potencia incidente sobre la superficie es un poco menor, como más adelante se explicará).

Al valor anterior se le conoce como constante solar (GSC) y es una densidad de flujo que mide la radiación solar por unidad de área, medida en una superficie perpendicular a los rayos situada en la atmosfera terrestre.

La constante solar incluye todos los tipos de radiación solar, como puede ser la radiación visible, infrarroja, ultravioleta...

Su valor es una aproximación media de los distintos valores diarios, ya que, debido a la variación de distancia entre la Tierra y el sol, este valor fluctúa según puede observarse en la siguiente gráfica.

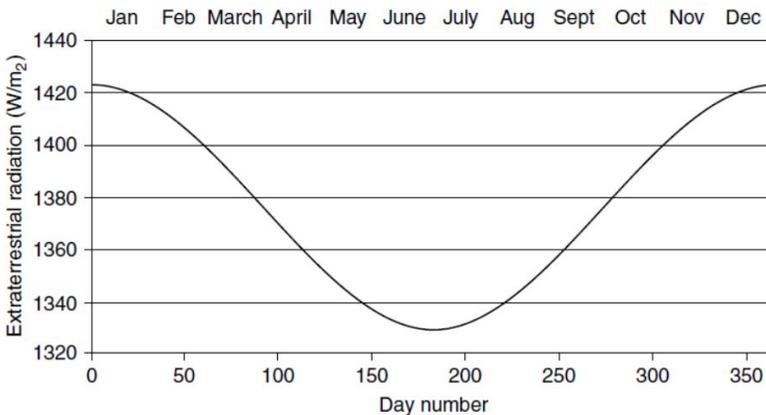


Ilustración 7. Variación anual de la constante solar

En el caso de querer realizar el cálculo de su el valor para un determinado día del año, puede implementarse la siguiente ecuación:

$$G_{on} = G_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] (W/m^2)$$

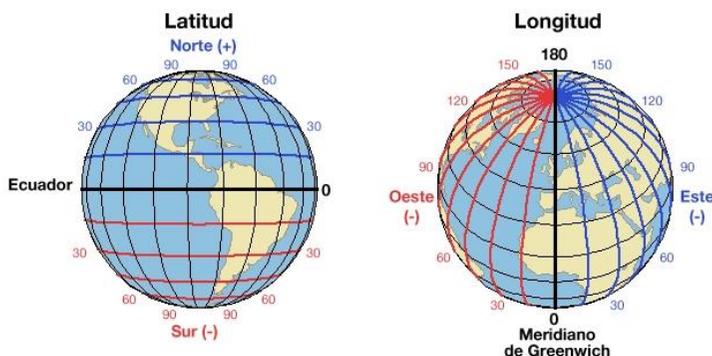
Ecuación 11. Constante solar

2.2. Conceptos básicos

Para poder entender de forma correcta el comportamiento de la radiación solar se va a comenzar explicando algunos de los conceptos básicos de energía solar:

Influencia de la situación geográfica en la radiación incidente sobre dicha ubicación.

- **LATITUD:** La latitud expresa la posición de la distancia norte-sur con respecto al ecuador. Valores absolutos que van desde 0° (en ecuador) hasta 90° (polos).
- **LONGITUD:** La longitud expresa la distancia este-oeste con respecto al Prime Meridian (Greenwich). Valores absolutos que van desde 0° (Greenwich) hasta 180° .

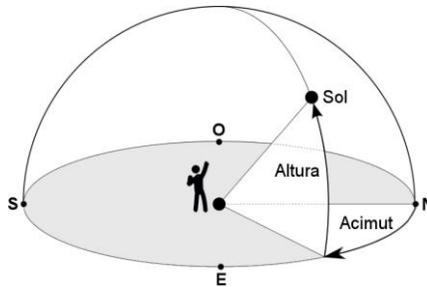


Ecuación 12. Latitud y longitud

- **ÁNGULO AZIMUT:** El azimut es el ángulo formado entre la dirección de referencia (norte) y una línea entre el observador y

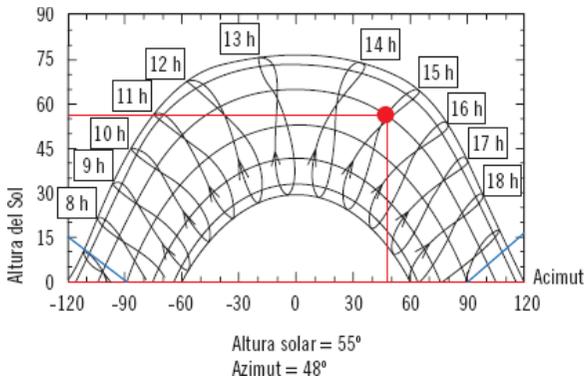
un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia.

- **ÁNGULO ALTITUD:** Es la altura angular del sol en el cielo medido desde la horizontal.



Ecuación 13. Altitud y acimut

La carta solar cilíndrica es un elemento muy utilizado para conocer la posición exacta del sol a una determinada hora del día.



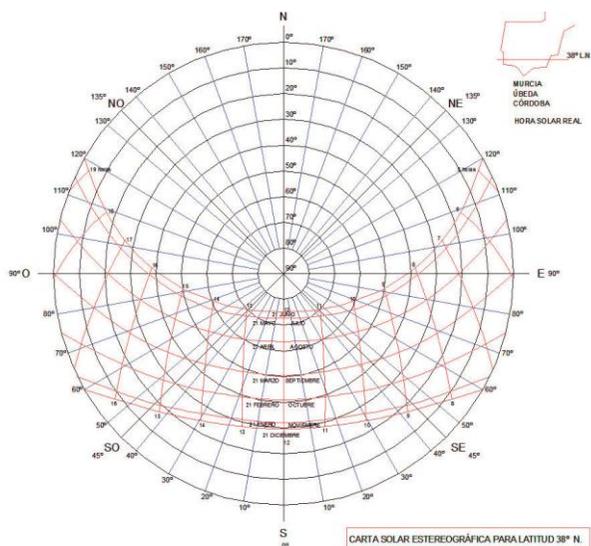
Ecuación 14. Carta solar cilíndrica

- En el mediodía solar, el sol está completamente:
 - Hacia el SUR (hemisferio norte)
 - Hacia el NORTE (hemisferio sur)

- El ángulo altitud:
 - Es igual a 0° en el amanecer y el atardecer.
 - Toma su valor máximo en el medio día solar (i generalmente menos de 90° !)
 - En el ecuador se alcanza 90° en los equinoccios.

Otro elemento que puede ser empleado para calcular la posición exacta del sol es la carta solar estereográfica:

➔ **Carta solar estereográfica.** Representación gráfica en una semiesfera de la posición solar con respecto a nuestra localización, considerando una latitud específica. A partir de esta, eligiendo una fecha y hora determinada puede obtenerse el ángulo solar y azimut correspondiente.

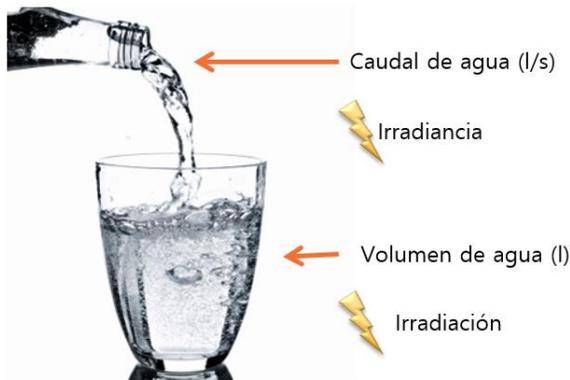


Ecuación 15. Carta solar estereográfica

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:

- **IRRADIANCIA:** Término usado para determinar la cantidad de energía captada por unidad de área, es decir, la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por superficie. La unidad de medida son los kW/m².
- **IRRADIACIÓN:** Es la energía por unidad de superficie a lo largo de un tiempo. La unidad de medida son los kWh/m².



Ecuación 16. Irradiancia y radiación

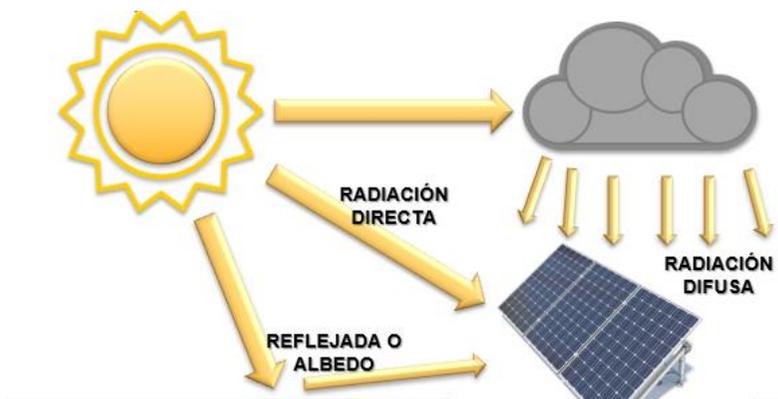
Una forma fácil de entender y diferenciar estos dos términos es compararlos con el agua. En esta comparación, el caudal de agua sería la irradiancia, y el volumen la radiación.

Componentes de la radiación

El principal aporte energético del sol viene a través de la radiación directa, sin embargo, en días nublados, es la radiación difusa, la que permite una considerable luminosidad.

De esta forma, la radiación se puede subdividir en 3 componentes principales:

- **RADIACIÓN DIRECTA:** afectada por la absorción, es la que llega directamente del sol. Depende mucho de la nubosidad y de la estación del año.
- **RADIACIÓN DIFUSA:** debida a la dispersión. Procede del reflejo de la radiación sobre las partículas del aire, nubes, vapor... Supone un 10 % en días soleados, y en días nublados casi la totalidad de la radiación.
- **ALBEDO:** debida a las reflexiones desde la tierra, como luz reflejada en edificios, montañas... También llamada radiación reflejada.



Ecuación 17. 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 contante solar a la cantidad de radiación que incide por unidad de superficie sobre la atmosfera terrestre, y el cual se ha 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:** Es la redirección de la energía electromagnética por partículas suspendidas en la atmósfera. El tipo y la cantidad de dispersión que se produce depende del tamaño de las partículas y la longitud de onda de la energía.

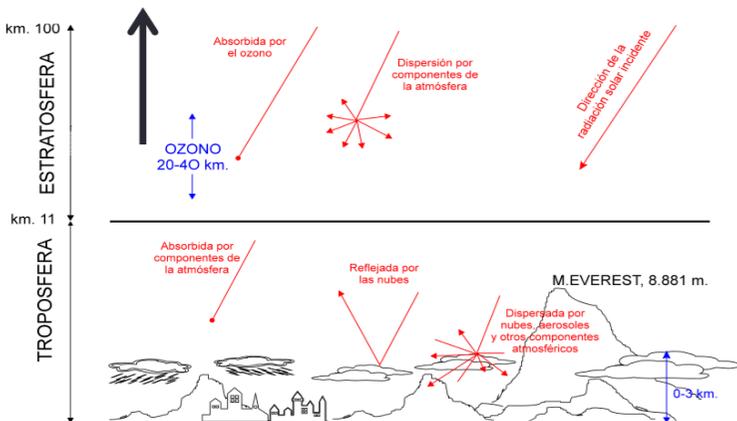


Ilustración 8. Radiación incidente sobre la Tierra

- **ÁNGULO DE INCIDENCIA:** A mayor perpendicularidad de la radiación sobre la superficie terrestre, se produce una menor reflexión, y por lo tanto la cantidad de energía absorbida es mayor.

- **AIR MASS:** La radiación que incide de forma tangencial sobre la Tierra tiene que atravesar una cantidad de masa de aire mayor a la de la radiación que incide perpendicularmente, produciéndose una mayor dispersión.

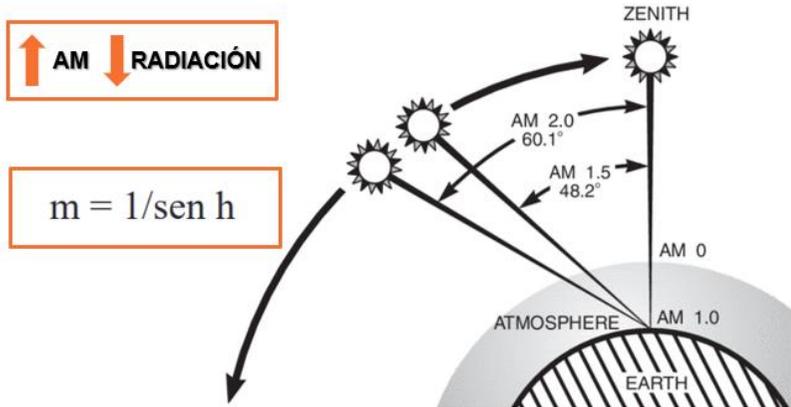


Ilustración 9. Air Mass

- **WAVELENGTH:** El espectro visible es la porción del espectro electromagnético que es visible para el ojo humano. La radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se llama luz visible o simplemente luz. Un ojo humano típico responderá a longitudes de onda de aproximadamente 390 a 700 nanómetros.

El espectro de la radiación solar es muy amplio, y para determinadas longitudes de onda, la masa de aire atmosférica actúa como una capa opaca, impidiendo que parte de la radiación (como la radiación UV) pueda penetrar.

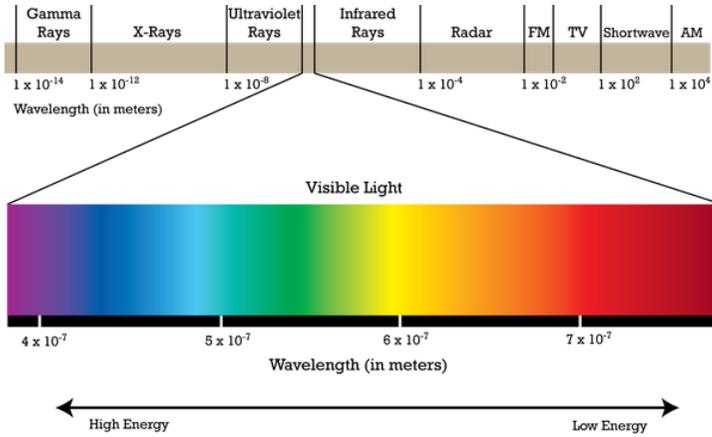


Ilustración 10. Espectro de radiación

Movimiento de la Tierra alrededor del Sol e influencia sobre la radiación incidente en una determinada ubicación.

La Tierra orbita periódicamente alrededor del Sol, siguiendo una forma elíptica en la cual, en uno de los focos está situado el Sol. Debido al hecho de no tratarse de una órbita circular, se producen variaciones en la distancia Tierra-Sol a lo largo del año.

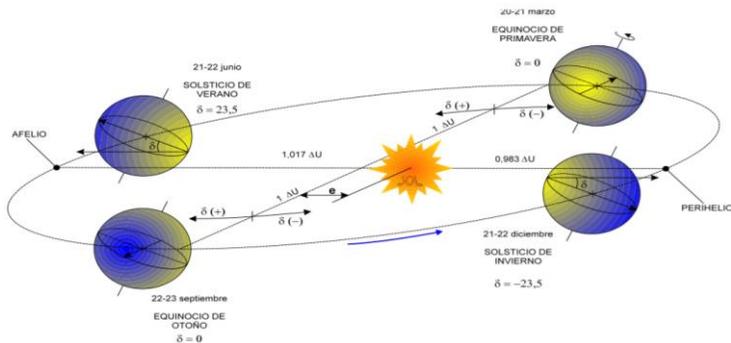


Ilustración 11. Movimiento terrestre alrededor del sol

En un primer momento, podría interpretarse que las variaciones de temperatura experimentadas en las distintas estaciones del año podrían ser fruto de esta variación de distancia, y que, por lo tanto, cuando la Tierra está a menor distancia del Sol, nos encontraríamos en verano, y cuando está más alejada estaríamos en invierno. Sin embargo, esto es TOTALMENTE FALSO.

La variación de radiación que se produce en la Tierra a lo largo de las distintas estaciones, la cual deriva fuertemente en temperaturas variantes, es debido a que EL PLANO ELÍPTICO DE LA TIERRA NO ES PERPENDICULAR AL EJE DE ROTACIÓN TERRESTRE, existe un ángulo conocido como **ÁNGULO DE DECLINACIÓN SOLAR**.

De esta forma, los meses más calurosos serán debidos fundamentalmente a una mayor perpendicular de los rayos solares incidentes.

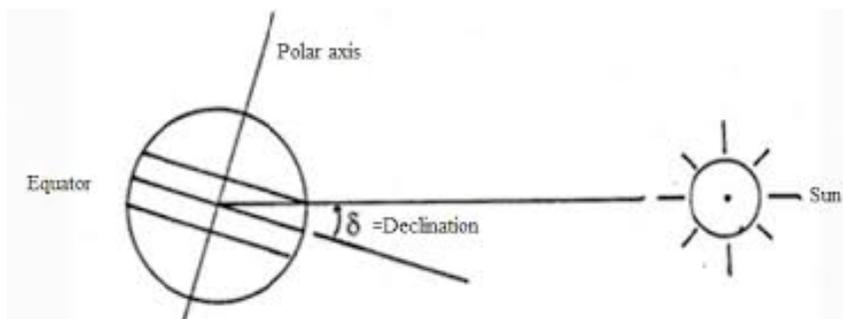


Ilustración 12. Declinación solar

Bases de datos de irradiancia

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

Entre las bases de datos más utilizadas a nivel global, se puede encontrar PVGIS, herramienta que permite extraer los datos de irradiancia de cualquier ubicación del mundo.

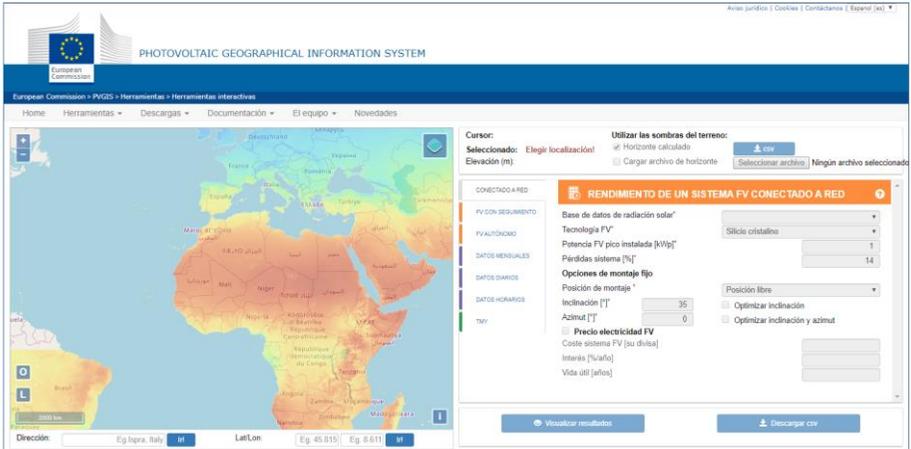


Ilustración 13. Base de datos PVGIS



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:

- Ángulo longitud
- Ángulo latitud
- Ángulo acimut

2.2. Los componentes de la radiación son:

- Radiación directa, albedo y reflejada.
- Radiación directa, difusa y reflejada.
- 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?

- Air Mass
- Ángulo de incidencia
- Wavelength

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

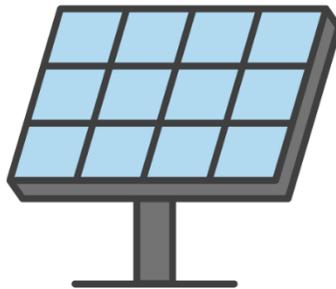
- La distancia Tierra-Sol
- El ángulo de incidencia de la radiación sobre la Tierra.
- Las lluvias.

2.5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?

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

LECCIÓN 3

FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA FOTVOLTAICA



3.1. Introducción a la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica se define como la energía debida a la transformación de la radiación solar en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico.

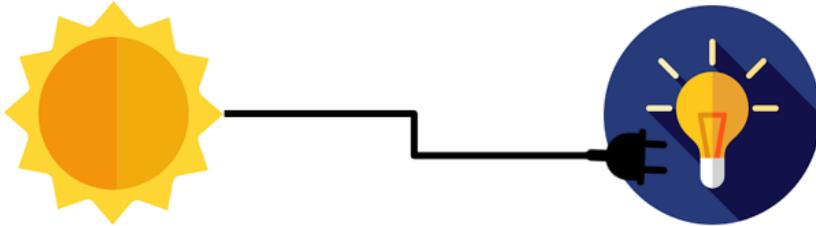


Ilustración 14. Energía fotovoltaica

La energía solar ha sido utilizada por el ser humano desde la prehistoria, siendo su principal función la conversión de está en energía térmica.

Sin embargo, no fue hasta 1876, cuando William Grylls, junto con uno de sus estudiantes más aventajados, Richard Day, descubrió que, ante la exposición del selenio al sol, se producía una diferencia de potencial que conllevaba un desplazamiento de electrones y huecos, dando lugar a una corriente eléctrica. A pesar de tratarse de una transformación con una eficiencia muy baja, se pudo probar por primera vez, que la radiación solar, sin una transformación previa a energía térmica o cinética, podía convertirse en energía eléctrica.

Pocos años más tarde, el estadounidense Charles Fritts fue capaz de construir la primera celda solar, compuesta por Selenio y una delgada capa de oro, con una eficiencia de aproximadamente el 1%.

Pero no fue hasta 1953, cuando Calvin Fuller, Gerald Pearson y Daryl Chapiun descubren la primera célula de Silicio (uno de los principales elementos utilizados en las células solares de hoy en día). Unos años más

tarde, se comercializan por primera vez, adquiriendo un coste de 300 \$/W.

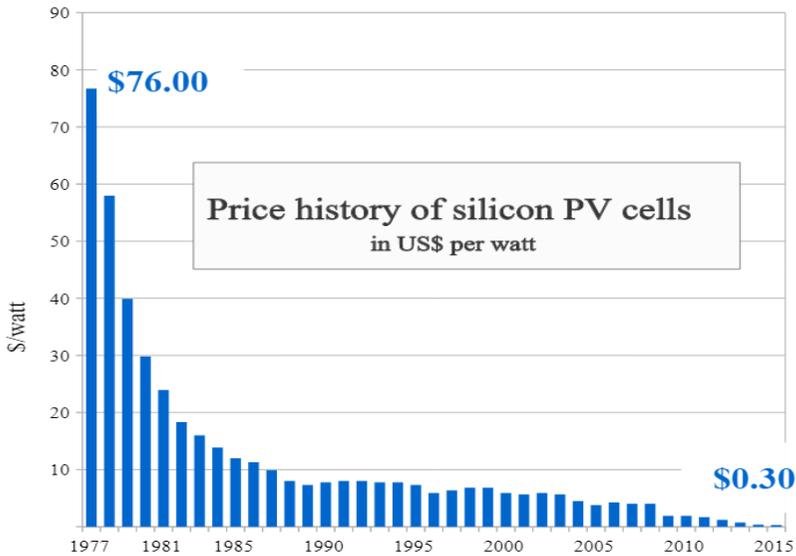
Durante los años 60, la energía fotovoltaica se convierte en una de las principales tecnologías empleadas en la alimentación de las naves espaciales.

El desarrollo de la tecnología y de nuevas técnicas de producción hace que el precio de los módulos disminuya de forma inversamente exponencial, sin embargo, el su uso para la generación eléctrica es aún muy reducido.

Durante la primera década del siglo XXI, la energía fotovoltaica, gracias a la fuerte bajada de precios, comienza a hacerse un hueco grande entre las centrales de producción eléctrica. El autoconsumo comienza a ser una realidad y cada vez más gente opta por esta opción como alimentación eléctrica de viviendas e industrias.

La segunda década del siglo XXI supone el boom definitivo para la energía fotovoltaica, ya es una tecnología económicamente competitiva, y su continuado decremento en costes supone que cada vez sea más rentable. La energía fotovoltaica se instala por completo en la generación eléctrica de los países y la tendencia hacia el autoconsumo no deja de crecer.

Con la nueva corriente de los coches eléctricos, la bajada del precio de los sistemas de almacenamiento como las baterías y las nuevas medidas para la reducción de los gases de efecto invernadero, la energía fotovoltaica se posiciona como una de las tecnologías de generación con más presente y futuro.



Source: Bloomberg New Energy Finance & pv.energytrend.com

Ilustración 15. Evolución del precio de los módulos solares

Si se actualiza la gráfica anterior a los precios de 2019, podrían encontrar valores de 0,15-0,25 \$/W. Los costes de la energía fotovoltaica se han visto reducidos en más de un 95% en los últimos 10 años.

La potencia instalada en todo el mundo durante el año 2018 fue de 102 GW. Las fuertes apuestas de las grandes potencias mundiales como EEUU, China, Alemania o Japón muestran claramente la tendencia que se está viviendo a nivel mundial respecto a la instalación de tecnologías renovables.

2018		
PAISES	ACUMULADA (GW)	ACUMULADA [%]
Rep. Popular China	175,4	35%
Estados Unidos	61,6	12%
Japón	55,6	11%
Alemania	45,9	9%
India	26,6	5%
Italia	19,9	4%
Reino Unido	13,0	3%
Australia	12,5	2%
Francia	8,9	2%
Corea	7,6	2%
Resto del mundo	77,9	15%
Total mundial	504,9	100%

Ilustración 16. Potencia instalada por países

Fuente: <https://anpier.org/wp-content/uploads/2019/06/anuario245x173-DEF-junio-2019-WEB.pdf>

Si se analiza como ha ido evolucionando la potencia instalada de forma anual a nivel mundial, puede observarse que el crecimiento es exponencial y que el margen de crecimiento es muy amplio.

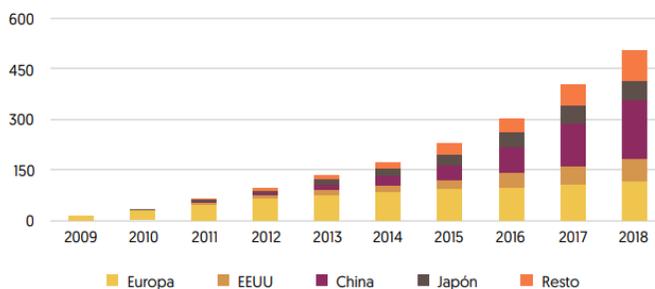


Ilustración 17. Evolución potencia instalada mundial

Fuente: <https://anpier.org/wp-content/uploads/2019/06/anuario245x173-DEF-junio-2019-WEB.pdf>

Si se extrapola la evolución anterior, para el año 2019 se podría esperar una distribución en el mercado fotovoltaico acorde a la siguiente gráfica.

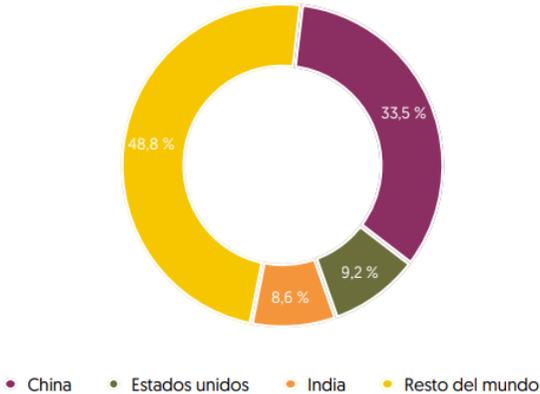


Ilustración 18. Distribución fotovoltaica 2019

Fuente: <https://anpier.org/wp-content/uploads/2019/06/anuario245x173-DEF-junio-2019-WEB.pdf>

3.2. Clasificación de la energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica puede clasificarse atendiendo a muchos criterios, siendo los principales factores diferenciales los que van a ser explicados a continuación.

- Instalaciones de gran escala.
 - Cuyo objetivo principal es la generación eléctrica.
 - Se considera gran escala a partir de 1 MW, aunque esta consideración puede variar.
 - La potencia instalada actualmente en España es de 8700 MW
- Instalaciones de pequeña escala.
 - Destinada principalmente al autoconsumo.

- Puede ser doméstica (alrededor de 3-10 kW de potencia instalada) o industrial (la potencia de estas instalaciones varía mucho en función de la demanda energética).
- En la legislación española se definen dos tipos de autoconsumo:
 - Con excedentes. Además, en esta categoría puede dividirse entre excedentes acogidos a compensación energética o no acogidos).
 - Sin excedentes.

Otra clasificación que se podría hacer de la energía fotovoltaica sería.

- Instalación fotovoltaica sin almacenamiento. En esta opción no existe ningún tipo de sistema de almacenamiento de energía.
 - La demanda energética se debe adaptar a la curva de producción fotovoltaica (con la nueva legislación, para las instalaciones de autoconsumo con excedentes acogidos a compensación, la red actuaría como “sistema de almacenamiento o apoyo”, ya que, de forma económica, la energía vertida a la red (durante las horas en las que tenemos una gran producción de energía fotovoltaica) sería descontada de la factura eléctrica.
 - Supone una inversión económica mucho menor.
- Instalación fotovoltaica con almacenamiento. Las baterías son uno de los principales elementos de estas instalaciones, permitiendo almacenar la producción energética del sistema solar y poder, posteriormente consumirla cuando sea necesaria.
 - Permite mayor flexibilidad en el consumo.
 - En industria, una de sus principales ventajas, es su utilidad para evitar que los microcortes producidos en la red eléctrica afecten a la maquinaria presente en la fábrica.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.1 y 3.2

- 3.1.1. ¿Cuál es el precio aproximado de un módulo policristalino de 350 W en 2019 (precio a empresa)?**
- 70 – 120 €
 - 120 – 160 €
 - 160 – 200€
- 3.1.2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?**
- El país que más energía FV instaló en 2013 fue China.
 - La potencia FV total instalada en China hasta 2018 es superior a la instalada en Europa y EEUU juntos.
 - La producción eólica de España en 2018 fue inferior a la fotovoltaica.
- 3.2.1. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?**
- La energía fotovoltaica se define como la energía proveniente de la transformación de la radiación solar en energía calorífica.
 - La transformación de la radiación solar en electricidad solo puede ocurrir mediante el efecto fotoeléctrico.
 - 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:**
- Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3.
 - Con excedentes o sin excedentes.
 - Con baterías o sin baterías.

3.3. Elementos principales de un sistema fotovoltaico

Los elementos que pueden encontrarse en una instalación solar dependerán principalmente de la finalidad con la que se halla diseñado, siendo los elementos principales comunes a todas las instalaciones los módulos y el inversor.

Los elementos de una instalación fotovoltaica podrían dividirse en:



PANEL SOLAR



INVERSOR SOLAR



REGULADOR DE CARGA



BATERÍAS



ELEMENTOS AUXILIARES

Entre los elementos auxiliares pueden encontrarse estructuras de los módulos, cuadros eléctricos, protecciones, analizadores de energía...

De los elementos comentados anteriormente, el regulador y las baterías dependerán de la necesidad de almacenar energía, siendo elementos totalmente prescindibles en instalaciones de autoconsumo con vertido a red e instalaciones fotovoltaica de gran escala para venta eléctrica a red.

3.4. Panel solar

Quizás el elemento más importante de la instalación solar, ya que es el encargado de realizar la transformación energética, obteniendo electricidad a partir de la irradiancia solar, gracias al efecto fotoeléctrico.

Las instalaciones están formadas por una determinada cantidad de módulos fotovoltaicos, los cuales se distribuirán en strings (donde los paneles estarán conectados en serie) para posteriormente agruparse estos strings en paralelo.

La figura siguiente muestra el esquema de distribución de un campo fotovoltaico típico.

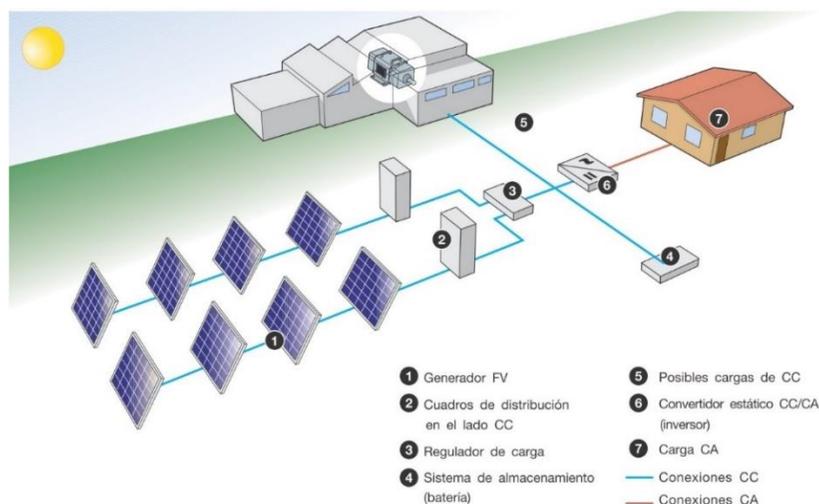


Ilustración 19. Instalación fotovoltaica

Fuente: <https://globalelectricity.wordpress.com/2013/09/30/instalaciones-fotovoltaicas-aisladas-de-la-red-electrica/>

A su vez, internamente, los módulos están compuestos por células fotovoltaicas distribuidas en serie y paralelo, siendo la cantidad normal de estas en los módulos solares comerciales de 60 o 72 células de silicio cristalino.

Cada una de estas células es capaz de dar normalmente entre 4-5 W, de forma que, actualmente el panel medio que puede encontrarse en el mercado de 60 células tiene potencias de entre 250-300 W y los módulos de 72 células tienen rangos de potencia típicos de entre 300-350W (con la nueva tecnología de paneles bifaciales, que será explicada en detalle más adelante, pueden llegarse a potencias de hasta 450 W por módulo).

Las dimensiones de un panel solar dependen principalmente del número de células, siendo las dimensiones normales para los módulos de 60 células de 1,65x1 metros, y las de los módulos de 72 células de 2x1 metros.

Si se analiza la composición típica de los módulos fotovoltaicos, se tendría una configuración de capas como la vista en la siguiente imagen.

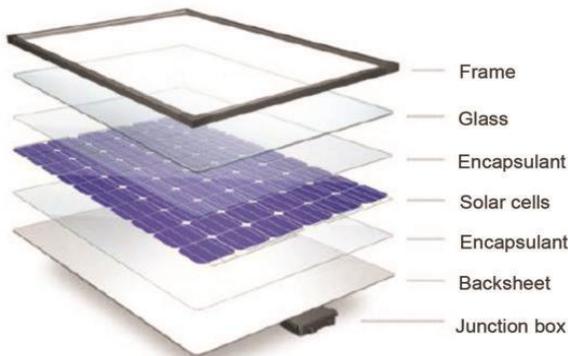


Ilustración 20. Partes de un módulo fotovoltaico

Fuente: <https://www.ee.co.za/article/solar-pv-module-faults-failings.html>

La primera capa y segunda capa es la protección existente entre la placa y el medio ambiente, cuya función principal es mantenerla hermética.

La capa posterior o encapsulamiento, será la encargada de proteger las células, y el material de este habrá de ser resistente al calor (en condiciones de operación normales, el módulo puede alcanzar temperaturas de hasta 70°C) y a la radiación UV, además de ser aislante eléctrico, para que no se produzcan derivas, y debe controlar y eliminar la humedad.

La siguiente capa es la compuesta por las células, y finalmente se dispondrá de una capa opaca (el desarrollo de una nueva tecnología de módulos solares como son los bifaciales, elimina esta capa).

De las capas comentadas anteriormente, cobra una importancia mayor la capa compuesta por las células solares, la cual va a ser explicada con mayor detenimiento.

Una celda está compuesta principalmente de dos capas:

- **CAPA P.** Cargada positivamente y formada por silicio y boro, de forma que se quedad un hueco electrónico libre.
- **CAPA N.** Cargada negativamente y formada por silicio y fosforo, de forma que tenemos un electrón libre.

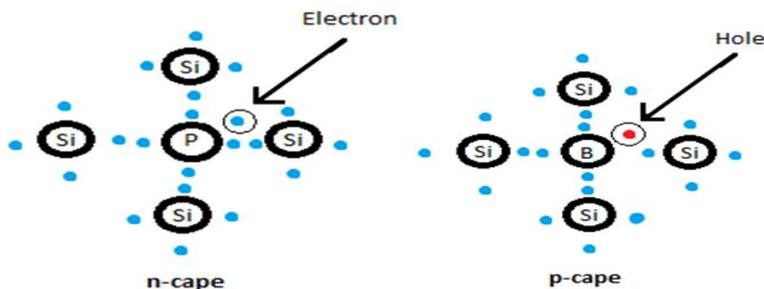


Ilustración 21. Capas p y n de una célula fotovoltaica

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA.

A continuación, va a analizarse paso por paso el proceso que sigue la radiación solar hasta transformarse en energía eléctrica gracias a la célula.

1. Se crea una diferencia de potencial entre ambas capas que favorece un intercambio de electrones de la capa n a la p.
2. Para poder realizar este intercambio se necesita energía suficiente para superar la banda de conducción.
3. Dicha energía provendrá de la energía de los fotones contenidos en la radiación solar incidente.
4. De esta forma se crea una corriente de electrones entre ambas capas.
5. La corriente de electrones da lugar a una corriente eléctrica en corriente continua, cuya tensión e intensidad dependerá de las características del panel y del número de paneles empleados.

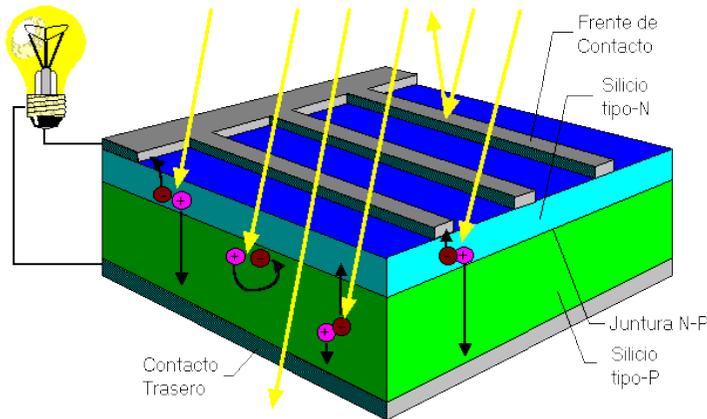


Ilustración 22. Funcionamiento de una célula fotovoltaica

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



Es importante conocer la diferencia entre los términos CÉLULA FV, MÓDULO FV, STRING FV y ARRAY FV, ya que, desde la unidad mínima, que es la célula, hasta la máxima que es el array FV, todos pueden obtener corriente continua a partir de la radiación solar.

- Celda. Unidad mínima capaz de, mediante el efecto fotoeléctrico, transformar la radiación solar en energía eléctrica.



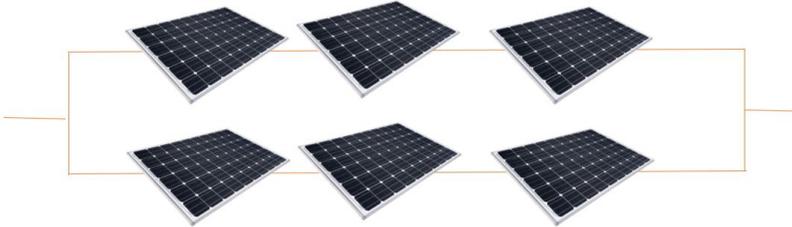
- Módulo. Conjunto de células unidos en serie y paralelo. Los paneles comerciales suelen estar compuestos de 60 o 72 células.



- String FV. Compuesto por varios módulos FV dispuestos en serie.



- Array FV. Compuesto por varios strings FV dispuestos en paralelo.



TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Entre los módulos comunes que pueden encontrarse hoy en día en el mercado de las tecnologías energéticas, puede realizarse una primera diferenciación acorde al tipo de célula que los compone:



Ilustración 23. Tipos de células fotovoltaicas

- Silicio monocristalino.
 - Son los de mayor eficiencia, pudiendo llegar rendimientos de conversión lumínica-eléctrica de hasta el 22%.
 - Son los de mayor coste, teniendo en la actualidad un coste que puede variar entre los 25-30 cent€/W.
 - Poseen una estructura regular.

- Silicio policristalino.
 - Tienen una buena eficiencia, pudiendo llegar a ser de hasta el 19%.
 - Costes medios, siendo su precio actual de entre 0,15 - 0,25 €/W
 - Estructura regular por zonas

- Silicio amorfo.
 - Rendimiento inferior (alrededor de un 13%).
 - Coste muy bajo.
 - Estructura muy irregular.

Si ahora se analiza la respuesta espectral de las diferentes células comentadas anteriormente, podría verse, que mientras los de célula amorfa, únicamente son capaces de absorber un rango de longitudes de onda un poco mayor al que es capaz de percibir el ojo humano, el rango de longitud de onda que son capaces de percibir los módulos mono y policristalinos, es mucho más amplio, y por lo tanto son capaces de absorber una mayor parte del espectro de radiación.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento comentado.

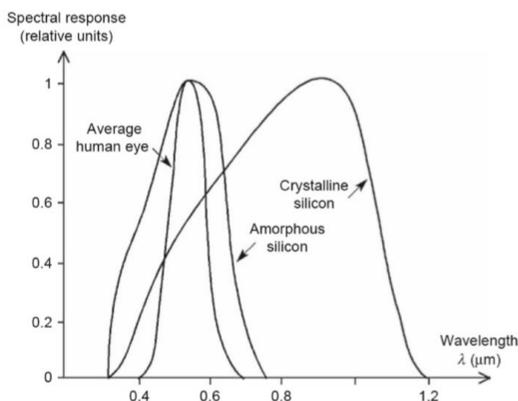


Ilustración 24. Respuesta espectral de los tipos de células

NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PANEL EN DESARROLLO.

Previamente se ha podido ver los distintos tipos de cristal existente en los paneles fotovoltaicos convencionales, sin embargo, la mente humana es tan brillante, que ha continuado innovando en la tecnología fotovoltaica, dando lugar a nuevos “módulos” capaces de aumentar su eficiencia, densidad de potencia, versatilidad, adaptabilidad...

Alguna de estas nuevas tecnologías fotovoltaicas es:

- **Thin-Film PV technology.** Tecnología de células FV formadas por la deposición de finas capas de distintos materiales semiconductores sobre sustrato.
 - Tiene prestaciones similares al SI-Al.
 - Células super finas.
 - Precios inferiores a las células convencionales.
 - EL rendimiento varía en función de los semiconductores empleados, así pues:
 - Ga-As > 20%
 - CIS > 13%
 - CdTe > 16%



- **Módulos fotovoltaicos bifaciales.** Se trata de módulos convencionales a los que se le quita la última capa opaca, de forma que estos son capaces de absorber energía por ambas caras.
 - Para tamaños de células similares pueden dar hasta un 20-30% de energía extra, gracias a la energía difusa

absorbida por la cara trasera. Como se ha comentado en el primer capítulo del libro, la radiación solar se puede dividir en radiación directa (la que absorbe la cara principal), radiación difusa (absorbida por ambas caras) y albedo (absorbida por la cara trasera).

- La cantidad de radiación que sea capaz de absorber la cara trasera dependerá de la radiación difusa y la radiación reflejada que sea capaz de incidir sobre esta cara. Los siguientes factores serán fundamentales para absorber más radiación por la parte trasera.
 - Altura del panel
 - El factor Ground Coverage Ratio
 - Distancia entre filas de módulos
 - La reflectividad del terreno

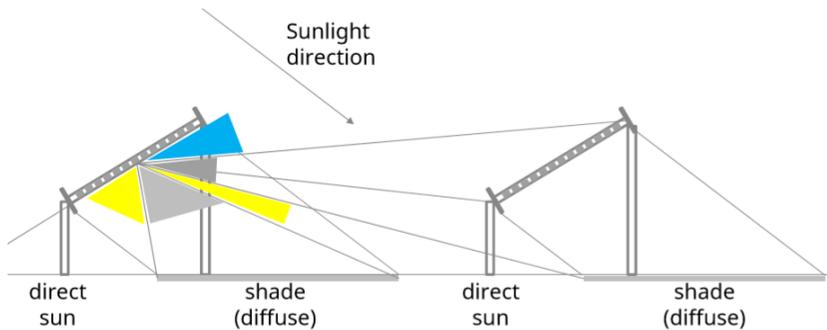


Ilustración 25. Módulos fotovoltaicos bifaciales

- **Tecnología PERC.** Los módulos que incorporan esta tecnología disponen de una lámina adicional situada entre la capa de las células y la capa opaca de aluminio, de forma, que la radiación infrarroja que no ha podido ser absorbida en primera instancia por las células del panel, se refleje e incida de nuevo en ellas.



- Esta tecnología mejora la eficiencia de los módulos durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde.
- A pesar de que la hemos incluido como una tecnología en desarrollo, la mayoría de los módulos comerciales ya incorporan esta tecnología.

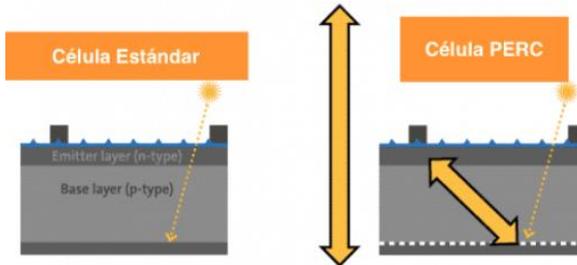


Ilustración 26. Tecnología PERC



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.
- 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.

ENTENDER LA HOJA DE CARECTERÍSTICAS DE UN PANEL SOLAR

Como se ha podido ver, la variedad de módulos es muy grande y es importante conocer el panel que se está utilizando, saber aprovechar sus ventajas y maximizar su rendimiento. Es por ello que, para poder realizar la elección de un determinado módulo, es muy importante conocer sus datos técnicos y así poder diseñar correctamente la instalación.

Los datos técnicos aparecerán en la hoja de características del módulo, la cual, normalmente presenta 2 hojas distribuidas según puede observarse en la siguiente imagen (datasheet del Jinko Swan Bifacial 72H 380-400W).

1

Swan Bifacial 72H 380-400 vatios
MÓDULO MONOCRISTALINO
Sistema de potencia optimizado 3-in-1
SOPRO-380W_400W_380W_400W_400W
Certificado en España
Producto certificado ECA1215_ECA1726

PERC

CARACTERÍSTICAS CLAVE

- SIN PID:** La ausencia de generación por efecto PID se reduce considerablemente gracias a su diseño optimizado en vidrio.
- Mayor rendimiento de potencia por vatio:** Regulación de potencia suave del 0.5% durante el periodo de vida de 30 años.
- Ahora en el coste del BOS:** Nuevo tipo de sistema de cable tensión de hasta 1500 V CC, con un diseño en el cable bifacial.
- Mayor potencia:** La potencia por módulo aumenta considerablemente de un 0.2% (por causa del efecto de reflexión).
- Mejor rendimiento con baja luminosidad:** Su sistema de regulación en entornos de baja luminosidad (p.e., amaneceres, crepúsculos, días nublados, etc.).
- Soporte mecánico reforzado:** Carga de nieve de 5400 Pa, carga de viento de 2400 Pa.

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

- Garantía de materiales (12 años)
- Garantía de rendimiento energético (30 años)
- Garantía de rendimiento basado en test P-Bifacial

3

Dibujos técnicos

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura

Características mecánicas

Configuración de embalaje

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JINKO SWAN 72H BIPV				
Potencia nominal (Wp)	380W	400W	380W	400W	380W
Tensión en el punto Máximo (VMP)	40.0V	40.0V	40.0V	40.0V	40.0V
Corriente en el punto Máximo (AMP)	9.50A	9.50A	9.50A	9.50A	9.50A
Tensión en circuito abierto (VOC)	47.0V	47.0V	47.0V	47.0V	47.0V
Corriente de cortocircuito (Isc)	10.00A	10.00A	10.00A	10.00A	10.00A
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C	105°C	-40°C	105°C	-40°C
Temperatura de almacenamiento (°C)	-40°C	105°C	-40°C	105°C	-40°C
Temperatura máxima de célula	105°C	105°C	105°C	105°C	105°C
Temperatura mínima de célula	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Coeficiente de temperatura de potencia	-0.40%/°C	-0.40%/°C	-0.40%/°C	-0.40%/°C	-0.40%/°C
Coeficiente de temperatura de VOC	-0.20%/°C	-0.20%/°C	-0.20%/°C	-0.20%/°C	-0.20%/°C
Coeficiente de temperatura de ISC	0.05%/°C	0.05%/°C	0.05%/°C	0.05%/°C	0.05%/°C
Temperatura operacional nominal de célula	25°C	25°C	25°C	25°C	25°C
Vel. Viento (km/h)	2400	2400	2400	2400	2400

BIFACIAL-OUTPUT-REARSIDE POWER GAIN

	10%	20%	30%	40%	50%
Potencia máxima (Pmax)	400W	420W	440W	460W	480W
Potencia del módulo (DC, %)	104.7%	105.0%	105.3%	105.6%	105.9%
Potencia máxima (Pmax)	470W	490W	510W	530W	550W
Potencia del módulo (DC, %)	123.7%	124.0%	124.3%	124.6%	124.9%

5

*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
* Fabricación de medición de potencia ± 1%
La información de este datasheet está sujeta a cambios de los datos según evolucione. JINKO-SWAN-72H-BIPV-42-SP

Ilustración 27. Datasheet módulos JINKO SOLAR

Si se analizan las partes presentes en el DATASHEET del panel se puede diferenciar entre 5 bloques:

1. Nombre del panel, nº de células, potencia y certificados.
2. Highlight del módulo. Se destacan las características más importantes del panel.
3. Garantía de rendimiento del panel.
4. Datos estructurales del panel y gráficas de las curvas V-I del módulo.
5. Datos técnicos del módulo.

Centrando la atención en la 5ª parte de la hoja de características, donde se exponen los datos técnicos del módulo, se definen los siguientes parámetros:

- **Potencia nominal.** Energía por unidad de tiempo que es capaz de producir el módulo.
- **Tensión en el punto de potencia máxima (V_{mpp}).** Si se analiza la curva V-I del módulo, V_{mpp} correspondería a la tensión en el punto en el que la potencia, producto de la tensión por la intensidad, es máxima.
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}).** Si se analiza la curva V-I del módulo, I_{mpp} correspondería a la intensidad en el punto en el que la potencia, producto de la tensión por la intensidad, es máxima.
- **Tensión en circuito abierto (V_{oc}).** Máxima tensión que es capaz de producir el módulo fotovoltaico.
- **Corriente de cortocircuito (I_{cc}).** Máxima intensidad que es capaz de generar el módulo fotovoltaico.
- **Eficiencia del módulo.** Ratio entre la cantidad de energía incidente sobre el panel, y la energía que es capaz de convertir en electricidad.
- **Temperatura de funcionamiento.** Rango de temperaturas de operación del panel.

- **Tensión máxima del sistema.** Tensión máxima que es capaz de soportar las protecciones y elementos internos del módulo.
- **Coefficiente de temperatura de P_{max} , de V_{oc} y de I_{sc} .** Coeficiente utilizado para el cálculo de la reducción o aumento de la P , V e I del panel debido a la temperatura de operación del módulo.

Dichos parámetros se definen tanto para condiciones STC como para condiciones NOCT:

- ➔ **STC.** Condiciones ambientales de 25°C de temperatura, 1000W/m² de irradiancia y 1,5 de Air Mass.
- ➔ **NOCT.** Condiciones ambientales de 20°C de temperatura, 800W/m² de irradiancia, 1.5 de Air Mass y 1 m/s de velocidad del viento.

Para poder realizar los cálculos de los datos del panel a otras temperaturas de operación, habrán de utilizarse los coeficientes previamente comentados.

ENTENDER LA CURVA DE CARACTERÍSTICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

La curva del panel define los puntos de operación del mismo, siendo esta curva representada típicamente mediante la corriente sobre el eje Y, y la tensión sobre el eje X.

Pero para definir la curva, es importante conocer primero la ecuación que permite obtenerla, y para ello se analizará el circuito equivalente de una célula fotovoltaica de forma independiente.

De esta forma, el circuito eléctrico de una célula podría simplificarse según la siguiente imagen:

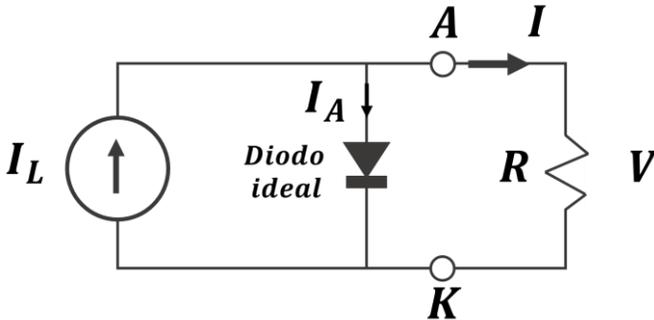


Ilustración 28. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica

A partir de la cual se puede definir la curva I-V del panel siguiendo la siguiente ecuación:

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

Ecuación 18. Ecuación de la célula fotovoltaica

Donde:

- ➔ $I_L = I_{SC}$ 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 representa la curva típica de un panel:

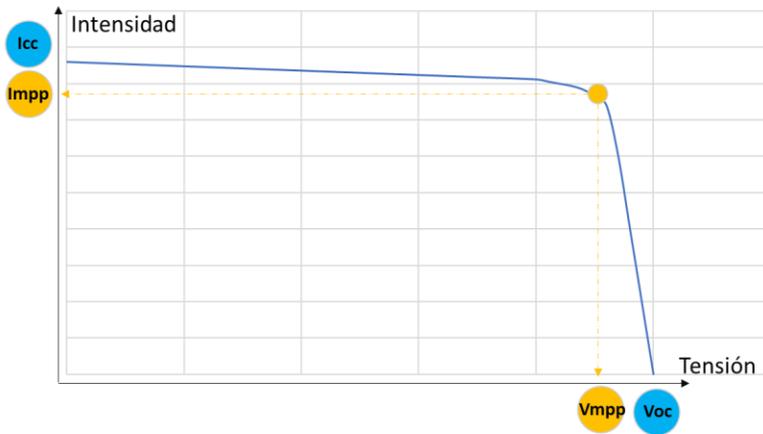


Ilustración 29. Curva I-V

En la cual son de especial interés los siguientes parámetros (estos ya se han visto con anterioridad al analizar el DATASHEET de los módulos):

- **Intensidad de cortocircuito (I_{cc}).** La intensidad de cortocircuito del módulo fotovoltaico se produce durante el corto periodo de tiempo en el que su resistencia es cercana a 0.

La intensidad de cortocircuito del panel corresponde con su intensidad máxima, y cuando esta se produce, tal como puede verse en la gráfica anterior, la tensión del módulo tiende a 0.

Este valor será utilizado para definir el máximo número de strings que puede soportar un determinado inversor solar (como se explicará más adelante, al añadir strings en un campo FV, aumenta su intensidad de salida). Uno de los parámetros del inversor solar es su corriente máxima admisible, de forma que la intensidad máxima del campo FV nunca puede ser superior a esta, sino podrían quemarse los elementos electrónicos que lo componen.

- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}).** Un circuito eléctrico se considera abierto cuando no hay corriente circulando por él debido a estar interrumpido o sin ningún conductor eléctrico.

Es en este momento, cuando la diferencia de tensión entre los polos del módulo fotovoltaico es máxima, y a este valor se le otorga el nombre de tensión de circuito abierto.

La tensión de circuito abierto es muy común cuando el panel está recibiendo radiación, pero no hay ninguna carga conectado al mismo, como ocurre durante los primeros instantes de la mañana. En cuando se conecte una carga, la tensión del panel disminuirá, mientras aumenta su intensidad de salida, según la curva de funcionamiento I-V.

- **Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{mpp}).** Como se ha visto en los anteriores capítulos, la potencia es el producto de la tensión y la intensidad, de forma, que al igual que se define una curva I-V, también puede definirse una curva P-V.

Al punto de la curva donde la potencia de panel sea máxima, se le definirá como MPP (maxim power point), y los valores de intensidad y tensión se conocerán como I_{mpp} y V_{mpp} .

- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mpp}).** Como se ha comentado, en el punto de la curva de máxima potencia, se tendrán los valores I_{mpp} y V_{mpp}
- **Potencia máxima del módulo (P_{mpp}).** Se define como el máximo output de energía por unidad de tiempo que el panel FV puede generar.

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:

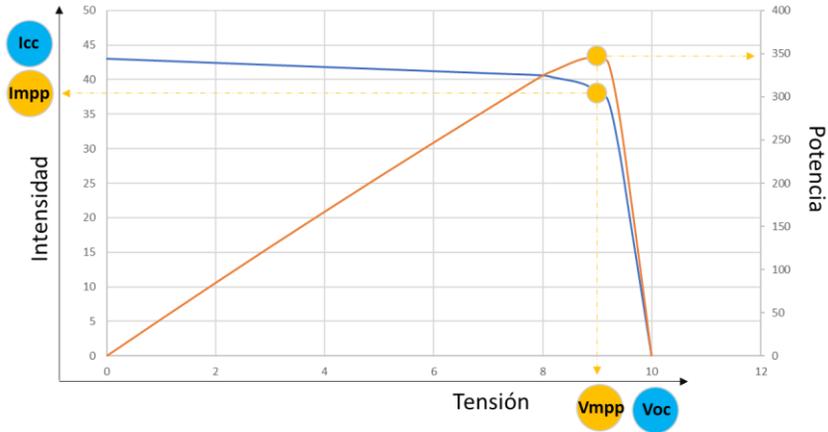


Ilustración 30. Curva P-V

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 y corriente de cortocircuito, puede obtenerse el factor de forma (FF):

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{OC} * I_{SC}} \leq 1$$

Ecuación 19. 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

3.3.5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?

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

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

- Mide como de cuadrada es la curva de un módulo.
- Es la relación $\frac{V_{OC} * I_{SC}}{V_{MPP} * I_{MPP}}$
- Es siempre mayor conforme mayor sea la potencia del módulo.

3.3.7. Las condiciones STC definen el módulo a: (señala la incorrecta)

- Air Mass = 1
- Irradiancia = 1000 W/m²
- Tamb de 25°C

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

- Son capaces de absorber la radiación por ambas caras.
- Producen una mayor cantidad de energía que los monocristalinos.
- La cantidad de radiación que sea capaz de absorber la cara trasera dependerá de la radiación difusa y la radiación reflejada que sea capaz de incidir sobre esta cara.

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

Tanto la curva I-V del módulo fotovoltaico, como su datasheet se dan para condiciones ambientales de STC (Standard Test Conditions), es decir, el funcionamiento del panel representado en las hojas de características corresponde con unas condiciones determinadas, que son las siguientes:

- Temperatura ambiente de 25°C
- Irradiancia de 1000 W/m²
- Air Mass de 1,5

Por lo tanto, a la hora de dimensionar la instalación solar, debe tenerse en cuenta como varía el funcionamiento del panel cuando no se dan las condiciones STC.

VARIACIÓN CON LA TEMPERATURA

La temperatura ambiente es uno de los factores que más afectan al rendimiento del módulo, siendo la tensión el parámetro más damnificado por las altas temperaturas.

Así pues, contradictoriamente, en las ubicaciones con mayor radiación solar, y donde a priori la capacidad de generación de los módulos solares es más alta, es también en los lugares en los que el rendimiento del es más reducido debido a las temperaturas.

Para temperaturas ambientes de 35°C, temperaturas muy comunes en lugares con altas irradiancias, la temperatura de operación del módulo puede llegar a alcanzar los 70°C, cayendo de forma brusca su rendimiento.

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

Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC (IEC)
Maximum Series Fuse Rating	20A
Power Tolerance	0~+3%
Temperature Coefficients of Pmax	-0.36%/°C
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C

Ilustración 31. Tabla de coeficientes de pérdidas

Las siguientes curvas muestran la variación de la curva de un módulo conforme aumenta su temperatura de operación.

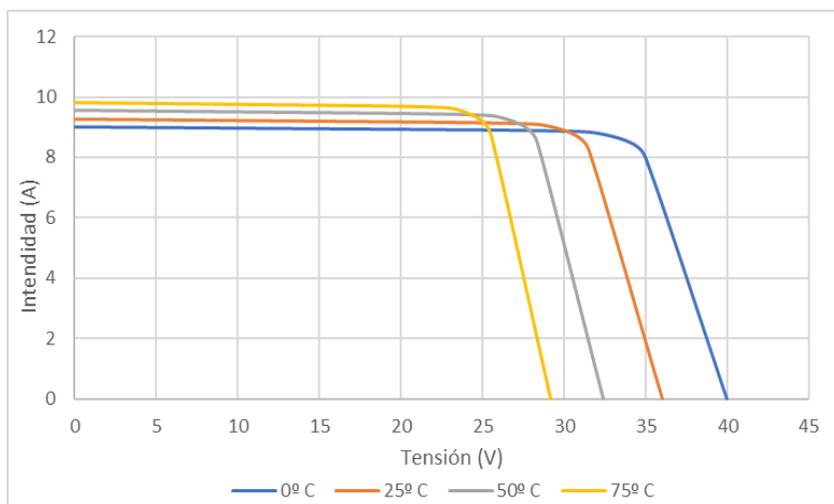


Ilustración 32. Variación de la curva I-V con la temperatura

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 disminuir hasta un 20-25% sobre 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 sea 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 de electrónica de potencia que 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. Así pues, 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 puntos importantes del inversor, es su 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 esté en su rango de tensión de MPP (habrá que 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. Debe 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 es calcular la temperatura del módulo.

Esta deberá de calcularse al menos para la máxima y mínima temperatura ambiente de la ubicación seleccionada.

La siguiente ecuación muestra el procedimiento a seguir para el cálculo de la temperatura del módulo.

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

Ecuación 20. 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 la temperatura mínima y la potencia MPP, tensión MPP e intensidad de cortocircuito para la temperatura de operación del panel máxima, para lo cual se utilizarán las siguientes fórmulas:

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

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

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

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

Ecuación 21. Ecuaciones para el cálculo de los parámetros a una T determinada

Al igual que la temperatura influye de forma significativa en la intensidad y tensión del módulo, dado que la potencia es una variable

resultado del producto de ambas, también se producirá una variación importante sobre la potencia, según puede observarse en la ilustración.

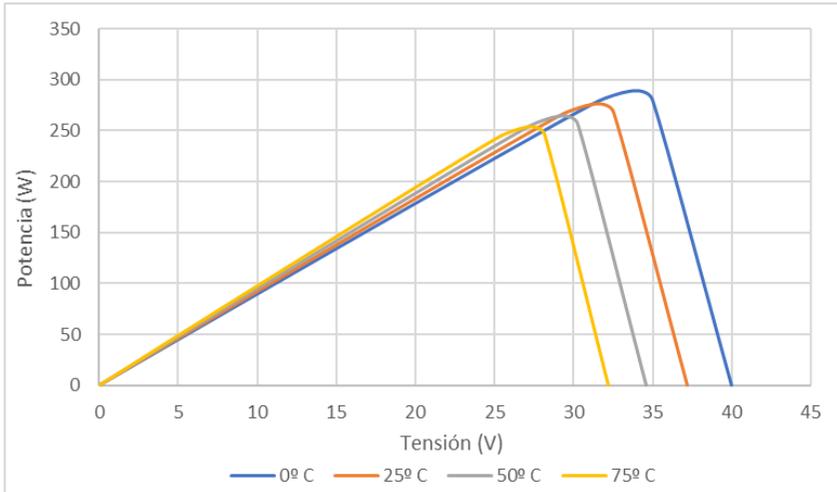


Ilustración 33. Influencia de la temperatura en la curva P-V

A continuación, 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 módulo 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	P _{mpp}	V _{oc}	I _{sc}	V _{mpp}	I _{mpp}	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:

- V_{oc} ($T_{módulo_min}$)
- V_{mpp} ($T_{módulo_max}$)
- I_{sc} ($T_{módulo_max}$)
- P_{mpp} ($T_{módulo_max}$)

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

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

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

$$I_{sc}(66,25^{\circ}C) = 10,1A + 0,05 \frac{A}{K} * (66,25^{\circ}C - 25^{\circ}C) = 12,16 A$$

$$\begin{aligned} P_{mpp}(66,25^{\circ}C) &= 370W + \left(-0,37 \frac{W}{K} \right) * (66,25^{\circ}C - 25^{\circ}C) \\ &= 354,73 W \end{aligned}$$

√

VARIACIÓN CON LA IRRADIANCIA

La irradiancia afecta de forma casi proporcional a la intensidad de salida del panel, y, por tanto, a su potencia.

A lo largo de un día, se va produciendo una variación de radiación solar, de modo, que la producción del módulo fotovoltaico varía según varía esta. Este mismo efecto ocurre durante la variación de días anuales, a partir de lo cual, se puede ver que la producción fotovoltaica en una ciudad como Valencia, en un día medio de invierno es casi la mitad que la producción en un día medio de verano.

La siguiente imagen muestra la influencia de la irradiancia solar en la producción de un módulo fotovoltaico.

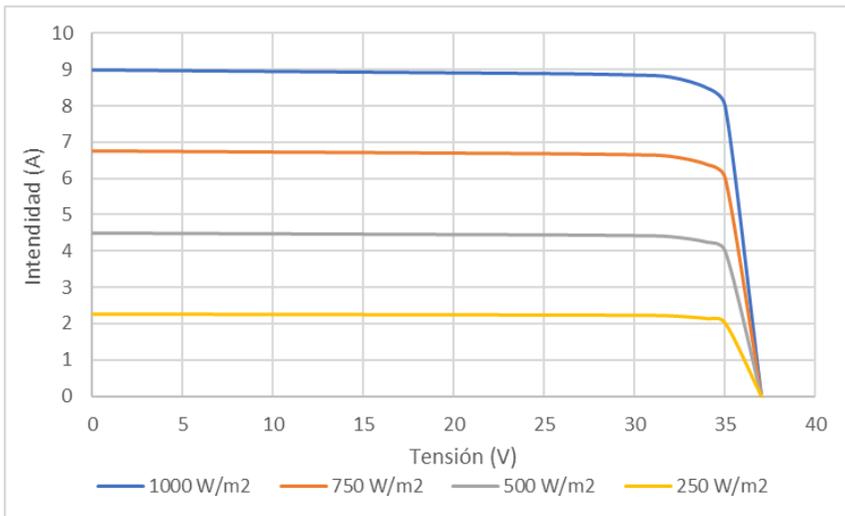


Ilustración 34. Variación curva I-V con la radiación

Si se observan las curvas anteriores, la relación entre irradiancia y corriente de salida es prácticamente proporcional para todo el rango de la curva de operación del módulo solar.

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, y cuando se combinan varios strings en paralelo, se le denomina array fotovoltaico.

- **Conexión de módulos en serie**

Cuando se realiza la conexión de módulos en serie, y se analizan los parámetros del string, la curva de operación I-V se ve desplazada hacia la derecha. Es decir, se produce un aumento de la tensión, la cual será igual a la suma de las tensiones de los módulos que componen el string. En cuanto a la corriente de salida, esta permanecerá igual a la corriente de salida del módulo de menor intensidad.

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

$$I_{string} = I_{módulo}$$

Ecuación 22. Intensidad de un string

$$V_{string} = \sum V_{módulo}$$

Ecuación 23. 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.

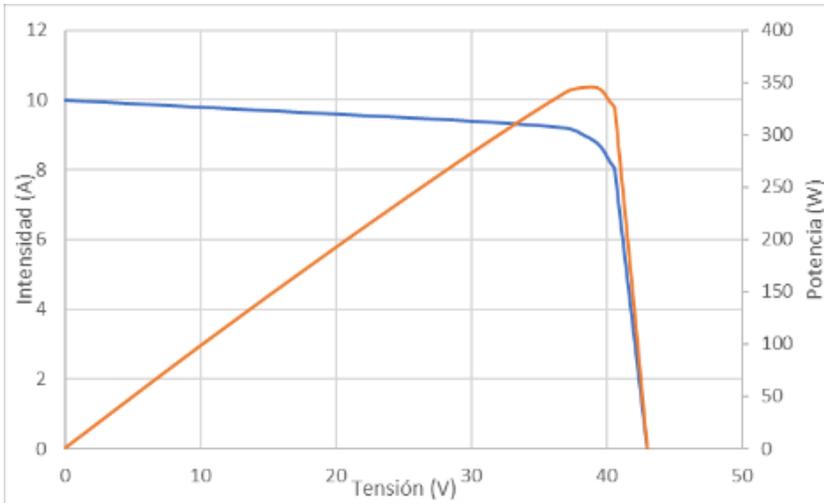


Ilustración 35. Curva I-V y P-V de un módulo

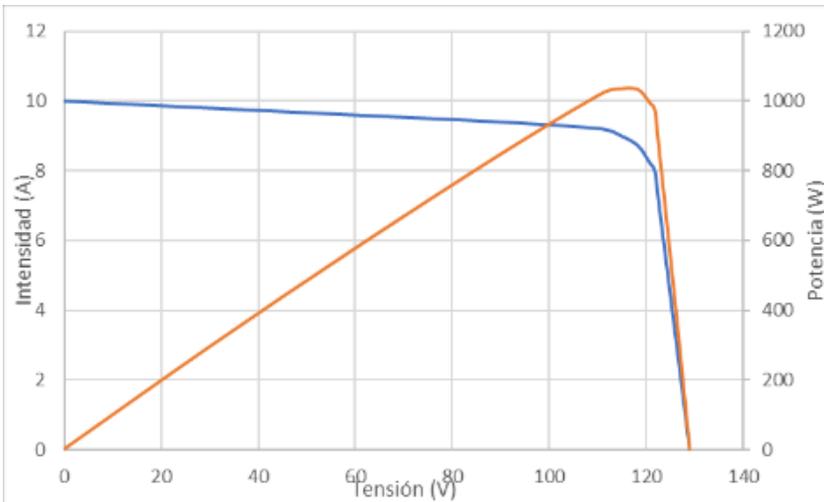


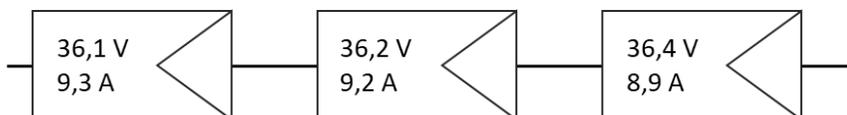
Ilustración 36. Curva I-V y P-V de un módulo

(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:

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

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

✓

- **Conexión de módulos en paralelo**

Dicha conexión se produce cuando se conectan varios módulos, o series de módulos (strings), de forma que se une el polo positivo del módulo o serie de módulos, con el positivo de otro módulo o series de módulos, y se realiza lo mismo con los polos negativos.

Cuando se conectan en paralelo varios paneles, o series de paneles, el parámetro que permanece igual es la tensión, la cual adquirirá la tensión del módulo o string de menor valor, mientras que la corriente resultante será la suma de las corrientes que circulan por los diferentes strings.

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

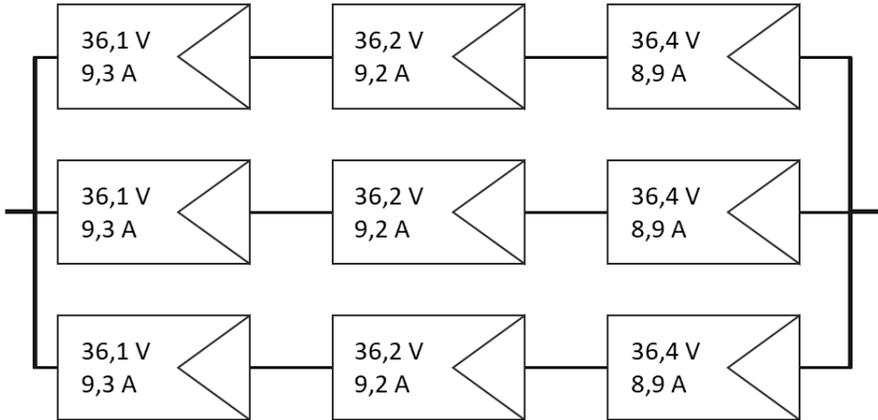
Ecuación 24. Tensión de un array

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

Ecuación 25. Intensidad de un array



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



Si se calcula las intensidad y tensión del array fotovoltaico anterior:

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

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



MISSMATCH 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 lo 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 → $V_{mpp} = 30 \text{ V}$; $I_{mpp} = 8 \text{ A}$

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

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, esta es inferior a la suma de potencias de ambos módulos de forma independiente.

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

$$\text{Pérdidas} = P_{string} - P_1 - P_2 = 15 \text{ W}$$

✓

- Cuando se produce el acoplamiento de strings en paralelo, sus corrientes se suman, sin embargo, la tensión resultante es la tensión del string de menor voltaje, produciéndose así también pérdidas por desacoplamiento.

✓

Ejemplo 5. Mismatch losses en paralelo.

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

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

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

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:

$$I_{array} = I_1 + I_2 = 15,5 \text{ A}$$

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

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

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

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

$$\text{Pérdidas} = P_{string} - P_1 - P_2 = 15 \text{ W}$$

√



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

- 3.3.9. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?**
- Un aumento de temperatura ambiente produce una disminución de la potencia, corriente y tensión del panel.
 - Un aumento de temperatura ambiente produce un aumento de la potencia, corriente y tensión del panel.
 - Un aumento de temperatura ambiente produce una disminución de la potencia, y tensión del panel y un aumento de la corriente.
- 3.3.10. Para una $T_{amb} = 31^{\circ}\text{C}$ y $G = 1000\text{W/m}^2$, la temperatura del módulo fotovoltaica se aproximará a:**
- $T_{mód} = 62^{\circ}\text{C}$
 - $T_{mód} = 67^{\circ}\text{C}$
 - $T_{mód} = 52^{\circ}\text{C}$
- 3.3.11. ¿Qué son las “mismatch losses”?**
- Pérdidas en los módulos FV debido a la temperatura.
 - Pérdidas ópticas del panel.
 - Pérdidas debidas a la disposición en serie y paralelo de módulos cuya tensión o corriente de salida difiere ligeramente, ya sea por ser módulos distintos, o por ser modelos de panel iguales pero sometidos a condiciones ligeramente distintas.
- 3.3.12. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta?**
- La tensión en los módulos en paralelo se suma.
 - La tensión en los módulos en serie se suma.
 - La corriente en los módulos en serie se suma.

DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA DE LOS MÓDULOS SOLARES

Cuando se realiza el dimensionado de una instalación de módulos solares, uno de los pasos más importantes es la distribución geométrica de los mismoS.

Esta distribución geométrica deberá de realizarse teniendo muy en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Optimización de la inclinación** del módulo solar para maximizar la producción anual o estacional.
- **Optimización de las longitudes de cable.** El cable, además de ser un elemento que tiene un coste sobre la inversión inicial de la instalación fotovoltaica, es un elemento que introduce pérdidas energéticas en el sistema, y que, por lo tanto, minimizando el recorrido entre módulos, y entre módulos e inversor, conseguirán reducirse las pérdidas del sistema y aumentar el rendimiento.
- **Elementos constructivos.** Aprovechar tejados con inclinaciones y orientaciones adecuadas va a repercutir de forma positiva en la disminución de la inversión inicial, así como en los costes de mantenimiento.
- **Análisis de sombras.** Es necesario evaluar las posibles sombras que pueden bloquear la irradiancia. Se puede distinguir entre dos tipos de sombras:
 - Sombras producidas por elementos externos. En el caso de que hallan árboles, muros... u otros elementos que puedan sombrear los paneles, habrá que realizar el cálculo de la longitud de sombra de estos, y respetar dicha distancia a la hora de distribuir geoméricamente los módulos.

- Sombras producidas por los propios módulos. La distancia mínima entre filas de módulos tendrá que ser suficiente como para que los paneles de una fila no sombreen a los de la siguiente.

OPTIMIZACIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS SOLARES.

Debido a la forma de esfera elíptica que adopta la Tierra, la radiación solar no incide sobre el planeta de forma perpendicular, sino que según la latitud, longitud y día del año en que nos encontremos, el ángulo de incidencia puede variar.

Para maximizar la absorción energética de los paneles solares, estos deben estar posicionados de forma que la incidencia de los rayos de sol sobre su superficie sea lo más perpendicular posible, por lo que, atendiendo a este principio, la mejor solución sería implementar sistemas de seguimiento solar, trackers, al igual que hacen los girasoles, para mantener los 90° durante el mayor intervalo de tiempo posible.



Ilustración 37. Comparación girasol con trackers

Fuente. <https://www.degerenergie.de/>

Sin embargo, para instalaciones domésticas o industriales, suele optarse por dotar a los paneles de una inclinación fija, con el objetivo de reducir la inversión y minimizar los costes de mantenimiento.

Para maximizar la producción solar **a lo largo de un año**, el ángulo β del módulo fotovoltaico deberá ser igual al ángulo latitud del lugar.

$$\beta = \text{latitud}$$

Es posible que, según el uso que se le vaya a dar a la generación eléctrica, se quiera optimizar la producción FV para los meses de **verano**, como podría ser el caso de una instalación fotovoltaica para bombeo solar de un cultivo que únicamente necesita de riego en verano. Para estos casos, el ángulo adoptado será igual a la latitud del lugar -15° .

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

En caso de que, por el contrario, se desee maximizar la producción en **invierno**, el ángulo adoptado por los paneles deberá ser de:

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

Influencia de la inclinación en la producción del módulo FV

Si se analizan para una latitud determinada como varía la producción anual de la instalación fotovoltaica en función de la inclinación de los módulos, podría encontrarse la Ilustración 38.

En la gráfica se representa la producción mensual de un campo FV de 1 kWp situado en Madrid (latitud de 40°) en función de la inclinación de los módulos que la conforman. Los datos han sido extraídos de la aplicación de cálculo gratuita PVGIS.

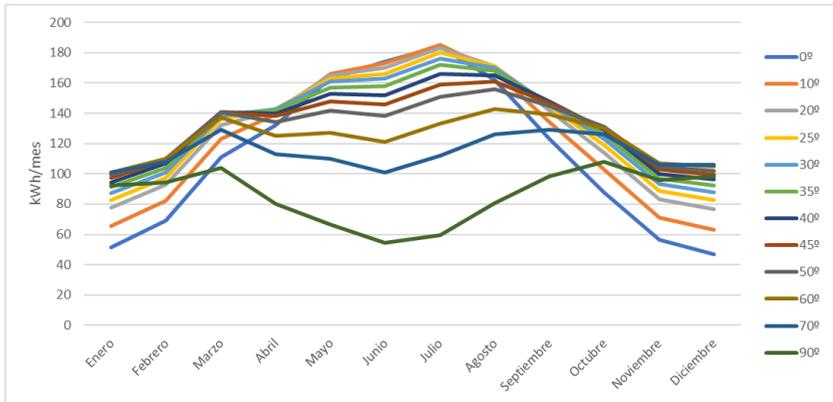


Ilustración 38. Variación de la producción FV en función de la inclinación del módulo

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

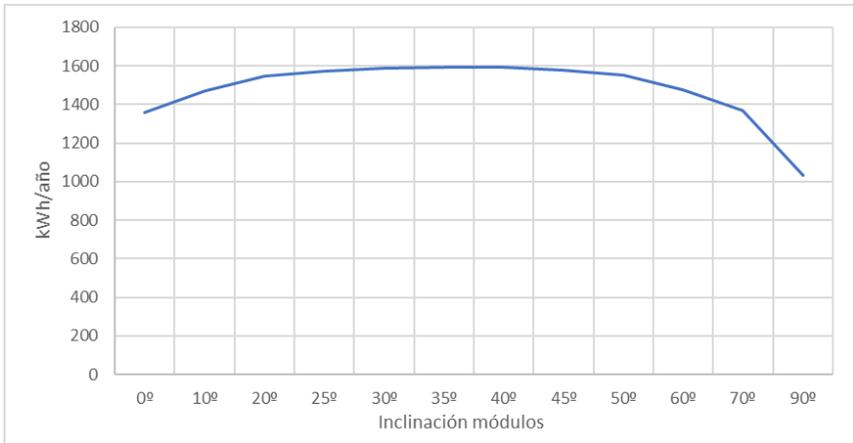


Ilustración 39. Producción FV anual en función de la inclinación del módulo

Donde puede observarse, que la producción máxima se produce con una inclinación de panel igual a la latitud del lugar, en este caso 40°.

Sin embargo, con el fin de mecanizar y economizar el proceso de fabricación de las estructuras de los módulos fotovoltaico, los fabricantes adoptan la solución de fijar una serie de inclinaciones predeterminadas, las cuales, para España típicamente son 15° y 30°.

Para proyectos de grandes dimensiones, sí que se opta por la solución óptima.

PRODUCCIÓN MEDIANTE INCLINACIÓN FIJA VS TRACKER

Como se ha visto al principio del punto, la forma de aprovechar la máxima energía procedente de la radiación solar es empleando el uso de seguidores solares de 3 ejes, o en su defecto de 2 ejes, los cuales dan también un muy buen rendimiento.

Si, a partir del ejemplo anterior, se compara la curva de producción mediante una inclinación fija de 40° con la energía producida con paneles que incluyen trackers:



Ilustración 40. Trackers vs estructura fija

La producción del campo FV que emplea trackers es un 39 % superior a la producción de la instalación que usa estructura fija.

No obstante, salvo en huertos solares de decenas de MW, donde sí que es más usual ver los trackers, la mayoría de instalaciones fotovoltaicas domésticas, industriales y pequeños huertos solares emplean estructuras fijas, principalmente por los siguientes motivos.

- Los trackers son elementos electrónicos, y por tanto presentan un mantenimiento elevado, mientras que en los módulos con inclinación fija, su mantenimiento es despreciable.
- Tienen un gasto energético que disminuye el performance ratio de la planta.
- Es un elemento caro, cuyo precio está por encima del precio del panel. Por lo que puede ser más interesante duplicar módulos que usar trackers.
- Al permitir un mayor grado de inclinación de los paneles (usualmente varía de 0 a 70°), las sombras que produce son más alargadas, y por tanto la distancia entre filas de paneles ha de ser superior.

EFEECTO DE LAS SOMBRAS SOBRE LOS MÓDULOS

El análisis de sombras es uno de los puntos críticos durante el dimensionado del sistema solar, ya que la influencia de estas puede llevar a prácticamente 0 el rendimiento de la instalación.

Dado que los módulos solares están compuestos por una serie de celdas fotovoltaicas dispuestas en serie y paralelo, deberán cumplirse las siguientes leyes (comentadas anteriormente).

- Para las celdas en serie, la corriente del string o grupo de celdas fotovoltaicas será la tensión de la célula de menor intensidad.
- Para strings de células en paralelo, la tensión del conjunto de strings de células, será la del string de menor voltaje.

De forma que, atendiendo a los dos principios básicos anteriores, cuando una de las células está sombreada y la radiación solar no incide sobre ella, el valor de su intensidad será cercano a 0, y, por lo tanto, la corriente de ese string será también cercana a 0.

Lo mismo ocurre para los strings en paralelo, si uno de los strings en paralelo está sombreado, la tensión de este será cercana a 0, y, por lo tanto, la tensión del conjunto de strings en paralelo también será muy cercana a 0.

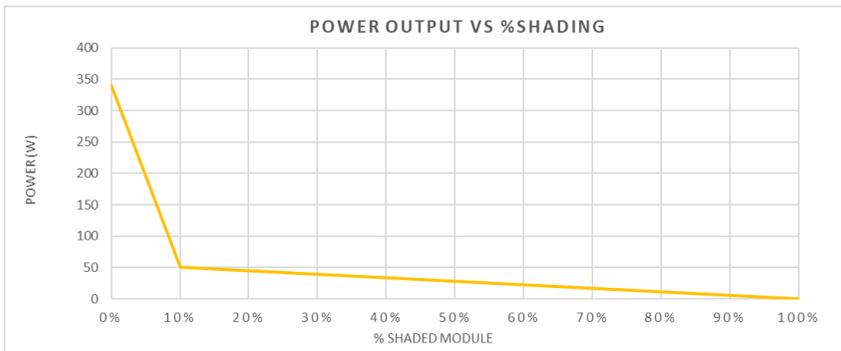


Ilustración 41. Influencia de las sombras en la producción del módulo FV

La potencia de salida del módulo fotovoltaico disminuye de forma inversamente exponencial en función del porcentaje de panel que está sombreado.

Para el análisis de sombras se deberán tener en cuenta tanto las posibles sombras producidas por elementos externos (árboles, pilares, antenas...) como las sombras producidas por una fila de módulos sobre otra.

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:

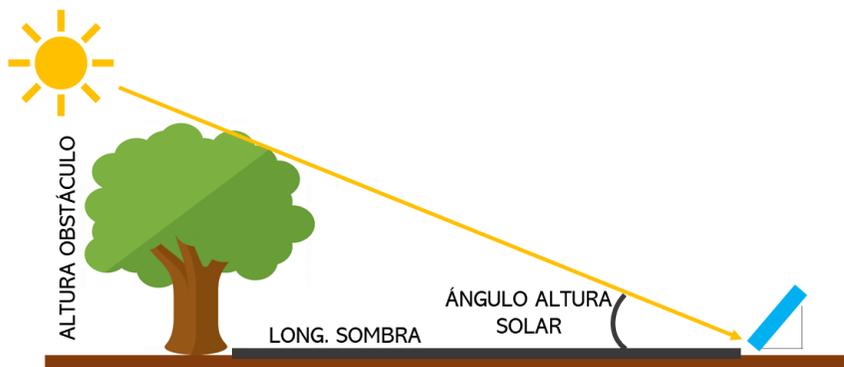


Ilustración 42. Cálculo de sombras

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:

$$\text{Altura solar} = \text{Declinación solar} = \delta = 23,45 * \text{sen}\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right)$$

Ecuación 26. 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.

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

Ecuación 27. 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.

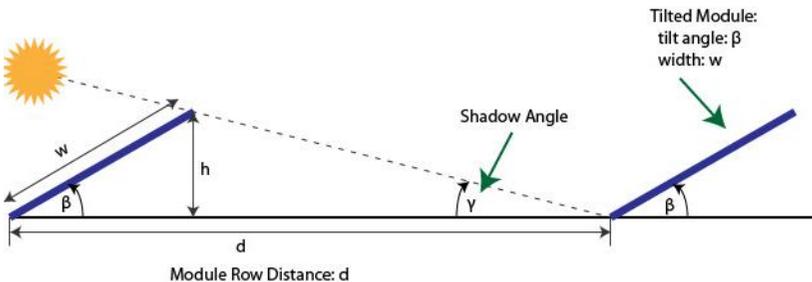


Ilustración 43. Cálculo distancia entre módulos

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

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

Ecuación 28. Cálculo proyección del panel sobre la horizontal

$$h = \sen(\beta) * w$$

Ecuación 29. Calculo proyección vertical del panel o altura

donde,

- w es la longitud de panel (cuidado si está colocado horizontal o verticalmente)
- d1 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 .

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

Ecuación 30. Cálculo del ángulo de altura solar

Paso 3. Cálculo de la distancia d2. O distancia que va desde el final de la proyección del panel, hasta la siguiente fila.

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

Ecuación 31. Calculo distancia d2

Paso 4. Cálculo de la distancia total entre filas.

$$d = d_1 + d_2$$

Ecuación 32. Cálculo distancia entre módulos



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

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

- d. Inclinación de 60° orientada al sur.
- e. Inclinación 30° orientada al sur
- f. Inclinación 30° orientada al norte

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

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

3.3.15. Señala la verdadera.

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

3.3.16. Dado un módulo de 1,65 m de largo inclinado 30°, y una latitud de 25° norte, ¿cuál deberá ser la distancia mínima entre filas?

- d. 1,96 metros
- e. 1,37 metros
- f. 2,55 metros

3.4. Inversor fotovoltaico

La corriente producida por los módulos fotovoltaicos presenta una tensión continua en el tiempo. Sin embargo, la red eléctrica de la mayoría de los países, motores, electrodomésticos... presentan una onda de corriente senoidal, es decir, funcionan en corriente alterna.

De esta forma, si se intentara alimentar, por ejemplo, una bomba de agua concreta, cuya alimentación es a 230/400 V trifásica, mediante una red eléctrica de corriente continua, podría quemarse la electrónica del motor de la bomba.

Es por lo tanto necesario disponer de un equipo electrónico que sea capaz de transformar la corriente continua proveniente de los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna. A este equipo se le denomina inversor.

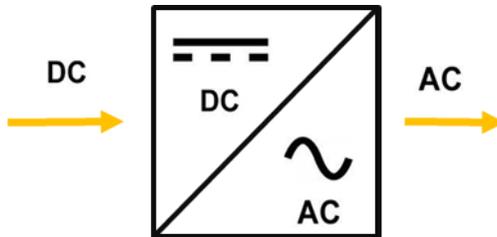


Ilustración 44. Símbolo de inversor fotovoltaico

La clasificación de los inversores puede ser muy amplia, pudiendo diferenciar entre inversores de conexión a red o de autoconsumo, inversores string o centrales, inversores base o inversores-cargadores...

Estos equipos electrónicos presentan eficiencias muy elevadas, cuyo valor supera habitualmente el 95%. Aunque para equipos de baja potencia la diferencia de eficiencias no es un dato muy importante, en inversores centrales, cuya potencia de salida es de MW, una diferencia

en el rendimiento de un 98 a un 99%, supone una cantidad de energía aprovechada extra muy grande.

FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS INVERSORES SOLARES

Entre las principales funciones que integran los inversores, pueden destacarse las siguientes:

- ➔ Transformar la energía eléctrica de corriente continua a corriente alterna.
- ➔ Optimizar el rendimiento del panel solar mediante el seguimiento del punto de máxima potencia.
- ➔ Monitorizar el funcionamiento de la instalación.
- ➔ Proteger al campo fotovoltaico en caso de sobretensiones o cortocircuitos en el lado de la red, o proteger a la red en caso de sobretensiones o cortocircuitos en el lado del campo.

ELECTRÓNICA DE POTENCIA DEL INVERSOR

A pesar de que en la formación objetivo de este libro no se aborda en detalle el funcionamiento interno de los diferentes equipos que integran las instalaciones solares, sí que se quiere dotar al lector de las ideas básicas de operación de estos. Es por ello que, en este apartado se va a “profundizar” en la electrónica de los convertidores de corriente, o inversores.

La etapa de potencia de los inversores presenta una configuración en puente monofásico, pudiendo utilizar como semiconductores de potencia transistores MOSFET, IGBTs...

La tensión generada por el inversor es senoidal y se obtiene mediante la técnica de modulación de ancho de pulsos. Un microcontrolador determina el tipo de onda que se genera a partir de una tabla de valores disponibles en la memoria auxiliar del sistema.

De esta forma se hace trabajar a los transistores de potencia a una frecuencia de conmutación de 20kHz, con lo que se consigue una forma de onda senoidal de muy baja distorsión, menor del 1% y con un contenido de armónicos bajo.

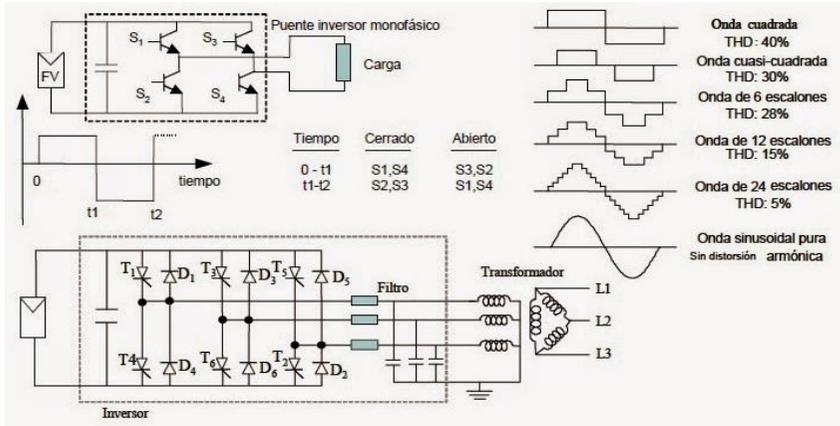


Ilustración 45. Esquema electrónica inversor solar

De esta forma, a mayor cantidad de diodos, y por tanto mayor número de “ON/OFFs” se conseguirá una onda más suave y de mayor calidad, como puede verse en la imagen anterior.

REGULACIÓN DEL MPP DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

Según se ha comentado anteriormente, la función principal de los inversores es la conversión de la corriente continua en alterna.

Sin embargo, el salto de calidad y la evolución de los inversores durante los últimos años, ha venido gracias a la regulación del MPP, es decir, forzar al campo fotovoltaico a funcionar en el punto de su curva I-V en el cual la potencia generada es mayor. Se trata de un seguimiento

continuo, pues a pesar de las variaciones diarias de radiación, el inversor es capaz de mediante ciertos algoritmos de software, mantener este punto.

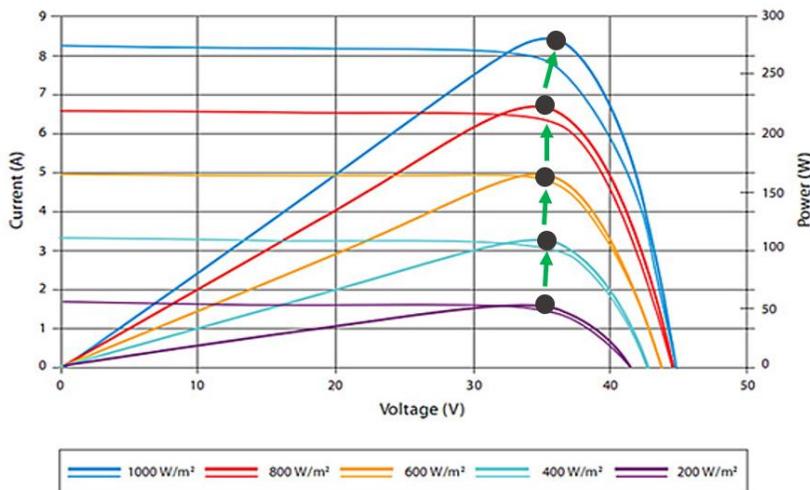


Ilustración 46. Regulación MPP

Entre los algoritmos típicos empleados por los inversores fotovoltaicos pueden encontrarse:

- Algoritmo de conductancia incremental
- Algoritmo de perturbación y observación.

El funcionamiento típico de estos algoritmos empleados por los inversores para la regulación del punto de máxima potencia se basa en:

1. El inversor fija la tensión de salida de los módulos fotovoltaicos en su punto de tensión máxima.
2. Se realiza la medida de tensión y corriente para ese punto, y se calcula la potencia.

3. El inversor fuerza los módulos a funcionar en otro punto, y se mide tensión y corriente. A partir de estos valores se calcula la potencia.
4. Se compara la potencia de este punto, con el punto anterior, y en el caso de ser superior, se continua con el proceso. En caso de ser inferior, se vuelve al punto de funcionamiento anterior.

Los equipos pueden presentar un único regulador MPP, o pueden presentar varios, de forma, que para cada uno de los strings entrantes en el inversor, se regula de forma independiente en función de las condiciones que tiene.

A mayor número de seguidores MPP, mayor será el rendimiento de la instalación fotovoltaica, sin embargo, también se producirá un aumento en el precio del inversor.

Tanto la electrónica como el software empleado para la búsqueda del punto de máximo potencia del módulo solar presentan una tipología compleja, la cual no va a ser objeto de estudio en este libro.

FORMACIÓN DE ARMÓNICOS

A pesar de todas la funcionalidades y ventajas que presentan los inversores, estos también tienen algún elemento que puede ser contraproducente para la instalación, como la formación de armónicos.

La formación de armónicos se da en cualquier equipo electrónico en el que se produce una conversión entre corriente continua y alterna, y si no se controlan, estos armónicos que son propagados por los cables, aire o tierra, pueden producir distorsiones en las ondas de otros equipos, modificando el funcionamiento de estos o incluso pudiendo llegar a producirles daños.

Los armónicos que se producen durante la regulación PWN son producidos a diferentes frecuencias, siendo los armónicos de orden más bajo los que mayor influencia tienen.

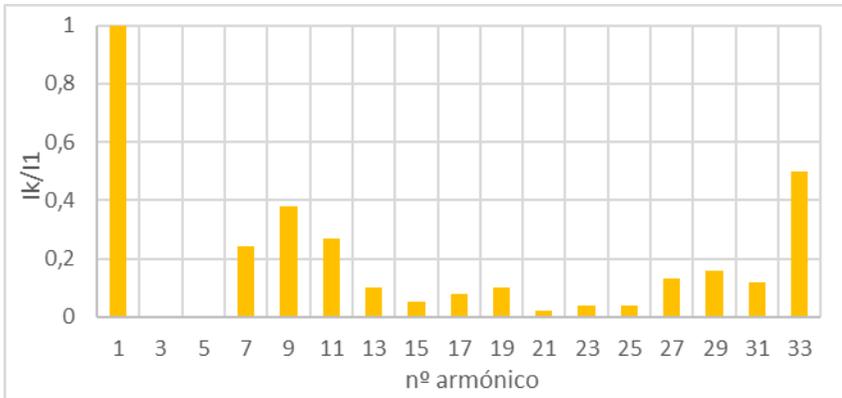


Ilustración 47. Formación de armónicos

Para eliminar los armónicos pueden requerirse de filtros senoidales y filtros dV/dt integrados en los inversores o a la salida de estos.



Ilustración 48. Filtro de armónicos

En este libro no se va a abordar en mayor profundidad los cálculos a seguir para obtener los armónicos de un determinado inversor a unas determinadas condiciones de funcionamiento.

REGULADORES DE TENSIÓN

No obstante, muchos equipos son alimentados en corriente continua, como puede ser el caso de ordenadores, móviles, televisores, motores de corriente continua, baterías ... por lo que no necesitarán de ningún equipo electrónico para invertir la corriente continua en alterna. Sin

embargo, la tensión de entrada a estos equipos es una variable fija, cuyo valor usual es de 12, 24 o 48 V, mientras que la tensión de salida del campo fotovoltaico es un valor variable que dependerá del voltaje de cada uno de los módulos y de la configuración de estos.

Para los casos en los que no se requiera conversión de corriente alterna a continua, aunque no se necesite un equipo electrónico que realice dicha función, sí que se necesitará de un quipo capaz de regular la tensión y ajustarla al valor requerido en el bus de continua.



Ilustración 49. Regulador de tensión Victron

EFEECTO 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 envolvente 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 dado que el inversor no es capaz de disipar el suficiente calor.

- **Efecto de la Temperatura.**

Como se ha comentado, tanto la 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:

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

Ecuación 33. 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 este derating.

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 no es válida para ningún equipo en concreto).

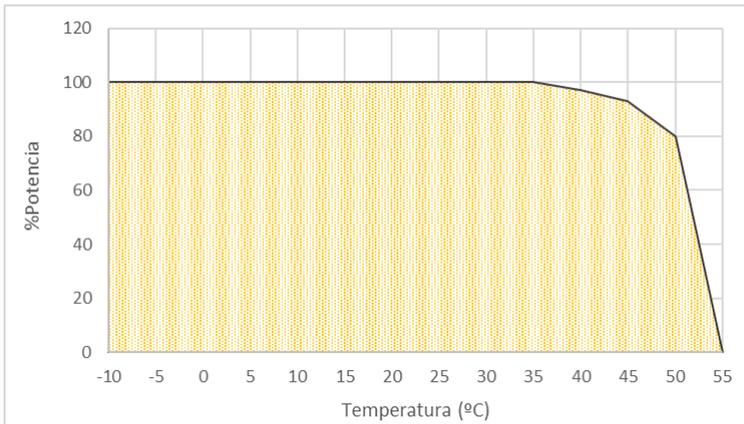


Ilustración 50. Derating por temperatura

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 ambientales 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:

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

➔ 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.

- **Efecto de la altitud**

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:

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

Ecuación 34. 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 másico

donde:

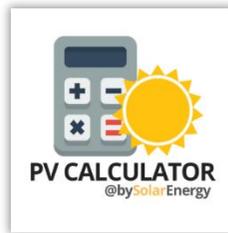
- v , es el caudal volumétrico de aire
- ρ , es la densidad del aire

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. Así pues, 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”.

3.5. Programas y herramientas para el dimensionado fotovoltaico

Excel es quizá uno de los programas más extendidos y cuya practicidad y cantidad de posibilidades que ofrece da una mayor versatilidad a la hora de programar nuestros propios ejecutables para el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas.

Desde @bySolarEnergy Academy, hemos preparada nuestro propio programa Excel de dimensionado de instalaciones fotovoltaicas **PV CALCULATOR**, el cual puedes descargar desde nuestra página de forma gratuita. Para acceder al él presione sobre la siguiente imagen.



Además, estamos preparando un programa para ordenador (NO EXCEL) que dotará tus proyectos de mayor fuerza y relevancia.

Para instalaciones de mayor tamaño, son muy utilizados otros softwares de cálculo como:

- PVSYST
- HOMER



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 3.3

3.4.1. Un inversor tiene la siguiente función:

- g. Convertir la corriente alterna en continua.
- h. Regular la tensión.
- i. Transformar la corriente continua en alterna.

3.4.2. El seguimiento MPPT del inversor es:

- g. Un modo de funcionamiento que permite regular la energía inyectada en función de la demanda.
- h. Un modo de funcionamiento que permite optimizar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos.
- i. 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)

- g. Mejora el rendimiento del inversor fotovoltaico.
- h. Pueden producir distorsiones en las ondas de otros equipos, modificando el funcionamiento de estos e incluso pudiendo llegar a producir los daños.
- i. 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.

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

LECCIÓN 4

DIMENSIONADO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA



4.1. Introducción y normativa relativa al autoconsumo.

Una instalación de autoconsumo eléctrico puede entenderse como el uso de un sistema independiente a la red eléctrica para satisfacer las necesidades energéticas de una determinada vivienda o nave industrial.



Ilustración 52. Instalación fotovoltaica

Las instalaciones de autoconsumo pueden integrar más de una fuente de generación eléctrica, como pueden ser sistemas que combinan la energía fotovoltaica con energía eólica, grupos diésel... También puede diferenciarse entre instalaciones de autoconsumo de generación renovable o de generación no renovable, en función de la fuente de energía utilizada para el autoconsumo eléctrico.

En este libro, se estudiará el funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo, y se realizará un análisis de estas siguiendo las directrices impuestas por el “Real Decreto 244/2019, de 5

de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.”

Así pues, la primera diferenciación que se hará acordé al *Real Decreto 244/2019* entre sistemas de autoconsumo será:

- **Autoconsumo SIN excedentes.** Referido a instalaciones en cuyo sistema de generación eléctrica tiene como único fin abastecer total o parcialmente la demanda energética.

Estas instalaciones funcionan como un sistema “aislado de la red”, pues o bien no estarán conectados a ella (también conocido típicamente como autoconsumo aislado) o estarán conectadas, pero únicamente para consumir energía, no para verter. Estas instalaciones deberán dotarse de un sistema antivertido para asegurar la no inyección eléctrica a la red.

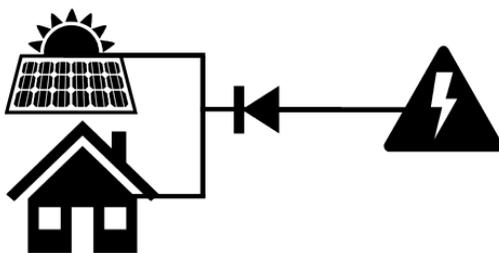


Ilustración 53. Sistema de autoconsumo

- **Autoconsumo CON excedentes.** Referido a las instalaciones en cuyo sistema de generación energético sí que se produce un vertido de parte de su energía producida a la red eléctrica.

Se puede diferenciar entre dos tipos de sistemas con excedentes:

- ***Autoconsumo CON excedentes ACOGIDO A COMEPENSACIÓN.*** Referido a instalaciones de autoconsumo con excedentes en la que el generador y consumidor (ambos la misma persona física o jurídica) optan por acogerse al procedimiento para compensación de los excedentes.
 - De esta forma, la energía consumida por el dueño de la instalación de autoconsumo, se le verá “compensada económicamente” acorde a la energía que haya vertido a red.
 - Únicamente podrán acogerse a esta modalidad de autoconsumo aquellas instalaciones que cumplan con los siguientes requisitos:
 - Fuente de origen renovable
 - Potencia instalada inferior a 100 kW

- ***Autoconsumo CON excedentes NO ACOGIDO A COMEPENSACIÓN.*** Referido a instalaciones de autoconsumo con excedentes que voluntariamente no quieran pertenecer al grupo anterior (pueden entrar al mercador pool como un generador eléctrico) o que no cumplan con los requisitos anteriores.

CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA

En el Real Decreto, se introducen los términos de autoconsumo individual y autoconsumo colectivo, en función del número de consumidores conectados al sistema de autoconsumo.

Uno de los requisitos necesarios para poder acogerse a cualquiera de las modalidades de autoconsumo, es que el consumidor o consumidores dispongan de un contrato de suministro de la electricidad.

Cualquiera de las modalidades de autoconsumo anteriormente descrita puede integrar sistemas de almacenamiento energético.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) ha elaborado un documento “Guía Profesional de Tramitación del Autocostumo” en la que se profundiza en mayor medida en cada una de las modalidades de autoconsumo, así como el método de compensación energética o los pasos necesarios para la tramitación del autoconsumo.

En el siguiente enlace puede accederse a esta guía, en la cual se resume de forma muy practica e intuitiva.

<https://www.idae.es/publicaciones/guia-profesional-de-tramitacion-del-autoconsumo>



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 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

Ilustración 54. 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 tema del libro se abordará el dimensionado de instalaciones de autoconsumo domésticas, con y sin excedentes.

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.



Ilustración 55. Instalación de autoconsumo

Los pasos a seguir para realizar un correcto dimensionado son:

1. Recopilación de la información necesaria.

Se trata del primer paso y puede que el más importante. En un primer contacto con el cliente, se deberá de extraer la mayor cantidad de información posible para poder realizar de forma correcta el dimensionado del sistema. La siguiente información será de gran utilidad:

- Datos del cliente, ubicación de la vivienda e información de si hay elementos que puede provocar sombrar o dificultar la distribución geométrica de los módulos.
- Necesidades del cliente. Se le deberá consultar si quiere una instalación con o sin baterías, si quiere ser capaz de abastecer la totalidad de su consumo o buscar la solución óptima, si tiene conexión a red o está aislado...
- Factura eléctrica. En el caso de ser posible, se le pedirá una factura eléctrica del último mes (a través de la cual se extraerán los consumos horarios diarios del consumidor). En caso de que no quiera proporcionarla, se le pedirán los consumos mensuales de cada uno de los meses del año.

2. Análisis geométrico de la disposición de los módulos

A partir de la ubicación proporcionada y de la vista aérea que puede obtenerse del lugar mediante Google Maps, se procederá a realizar el cálculo del máximo número de módulos que pueden instalarse de forma “adecuada”.

Se tomará una foto aérea desde Maps o Google Earth, se introducirá en AutCad o una herramienta de dibujo similar, se escalará, y se realizará la distribución de módulos.

- Cubierta plana. Se orientarán los módulos al sur, elevándolos a una inclinación de 30° . En el caso de que se quiera optimizar la instalación, se instalarán a una inclinación igual a la latitud del lugar. Sin embargo, suele utilizarse 30° porque es una medida estándar en las estructuras y el coste es más reducido.
- Cubierta Norte-Sud. Para reducir costes, se instalarán los módulos de manera coplanar sobre la cubierta sur de la vivienda.
- Cubierta Este-Oeste. Los paneles se instalarán en ambas cubiertas, o en caso de que haya una con mayor orientación al sur, en esta última, y la inclinación podrá tomarse como coplanar (en este caso se minimizarán costes, pero también se penalizará en gran medida la potencia de salida de la instalación) o se les dará una inclinación de 30° sud (o la inclinación óptima según la latitud) de forma que se maximice su rendimiento (pero también se producirá un aumento en los costes de las estructuras).

✓

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



Ilustración 56. Vista aérea 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 considerar, 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.

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

Ecuación 35. Proyección horizontal del módulo

donde:

- L es longitud del módulo
- β 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.

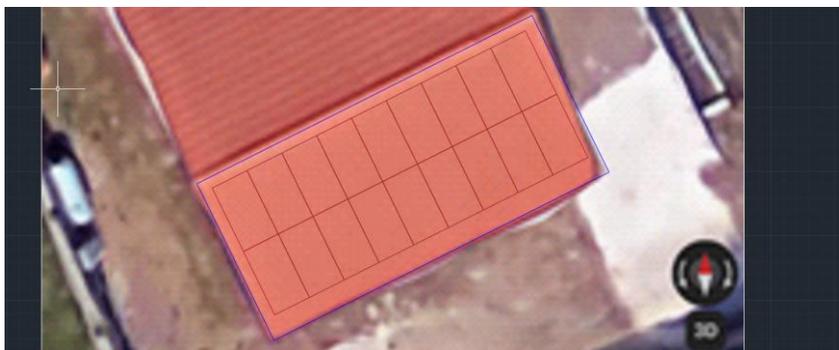


Ilustración 57. Distribución de módulos

Para el ejemplo, el número máximo de módulos será de 18 módulos de 2x1 m.

Estos valores serán únicamente una referencia de la máxima capacidad que puede instalarse según el análisis geométrico, pudiendo ser inferior la cantidad de módulos finalmente configurada una vez realizado el análisis energético.



3. Obtener la curva horaria de consumos energéticos

El siguiente paso será obtener los consumos energéticos horarios de nuestro cliente, lo cual será necesario para poder realizar un correcto análisis del sistema óptimo a instalar. Para este paso, se podrá proceder de dos formas en función de la cantidad de datos que dispongamos.

➔ OPCIÓN A. DISPONEMOS DE LA FACTURA ELÉCTRICA.

A partir de la factura eléctrica, **previo consentimiento de nuestro cliente**, podremos acceder a los consumos horarios de todo el año en la página web del distribuidor eléctrico de la zona.

A partir del archivo .csv de salida, se deberá obtener la curva de consumo horario para un día tipo de cada mes.

➔ **OPCIÓN B. NO DISPONEMOS DE LA FACTURA ELÉCTRICA.**

En este caso, a partir de los consumos mensuales aportados por el cliente, y mediante una curva normalizada (la cual dependerá del tipo de consumidor), podrá estimarse la curva de consumo horario.

4. Análisis de los consumos eléctricos

Este paso servirá para determinar la potencia fotovoltaica óptima de la instalación, y requerirá del uso de una herramienta de cálculo.

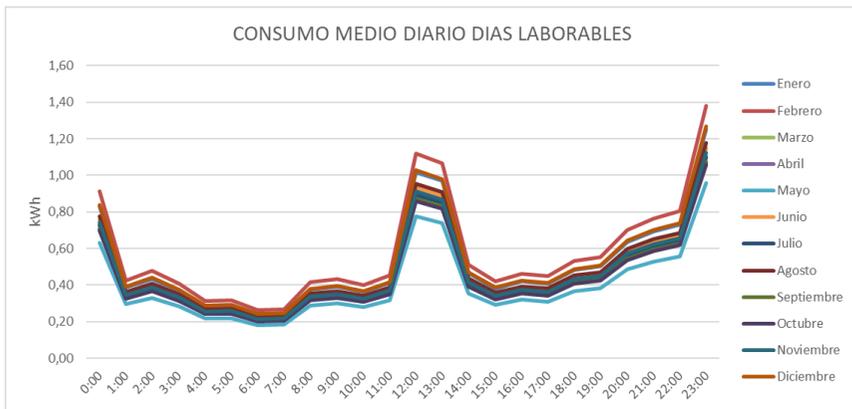
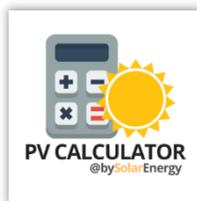


Ilustración 58. Análisis de los consumos eléctricos.

En este análisis deberán distinguirse los distintos perfiles de días (días laborables, jornadas parciales, festivos...).

La herramienta más potente para realizar el análisis de una gran cantidad de datos es EXCEL. @bySolarEnergy han preparado una aplicación Excel que permitirá, a partir de los consumos horarios, realizar un análisis preciso de estos.

PRESIONA EN EL ÍCONO PARA DESCARGAR LA HERRAMIENTA EXCEL



5.1. 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).**

Se analizarán diferentes escenarios y se simulará el rendimiento del sistema según la potencia fotovoltaica instalada, de forma que se buscará la configuración para la cual se consigue una mayor cobertura energética marginal.

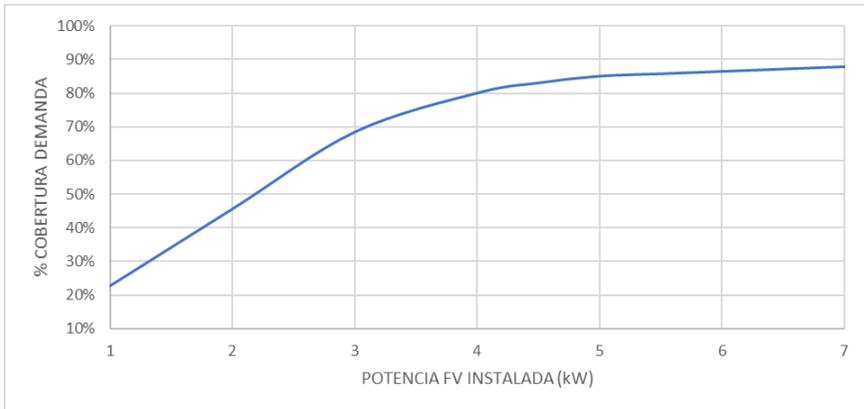


Ilustración 59. Optimización de la potencia instalada

La gráfica anterior muestra la cobertura de la demanda mediante paneles fotovoltaicos en función de la potencia de la instalación solar. De esta forma, se podría determinar, que la potencia óptima para este caso estaría entorno a los 4 kW, punto a partir del cual, por más potencia de campo que se instale, el aumento en la cobertura de la demanda será cada vez inferior.

De forma rápida y sencilla podría obtenerse este valor como.

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

Ecuación 36. 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.

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

Ecuación 37. Maximización de la 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.

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

En el caso de introducir baterías como sistema de almacenamiento en la instalación solar, el abanico de posibilidades se abrirá en gran medida.

La unidad de capacidad de batería serán los Wh o KWh, y el dimensionado de la misma se hará en base a:

- Demanda diaria máxima.
- Mínima irradiancia diaria.
- N° de días de capacidad.

La capacidad neta de la batería deberá dimensionarse para que sea capaz de, en días de 0 producción fotovoltaica, suministrar el consumo de una vivienda/industria durante el número de días especificado.

De esta forma, la batería se dimensionará como:

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

Ecuación 38. 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:

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

Ecuación 39. Cálculo de la potencia fotovoltaica

6.1. Elección del inversor fotovoltaico (SIN BATERÍA)

En el caso de una instalación sin almacenamiento, el sistema estará compuesto principalmente, por el campo fotovoltaico y el inversor solar.

Para la elección del inversor, se deberán tener en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- **Tensión de salida.** En el caso de instalaciones domésticas, normalmente este valor será de 230 V monofásico o 230/400 V trifásico. En el caso de instalaciones industriales son más comunes tensiones de 400/690 V.
- **Potencia del campo FV.** Para instalaciones doméstica, desde nuestro punto práctico, **recomendamos** que la potencia del inversor seleccionado este entre un 85%-115% de la potencia del campo fotovoltaico, ya que será el punto para el cual el rendimiento de la etapa de potencia será más alto, mientras que para instalaciones industriales **recomendamos** siempre un ratio DC/AC >1. *Este valor es solo una recomendación

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

En las instalaciones con almacenamiento, el número de elementos puede crecer en función de lo que se decida realizar.

De esta forma, las siguientes configuraciones son posibles.

→ Inversor-Cargador.

Se trata de un único equipo electrónico, capaz de realizar tanto la conversión de energía continua a alterna, como la regulación de tensión durante la carga de baterías.

Para la elección de este se deberá tener en cuenta:

- **Tensión de salida AC.** En el caso de instalaciones domésticas, normalmente este valor será de 230 V monofásico o 230/400 V trifásico.
- **Potencia del campo FV.** Para instalaciones doméstica, desde nuestro punto práctico, recomendamos que la potencia del inversor seleccionado este entre un 85%-115% de la potencia del campo fotovoltaico, ya que será el punto para el cual el rendimiento de la etapa de potencia será más alto. *Este valor es solo una recomendación
- **Tensión de entrada baterías.** Normalmente, este será de 12V, 24 V o 48V. También hay baterías de alta tensión, cuyo voltaje de entrada es superior a los 400 V.

→ Inversor + Cargador

Se trata de la solución más común, y está integrado por un inversor común, y un cargador o regulador de tensión.

Para la elección del inversor se deberá tener en cuenta:

- **Tensión de salida AC.** En el caso de instalaciones domésticas, normalmente este valor será de 230 V monofásico o 230/400 V trifásico.
- **Potencia del campo FV.** Para instalaciones doméstica, desde nuestro punto práctico, recomendamos que la potencia del inversor seleccionado este entre un 85%-115% de la potencia del campo fotovoltaico, ya que será el punto para el cual el rendimiento de la etapa de potencia será más alto. *Este valor es solo una recomendación

Mientras que para la elección del cargador se deberá tener en cuenta.

- **Potencia del inversor seleccionado.**
- **Tensión de entrada baterías.** Normalmente, este será de 12V, 24 V o 48V. También hay baterías de alta tensión, cuyo voltaje de entrada es superior a los 400 V.

7. Cálculo de las condiciones de funcionamiento de los módulos solares.

Uno de los pasos previos a realizar el dimensionado de módulos y su distribución, es la elección de un módulo y el cálculo de sus condiciones de funcionamiento reales, puesto que las que vienen en el datasheet corresponden a condiciones STC.

Para esto, se deberán seguir los pasos vistos en 3.4. Panel solar.

8. Distribución de los módulos fotovoltaicos.

La distribución final del campo fotovoltaico se realizará de acuerdo con la potencia dimensionada previamente y a los parámetros especificados por el inversor.

Mediante los datos previamente calculados del módulo solar, se estimará en primer momento el número de módulos necesarios:

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

Ecuación 40. Número de módulo necesarios

El siguiente paso será realizar la configuración de módulos en serie y módulos en paralelo.

Para ello, dado el inversor seleccionado y su tensión mínima y máxima de MPP, se calculará el número mínimo y máximo de módulos en serie.

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

Ecuación 41. Máximo y mínimo número de módulos en serie

Una vez calculado el número de módulo en serie, se deberá calcular el número de strings:

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

Ecuación 42. Número de strings

La configuración de campo fotovoltaico puede variar en función de la decisión de módulos en serie por string seleccionada. Para que la solución final seleccionada sea válida, deberán comprobarse los siguientes puntos.

- La tensión de circuito abierto (en las condiciones más desfavorables, es decir, para las temperaturas de operación mínimas) del campo FV es menor a la tensión máxima de entrada del inversor.

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

Ecuación 43. Condición de tensión

- La intensidad de cortocircuito del campo FV deberá ser inferior a la corriente máxima admisible del inversor.

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

Ecuación 44. Condición de corriente

- El número final de módulos seleccionados debe ser inferior al número de módulos máximos calculado en el PASO 2.

9. Simulación de la configuración final

Con la configuración final seleccionada, deberá simularse el sistema fotovoltaico para analizar su funcionamiento.

Las siguientes ratios/indicativos pueden ser útiles para comprobar si el sistema ha sido dimensionando correctamente:

- **Cobertura de demanda anual.** Se define como la relación entre la demanda anual, y la cantidad de esta que ha sido suministrada mediante la instalación fotovoltaica.

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

Ecuación 45. Cobertura de demanda

- **Performance Ratio.** Se define como la cantidad de energía fotovoltaica autoconsumida respecto a la teórica que se produciría con ese campo FV.

$$PR(\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida}}{\text{Irradiancia anual} * \text{Potencia FV instalada}}$$

Ecuación 46. Performance ratio

- **Ratio de aprovechamiento fotovoltaico.** Se define como la cantidad de energía fotovoltaica autoconsumida respecto a la total producida.

$$AFV(\%) = \frac{\text{Energía FV autoconsumida}}{\text{Energía FV producida}}$$

Ecuación 47. Ratio de aprovechamiento fotovoltaico

- **Vertida a red.** Define la cantidad de energía FV no autoconsumida y vertida a la red. Esta puede ser o no compensada económicamente.

$$VFV(\%) = \frac{\text{Energía FV vertida a red}}{\text{Energía FV producida}}$$

Ecuación 48. Vertida a red

10. Generación de informe de la instalación

La generación de un informe en los resultados obtenidos de la simulación servirá como punto de valoración para el cliente del sistema fotovoltaico.

La elaboración de este es totalmente abierta, siendo de especial interés incluir en ella los siguientes puntos:

- Datos del sistema y de la solución propuesta.
- Resultados energéticos.
- Análisis económico.

Desde la aplicación de @bySolarEnergy Academy, PV CALCULATOR, podremos generar de forma totalmente automática un informe personalizado de los resultados.



REPASO CONCEPTOS II LECCIÓN 4.0

5.2.1. Según el nuevo decreto del autoconsumo 244/2019... (señala la verdadera)

- j. Las instalaciones de más de 100 kW podrán a cogerse al denominado como “Autoconsumo con excedentes acogidos a compensación simplificada”
- k. Se distingue entre autoconsumo con excedentes y sin excedentes.
- l. Las instalaciones acogidas al régimen de compensación simplificada reducirán su factura eléctrica en un 40%.

5.2.2. Cuál de las siguientes etapas/pasos no es necesario a la hora de dimensionar un sistema fotovoltaico:

- j. Análisis energético.
- k. Análisis de sombras.
- l. Análisis económico.

5.2.3. La máxima producción energética de una instalación fotovoltaica dependerá de los siguientes parámetros (señala la verdadera)

- j. Potencia instalada, irradiancia y temperatura.
- k. Potencia instalada, consumos energéticos e irradiancia.
- l. Irradiancia, temperatura y consumos energéticos.

5.2.4. La aplicación de @bySolarEnergy Academy, permite:

- j. Realizar el dimensionado de instalaciones fotovoltaicas.
- k. Apuntarte la lista de la compra.
- l. Realizar la contabilidad de tu empresa...



ANEXO I. 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!



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Corriente continua	13
Ilustración 2. Corriente alterna	14
Ilustración 3. Corriente trifásica	14
Ilustración 4. Potencia aparente.....	17
Ilustración 5. Comparación recursos energéticos	25
Ilustración 6. Energía incidente	26
Ilustración 7. Variación anual de la constante solar	27
Ilustración 8. Radiación incidente sobre la Tierra	33
Ilustración 9. Air Mass	34
Ilustración 10. Espectro de radiación.....	35
Ilustración 11. Movimiento terrestre alrededor del sol.....	35
Ilustración 12. Declinación solar	36
Ilustración 13. Base de datos PVGIS.....	37
Ilustración 14. Energía fotovoltaica.....	43
Ilustración 15. Evolución del precio de los módulos solares.....	45
Ilustración 16. Potencia instalada por países	46
Ilustración 17. Evolución potencia instalada mundial	46
Ilustración 18. Distribución fotovoltaica 2019	47
Ilustración 19. Instalación fotovoltaica.....	52
Ilustración 20. Partes de un módulo fotovoltaico	53
Ilustración 21. Capas p y n de una célula fotovoltaica	54
Ilustración 22. Funcionamiento de una célula fotovoltaica	55
Ilustración 23. Tipos de células fotovoltaicas.....	57
Ilustración 24. Respuesta espectral de los tipos de células.....	58
Ilustración 25. Módulos fotovoltaicos bifaciales.....	60
Ilustración 26. Tecnología PERC	61
Ilustración 27. Datasheet módulos JINKO SOLAR	65
Ilustración 28. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.....	68
Ilustración 29. Curva I-V.....	69
Ilustración 30. Curva P-V	71
Ilustración 31. Tabla de coeficientes de pérdidas.....	76

Ilustración 32. Variación de la curva I-V con la temperatura.....	76
Ilustración 33. Influencia de la temperatura en la curva P-V	79
Ilustración 34. Variación curva I-V con la radiación	81
Ilustración 35. Curva I-V y P-V de un módulo	83
Ilustración 36. Curva I-V y P-V de un módulo	83
Ilustración 37. Comparación girasol con trackers	92
Ilustración 38. Variación de la producción FV en función de la inclinación del módulo	94
Ilustración 39. Producción FV anual en función de la inclinación del módulo.....	94
Ilustración 40. Trackers vs estructura fija	95
Ilustración 41. Influencia de las sombras en la producción del módulo FV	97
Ilustración 42. Cálculo de sombras	98
Ilustración 43. Cálculo distancia entre módulos.....	99
Ilustración 44. Símbolo de inversor fotovoltaico	103
Ilustración 45. Esquema electrónica inversor solar	105
Ilustración 46. Regulación MPP.....	106
Ilustración 47. Formación de armónicos	108
Ilustración 48. Filtro de armónicos.....	108
Ilustración 49. Regulador de tensión Victron.....	109
Ilustración 50. Derrating por temperatura	111
Ilustración 51. Caudal másico	112
Ilustración 52. Instalación fotovoltaica	119
Ilustración 53. Sistema de autoconsumo	120
Ilustración 54. Cuadro resumen modalidades de autoconsumo (IDAE)	123
Ilustración 55. Instalación de autoconsumo	124
Ilustración 56. Vista aérea e isométrica.....	126
Ilustración 57. Distribución de módulos	128
Ilustración 58. Análisis de los consumos eléctricos.	129
Ilustración 59. Optimización de la potencia instalada.....	131

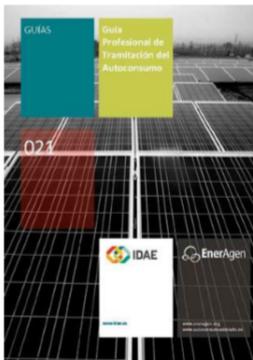
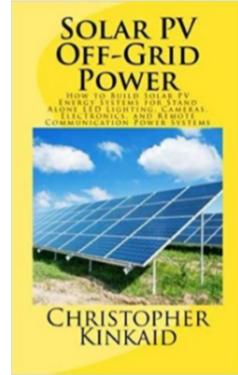
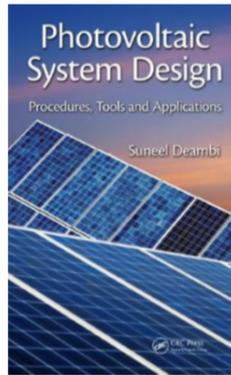
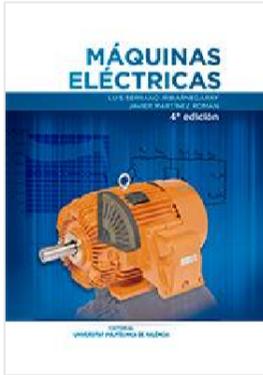


ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tensión eléctrica	12
Ecuación 2. Potencia eléctrica	16
Ecuación 3. Potencia aparente	18
Ecuación 4. Potencia aparente monofásica.....	18
Ecuación 5. Potencia activa monofásica.....	18
Ecuación 6. Potencia reactiva monofásica.....	18
Ecuación 7. Potencia aparente trifásica	19
Ecuación 8. Potencia activa trifásica	19
Ecuación 9. Potencia reactiva trifásica	19
Ecuación 10. Cos PHI.....	19
Ecuación 11. Constante solar.....	27
Ecuación 12. Latitud y longitud	28
Ecuación 13. Altitud y acimut	29
Ecuación 14. Carta solar cilíndrica.....	29
Ecuación 15. Carta solar estereográfica.....	30
Ecuación 16. Irradiancia y radiación	31
Ecuación 17. Radiación directa, difusa y albedo	32
Ecuación 18. Ecuación de la célula fotovoltaica	68
Ecuación 19. Factor de forma.....	71
Ecuación 20. Cálculo de la temperatura de operación de la célula.....	78
Ecuación 21. Ecuaciones para el cálculo de los parametros a una T determinada	78
Ecuación 22. Intensidad de un string.....	82
Ecuación 23. Tensión de un string.....	82
Ecuación 24. Tensión de un array.....	84
Ecuación 25. Intensidad de un array.....	84
Ecuación 26. Cálculo de la altura solar	98
Ecuación 27. Cálculo longitud de sombras.....	99
Ecuación 28. Cálculo proyección del panel sobre la horizontal	100
Ecuación 29. Calculo proyección vertical del panel o altura.....	100
Ecuación 30. Cálculo del ángulo de altura solar.....	100

Ecuación 31. Cálculo distancia d_2	100
Ecuación 32. Cálculo distancia entre módulos.....	100
Ecuación 33. Potencia calorífica disipada.....	110
Ecuación 34. Potencia calorífica disipada.....	112
Ecuación 35. Proyección horizontal del módulo.....	127
Ecuación 36. Optimización de potencia instalada.....	131
Ecuación 37. Maximización de la cobertura de demanda.....	132
Ecuación 38. Capacidad de la batería.....	133
Ecuación 39. Cálculo de la potencia otovoltaica.....	134
Ecuación 40. Número de módulos necesarios.....	137
Ecuación 41. Máximo y mínimo número de módulos en serie.....	137
Ecuación 42. Número de strings.....	137
Ecuación 43. Condición de tensión.....	137
Ecuación 44. Condición de corriente.....	138
Ecuación 45. Cobertura de demanda.....	138
Ecuación 46. Performance ratio.....	138
Ecuación 47. Ratio de aprovechamiento fotovoltaico.....	139
Ecuación 48. Vertida a red.....	139

BIBLIOGRAFÍA





@BySolarEnergy Academy nace como un proyecto destinado a mejorar la educación presente en materia de energías renovables y aumentar la concienciación, preocupación e implicación del ser humano para encontrar un modelo energético sostenible.

Con esta publicación @BySolarEnergy se dirige a un público amplio, el cual incluye desde estudiantes de Secundaria y Bachiller con curiosidad sobre las energías renovables, como estudiantes de ingeniería hasta trabajadores inquietos que busquen mejorar su formación.

