



## **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA; CRITERIOS BÁSICO PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS**

---

## Índice de Contenidos

<b>Índice de figuras</b> .....	<b>4</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>4</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>5</b>
<b>MÓDULO N°1: Energía solar como recurso</b> .....	<b>6</b>
Potencia y Energía Solar .....	6
Naturaleza de la energía solar .....	7
Medición de la radiación .....	8
La obtención de datos de energía solar .....	10
Coordenadas solares .....	12
Criterios de orientación e inclinación .....	15
<b>Módulos N° 2: Conceptos de electricidad</b> .....	<b>18</b>
Cargas eléctricas .....	18
Voltaje .....	19
Corriente eléctrica .....	19
Resistencia eléctrica .....	20
Ley de Ohm .....	20
Potencia eléctrica .....	20
Circuitos eléctricos de corriente continua .....	20
Instrumentos eléctricos de medición .....	22
Instalación eléctrica domiciliaria .....	22
<b>MÓDULO N° 3: Diagnóstico energía eléctrica</b> .....	<b>24</b>
Consumo y demanda eléctrica .....	24
Estimaciones de consumo y demanda .....	25
<b>MÓDULO N° 4: Energía fotovoltaica</b> .....	<b>28</b>
Usos .....	28
Aspectos tecnológicos básicos .....	29
Efecto fotovoltaico .....	29
La celda fotovoltaica .....	32
Tecnologías de celdas .....	34
Características eléctricas de una celda FV .....	35
Puntos clave de una celda .....	36
Módulo fotovoltaico .....	39
Información que debe entregar el fabricante: .....	41
Certificaciones de los módulos FV .....	41
Sombreamiento y diodo de bypass .....	43
Conexionado de módulos FV .....	43
<b>MÓDULO N° 5: Sistema fotovoltaico</b> .....	<b>45</b>
Regulador de carga .....	47
Tipos de reguladores de carga .....	47
Configuración de reguladores de carga .....	49

Criterios de selección de un regulador de carga .....	50
Baterías de acumulación .....	51
Tipos de baterías .....	51
Sobre carga de baterías .....	53
Descarga profunda de baterías .....	54
Capacidad de la batería .....	54
Ciclos y vida útil .....	54
Consideraciones en baterías .....	54
Inversores .....	55
Selección de potencia del inversor .....	55
Tipos de inversores .....	55
Inversores Off Grid.....	56
Inversores On Grid .....	57
Conexión a la red .....	57
<b>MÓDULO N° 6: Diseño básico para SFV.....</b>	<b>59</b>
Etapas de pre diseño autónomo.....	59
Criterios para el diseño de un SFV Autónomo:.....	59
Dimensionado de baterías, voltaje del sistema y capacidad de baterías .....	60
Cálculo de baterías.....	60
Pre diseño arreglo fotovoltaico .....	61
Dimensionado del conductor .....	63
Selección del inversor .....	63
Protecciones .....	63
Criterios pre diseño sistemas FV On Grid .....	64
Etapas de diseño on grid .....	65
Metodología.....	65
Potencia FV necesaria .....	65
Selección de módulos.....	66
Selección del inversor .....	66
<b>MÓDULO N° 7: Evaluación y requerimientos técnicos .....</b>	<b>68</b>
Criterios técnicos .....	68
Recomendaciones y criterios .....	70
Chequeo General.....	70
Recomendaciones generales .....	72
<b>Referencias.....</b>	<b>75</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>76</b>

## Índice de figuras

FIGURA 1: GRÁFICO DE IRRADIANCIA HORARIA EN SANTIAGO PARA EL 21 DE DICIEMBRE (FUENTE: R. VALDOVINOS) .....	7
FIGURA 2: GRÁFICO COMPARACIÓN IRRADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL EN PLANO HORIZONTAL E INCLINADO .....	8
FIGURA 3: A) ORIENTACIÓN DEL MÓDULO FV, B) INCLINACIÓN DEL MÓDULO FV. ....	10
FIGURA 4: A) PIRANÓMETRO. B) PIRANÓMETRO CON BANDA DE SOMBRA. C) PIRANÓMETRO CON ESFERA .....	11
FIGURA 5: PIRHELÍOMETRO .....	12
FIGURA 6: A) COORDENADAS ECUATORIALES Y, B) COORDENADAS HORIZONTALES .....	14
FIGURA 7: DIAGRAMA DE ELEVACIÓN SOLAR (FUENTE: HTTP://SOLARDAT.UOREGON.EDU) R. VALDOVINOS .....	16
FIGURA 8: CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE .....	22
FIGURA 9: CIRCUITO CON RESISTENCIAS EN SERIE .....	22
FIGURA 10: ETIQUETA TÉCNICA EQUIPO ELÉCTRICO .....	26
FIGURA 11: IMÁGENES DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO Y DEMANDA ELÉCTRICA .....	27
FIGURA 12: AMPERÍMETRO DE TENAZA .....	27
FIGURA 13: IMAGEN DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA .....	30
FIGURA 14: REPRESENTACIÓN ATÓMICA DE UNA JUNTA NP .....	33
FIGURA 15: TIPOS DE CELDAS FV (R. VALDOVINOS) .....	35
FIGURA 16: CURVA IV DE LA CELDA CON PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA – MPP (R. VALDOVINOS) .....	36
FIGURA 17: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL FACTO DE RELLENO DE UNA CELDA FV (R. VALDOVINOS).....	37
FIGURA 18: VARIACIÓN DE LA TENSIÓN CON RESPECTO A LA TEMPERATURA DE CELDA (FUENTE: PV EDUCATIONS) .....	38
FIGURA 19: ETIQUETA TÉCNICA DE MÓDULOS FV. ....	42
FIGURA 20: DETALLE MÓDULO FV CON CAJA DE CONEXIONES .....	43
FIGURA 21: DETALLE DE CONEXIONADO DE MÓDULOS FV EN SERIE. ....	43
FIGURA 22: DETALLE DE CONEXIONADO DE MÓDULOS FV EN PARALELO .....	44
FIGURA 23: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CA Y CC .....	45
FIGURA 24: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CC .....	45
FIGURA 25: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CA .....	46
FIGURA 26: ALGUNOS MODELOS DE REGULADORES DE CARGA ENCLAVADOS (R. VALDOVINOS) .....	48
FIGURA 27: MODELO DE REGULADOR DE CARGA CON MPPT (R. VALDOVINOS) .....	49
FIGURA 28: MODELOS DE CONTROLADORES CON INDICADORES DE ESTADO DE CARGA .....	50
FIGURA 29: CONEXIONADO DE BATERÍAS ABIERTAS (R. VALDOVINOS) .....	51
FIGURA 30: CONEXIONADO DE BATERÍAS SELLADAS (B. MUNIZAGA) .....	52
FIGURA 31: INSTALACIÓN INVERSOR OFF GRID EN AYSÉN (B. MUNIZAGA).....	55
FIGURA 32: INSTALACIÓN DE TRES INVERSORES ON GRID EN COMBARBALÁ (R. VALDOVINOS) .....	56
FIGURA 33: ESQUEMA DE CONEXIÓN INVERSOR ON GRID (FUENTE: MINENERGIA) .....	57

## Índice de tablas

TABLA 1: ETAPAS DE FABRICACIÓN DE UNA CELDA FV (FUENTE: R. VALDOVINOS – BOMBEO FV INDAP) .....	32
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UNA CELDA FV .....	35
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UN MÓDULO FV (R. VALDOVINOS) .....	40
TABLA 4: INFORMACIÓN DE ENERGÍA SOLAR CORREGIDA .....	60

## Introducción

Actualmente en el planeta existen alrededor de 7 mil millones de personas; se estima que para el año 2050 este número va a aumentar a 9 mil millones de habitantes. Por tanto, se requerirá abastecer todas las necesidades alimenticias, de bienestar y por sobre todo las necesidades energéticas de la población.

En este sentido las necesidades energéticas afectan transversalmente a la sociedad, puesto que se vinculan de manera directa con el medio ambiente, la economía, la seguridad, salud y bienestar del ser humano de forma individual y colectiva. Una sociedad con problemas energéticos es una sociedad con problemas de crecimiento económico y por sobre todo con problemas de desarrollo.

Bajo este escenario, el siglo XXI se ve obligado a basar su desarrollo en el uso de las Energías Renovables no Convencionales (ERNC). De hecho, según las conclusiones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático dice que al año 2050 toda la energía eléctrica del planeta debe basarse en el uso de las ERNC, con el propósito de reducir al mínimo las emisiones de CO<sup>2</sup> y, al año 2100, toda la generación energética debe ser realizada por energías renovables.

Por esta razón, es necesario disponer de capital humano técnico y profesional con conocimientos sólidos en materia de ERNC, sobre todo en lo referido al uso y aplicación de la energía solar en sus diferentes tecnologías de conversión.

El presente documento está realizado de forma liviana al lector con el propósito de entregar fundamentos técnicos que puedan servir como base para la evaluación técnica de proyectos a nivel de requisitos mínimos.

## MÓDULO N°1: Energía solar como recurso

La **energía solar** es el recurso más abundante sobre la tierra, da origen al ciclo del agua, los vientos y es el originador de todos los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón). En un nivel más esencial, nuestra alimentación está basada indirectamente en la “ingesta” de energía solar. Es el motor que da vida al planeta y por ende a todo lo que existe en el ecosistema y los seres que habitan en él.

### Potencia y Energía Solar

Para entender la energía solar, existen dos conceptos básicos: **irradiancia solar** e **irradiación solar**.

**Irradiancia solar:** es la magnitud que mide la potencia radiativa incidente de la radiación solar por unidad de superficie. Su unidad de medida es el  $W/m^2$  (watt-metro cuadrado). La irradiancia solar varía de acuerdo a la hora del día y al día del año.

A modo de ejemplo: cuando sale el Sol en la mañana la irradiancia solar es baja. A medida que transcurre el día aumenta su altura y también la potencia incidente, siendo el peak máximo al medio día solar. Es decir, la máxima potencia de irradiancia llega al mismo tiempo que el sol alcanza su altura máxima. En un día despejado de verano puede alcanzar los  $1.000 W/m^2$  y más.

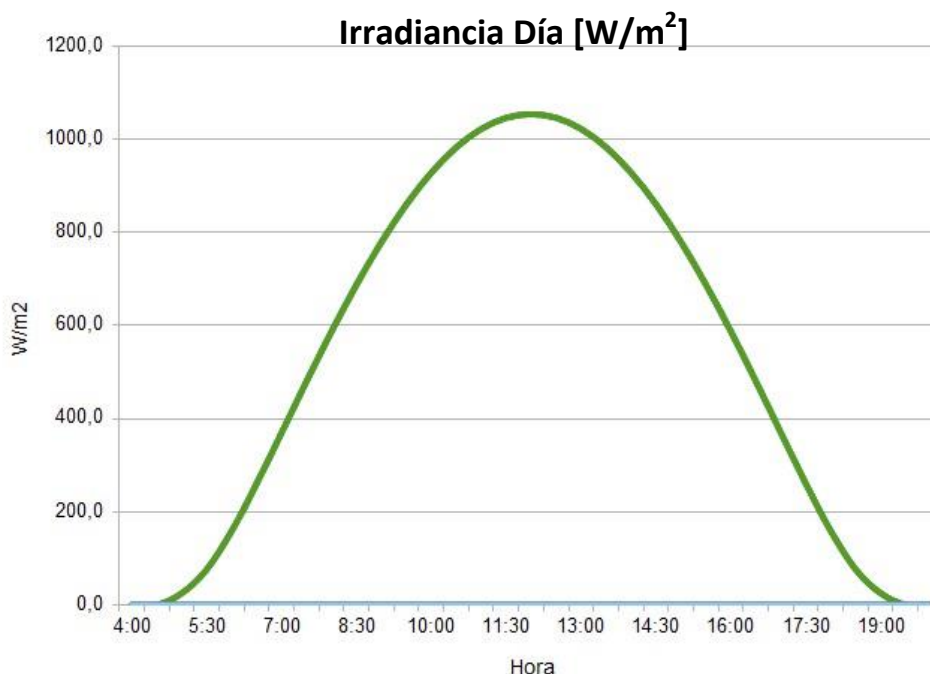


FIGURA 1: GRÁFICO DE IRRADIANCIA HORARIA EN SANTIAGO PARA EL 21 DE DICIEMBRE (FUENTE: R. VALDOVINOS)

**Irradiación solar:** es la magnitud que mide la integración de radiación solar (energía solar) incidente por unidad de superficie y en un periodo de tiempo dado, pudiendo ser por hora, día, mes o año. Se asocia al concepto de energía. Su unidad de medida es el kWh/m<sup>2</sup> (kilowatt-hora por metro cuadrado).

La mayoría de los datos disponibles, son mediciones realizadas en plano horizontal. Por tanto al momento de utilizarlos deben corregirse de acuerdo a la inclinación y orientación de la superficie de captación solar. Para la corrección de deben utilizar los factores K, factor que corregirá la r

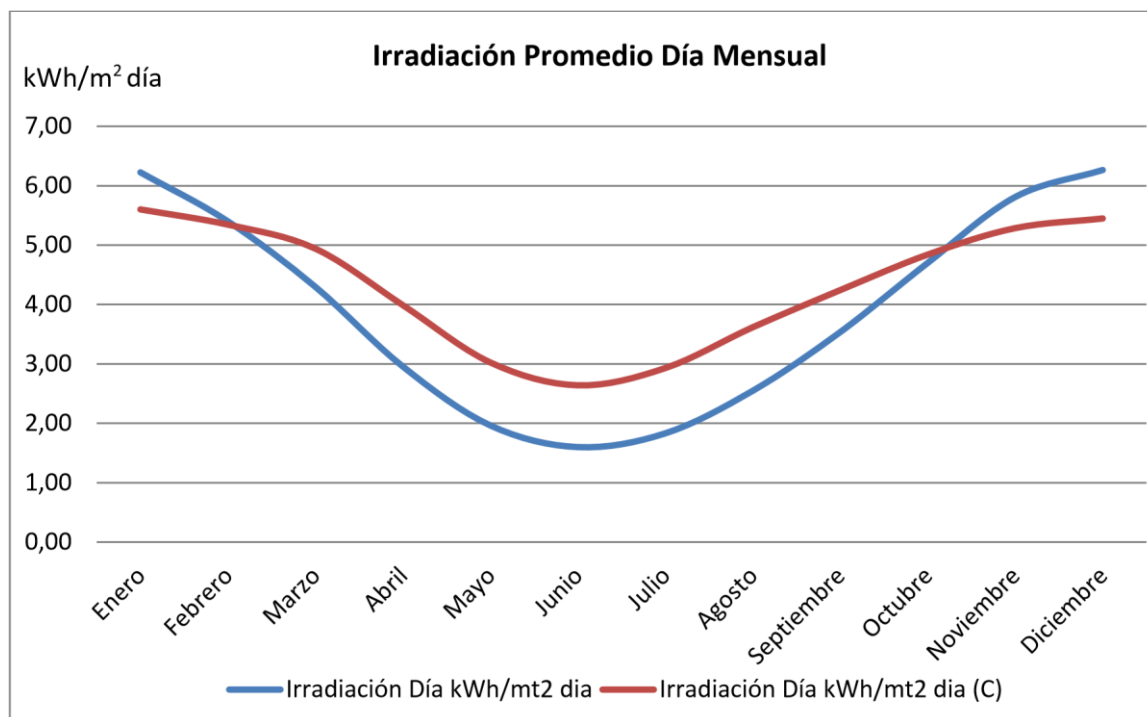


FIGURA 2: GRÁFICO COMPARACIÓN IRRADIACIÓN PROMEDIO MENSUAL EN PLANO HORIZONTAL E INCLINADO

## Naturaleza de la energía solar

La **energía solar** es una onda de tipo electromagnética, que llega a la superficie terrestre desde el Sol en forma de ondas. Se caracteriza por ser:

- Un fenómeno cuántico. Es decir, la energía llega en cuantos, las que son llamadas **fotones**.
- A nivel de la Tierra la radiación solar abarca longitudes de los 0,3 a 2,5 μm (micrones) de longitud de onda.

El ojo humano es capaz de ver sólo la luz visible de la **radiación solar**, lo que equivale a un 46%. El 54% restante, el ojo humano no lo ve porque llega como radiación ultravioleta o de tipo infrarroja.

La radiación solar al momento de entrar a la atmósfera, se descompone en tres tipos componentes de la **radiación solar**:

- **Directa:** Viene directamente del disco solar. Es la que proyecta sombra.
- **Difusa:** Viene de las otras direcciones de la bóveda celeste. No tiene una dirección preferencial. Es mucho menor en magnitud.
- **Reflejada:** Es la radiación solar que se refleja de objetos cercanos al observador (por ejemplo edificios, cerros e incluso nubes cercanas al sol).

La suma de estos tres tipos de radiaciones es la **radiación global**.

## Medición de la radiación

La irradiancia e irradiación solar se representa para cada una de sus componentes como:

- $I$  : Radiación extra-atmosférica
- $G$ : Radiación Global
- $D$  : Radiación Difusa
- $B$  : Radiación Directa
- $R$  : Radiación reflejada

Con respecto a la disposición espacial de incidencia, se tienen las siguientes posibilidades:

- (Inclinación, Orientación)  $\rightarrow (\beta, \alpha)$
- (Horizontal)  $\rightarrow (0)$
- (superficie perpendicular al Sol)  $\rightarrow (n)$

Como ejemplo:

- $I(0)$  Irradiancia extra atmosférica
- $D(0)$  Irradiación difusa diaria sobre superficie horizontal.
- $G_{dm}(\beta, \alpha)$  Promedio mensual de la irradiación Global diaria sobre superficie inclinada
- $(n)$  Irradiancia directa sobre una superficie perpendicular al rayo solar.

La incidencia de la radiación solar sobre una superficie captadora, es de suma importancia conocerla, pues la energía solar puede que se vea favorecida o desfavorecida con respecto a la energía absorbida en ciertos periodos del año. La mayoría de los datos disponibles de



energía solar están medidos en un plano horizontal. Por tanto, se deben corregir de acuerdo a la inclinación ( $\beta$ ) y orientación ( $\alpha$ ) que se le dé al sistema captador; en este caso los módulos FV.

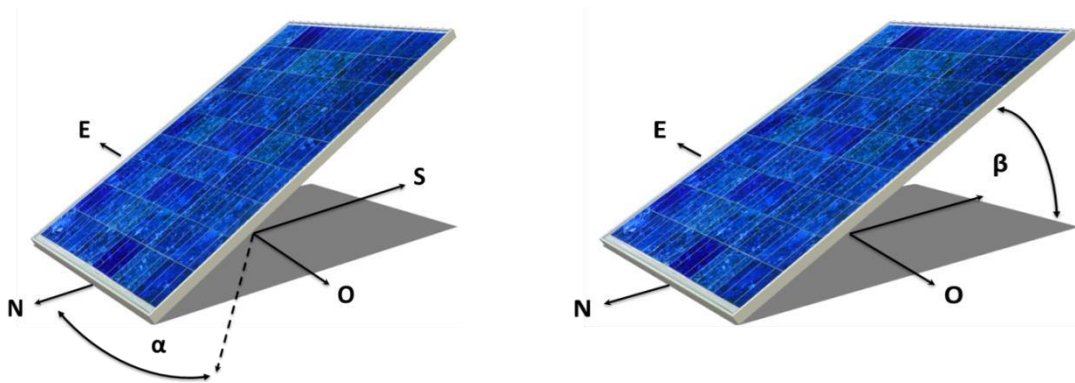


FIGURA 3: A) ORIENTACIÓN DEL MÓDULO FV, B) INCLINACIÓN DEL MÓDULO FV.

La radiación se puede medir en un plano horizontal, sin embargo, cuando los sistemas se inclinan y orientan para captar mejor la radiación, se define un componente  $\beta$  para “inclinación” y una  $\alpha$  para “orientación”.

La **inclinación ( $\beta$ )** puede ir de  $0^\circ$  a los  $90^\circ$  mientras que la **orientación ( $\alpha$ )** tiene que ver con el azimut. El azimut  $0^\circ$  corresponde a un sistema mirando directamente al norte geográfico; exactamente al Este, el azimut es de  $-90^\circ$ ; Oeste  $90^\circ$  y hacia el sur es de  $180^\circ$ .

Al analizar un diseño o realizar una instalación, es primordial corregir los datos de radiación solar horizontal de acuerdo a la inclinación y orientación con que el sistema captador se realice.

Los datos deben ser corregidos con los llamados **factores k** (factor modificador del ángulo de incidencia de la radiación solar). Estos factores se encuentran en la **Norma Técnica de la Ley de Franquicia Tributaria para Sistemas Solares Térmicos**, donde hay factores k para todas las latitudes del país y que son aplicables a captadores fotovoltaicos.

Además de la latitud, también se deben tener en cuenta la **incidencia local**, como la humedad del ambiente o la nubosidad. La observación del lugar es básica. Además, la energía solar disminuye en invierno y aumenta en verano. No son radiaciones homogéneas.

## La obtención de datos de energía solar

Los datos de radiación que se puedan encontrar tienen como procedencia dos posibles fuentes. O bien son datos medidos a partir de estaciones terrestres, o bien son estimaciones satelitales.

**Estaciones terrestres:** son de gran precisión, ya que miden in situ el recurso. Son mediciones puntuales, sin embargo, la mantención y los instrumentos son costosos. La incertidumbre de los datos es de un 15%; en caso de las estaciones con una antigüedad mayor a 8 años, la incertidumbre baja al 5%.

Utilizan varios instrumentos entre ellos el más comúnmente utilizado es el piranómetro para medir la radiación global. Este instrumento presenta por lo general un error asociado de  $\pm 2\%$ , aunque de todos modos eso lo determina la clase del instrumento, definida según su precisión de mayor a menor como: Estándar secundario, Primera clase y Segunda clase.

El piranómetro también suele utilizarse para medir la radiación difusa ocultando de su punto de observación la radiación directa del disco Solar. Para esto comúnmente se utiliza una banda de sombra o una esfera programada para que eclipse en todo momento al Sol

El piranómetro con banda de sombra no obstante requiere de un factor de corrección de los datos medidos, ya que la banda no solo oculta el disco Solar sino que también oculta una parte importante de la bóveda celeste. Sin embargo su uso requiere de menos cuidados y no necesita de un sofisticado mecanismo para el seguimiento del Sol como sucede con el de esfera, bastando solo con una corrección diaria de la banda de sombra.



FIGURA 4: A) PIRANÓMETRO. B) PIRANÓMETRO CON BANDA DE SOMBRA. C) PIRANÓMETRO CON ESFERA

Muchas veces suele utilizarse también un pirheliómetro que mide la radiación directa y que sirve para obtener la radiación difusa como diferencia entre esta radiación medida y la radiación global corregida para el plano horizontal. Esta estimación se considera más limpia o más precisa que la realizada a partir del sombreado del disco Solar.

El Pirheliómetro también aporta el denominado dato DNI por sus siglas en inglés de “Direct Normal Irradiance” o bien la irradiancia directa perpendicular a una superficie en seguimiento del Sol, importante para sistemas Solares fotovoltaicos con seguimiento. Sin embargo requiere de mayor cuidado y costo.



FIGURA 5: PIRHELÍOMETRO

Las mediciones terrestres como se ha dicho son bastante precisas, con una alta resolución temporal. Sin embargo entre sus desventajas cuenta el hecho de que:

- Es una medición puntual no extrapolable fácilmente a un radio determinado,
- La instrumentación es costosa y expuesta a fallas o a suciedad que conlleva a errores en la medición o a grandes periodos sin registro.
- Requiere de mantenimiento periódico.

**Estaciones satelitales:** Su precisión es menor que las estaciones terrestres, ya que están basadas en algoritmos de cálculo de tipo físico, meteorológico y geométrico, entre otros. Su ventaja es que abarca grandes extensiones geográficas, y su antigüedad promedio es de 20 años. También miden transparencia atmosférica.

Trabajan básicamente midiendo la transparencia atmosférica, a partir de cobertura de nubes, presencia de aerosoles, vapor de agua y Ozono, entre otros. Que sumado al dato de elevación y conforme a un modelo de balance energético, estiman la radiación incidente en la superficie terrestre.

Entre sus desventajas radica el hecho de que ofrecen una menor resolución temporal y que el error asociado aumenta cuando la medida entre dato y dato está más distanciada una de la otra.

Ahora bien, en virtud de sus ventajas y desventajas ambos modelos son complementarios. Y es muy común que se trabaje con datos satelitales validados con estaciones terrestres, pues permite conocer el recurso solar de una determinada localidad en un periodo corto de tiempo.

Por lo demás para el dimensionamiento de Sistemas Solares, siempre es recomendable conocer la incertidumbre de los datos asociados y no fiarse solo de datos satelitales, los que podrían presentar un error significativo que se traduce en sistemas Solares sobre o sub dimensionados, y en definitiva un riesgo altísimo para la inversión total del proyecto.

Algunas fuentes satelitales disponibles son:

**NASA:** <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

**Explorador Solar:** <http://ernc.dqf.uchile.cl/Explorador/Solar2>

**WRDC (World Radiation Data Center):** <http://wrdc.mgo.rssi.ru/>

También existen fuentes satelitales validadas a nivel del suelo, esto quiere decir que datos satelitales son corregidos con datos de suelo, lo que mejora su grado de confiabilidad.

Sitios e instrumentos recomendados:

- **Norma Técnica para sistemas Solares Térmicos, Base de datos de Meteonorm**  
[http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02\\_Noticias/descargas\\_noticias/Norma\\_Tecnica\\_Actualizada.pdf](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02_Noticias/descargas_noticias/Norma_Tecnica_Actualizada.pdf)
- **Programas con bases de datos:** RetScreen, SAM, TRNSYS, Meteonorm, HOMER
- **Registros locales:** registros solarimétricos.

Para una triangulación de información efectiva, se recomienda el uso de por lo menos tres fuentes de datos disponibles con el propósito de disminuir la incertidumbre de generación energética en los proyectos.

## Coordenadas solares

Describe el movimiento del sol en un lugar y período de tiempo determinado. Permite:

- Conocer la disposición adecuada de los sistemas captadores.
- Estimar de forma muy correcta las pérdidas de energía debido a sombras (naturales y artificiales).
- Estimar de forma correcta la instalación de sistema de captación.
- Trabajar con software de simulación (*PVsol, PVWatt, RetScreen, SolarGIS, HOMER etc*). Además para conocer y corregir información de energía solar para diferentes inclinaciones y orientación.
- Evaluar emplazamientos con instrumentación.
- Planificar correctamente una instalación de captadores solares, dependiendo de las condiciones locales.

- Planificar correctamente una instalación, dependiendo de demanda energética anual del usuario.

A nivel global, el movimiento de la Tierra con respecto al sol no es circular, sino elíptico. La distancia mínima del Sol con la Tierra es en los meses de verano, mientras que la mayor distancia corresponde a los meses de invierno. Además, el eje de rotación de la Tierra tiene una inclinación de  $23,45^\circ$ .

Conocer la posición del Sol sirve para saber cuáles van a ser la distancia de las sombras que se produzcan a lo largo del día y año, producidas por las obstrucciones naturales y artificiales que existan en el lugar de instalación de los sistemas solares. Para conocerla, existen dos tipos de coordenadas:

- **Coordenadas Ecuatoriales:** El plano fundamental de medida es el Ecuador Celeste<sup>1</sup>
- **Coordenadas Horizontales:** El plano fundamental de medida es el horizonte del observador.

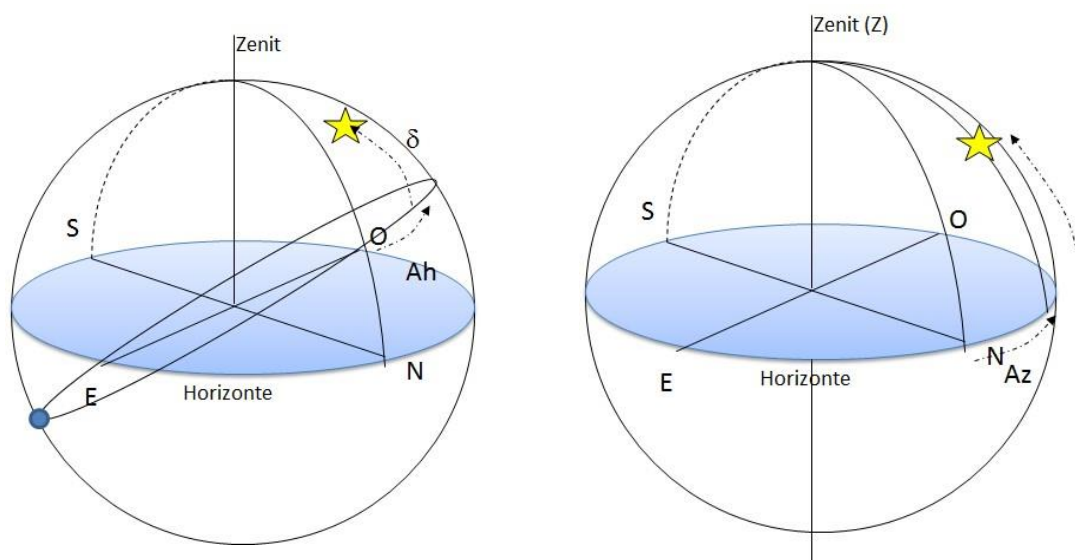


FIGURA 6: A) COORDENADAS ECUATORIALES Y, B) COORDENADAS HORIZONTALES

Las coordenadas Ecuatoriales ubican la posición del Sol en la declinación ( $\delta$ ) y el ángulo horario (Ah). Mientras que las coordenadas horizontales lo ubican el Altura (h) y azimut (Az).

<sup>1</sup> Gran círculo en la imaginaria esfera celeste en el mismo plano que el Ecuador y por tanto perpendicular al eje de rotación de la Tierra.

La declinación solar, corresponde al ángulo que se forma entre el Sol y la Tierra sobre tomando como punto de referencia el Ecuador Celeste. Varía entre  $0^\circ$  a  $\pm 23,45^\circ$  siendo  $0^\circ$  en los equinoccios de otoño y primavera, con valores máximos de  $-23,45^\circ$  en el Solsticio de Verano y  $23,45^\circ$  en el Solsticio de Invierno.

La declinación es un valor día y puede encontrarse en tablas, o bien calcularla con la ecuación de Cooper.

$$n = 23,45 \cdot \sin \left( \frac{360}{365} \cdot n \right)$$

El ángulo horario ubica la posición del Sol sobre el plano del Ecuador Celeste, tomando como ángulo inicial  $0^\circ$ , cuando el Sol corta el meridiano que pasa por el punto del observador, con valores que van desde el  $0^\circ$  y  $\pm 180^\circ$ , valores negativos la Este y positivos al Oeste. El ángulo horario es un valor hora, tomando como base que la rotación de la Tierra es de  $360^\circ$  en 24 horas, por lo tanto el ángulo horario del Sol en cada hora variará  $15^\circ$  en su movimiento aparente sobre la bóveda celeste.

La altura solar toma como referencia el plano horizontal del observador, y corresponde al ángulo formado entre el plano horizontal y la posición del Sol en la bóveda celeste. También se conoce como ángulo de elevación solar. El un valor que varía en cada momento del día, siendo en un día su valor máximo cuando el Sol corta el meridiano del lugar coincidente con el medio día solar.

La altura solar máxima y mínima en un lugar geográfico determinado, se puede calcular geoméricamente con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \text{Altura máxima} &= 90 - 23,45 + \text{Latitud} \\ \text{Altura mínima} &= 90 - 23,45 - \text{Latitud} \end{aligned}$$

La información de altura solar es de suma importancia para calcular la ubicación óptima del sistema de captación solar y calcular las sombras que se producen debido a las sombras de obstrucciones naturales y artificiales.

El azimut corresponde al ángulo formado entre el norte geográfico (azimut  $0^\circ$ ) y la posición del Sol proyectada en el plano horizontal de la observación. Son valores de  $0^\circ$  a  $\pm 180^\circ$ , valores negativos al Este y positivos al Oeste del norte geográfico.

Conociendo la declinación solar (ángulo formado entre el ecuador celeste y la posición del sol); la altura solar, se puede comenzar a trabajar con los **diagramas de elevación** solar y los **diagramas estereográficos**.

<http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html> Sitio web de la Universidad de Oregon donde se pueden descargar diagramas de elevación solar para cualquier ciudad de Chile.

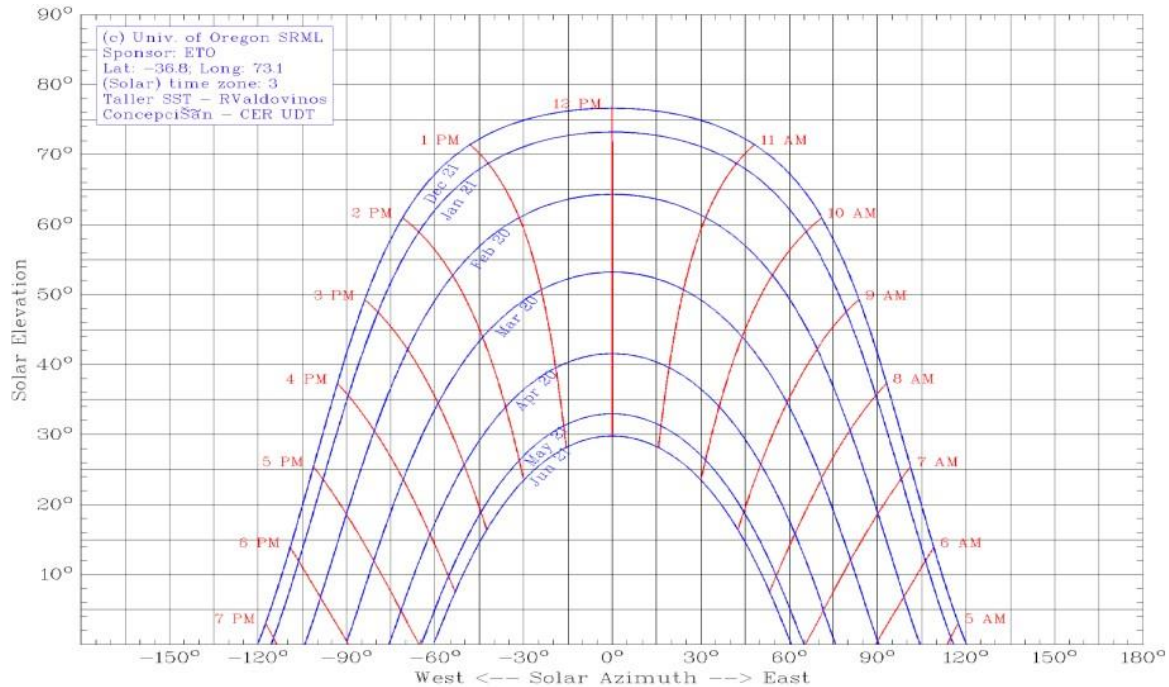


FIGURA 7: DIAGRAMA DE ELEVACIÓN SOLAR CIUDAD DE CONCEPCIÓN (FUENTE: [HTTP://SOLARDAT.UOREGON.EDU](http://solardat.uoregon.edu)) R. VALDOVINOS

## Criterios de orientación e inclinación

La instalación del sistema de captación en cuanto a inclinación y orientación en un lugar determinado dato (latitud), debe ser realizada para optimizar la mayor captación de la radiación solar según el tipo de usuario. Definido lo anterior, se procede a utilizar la “Altura Solar” para realizar los cálculos de pérdidas por sombras, debido a los mismos captadores o producidas por otras obstrucciones naturales o artificiales (montañas, cerro, árboles, etc.).

Para la ubicación de un sistema de captación solar, se debe tener en cuenta:

- En verano, el Sol tiene una mayor altura, es decir, un mayor ángulo de elevación.
- En invierno, el Sol tiene menor altura.
- En verano, las sombras son más cortas.
- En invierno, las sombras son más largas.

- La orientación óptima siempre será el norte geográfico, con una variación máxima de (+,-) 15° al Este u Oeste.
- La salida y puesta del Sol, variará en acimut todos los días del año.
- Realizar un levantamiento de las obstrucciones del lugar en cuento a altura y acimut de las mismas.

Con esta información, se debe hacer un análisis exhaustivo del recurso solar y emplazamiento donde se va a hacer la instalación para saber cuál es el lugar óptimo para el panel fotovoltaico.

El ángulo de inclinación óptimo de un sistema de captación está dado por la siguiente ecuación:

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3,7 + 0,69 \times |\Phi|$$

Siendo  $\phi$  la latitud del lugar donde se realizará la instalación solar.

#### **Ejercicio N°1: Instalación óptima.**

Se quiere realizar la instalación de un sistema de captación solar, en la ciudad de Santiago, donde el usuario utilizará todos los días del año la energía solar. ¿Cuál es el ángulo de inclinación óptimo del sistema de captación solar?

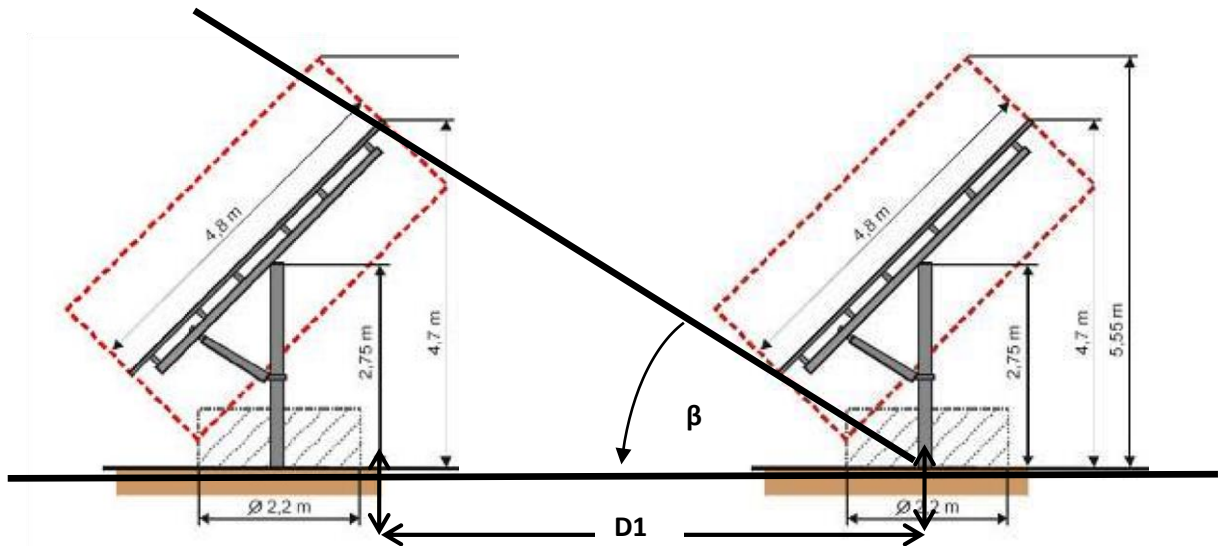
#### **Respuesta:**

La latitud de Santiago es de  $-33,45^\circ$ , entonces la inclinación óptima sería de  $26,78^\circ$ , con respecto al plano horizontal.

#### **Ejercicio N°2: Cálculo de Distancia Mínima entre captadores solares.**

En la comuna de Ovalle, se está proyectando la instalación de captadores solares en una configuración en dos filas de captadores. Las especificaciones de la estructura se encuentran en el diagrama siguiente. ¿Cuál debe ser la distancia mínima entre fila de módulos para que la fila Norte no genere sombra en la fila Sur?





**Respuesta:**

Para calcular la distancia mínima, debemos conocer la altura solar mínima en Ovalle, según la siguiente ecuación:

$h_{\text{mínima solar}} = 90 - \phi - \delta$ , siendo  $\phi$  la latitud de Ovalle y  $\delta$  la declinación del solsticio de invierno.

La latitud media de Ovalle corresponde a  $-31^\circ$ , y la declinación  $\delta$  solar mínima (solsticio de invierno) corresponde a  $23,45^\circ$ . Por lo tanto, la altura solar mínima del Sol en Ovalle será de  $35,6^\circ$  (ángulo formado entre el plano horizontal del observador y la posición del Sol).

La distancia mínima entre ambos captadores se calcula con la siguiente ecuación:

$D1_{\text{mínima}} = \text{tang}\beta \times H$ , siendo H la altura total de la estructura (4,7 m).

$$D1_{\text{mínima}} = \text{tang}35,6 \times 4,7 \text{ m} = 3,37 \text{ m}$$

La distancia mínima que debe existir entre ambas fila de captadores será de 3,37 m.

## Módulos N° 2: Conceptos de electricidad

### Cargas eléctricas

Existen dos tipos de cargas eléctricas: la positiva (protón) y la negativa (electrón). Éstas cumplen la **ley de los signos**, es decir, cargas iguales se repelen entre sí y cargas opuestas se atraen. La unidad de medida de la carga eléctrica en el Sistema Internacional de medidas (S.I.) es el **Coulomb**, de símbolo **[C]**. La carga eléctrica de un protón es igual en valor pero de distinto signo que la de un electrón, esta es  $1.9602 \cdot 10^{-19}$  [C] para el protón y  $-1.9602 \cdot 10^{-19}$  [C] para un electrón. La carga eléctrica siempre se conserva.

Las cargas pueden ser conducidas o no dependiendo del material en el que se encuentren. Esto genera la siguiente clasificación de los materiales:

- **Materiales conductores:** aquellos donde las cargas eléctricas pueden moverse libremente. Ejemplos: Cobre, plata, oro.
- **Materiales semiconductores:** aquellos donde las cargas eléctricas pueden moverse pero con cierta dificultad, es decir, no libremente como en los materiales conductores. Ejemplos: silicio, germanio.
- **Materiales aislantes:** aquellos donde las cargas eléctricas no pueden moverse. Estos materiales también son conocidos como **dieléctricos**. Ejemplos: vidrio, caucho, madera.

Cuando un cuerpo posee igual cantidad de cargas positivas como negativas se conoce como cuerpo eléctricamente neutro. Si no, se dirá que el cuerpo está cargado. Un cuerpo eléctricamente neutro puede cambiar a un estado cargado de tres formas distintas:

- **Por contacto:** cuando un cuerpo cargado toca a uno neutro, el cuerpo cargado le transfiere cargas al neutro, quedando ambos cuerpos cargados con el mismo signo (pero no necesariamente con el mismo valor de carga).

- **Por frotación:** al frotar dos cuerpos neutros las cargas de cada cuerpo se reordenan, existiendo un traspaso de cargas desde un cuerpo a otro, quedando ambos cuerpos cargados con signos opuestos.
- **Por inducción:** si un cuerpo cargado se acerca a otro neutro (sin llegar a tocarlo), las cargas del cuerpo neutro se reordenan de manera que las de signo opuesto al cuerpo cargado quedan más cerca del cuerpo cargado, cambiándolo de neutro a polarizado. Si el cuerpo polarizado estuviese conectado a tierra, ésta entregaría electrones que permiten neutralizar las cargas positivas del cuerpo polarizado.

Se debe tener en cuenta que la Tierra es un cuerpo eléctricamente neutro, el cual puede absorber o entregar infinitos electrones.

## Voltaje

Voltaje se define como **energía por unidad de carga**, lo cual puede entenderse como la capacidad de una carga eléctrica para moverse en presencia de una fuerza eléctrica. También es llamada **diferencia de potencial** o **tensión**. Es una magnitud escalar que en el S.I. se mide en **Volt**, en honor a Alessandro Volta, inventor de la pila eléctrica. Se representa con el símbolo **[V]**. Una diferencia de potencial de 1[V] significa que para mover una carga de 1[C] entre dos puntos se necesita 1[J] (1 Joule) de energía.

## Corriente eléctrica

También denominada **intensidad de corriente**, se define como el flujo de cargas eléctricas  $Q$  que recorren un material en un tiempo determinado  $\Delta t$ . Se produce cuando existe una diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos. Se abrevia con la letra **I**, es una magnitud escalar que en el S.I. se mide en **Ampere**, de símbolo **[A]**, en honor a André-Marie Amperé. La corriente fluye desde el polo positivo al polo negativo de la fuente de voltaje.

Existen dos tipos de corriente, lo cual depende de la fuente de voltaje que genera la corriente:

- **Corriente continua**

La fuente de voltaje mantiene el orden de sus polos positivo y negativo constante en el tiempo, produciendo una corriente eléctrica que mantiene su sentido de flujo constante. Ejemplo: la corriente que generan los paneles fotovoltaicos es de tipo continua.

- **Corriente alterna**

La fuente de voltaje varía el orden de sus polos, alternando entre positivo y negativo, lo que produce que la corriente eléctrica cambie su sentido de flujo cada vez que el orden de los polos cambia, pues siempre viaja desde el polo positivo hacia el negativo. Ejemplo: la corriente que llega a los hogares es de tipo alterna.

## Resistencia eléctrica

Es la medida de la oposición que tienen los electrones al moverse a través de un material. A mayor valor de la resistencia eléctrica, menor es la capacidad de ese material para conducir corriente eléctrica y viceversa. Es una magnitud escalar que en el S.I. se mide en **Ohm**, de símbolo **[Ω]**, denominada así en honor a Georg Ohm. La resistencia de un material está determinada por su **resistividad**, la cual es una característica intrínseca debida a su composición molecular.

Esta resistividad, y por lo tanto la resistencia, se ve afectada por la temperatura a la cual se encuentre el material. Al mismo tiempo, la temperatura del material se ve afectada por la resistencia que éste opone al flujo de corriente, pues la corriente que no es capaz de fluir a través del material es captada por sus átomos, lo cual se manifiesta en un aumento de la temperatura del material.

## Ley de Ohm

Cuando se aplica un voltaje  $V$  a través de los extremos de un conductor de resistencia  $R$  a temperatura constante se genera una corriente eléctrica  $I$  en el conductor que es proporcional al voltaje  $V$  aplicado. La ley de Ohm indica que la constante de proporcionalidad entre el voltaje  $V$  y la corriente  $I$  que éste genera es igual a la resistencia del conductor, es decir:

$$\frac{V}{I} = R$$

Esto es cierto sólo para algunos materiales, denominados **óhmicos**.

## Potencia eléctrica

Se define como la cantidad de energía eléctrica que un objeto consume o genera en un intervalo de tiempo determinado. Es una magnitud escalar que en el S.I. se mide en **Watt**, de símbolo **[W]**, en honor a James Watt. Si a través de un dispositivo fluye una corriente  $I$  y entre sus extremos existe un voltaje  $V$  la potencia eléctrica  $P_e$  asociada se calcula como el producto entre  $V$  e  $I$ , es decir:

$$P_e = V \cdot I$$

## Circuitos eléctricos de corriente continua

Un circuito eléctrico es un conjunto de elementos conductores y/o semiconductores enlazados de forma que puedan conducir corriente eléctrica. Para que exista flujo de corriente en el circuito es necesario la presencia de una fuente de voltaje. Cuando la fuente de voltaje presente produce corriente continua se tratará de un circuito de corriente continua.

Uno de los circuitos más simples es aquel conformado por una fuente de voltaje y una resistencia. La intensidad de corriente presente en el circuito va a depender del voltaje de la fuente y del valor de la resistencia, y se puede calcular según la ley de Ohm.

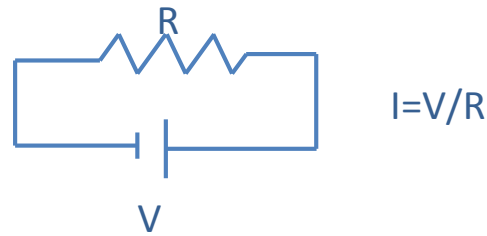


FIGURA 8: CIRCUITO ELÉCTRICO SIMPLE

Es posible que un circuito contenga más de una resistencia, las que pueden estar ordenadas en dos formas básicas: en serie y en paralelo. Además, puede haber una combinación de ambas posibilidades. Lo importante es que siempre es posible reducir teóricamente un circuito complejo con una descripción simple como la presentada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, denominando a esta representación como circuito equivalente.

- **Resistencia en serie**

En este caso las resistencias se ubican una después de la otra, como en una línea. En cada resistencia habrá un voltaje diferente al voltaje de la fuente y se cumple que la suma de los voltajes presente en cada resistencia es igual al voltaje de la fuente. Además, se puede calcular la resistencia equivalente como la suma de todas las resistencias presentes en el circuito.

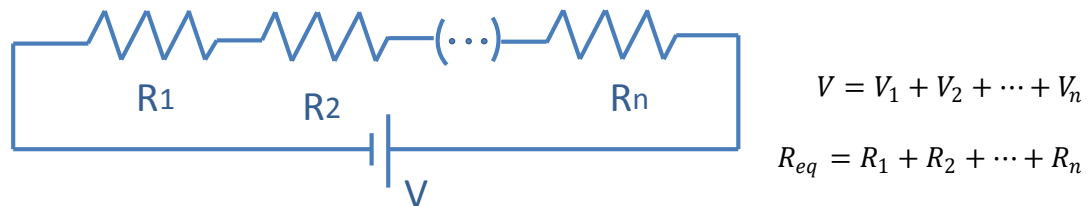


FIGURA 9: CIRCUITO CON RESISTENCIAS EN SERIE

- **Resistencia en paralelo**

En este caso las resistencias se distribuyen de tal forma que todas tengan sus extremos conectados a la misma fuente de voltaje. De esta forma, la corriente se distribuye entre todas las resistencias y la corriente total del circuito es igual a la suma de todas las corrientes presentes en cada resistencia.

Además, se cumple que el inverso multiplicativo de la resistencia equivalente es igual a la suma de los inversos multiplicativos de todas las resistencias del circuito por separado.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## Instrumentos eléctricos de medición

- **Amperímetro**

Instrumento utilizado para medir la corriente eléctrica que fluye a través de un artefacto o un circuito. Para realizar la medición es necesario conectar el amperímetro en serie con lo que se quiera medir, pues de esta forma nos aseguramos que a través del amperímetro fluya la misma corriente que por el objeto medido.

- **Voltímetro**

Instrumento utilizado para medir la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Para realizar la medición es necesario conectar el voltímetro en los extremos del objeto medido, es decir, el voltímetro y el objeto medido forman una combinación en paralelo. De esta manera nos aseguramos que los elementos, voltímetro y objeto, estén sometidos al mismo voltaje.

## Instalación eléctrica domiciliaria

La electricidad llega a nuestras casas a través de dos cables o **líneas** que suministran una diferencia de potencial a los artefactos de la casa, voltaje igual a **220[V]**. Estas líneas vienen del **sistema interconectado**, lo cual corresponde a una gran fuente de voltaje del tipo alterno. Los artefactos de la casa se conectan en paralelo a las líneas de entrada a la casa, de forma tal que a todos se les suministra el mismo voltaje.

Los elementos principales en instalaciones domésticas son cables, enchufes, aislantes, cable a tierra, fusibles, interruptores, interruptor automático.

- **Fusibles:** son dispositivos de seguridad utilizados para proteger un circuito o un sistema. La forma en que funcionan es desconectándose cuando a través de ellos pasa una corriente mayor para la cual están diseñados. De esta manera el fusible se rompe impidiendo el paso

de corriente. Cuando un fusible se rompe hay que reemplazarlo por uno nuevo para volver a operar el sistema.

- **Cable a tierra:** es un cable de seguridad (generalmente de color verde) que está conectado directamente al suelo. El propósito de este cable es aislar las carcasas de los artefactos eléctricos de sus circuitos internos, de tal forma que el voltaje del circuito interno sea diferente al de la carcasa (el voltaje de la carcasa debe ser cero para no electrocutar al usuario). La conexión a tierra se refleja en los enchufes de tres patas, específicamente en la pata del medio.

## MÓDULO N° 3: Diagnóstico energía eléctrica

Conocer el consumo de energía eléctrica es elemental para poder estimar cuál va a ser el aporte porcentual de un sistema solar fotovoltaico en un período de tiempo determinado. Es la base para saber cuál va a ser el beneficio económico de este sistema. Además, sirve para medir el retorno de la inversión que por concepto de abastecimiento se va a tener gracias a la energía solar.

Además hoy frente a la nueva Ley 20.571 de generación distribuida con fuentes de energía renovable y cogeneración, el conocer el comportamiento del usuario frente al consumo eléctrico, permite conocer a través de simulaciones, en qué hora del día y periodo del año se auto consume la energía solar o se generan excedentes que se inyectan a la red, con dicha información se puede realizar de mejor forma los periodos de retorno de la inversión, debido a que el precio de la energía eléctrica consumida de la red es diferente al valor que se obtiene al inyectar excedentes.

### Consumo y demanda eléctrica

Existen dos conceptos fundamentales que es necesario conocer: **consumo y demanda**.

- **Consumo eléctrico:** se asocia al concepto de energía. Se cobra en kWh (kilowatt-hora) consumido. Depende sólo del consumo energético y normalmente los usuarios sólo asocian este concepto al cobro de energía eléctrica.

Juntando las boletas o facturas mensuales, se puede realizar un perfil de consumo de energía eléctrica durante el año, lo que sirve para determinar en qué meses se consume más y en cuales menos energía. También se utiliza para calcular promedios anuales.

- **Demanda eléctrica:** corresponde a la potencia eléctrica en kW (kilowatt). Puede ser la potencia instalada, de equipos, medida, mínima o máxima de un usuario. Este concepto es cobrado a la mayoría de los grandes consumidores dependiendo de la tarifa que hayan negociado con la empresa eléctrica.

La **demanda instalada de consumo** es la suma de la potencia de todos los artefactos eléctricos que se tienen en una instalación.

La **demanda real utilizada** corresponde a los artefactos que efectivamente se están utilizando y que es medida en un momento determinado.



La **demanda de empalme**, es la potencia máxima que puede entregar la red a un usuario y dependerá del tipo de cliente y contrato que se tenga con la empresa distribuidora.

Para conocer el perfil de demanda de un usuario, es necesario realizar mediciones con algún instrumento que registre y genere un gráfico o informe para algún periodo de tiempo determinado. Por lo tanto la recomendación apunta a la instalación de estos equipos si se quiere tener una estimación con mayor certeza y menos incertidumbre en el diseño fotovoltaico.

Otra forma de realizar un diagnóstico eléctrico es a través de **estimaciones**, sin embargo, éstas están afectas a errores de partida que pueden sumarse hasta tener errores finales muy elevados. En este sentido, no es del todo útil, puesto que si se parte con un error al inicio del modelo fotovoltaico, las inexactitudes se agudizarán en el proceso.

## Estimaciones de consumo y demanda

Se debe hacer un listado de los equipos consumidores de electricidad clasificados según su uso: con el siguiente procedimiento:

1. **Primera columna:** tipo de artefactos luminaria, refrigerador, TV, etc.
2. **Segunda columna:** cantidad.
3. **Tercera columna:** potencia de cada artefacto en W (watts) o kW (kilowatts).
4. **Cuarta columna:** horas de uso al día.
5. **Quinta columna:** energía al día en kWh

Con estos datos, se puede tener una aproximación de cual es consumo de energía eléctrica al día expresado en kWh día. Si se quiere conocer el consumo semana, sólo se deberán agregar otras columnas para obtener la energía a la semana, mes y año.

Es recomendable realizar la estimación energética mediante el uso de una planilla excel que facilitara los cálculos y podrá realizarse gráficas de consumo y otras variables estadísticas de resultado.



FIGURA 10: ETIQUETA TÉCNICA EQUIPO ELÉCTRICO

También existen equipos que pueden instalarse para conocer el perfil de consumo y demanda de una instalación tanto en empalmes monofásicos y trifásicos. Lo de bajo costo son los medidores Efergy o Wattson. Existen otro de mayor valor, pero que pueden entregar mayor información, como es el caso de los analizadores de redes.



FIGURA 11: IMÁGENES DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CONSUMO Y DEMANDA ELÉCTRICA

Para conocer la potencia de los artefactos eléctrico, se debe consultar la etiqueta técnica que por norma deben tener los equipos. La etiqueta entrega la información eléctrica y lo que interesa es la potencia de consumo expresada en W o kW.

Si la etiqueta es poco visible, será necesario utilizar un amperímetro de tenaza, que será instalado en el conductor positivo de la red y con el que se medirá la corriente eléctrica medida en amperes. Conocida la corriente y el voltaje se podrá conocer la potencia de consumo del artefacto. Cuidado de utilizar las medidas e implementos de seguridad.



FIGURA 12: AMPERÍMETRO DE TENAZA

En todo proyecto de incorporación de aplicaciones de energía fotovoltaica, es de suma importancia realizar un diagnóstico de la energía eléctrica para conocer el perfil de consumo y el perfil de la demanda eléctrica. Debe ser un requisito y una etapa previa al dimensionamiento, debido a que se pueden implementar medidas de eficiencia energética y con ello reduciendo el consumo y demanda de energía eléctrica, asegurando una inversión mínima y un porcentaje mayor de utilización de la energía solar fotovoltaica.

Todo diagnóstico energético se realiza en cuatro fases o etapas, en las cuales es posible obtener información inter etapas que permitirán ir conociendo al usuario en mayor detalle para, finalmente, proponer Medidas y Mejoras de Eficiencia Energética (MMEE) que tiendan a generar una disminución en los consumos asociados al proceso analizado.

Las etapas del diagnóstico de energía eléctrica, se pueden resumir en cuatro:

- **Etapa N°1:** de levantamiento de información y datos de consumo y demanda energética.
- **Etapa N°2:** análisis energéticos de la información recolectada.
- **Etapa N° 3:** de identificación de medidas de eficiencia energética.
- **Etapa N°4:** de propuesta de implementación de medidas de eficiencia energética

## MÓDULO N° 4: Energía fotovoltaica

### Usos

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son variadas en su utilización, pero su uso se centra principalmente cuando se requiera de energía eléctrica, ya sea en sistemas aislados carentes de red eléctrica ó, en sistemas para conexiones a redes privadas, públicas o del tipo doméstico.

Entre las aplicaciones principales de la energía solar fotovoltaica se cuentan:

- **Iluminación aislada:** postes solares para iluminación de calles, plazas o casas.
- **Sistemas autónomos:** para abastecimiento de energía eléctrica para uso domiciliario o comercial.
- **Antenas de comunicación:** para ser utilizados en lugares remotos en actividades de comunicación permanentes en señales de TV, telefonía y radiotransmisión.
- **Sistemas de alarmas:** para mantenimiento de energía eléctrica permanente y segura en sistemas de alarmas.
- **Bombeo hídrico FV:** para abastecer de energía eléctrica en procesos de extracción de agua desde pozos y/o otras fuentes de agua, para riego agrícola o consumo animal y humano.
- **Sistemas de gran escala:** sistemas generación a gran escala para inyección a redes de autoconsumo o distribución.
- **Sistemas de gran escala con seguimiento:** son sistemas de gran escala en donde la captación es con seguimiento ya sea en 1 y 2 ejes principales.
- **Sistemas de CFV:** sistemas de alta tecnología en donde se utilizan sistemas de concentración de imagen para aumentar la energía incidente en la celda.

## Aspectos tecnológicos básicos

Lo primero es preguntarse por qué la energía fotovoltaica es una opción energética y tecnológica atractiva para los próximos años. La respuesta es evidente y depende de los siguientes factores:

- **Costos decrecientes:** los paneles, inversores, controladores y otros elementos básicos de una instalación FV bajan sus costos de manera sostenida, lo cual hace esta tecnología competitiva en muchos casos frente a energía eléctrica “convencional”.
- **Confiabilidad:** no existe otra tecnología para generar electricidad con igual nivel de sencillez y confiabilidad. Los paneles tienen garantías de 20 a 25 años y elementos auxiliares como inversores u otros son utilizables al menos 15 a 20 años. Es solo en sistemas aislados (con respaldo en baterías) donde se deben reemplazar las baterías entre 5 a 7 años según su condición de uso.
- **Simplicidad conceptual:** una instalación bien concebida es sencilla desde el punto de vista conceptual. Por lo tanto es capaz de operar por largo tiempo con cuidados y mantención mínima.
- **Recurso confiable y abundante:** la radiación solar si bien no es continua, sí es muy predecible y confiable. Además los sistemas FV tienen la característica de que pueden operar tanto con radiación directa y difusa. Esto significa que producen energía utilizable incluso en días muy nublados.

A estas razones genéricas se suma el hecho de que para la mayor parte de Chile, las condiciones de insolación son óptimas, lo cual hace que los sistemas puedan producir de 30 a 40% más energía útil al año que sistemas de tamaño similar ubicados en Europa. Esta ventaja de recurso es el “subsidio natural” que tiene la energía solar en Chile.

## Efecto fotovoltaico

La base teórica y fundamental del funcionamiento de los actuales módulos y sistemas fotovoltaicos comerciales, se denomina principio fotoeléctrico o fotovoltaico. Dicho fenómeno se produce mediante el cual la radiación solar visible (luz solar) se transforma en electricidad directamente cuando la luz incide sobre unos dispositivos llamados celdas fotovoltaicas.

Las celdas fotovoltaicas, vienen a ser las unidades y elementos básicos para formar los llamados módulos o paneles fotovoltaicos y luego los campos fotovoltaicos.

Un módulo o panel fotovoltaico está conformado por la unión e interconexión de un número definido de celdas, cuya disposición eléctrica en serie o paralelo, llevarán a la generación de una tensión determinada medida en Volt y a una intensidad de corriente medida en Amperes.

En general una celda fotovoltaica genera un voltaje de aproximadamente 0,5 volt, por tanto la interconexión de 36 celdas en serie generarán unos 18 volt (12 volt de trabajo). Hoy en día a nivel comercial existen módulos con 36, 60 y 72 celdas cuya interconexión determinarán el voltaje de trabajo del módulo.

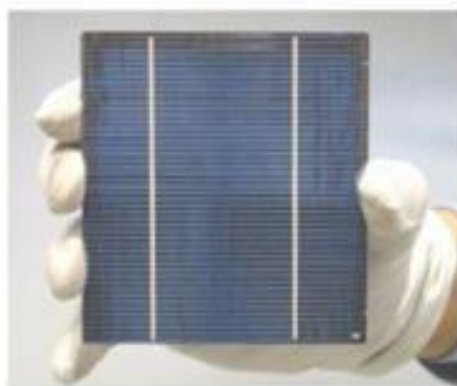


FIGURA 13: IMAGEN DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

Para entender el fundamento de funcionamiento de las celdas solares, se puede mencionar que toda la radiación solar visible que llega a la superficie terrestre llega en forma de “cuantos” de luz, más conocidos como “fotones”.

Cada fotón de radiación solar lleva asociado una cantidad de energía, que dependerá de la longitud de onda del tipo de radiación. Así las radiaciones con menor longitud de onda son radiaciones con mayor energía.

Del espectro de radiación solar que llegan a la superficie terrestre, el espectro de radiación visible o luz, dispone de al menos un 50% del total de energía incidente

El efecto fotovoltaico fue descubierto por el científico francés, Alexandre Bequerel en 1838 en un experimento que realizaba con una pila electrolítica con electrodos de platino comprobó que la corriente aumentaba en los electrodos cuando se exponía a la luz directa del Sol.

Luego en el año de 1873 Willoughby Smith, ingeniero eléctrico inglés publica “Efecto de la luz en el selenio durante el paso de una corriente eléctrica” en donde se describe la fotoconductividad del Selenio, descubrimiento que da paso para que pocos años más tarde, en 1877 el profesor de Filosofía Natural del King College de Londres, el inglés William Grylls Adams, en colaboración con su alumno Richard Evans Day, experimentaron cómo reaccionaba con la luz en el selenio y descubrieron que se generaba un flujo de electricidad.

Hasta que en 1883 Charles Fritts, elaboró la primera célula solar, conformada de láminas de revestimiento de selenio con una fina capa de oro, estas células fueron utilizadas para sensores de

luz en la exposición de cámaras fotográficas, pero estas células solo contaban con un 1% de eficiencia.

En el año 1887 Heinrich Hertz, físico alemán, describió el efecto fotoeléctrico que consiste en la formación y liberación de partículas eléctricamente cargadas que se producen en la materia cuando es irradiada con luz ultravioleta.

En 1905 Einstein publicó “Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de luz” trabajo en el que indica que un haz de luz se compone de paquetes de energía llamados cuantos de luz o fotones. Cuando un fotón choca contra un electrón en la superficie de un metal, el fotón le puede transmitir energía al electrón, con la cual este podría “escapar” de la superficie del metal.

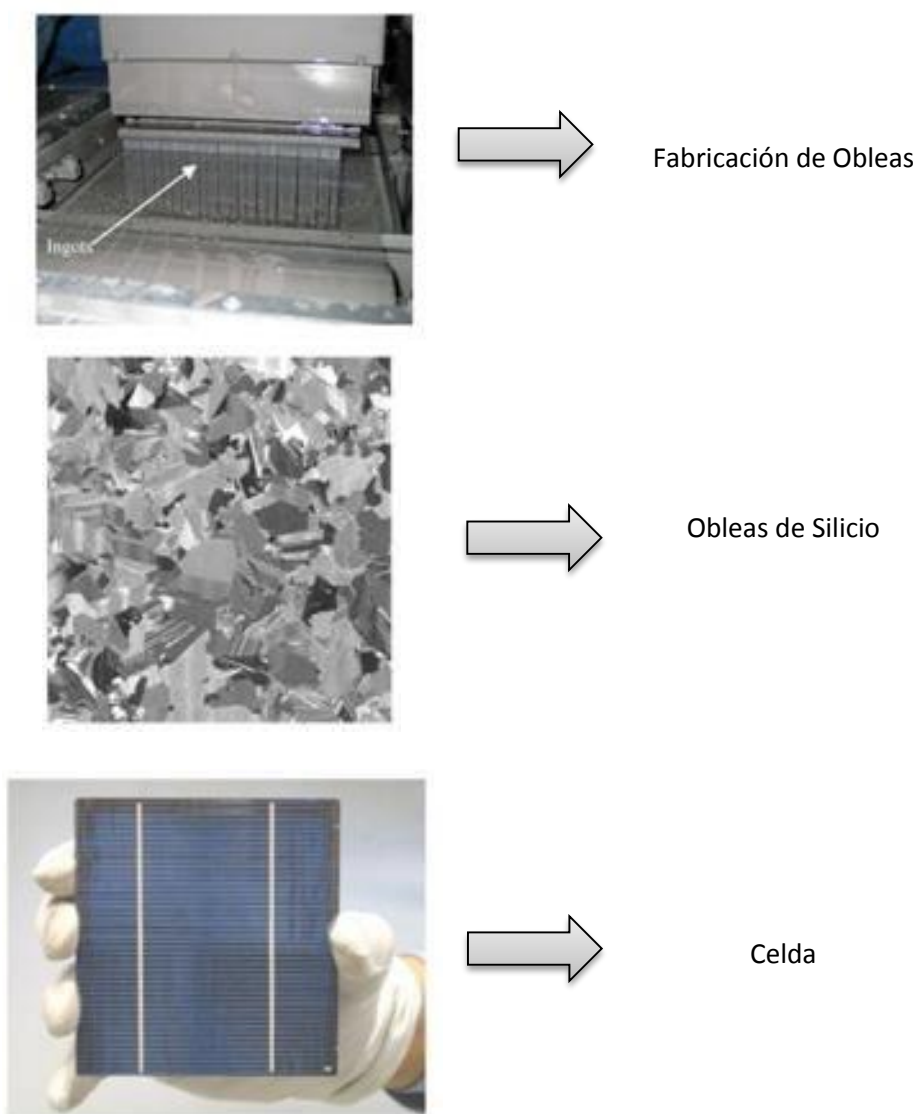
En los laboratorios Bell, Russel Ohl en el año 1946, elaboró y patentó la célula solar moderna elaborada a base de silicio.

## La celda fotovoltaica

Las celdas fotovoltaicas están elaboradas a base de cristales de silicio puro (uno de los elementos más abundantes en la Tierra, componente principal de la arena) y son capaces de generar cada una corriente nominal de 2 a 4 Amperes, a un voltaje de 0,4 a 0,6 Voltios, utilizando como fuente de energía la radiación solar.

El proceso de fabricación de celdas está compuesto por varias etapas, donde el ambiente de trabajo de una higiene extrema para conseguir un excelente nivel de calidad del producto final.

TABLA 1: ETAPAS DE FABRICACIÓN DE UNA CELDA FV (FUENTE: R. VALDOVINOS – BOMBEO FV INDAP)







Módulo

La celda solar esta compuesta de capas donde se produce el flujo de electrones o corriente eléctrica. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas de tal forma (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico. Estas capas tienen una polaridad; positivo en una parte y negativo en la otra. Entre estas dos capas, hay un punto de unión llamado juntura, con una medida de aproximadamente un micrón  $\mu\text{m}$  que equivale a 0,001 mm.

La capa superior llamada N, se dopa o se agrega Fósforo, dejando la capa de silicio con un exceso de electrones, que tienen carga negativa, y en la capa inferior, se dopa o se agrega Boro, dejando la capa de silicio con un déficit de electrones, por esto queda con carga positiva, esta diferencia de carga se denomina diferencia de potencial entre las capas, lo que genera una tensión eléctrica medida en volts.

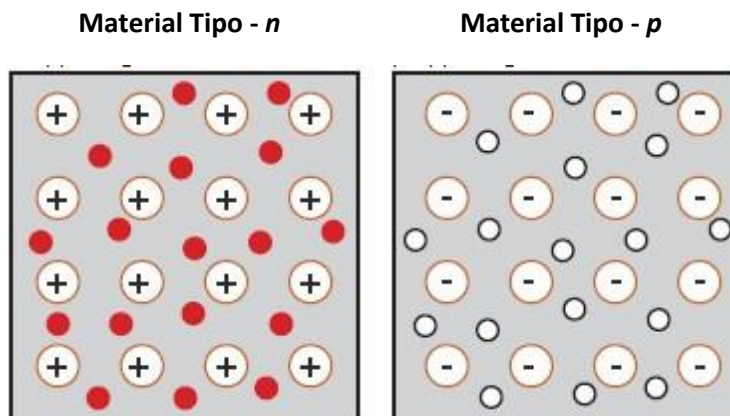


FIGURA 14: REPRESENTACIÓN ATÓMICA DE UNA JUNTA NP

La luz que está compuesta por fotones, al incidir sobre la superficie de la célula expuesta a la luz, transmite su energía a los átomos de silicio dopados lo que provoca una liberación de electrones. Este movimiento o flujo de electrones entre las capas de la célula fotovoltaica corresponde a una corriente eléctrica que se mide en amperes.

## Tecnologías de celdas

Existen diferentes **tipos de celdas** con distintos rendimientos de conversión de la energía solar en energía eléctrica. Y aún muchas tecnologías más en estudio e investigación.

Hoy en día existen laboratorios dedicados a la construcción de celdas con diversos materiales para poder aumentar la eficiencia de conversión. Se ha llegado a celdas con una eficiencia en torno al 56%, sin embargo, las usadas comúnmente tienen una eficiencia teórica en torno al 20% (**silicio monocristalinas**); y 17,7% (**policristalinas**), entre otras.

Las celdas que hoy día se comercializan:

- **Silicio monocristalino:** su ventaja es que tienen un buen rendimiento, en torno al 14%16% de conversión solar. Esto se traduce en que en un metro cuadrado se puede tener 150 watt de potencia fotovoltaica. Su precio es mayor que las de silicio policristalino.
- **Silicio policristalino:** Su eficiencia es de 100 w/mt<sup>2</sup>, y se comportan de buena forma con niveles de radiación directa elevado. Su rendimiento está en torno al 11% - 12%.
- **Celdas de capa fina:** Su rendimiento está en torno al 10%. - **Celdas amorfas:** Su rendimiento está en torno al 6%.
- **Celdas Híbridas (HIT).** Rendimientos en torno a 25,6% - **Celdas doble contacto (IBC):** rendimientos hasta 24.2%.
- **Thin-Film II:** basadas en In (indio), Se (selenio), Te (telurio). Celdas de menor eficiencia que las cristalinas, su ventaja es la fabricación, pudiendo ser flexibles en materiales de plásticos. Su tecnología se basa en las TCO (óxidos conductivos transparentes) utilizados en el dopaje del semiconductor.
- **Celdas III-IV generación:** celdas de última generación y elevada conversión utilizadas para concentración solar. Se usan mezclas de semiconductores tales como Aluminio (Al), Indio (In) y Ga (galio), As (arsénico), P (fósforo). Otra ventaja es que pueden fabricarse celdas multi juntura de varias capas pudiendo alcanzar rendimientos de hasta 38,8%

A menor eficiencia, **mayor es la superficie de utilización.** Dentro de la familia de las celdas hay distintos niveles de eficiencia.

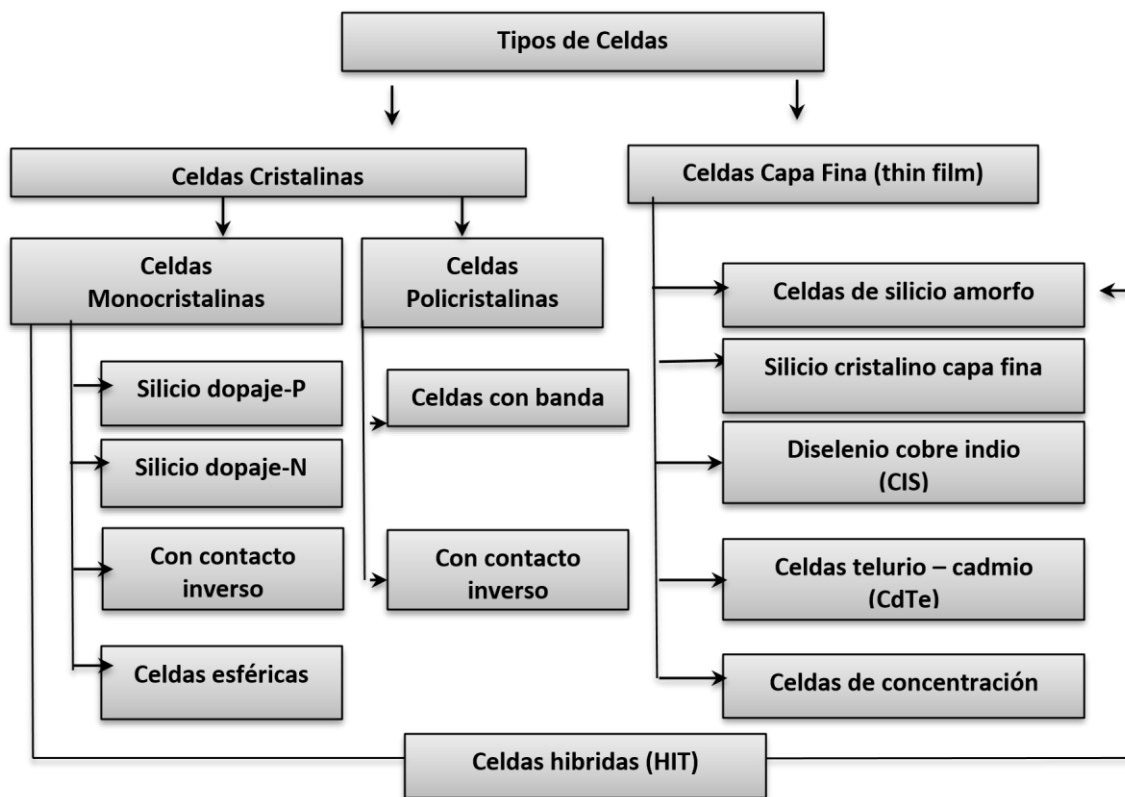


FIGURA 15: TIPOS DE CELDAS FV (R. VALDOVINOS)

### Características eléctricas de una celda FV

En la siguiente tabla se presentan un resumen con las características eléctricas que se debe conocer de una celda FV.

TABLA 2: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UNA CELDA FV

Característica	Símbolo	Unidad	Descripción
Potencia MPP	$P_{max}$	Wp	Potencia máxima
Eficiencia	$\eta$	-%	Medida por pérdidas durante la conversión de energía en el módulo, celda o sistema
Fill Factor (Factor de Relleno)	FF	-%	Medida de la calidad eléctrica
Voltaje MPP	$V_{MPP}$	V	Voltaje en el punto de máxima potencia

Voltaje OC	$V_{oc}$	V	Voltaje en circuito abierto
Corriente MPP	$I_{MPP}$	A	Corriente en el punto de máxima potencia
Corriente de corto circuito	$I_{sc}$	A	Corriente de corto circuito

### Puntos clave de una celda

Se debe entender la curva característica de una celda. Los fabricantes deben entregar la información sobre la curva I-V de generación eléctrica de una celda. Existe un punto donde el producto  $IV$  se maximiza, este es el **punto de máxima potencia** (para una intensidad de radiación dada); esto corresponde a la cantidad máxima de energía eléctrica que el módulo o celda va a generar. En ese punto tenemos la intensidad de corriente  $I_m$  y el voltaje  $V_m$ .

La siguiente figura representa una curva  $IV$  con las variables principales.

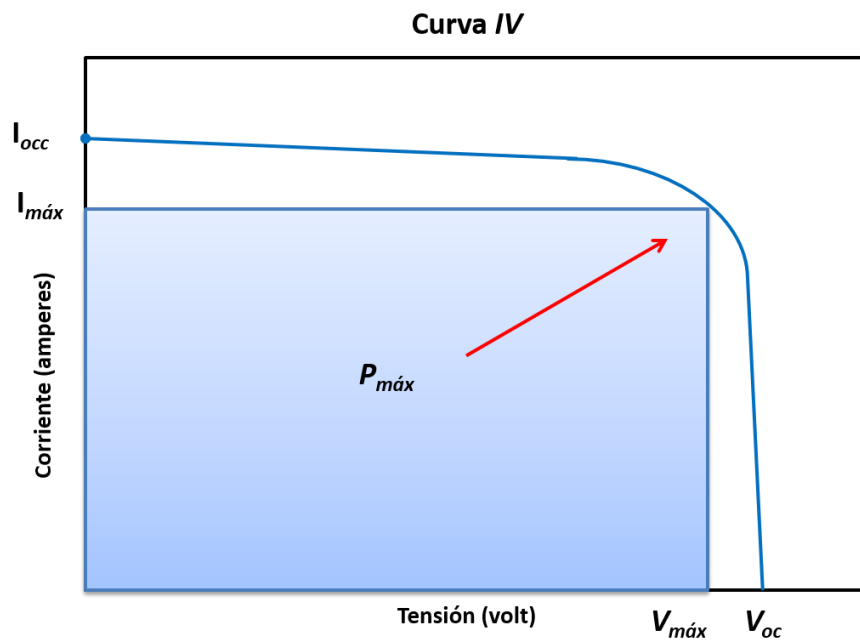


FIGURA 16: CURVA IV DE LA CELDA CON PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA – MPP (R. VALDOVINOS)

$V_{oc}$ : es el voltaje en circuito abierto y  $V_m$  es el voltaje máximo.  $I_{sc}$  es la corriente en cortocircuito y  $I_m$  es la corriente máxima de la celda. En una celda fotovoltaica el voltaje es poco sensible a la intensidad de la irradiancia solar, pero la corriente es **proporcional** a la irradiancia incidente; a mayor radiación solar mayor será la intensidad de la corriente.

El cociente entre la  $I_m \times V_m$  y  $I_{sc} \times V_{oc}$  se denominado **factor de relleno** o **fill factor**, que indica cuál es la calidad eléctrica de la celda fotovoltaica

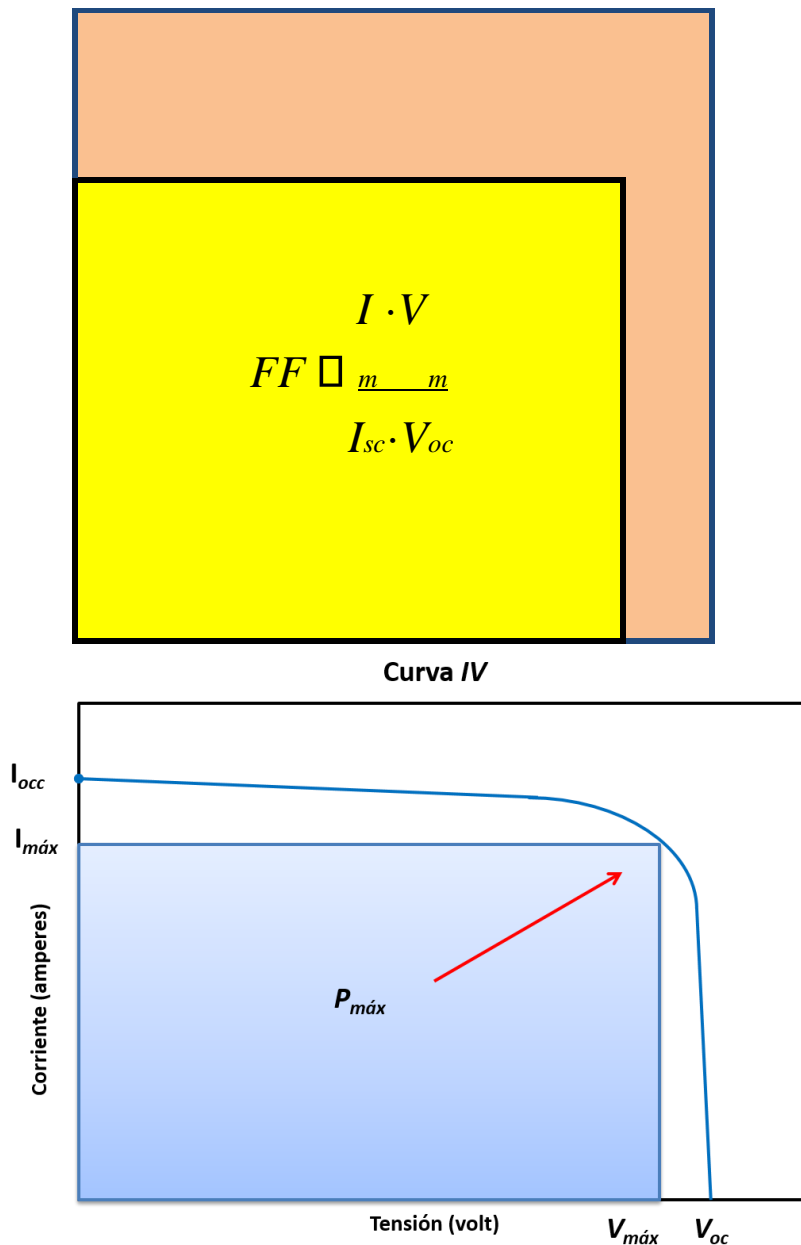


FIGURA 17: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL FACTO DE RELLENO DE UNA CELDA FV (R. VALDOVINOS)

Las condiciones estándares (STC: *Estándar test conditions*) para levantar una curva IV es **25°C, 1.000 W/m<sup>2</sup> y 1,5 AM**.

Hay dos factores que influyen fuertemente en la performance de la celda:

- **Intensidad de radiación solar:** a mayor intensidad de radiación solar, más aumenta la corriente producida (se liberan más electrones).
- **Temperatura de celda:** a mayor temperatura de celda, disminuye el voltaje del punto de máxima potencia (aumentan las recombinaciones y se pierden electrones).

Si bien la intensidad de corriente aumenta con la intensidad de radiación solar, esto típicamente es cierto hasta un flujo equivalente a dos o tres soles (para celdas corrientes). Si se aumenta el flujo incidente más allá, la celda se “satura” y no es capaz de producir más corriente.

El efecto de la temperatura es muy importante. Por un lado lo típico es que las celdas trabajen a temperaturas de 20 a 30°C sobre la temperatura ambiente, por lo tanto el voltaje real es menor al nominal (y la potencia generada real menor a la nominal).

La pérdida de potencia eléctrica de una celda es un valor entregado por el fabricante a través del coeficiente de temperatura, que para tecnología cristalina se encuentra entre -0,35 a -0,44 %/°C. Este valor dice que por cada grado de temperatura de celda por sobre la de testeo (*STC: Estándar test conditions*) correspondiente a 25°C, la celda pierde un porcentaje de potencia.

Por ejemplo: una celda cristalina funcionando a temperatura de celda de 55°, con un coeficiente de temperatura de -0,44 %/°C. Significa que:

$$55^{\circ}\text{C} - 25^{\circ} = 30^{\circ}\text{C sobre STC}$$

$$30^{\circ}\text{C} \times -0,44 \text{ \%}/^{\circ}\text{C} = -13,2\%$$

La celda perderá por temperatura -13,2% de potencia de generación eléctrica. Valor que se debe considerar en el diseño.

Siempre hay que considerar:

- Las celdas y paneles se especifican a una temperatura de celda de 25°C. Sin embargo, bajo una intensidad de radiación solar de unos 1000 [W/m<sup>2</sup>], el panel se calienta unos 20°C *sobre* la temperatura ambiente.
- Por lo tanto para una temperatura diurna de unos 20°C, las celdas estarán a 40°C y el voltaje del punto óptimo disminuye.
- En la práctica esto significa que la potencia real producida por el panel disminuye con respecto a la curva nominal.
- También disminuye el voltaje del punto óptimo, lo cual afecta el diseño del sistema.

Además la condición de máximo voltaje se da en circuito abierto y a baja temperatura. Esto es importante por consideraciones de seguridad.

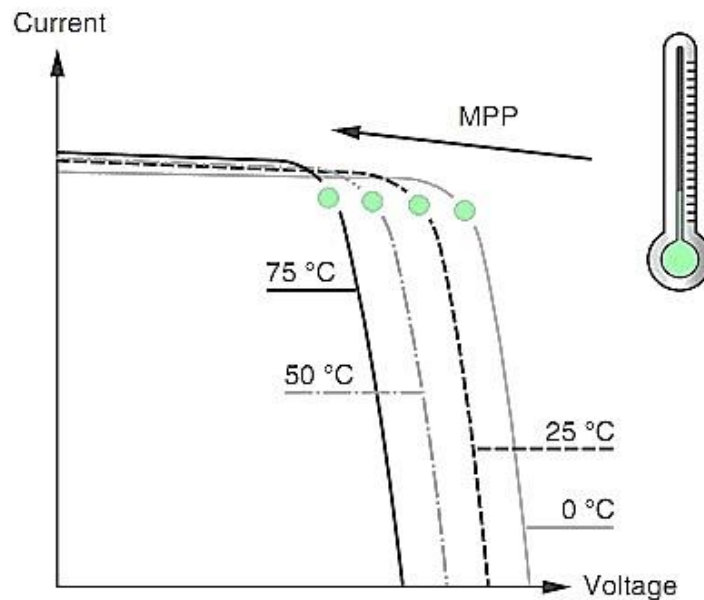


FIGURA 18: VARIACIÓN DE LA TENSIÓN CON RESPECTO A LA TEMPERATURA DE CELDA (FUENTE: PV EDUCATIONS)

Las celdas individuales se deben agrupar en módulos que consisten en un número significativo de celdas conectadas en serie para dar el voltaje requerido nominal. A menudo también pueden, dentro del mismo módulo, existir hileras de celdas en paralelo para dar la corriente que el sistema requiere.

Las celdas que constituyen cada módulo deben estar correctamente hermanadas (es decir tener características físicas y eléctricas lo más parecidas posibles) para que el módulo opere bien.

## Módulo fotovoltaico

Al interconectar celdas fotovoltaicas se obtiene un módulo fotovoltaico. Es esencial que las celdas de un módulo estén bien hermanadas y sean idénticas. Comercialmente existen módulos con 36, 60 y 72 celdas conectadas en serie paralelo para general un voltaje y corriente adecuado. Generalmente las tensiones de trabajo son de 12V, 24V y 36V, en módulos especiales se pueden tener voltajes mayores. La tendencia ha ido aumentando en tamaño de los módulos para aumentar la generación y reducir los costos de fabricación, que se ha traducido en la variación de los diferentes componentes de una instalación FV.

El módulo fotovoltaico habitualmente se forma por un marco de aluminio, y un vidrio templado anti reflectante, además de otra cubierta posterior de Etil vinilo acetato (EVA) como una segunda capa antirreflectora, en donde las células fotovoltaicas se encuentran selladas y encapsuladas, para evitar cualquier tipo de oxidación en sus terminales al estar en contacto con la humedad ambiental.

El encapsulamiento es un proceso esencial para que:

- Las celdas reciban la máxima radiación posible (cubierta de vidrio de alta transparencia y baja reflectividad).
- Las celdas absorban la máxima radiación posible (superficies antireflectantes y/o texturadas; agente encapsulador para evitar reflexiones internas).
- Las celdas estén hermanadas (mejorar características eléctricas).
- Las celdas estén protegidas de los agentes atmosféricos (evitar corrosión en contactos).
- Estén a la menor temperatura de trabajo posible (sellado por capa de tedlar posterior, buena ventilación).
- Tenga elementos adicionales de protección (diodos de bloqueo, diodos de bypass).

En la parte posterior se utiliza una lámina de un polímero llamado Tedlar, que es un compuesto químico de Fluoruro de polivinilo, que tiene una muy buena resistencia a la intemperie y con alta resistencia al fuego. Adherido a la plancha de Tedlar, se encuentra la caja de conexiones, en donde llegan las conexiones terminales de las filas de celdas fotovoltaicas.

En la caja de conexión también se incluyen diodos de protección o rectificadores, que protegen al módulos, de cualquier corriente inversa o de retorno que se pudiera producir por alguna falla en el sistema o cortocircuito que pueda producirse.

En la caja también se encuentran los terminales de salida del módulo, con sus respectivos bornes positivo y negativo, para la conexión con otros módulos, o para la conexión con los otros componentes del sistema fotovoltaico.

Las características eléctricas de los módulos FV, se presenta en la siguiente tabla:

**TABLA 3: CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UN MÓDULO FV (R. VALDOVINOS)**

Característica	
Encapsulación	Vidrio/Tedlar
Tamaño de Celda	125,5x125,5 mm
Número de celdas	72
Voltaje Nominal	24 Volts
Diodos de bypass	4



Potencia típica	150 Wp	160 Wp	170 Wp
Potencia mínima	145 W	155 W	165 W
Voltaje a pot. Típica	33,8 V	34,1 V	34,7 V
Corriente a pot. Típica	4,45 A	4,70 A	4,90 A
Corr. Corto Circuito	4,65 A	4,80 A	5,0 A
Voltaje Circ. Abierto	43 V	43,2 V	43,4 V
Voltaje Máximo	1000 Volts CC		
Coef. Temperatura	$\alpha = (di/I)/dT \# +0,032\%/^{\circ}\text{C}$ $\beta = dV/dT \# -158 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ $\xi$ $P/P = -0,43\%/^{\circ}\text{C}$		
Especificado a:	1000 [W/m <sup>2</sup> ]; 25°C Temp. Celda; AM 1,5 distribución espectral.		

### Información que debe entregar el fabricante:

**Ficha técnica de los módulos:** deben identificarse claramente las variables eléctricas; curvas I-V; cómo se comportan a diferentes niveles de radiación; y temperaturas de operación de las celdas. Además de todas las variables eléctricas de funcionamiento.

**Certificaciones:** existen diversas certificaciones bajo normas internacionales. Se debe exigir el **datasheet** de los módulos con información que incluya: tipo de celda; número de celdas conectadas; dimensión del módulo; peso del módulo; características eléctricas; potencia máxima de generación; tensión de circuito abierto; tensión máxima; intensidad de la corriente de corto circuito; intensidad de corriente máxima del módulo.

**Otras características técnicas:** coeficiente de temperatura (valor menor a 0, que se refiere a menor porcentaje de acuerdo a grados Celsius); coeficiente de temperatura de intensidad; coeficiente de potencia.

### Certificaciones de los módulos FV

Hoy al momento de adquirir módulos FV, estos deben tener certificaciones para asegurar un producto de calidad, tanto en su fabricación como en el funcionamiento eléctrico.

Las certificaciones se realizan de acuerdo a normativas internacionales como son la **IEC 61015** para tecnología "Cristalinos" y la **IEC 61646** para "Capa Fina". Además los módulos deben estar inscritos

en las SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles), lo que asegura que los módulos tengan un proceso de testeo y certificación bajo las normas IEC mencionadas.

Al momento de estar inscritos en la SEC, se pueden utilizar para regularizar la instalación conforme la **Ley 20.571** de generación distribuida con sistemas FV.

Entre los test que se realizan en esta certificación IEC se tienen:

- Inspección visual.
- Rendimiento bajo diferentes condiciones (STC, NOTC y a  $T=25^{\circ}\text{C}$  y  $G=200\text{ W/mt}^2$ ).
- Medición de coeficientes de temperatura.
- Test de aislación.
- Test de exposición al aire libre.
- Test de resistencia a Puntos Calientes.
- Test de ciclos térmicos y test con UV.
- Test de humedad y congelamiento.
- Test de robustez en las terminaciones.
- Test de estrés mecánico.
- Test de resistencia a granizo.

Además se exige una etiqueta y sello en la parte posterior del módulo. Esto es muy importante, ya que si no existe la ficha y la etiqueta adosada al módulo, no se pueden conocer los detalles tanto para el diseño como para la supervisión y posterior mantención del sistema.

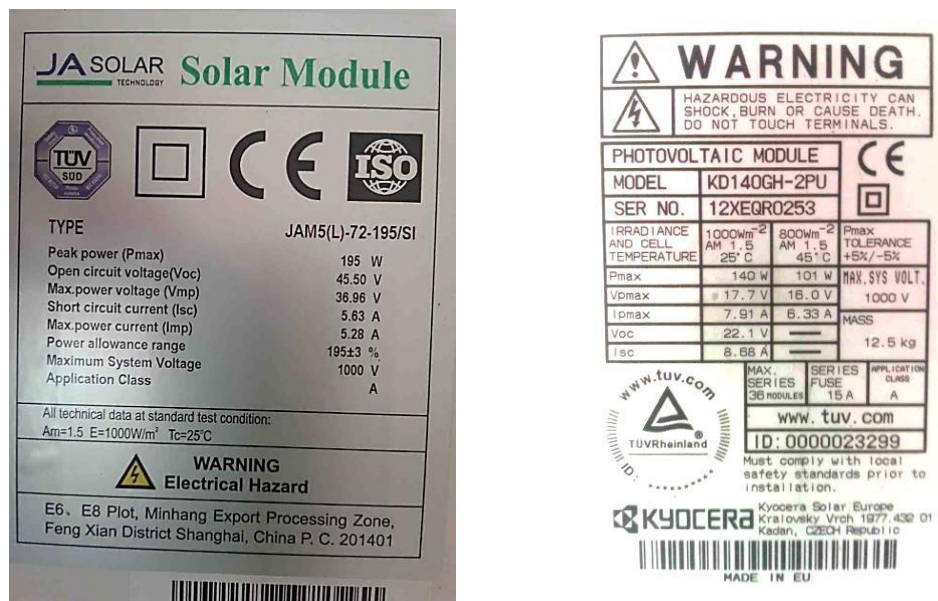


FIGURA 19: ETIQUETA TÉCNICA DE MÓDULOS FV.

## Sombreamiento y diodo de bypass

Sombras parciales en el módulo producido por mugre, excrementos de aves u otros, puedes producir grandes problemas en la instalación, debido a la resistencia interna que se producen en las celdas, bloqueando el flujo eléctrico.

Al haber una mayor resistencia, hay una mayor temperatura lo que incluso puede producir quemaduras de la parte sombreada permanente de la celda.

Para evitar esta situación, existen los **diodos de bypass**, que protegen cierta zona del módulo. El diodo de bypass independiza en dos o tres zonas el módulo, para que si una deja de producir electricidad, las otras partes sigan funcionando de manera normal y así no anular la generación eléctrica del módulo completo.

Los diodos de bypass se encuentran en la caja de conexiones de módulo en la parte posterior



FIGURA 20: DETALLE MÓDULO FV CON CAJA DE CONEXIONES

## Conexión de módulos FV

Al igual que las celdas, los módulos pueden conectarse en serie o paralelo para lograr tener a la salida una tensión medida en volt o, una corriente medida en Amperes, según las características de la instalación y de los componentes. En este sentido y modo de recordatorio:

- **Conexiones en serie:** aumenta la tensión de salida a razón del número de módulos conectados en serie. Mientras que la corriente de salida se limita a la de salida de un módulo FV.

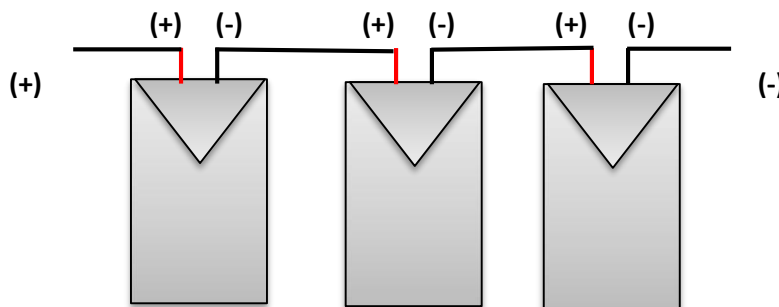


FIGURA 21: DETALLE DE CONEXIONADO DE MÓDULOS FV EN SERIE.

- **Conexión en paralelo:** aumenta la corriente de salida a razón del número de módulos conectados en paralelo. Mientras que la tensión de salida se limita a la tensión de salida de módulo.

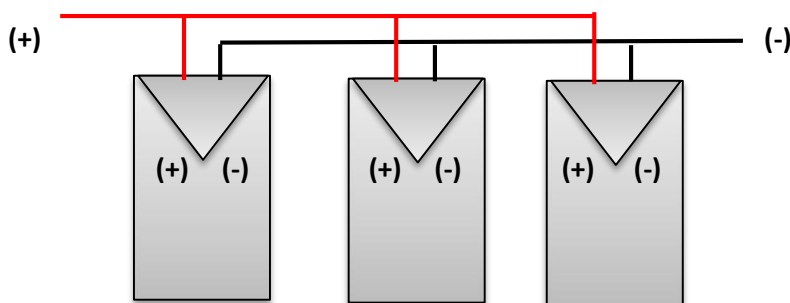


FIGURA 22: DETALLE DE CONEXIONADO DE MÓDULOS FV EN PARALELO

Se recomienda la interconexión en serie y paralelo de módulos de similar tecnología y similares características eléctricas, con ello la instalación y los componentes funcionarán en óptimas condiciones eléctricas.

## MÓDULO N° 5: Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico, corresponde a un conjunto de equipos y componentes que se conectan entre sí, para generar, almacenar y transformar la energía incidente del Sol en energía eléctrica.

En la figura siguiente se muestran las partes principales de un sistema fotovoltaico. Sin embargo en la actualidad con los avances tecnológicos se puede acoplar al sistema otros componentes que harían de la instalación FV algo más compleja pero con un mejor acoplamiento a las necesidades de los usuarios.

Los sistemas pueden generar energía para cargas en CC y al mismo tiempo en CA (figura 23) o sólo en corriente CC (figura 24) o CA (figura 25)

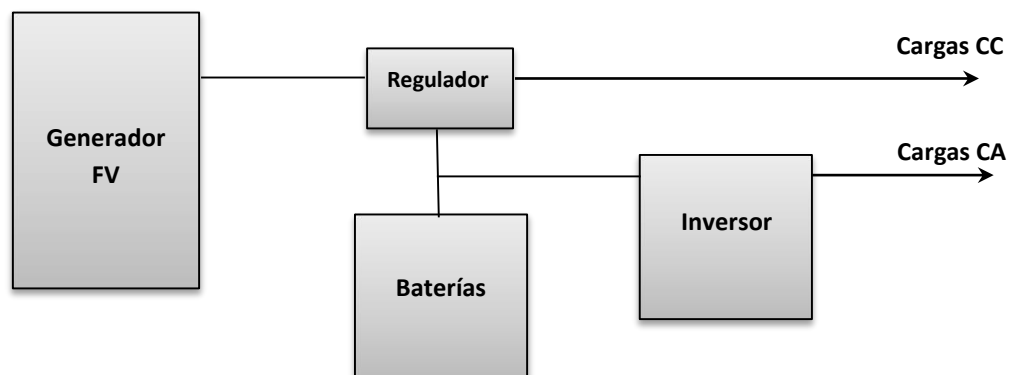


FIGURA 23: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CA Y CC

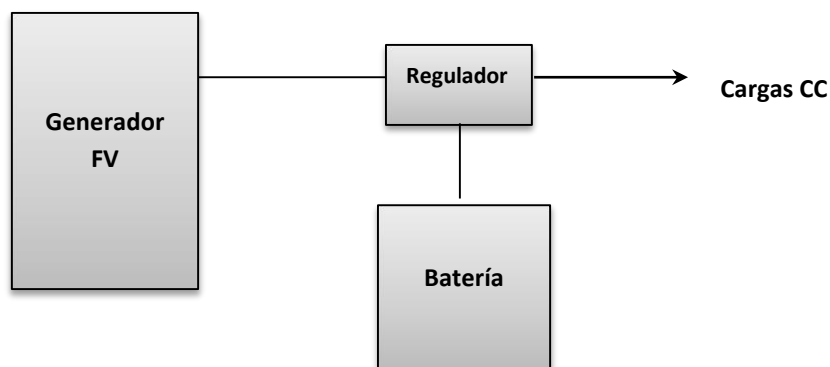


FIGURA 24: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CC

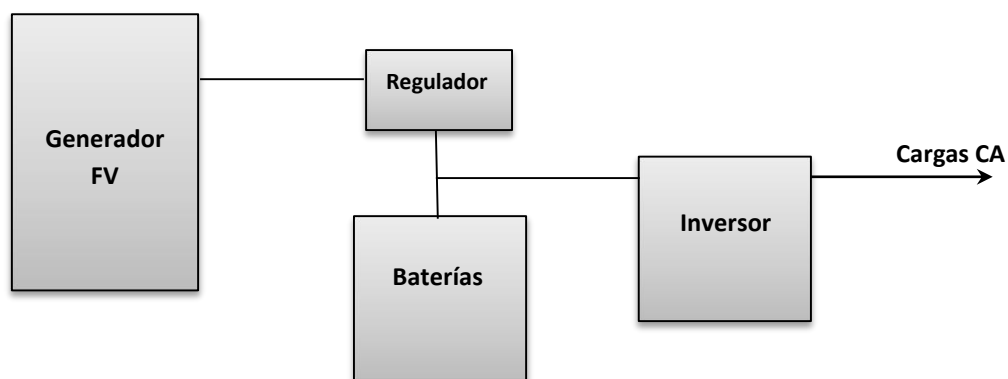


FIGURA 25: COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA FV CON CARGAS CA

Los sistemas FV están compuestos de dos grandes familias:

- **Sistemas conectados a la red (o Grid Tied):** no poseen un sistema de acumulación. Se pueden conectar a una red pública o a una doméstica interna. Estos últimos también pueden tener un sistema de acumulación.
- **Sistemas aislados:** Sí poseen un sistema de acumulación de energía eléctrica a través de baterías. Pueden haber diferentes tipos de aplicaciones. Pueden tener cargas tanto en

corriente continua como también pueden transformar la energía a través de un inversor como corriente alterna.

Dentro de esta familia también se encuentran los **sistemas híbridos**, en donde el sistema de generación fotovoltaica es complementado con otro tipo de generación eléctrica para poder siempre satisfacer la energía consumida.

## **Regulador de carga**

El regulador es un dispositivo electrónico, que cumple con la importante función en el sistema fotovoltaico, de controlar y supervisar el proceso de carga y descarga de las baterías, para que estas no sufran de sobrecargas o sobre descargas, que afectarían en la eficiencia del sistema y acortarían drásticamente la vida útil de las mismas, los reguladores de carga son capaces de desconectar el consumo, cuando comprueba que la descarga de la batería ha superado cierto rango de la capacidad nominal de almacenamiento.

Otra característica importante del regulador es que controla el flujo de la corriente de carga desde de los paneles FV, hacia la batería, como también el flujo de la corriente de descarga desde la batería hacia los artefactos de consumo. El regulador detecta todos estos parámetros midiendo la tensión la batería en todo momento.

Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta, y si la misma ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia los consumos, si el regulador censa un voltaje alto, cercano a los 13,8 volt en las baterías, corta la corriente del panel a la batería, de esta manera, no permite un aumento del voltaje y evita la sobrecarga de la misma.

Si el regulador censa un voltaje bajo, entre los 11,2 a 11,4 volt, desconecta el consumo de la batería evitando así una descarga profunda, esto ocurre en horas de baja radiación incidente en los módulos fotovoltaicos o de noche.

Las cargas que consumen de la batería, permanecen desconectados hasta que se recupere la carga, al estar recibiendo corriente de los módulos fotovoltaicos, con valores aproximados y mayores a los 12,5 Volt, el regulador reconecta el consumo.

## **Tipos de reguladores de carga**

- **Reguladores de carga enclavados**

Una de las principales funciones del regulador de carga es prevenir la sobre carga de la batería, para lograr esto existen reguladores que reducen la corriente de carga gradualmente utilizando una tecnología llamada “*modulación de anchura de pulso*” o “*pulse width modulation*” como indican sus siglas en inglés, este tipo de reguladores administra la carga en fases, permitiendo alcanzar una tensión máxima segura para que la batería alcance la carga completa y luego disminuye para mantener la carga de la batería en una fase de flotación.

Cabe señalar que estos reguladores tienen un óptimo funcionamiento en instalaciones de pequeño tamaño, como las que se mencionan en este manual, además de tener un bajo costo.



FIGURA 26: ALGUNOS MODELOS DE REGULADORES DE CARGA ENCLAVADOS (R. VALDOVINOS)

### Reguladores de carga con MPPT



Los reguladores de carga con MPPT o “*Maximun power point tracking*” según sus siglas en inglés, funcionan realizando un seguimiento del punto de máxima potencia, estos reguladores censan la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos y se ajustan a los puntos máximos de tensión y corriente. A diferencia con el regulador PWM que operan con la tensión de la batería y obligan a los módulos a trabajar en esta tensión, por ejemplo 12 volts, el regulador MPPT censa la tensión del módulo en condiciones de radiación optimas alcanzando por ejemplo 17 volts, en resumen lo que hace el regulador MPPT es independizar la tensión de la batería con la del módulo, logrando con esto un aumento en la intensidad de carga de la batería aumentando en un 30% la energía generada.

Cabe señalar que estos reguladores operan mejor en instalaciones de mayor tamaño al ser más versátiles y soportar más tensión de entrada de los módulos, su desventaja es que pueden llegar a triplicar el precio de un regulador PWM.



FIGURA 27: MODELO DE REGULADOR DE CARGA CON MPPT (R.VALDOVINOS)

### Configuración de reguladores de carga

Los niveles de voltaje para carga, corte de consumo y reconexión de consumo, están generalmente programados de fábrica en algunos equipos, los parámetros de funcionamiento mencionados se pueden ajustar por el usuario, estos niveles dependen también de la temperatura ambiental, por lo cual en la gran mayoría de los equipos, el mismo regulador ajusta los niveles de voltaje óptimo.

Es importante destacar, que en ciertos equipos, es necesario configurar el regulador en función del tipo de batería al que otorgará corriente, por eso siempre es recomendable estudiar en detalle el manual de usuario correspondiente.

#### □ Indicadores de funcionamiento

Algunos equipos incorporan un bloque de señalización, con luces o display electrónico, el que otorga información como conexión de panel, fase de carga, estado de carga de la batería, corte de consumo por descarga crítica, mientras que otros equipos tienen un sistema de alarma que avisan antes del corte de consumo.

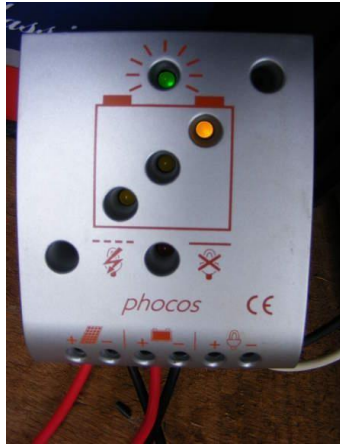


FIGURA 28: MODELOS DE CONTROLADORES CON INDICADORES DE ESTADO DE CARGA

### Criterios de selección de un regulador de carga

Para la correcta elección de un regulador de carga, se requiere de ciertos criterios para poder tener un funcionamiento seguro del sistema fotovoltaico, entre estos se pueden mencionar:

- Protección contra sobrecarga.
- Posibilidad de carga con batería descargada (9,5V).
- Protección contra descarga profunda.
- Óptima carga bajo diferentes temperaturas.
- Protección contra corto circuitos.
- Protección contra polaridad inversa.
- Display indicativo de estado de carga de baterías.
- Adecuado bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad (IP=65).
- Evaluar posibilidad de MPPT (30% más energía).

## Baterías de acumulación

Debido a que en los sistemas fotovoltaicos la generación de energía es un recurso variable, dependiendo directamente de la radiación solar incidente, la que puede verse afectada por ejemplo en los días nublados, donde la radiación baja considerablemente o en la noche, cuando el aporte energético es nulo, existe la opción de acumular la energía producida en baterías cuya principal función es, es almacenar la energía eléctrica producida por el generador solar, durante el día, para poder entregar la energía cuando se requiera, en los periodos cuando no se disponga del recurso solar.

En el mercado existen distintos tipos de baterías, entre las cuales destacan:

- Baterías de plomo-ácido
- Baterías alcalinas, como por ejemplo de níquel cadmio
- Baterías de iones de litio

Sin embargo los tipos de baterías comúnmente más utilizados en los sistemas solares fotovoltaicos, son las de plomo-ácido selladas de ciclo profundo, es decir que tienen una carga y descarga más lenta que por ejemplo las automotrices. Las baterías están compuestas en su interior por celdas, cada una está compuesta por una placa de plomo (Pb) y una placa de dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>), en una solución electrolítica de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) con agua, comúnmente cada una de las celdas registra aproximadamente 2 volt, dependiendo del estado de carga de una celda de plomo, se puede registrar un voltaje de 1,8 a 2,3 Volt aproximados y acumulando corriente de tipo continua.

### Tipos de baterías

- **Baterías abiertas**

En donde el electrolito (ácido) se encuentra en forma líquida, y se puede acceder a él a través de los tapones de cada vaso, como en el caso de las baterías automotrices, al estar abiertas, se puede controlar el estado de su carga por medio de un instrumento llamado densímetro, que mide la densidad del electrolito.



FIGURA 29: CONEXIONADO DE BATERÍAS ABIERTAS (R.VALDOVINOS)

- **Baterías selladas**

Existen las baterías de gel y las baterías AGM (*absorbed glass material*) separador de vidrio absorbente, estas baterías son especialmente usadas para las aplicaciones de sistemas fotovoltaicos por no requerir de mantención, su inconveniente es que no admiten descargas profundas, es decir que para extender su vida útil, es necesario controlar su descarga. Las llamadas baterías de libre mantención, son las más adecuadas para aplicaciones fotovoltaicas, también son llamadas VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) o Batería Regulada por Válvula.



FIGURA 30: CONEXIONADO DE BATERÍAS SELLADAS (B. MUNIZAGA)

- **Baterías de gel**

En las baterías de gel, se agrega un compuesto de silicona al electrolito, que provoca que el líquido, se vuelva una masa sólida como gelatina, si la batería se rompe, no hay riesgo de fuga de líquido.

- **Baterías AGM**

Las baterías AGM usan separadores en sus celdas que están compuestos de fibra de vidrio microporoso absorbente, que actúan como esponja, absorbiendo el electrolito en el proceso de descarga y liberándolo en el proceso de carga de la batería.

Las baterías de gel y AGM tienen un mejor funcionamiento en sus ciclos de carga y descarga y ambas son libres de mantención.

### **Sobre carga de baterías**

En el proceso de carga de la batería por medio del panel fotovoltaico, su voltaje sube, a partir de los 13,8 volt aproximadamente se empieza a generar gas de hidrógeno y oxígeno, esta sobre carga se debe evitar en las baterías selladas, por medio de otro componente del sistema fotovoltaico llamado regulador de carga.

## Descarga profunda de baterías

Cuando las baterías se someten a descargas profundas o se dejan sin funcionar por mucho tiempo, se forma sulfato de plomo en las placas, que se pueden recuperar en el proceso de carga, pero pierden capacidad de acumulación de energía y su vida útil disminuye drásticamente. Como la tensión nominal de una celda de plomo-ácido es normalmente de 2 volt en CC este voltaje no debe bajar de 11,4 volt en una batería de 12 volt nominales. En baterías selladas, la medición de voltaje es relativamente sencilla con un tester, existen también otros equipos que monitorean el estado de batería y que se conectan directamente en sus bornes.

## Capacidad de la batería

Como la principal función de la batería es acumular la energía eléctrica producida por el panel durante el día, la capacidad indica la cantidad de electricidad que se puede acumular o descargar, esta capacidad se mide en Ah (Ampere/hora).

La capacidad de la batería no es constante y dependerá de la corriente de descarga, por ejemplo una batería de 200 Ah, en 10 h, aportara 20 A.

La energía eléctrica acumulada en la batería es el producto, entre la carga eléctrica y su tensión medida en volts:

$$\text{Energía Almacendas} = \text{Capacidad (Ah)} \times \text{tensión}$$

$$\text{Energía Almacendas} = 200 \text{ (Ah)} \times 12 \text{ volt} = 2,4 \text{ kWh}$$

## Ciclos y vida útil

La vida útil que puede tener un acumulador va a depender directamente de la profundidad de descarga de las baterías en decir la cantidad de energía que extraigamos de ella y además de las condiciones de operación y de recarga, la profundidad de descarga es la cantidad de Ah extraída de una batería plenamente cargada, y se expresa este valor como porcentaje.

## Consideraciones en baterías

En resumen, al momento de diseñar un banco de baterías, se deben tener en cuenta y consideración los siguientes puntos:

- **Días de autonomía de baterías:** al menos 2 días en caso de día con baja radiación solar.

- **Capacidad de baterías:** para efectos del diseño y conexasión de acuerdo a las disponibles en el mercado nacional.
- **Profundidad y régimen de descarga:** para efectos de diseño y según curva de vida útil entregada por el proveedor.
- **Esperanza de vida útil:** conocer de acuerdo a las variables seleccionadas, cuantos años durarán las baterías para un recambio de todo el banco de baterías.
- **Condiciones ambientales:** conocer las variables del lugar de instalación para acondicionar térmicamente la ubicación del banco.
- **Precio y garantía:** buscar opciones de precio en distribuidores directos.
- **Calendario de mantención:** diseñar un calendario de mantención y monitoreo del banco.

## Inversores

Otro componente importante en el sistema fotovoltaico, es el inversor de carga, este dispositivo se encarga de suministrar corriente de tipo alterna, como el que se dispone de la red de suministro público, para el funcionamiento de los artefactos eléctricos del hogar que funcionen con este tipo de corriente, que corresponden a la gran mayoría.

Por lo anterior, la principal función del inversor de carga, es convertir la corriente de tipo continua que suministran las baterías, en corriente alterna, para poder entregar energía a las cargas alternas que se deseen energizar.

### Selección de potencia del inversor

En la gran mayoría de los casos el inversor no funciona con potencia nominal que existen en algunos modelos desde 150 watts de potencia, dependiendo de la cantidad de artefactos, que se mencionaran más adelante en dimensionamiento, sino que solo un porcentaje de su capacidad total, esto quiere decir que es poco probable todos los artefactos que se incluyeron para energizar estén funcionando al mismo tiempo.

Al momento de seleccionar un inversor, siempre se debe adicionar cierta reserva, para que este sea capaz de otorgar energía a cargas que originalmente no fueron incluidas en el diseño original, es decir que se tiene que considerar que el sistema de generación se puede ampliar

### Tipos de inversores

Principalmente en el mercado fotovoltaico se pueden encontrar dos tipos de inversores:

- Inversores para sistemas en red (On grid).

- Inversores para sistema fuera de red (Off grid).

### Inversores Off Grid

Se refieren a los inversores para los sistemas fotovoltaicos autónomos, es decir que no están conectados a la red de suministro eléctrico y funcionan con sistema de acumulación en baterías. No son sincrónicos, por tanto entregan energía eléctrica sin necesidad de detectar una red.



FIGURA 31: INSTALACIÓN INVERSOR OFF GRID EN AYSÉN (B. MUNIZAGA)

El voltaje de entrada puede ser de 12V, 24V o 48 volt, dependiendo de la configuración de las baterías en serie o paralelo. Este dato es de suma importancia para no dañar el inversor con un voltaje que puede exceder su capacidad de entrada. El voltaje de salida es de 220 Volt para uso doméstico.

Otra característica muy importante de los inversores Off grid es la onda de salida de la corriente, pudiendo ser onda cuadrada, cuadrada modificada o sinusoidal pura. Hoy en día la mayoría de los inversores solares entregan onda sinusoidal pura.

La ventaja de un inversor de onda modificada, es que son más económicos y tienen un buen funcionamiento para sistemas por ejemplo de iluminación Led, su desventaja es que no funcionan bien con cargas inductivas por ejemplo al alimentar artefactos que tienen motor, como el refrigerador, herramientas etc. La ventaja de un inversor de onda sinusoidal pura es que funcionan



mejor al energizar cargas inductivas, es decir aparatos que funcionan con motor, su desventaja que tiene un costo más elevado.

### **Inversores On Grid**

Se refiere a los inversores utilizados para sistemas fotovoltaicos conectados a la red de suministro eléctrico, ya sea una red interna doméstica, industrial o una red pública externa. Existen de 240 W de potencia hacia arriba. La energía generada la inyecta a una red viva de energía eléctrica, por tanto son de tipo sincrónico: detectan una red, leen la tensión y frecuencia para adaptarse a dichos parámetros e inyectar energía eléctrica. Si no detectan una red no funcionan.



**FIGURA 32: INSTALACIÓN DE TRES INVERSORES ON GRID EN COMBARBALÁ (R. VALDOVINOS)**

### **Conexión a la red**

Según la Norma Técnica de la Ley 20.571 para sistemas conectados a red, los inversores que se utilicen para inyección de excedentes de energía eléctrica a la red, deben estar inscritos y certificados en la SEC, y el conexionado debe estar de acuerdo al siguiente diagrama extraído de la Norma Técnica de la Ley 20.571.

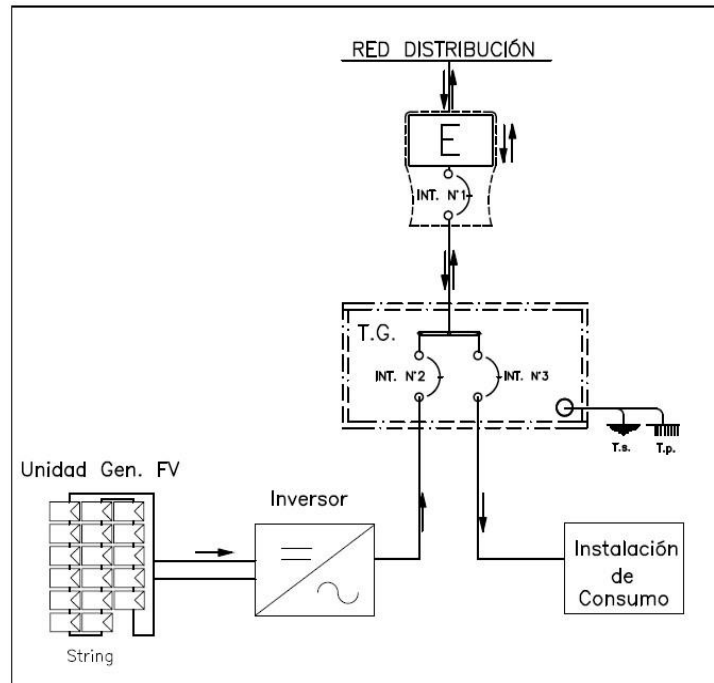


FIGURA 33: ESQUEMA DE CONEXIÓN INVERSOR ON GRID (FUENTE: MINENERGIA)

## MÓDULO N° 6: Diseño básico para SFV

### Etapas de pre diseño autónomo

A continuación se mencionan una serie de etapas que se deben considerar para el prediseño de un SFV:

- Conocer la **demanda y consumo de energía eléctrica en kWh** que se quiere compensar.
- **Dimensionado de baterías, voltaje del sistema y capacidad de baterías** que se requieren, tomando en cuenta las diferentes variables que implica la selección de las baterías.
- **Diseño del sistema de generación FV**, potencia nominal según inclinación (latitud), azimut (= 0, porque corresponde a un módulo orientado al norte geográfico).
- Dimensionado de otros componentes, tales como: **controlador de carga; inversor de corriente y voltaje; protecciones.**
- **Estimación de costos.** Permite saber el período de retorno de la energía generada.
- Se repiten los pasos anteriores, con el fin de llegar a una **optimización del sistema.**

Se debe tener en cuenta si va a ser un sistema **autónomo** o **conectado a la red (on grid)**. En el caso del primero, se requiere de un sistema de acumulación de energía; en tanto, un sistema on grid implica no necesariamente la utilización de batería.

La gran diferencia entre ambos es que **un sistema autónomo es más complejo de diseñar**, ya que el diseño y dimensionamiento del banco de baterías requiere de un conocimiento más técnico para elegir la batería indicada. En cambio, con **el sistema on grid, básicamente todo lo que el sistema genere lo va a inyectar a la red**, por tanto, se puede simular el comportamiento de generación durante un día y el resto del año.

### Criterios para el diseño de un SFV Autónomo:

- **Realice un plan de eficiencia energética** y la implementación de medidas de eficiencia energética para reducir al mínimo el consumo requerido
- **No integre generadores de calor eléctricos** tales como hervidores, microondas, hornos eléctricos, etcétera. Esto se debe a que estos artefactos consumen un alto nivel de energía y potencia.
- Estas medidas conducirán a la reducción de los costos de inversión y operación directamente.

## Dimensionado de baterías, voltaje del sistema y capacidad de baterías

La capacidad de un banco de baterías **se dimensiona en función de la energía consumida diariamente o que se requiere debido a las** cargas eléctricas del usuario. Seguido se define los días de autonomía que se tendrá del sistema de acumulación considerando bajos niveles de energía solar. Además se considera la profundidad de descarga que se le quiere dar a las baterías.

En un SFV la autonomía del banco de baterías es el número de días que funcionarían las cargas eléctricas con cero carga de energía solar. Por tanto es un criterio de costo, debido a que dos días de autonomía implica el doble de acumulación.

### Cálculo de baterías

- Para realizar el cálculo, primero se debe conocer la energía necesaria por el usuario, es decir la demanda energética diaria.
- El siguiente dato son los días de autonomía que se tendrá en caso de ausencia de radiación solar.
- Por ultimo determinar la profundidad de descarga de las baterías, es decir el porcentaje máximo de utilización de la batería, que para este caso será de un 50%.

Con la información, se procede al cálculo:

Según ecuación:

$$\frac{480 \text{ Wh}}{12 \text{ Volts}} = 40 \text{ Ah (Demanda energía día)}$$

En el ejemplo anterior se divide la demanda energética de 480 Wh por la tensión del sistema que está determinado por la tensión de las baterías, es decir 12 Volts, lo que da como resultado 40 Ah que es la cantidad de energía en Ah.

Luego se incorporan la autonomía y la profundidad de descarga:

$$\frac{40\text{Ah} * 2,5 \text{ dias}}{0,5 \text{ (descarga)}} = 200 \text{ Ah día}$$

En el ejemplo anterior se multiplica la capacidad de acumulación por los días de autonomía. Para el ejemplo se consideraran 2,5 días, y luego se divide en la profundidad de descarga de la batería al 50%, el que se expresa en número decimal es decir 0,5. El resultado es de 200 Ah de acumulación

del banco de baterías, que corresponde a dos baterías de 100 Ah conectadas en paralelo para tener 12V.

El criterio para seleccionar la capacidad de acumulación es un tema netamente económico.

Una vez definido el banco de baterías, la acumulación y el número de baterías, el paso siguiente es **pre diseñar el sistema de generación fotovoltaica.**

### Pre diseño arreglo fotovoltaico

Aquí se definen las hipótesis preliminares de acuerdo a:

- Ubicado: ciudad de Valparaíso.
- Inclinación del sistema de captación: 35°
- Orientación: Azimut 0°, Norte geográfico.

Para pre diseñar el SFV, ya se debe tener seleccionado el módulo con sus características eléctricas y la potencia nominal que se requiere. A modo de ejemplo, se utilizará un módulo de 145 W.

También se debe tener los datos de energía solar de la zona para la localidad donde se proyectará la instalación FV. Lo datos deberán ser corregidos de acuerdo a la inclinación y orientación del sistemas de captación FV.

TABLA 4: INFORMACIÓN DE ENERGÍA SOLAR CORREGIDA

MES	Irradiación Mes kWh/m <sup>2</sup>	Tº Ambiente °C	Tº Agua Red °C	Días mes	F <sub>d</sub> (33° - 0° - 35°)	Irradiación Día kWh/m <sup>2</sup> día	Irradiación Día kWh/m <sup>2</sup> día (C)
Enero	193,0	22,2	19,1	31	0,9	6,23	5,60
Febrero	151,2	20,1	18,1	28	0,99	5,40	5,35
Marzo	133,2	20,1	18,1	31	1,15	4,30	4,94
Abril	88,7	16,1	16,1	30	1,35	2,96	3,99
Mayo	60,9	12,2	14,1	31	1,54	1,96	3,02
Junio	48,0	10,2	13,1	30	1,65	1,60	2,64
Julio	56,8	9,2	12,6	31	1,6	1,83	2,93
Agosto	79,0	11,2	13,6	31	1,42	2,55	3,62
Septiembre	106,1	13,2	14,6	30	1,2	3,54	4,24
Octubre	145,8	16,2	16,1	31	1,03	4,70	4,84
Noviembre	174,4	19,1	17,6	30	0,91	5,81	5,29
Diciembre	194,2	23,0	19,5	31	0,87	6,27	5,45

Promedio	119,3	16,1	16,1	30,4		<b>3,93</b>	<b>4,33</b>
----------	-------	------	------	------	--	-------------	-------------

Luego se procede al cálculo utilizando la siguiente metodología y fórmulas:

$$Potencia\ FV = \frac{Demanda\ Energética}{Energía\ Solar\ x\ F_c\ x\ Pérdidas}$$

$F_c$  corresponde a la corrección de la potencia de generación del módulo FV de acuerdo a la temperatura de funcionamiento y al factor de corrección entregado por el fabricante del módulo. La corrección se realiza utilizando la temperatura ambiental media mensual. Para el caso del ejemplo se tomará sólo un mes, pero se recomienda simular para todos los meses del año.

$$Variación\ en\ ^\circ C = [(T_{Ambiente} + 28^\circ C) - 25^\circ C]$$

28°C corresponde al aumento en la temperatura de funcionamiento de la celda y los 25°C corresponden a los parámetros de testeado del módulo. Luego dicho resultado que será en °C, se multiplican por el coeficiente de reducción de potencia del módulo, siendo para el ejemplo -0,44 %/°C, de pérdida de potencia.

$$F_c = Variación\ ^\circ C\ x\ -0,44\ \%/^\circ C$$

Siendo:

$$F_c = 0,88$$

Las pérdidas corresponde a las relacionadas con: conductores (0,9), inversor (0,8) y acoplamiento de módulos (0,94). Por lo tanto el cálculo queda en:

$$Potencia\ FV = \frac{1605}{4160\ x\ 0,88\ x\ 0,9\ x\ 0,8\ x\ 0,95}$$

$$Potencia\ FV = 614\ W \approx 4\ módulos\ de\ 145Wp$$

El lugar de instalación de los módulos debe estar predefinido. Para el ejemplo, se utilizó la energía solar de 4,16 kWh/día. Para afinar los cálculos se debe realizar otras simulaciones dependiendo del tipo de uso de la energía por el usuario, dependiendo de la época del año. En el caso que se quiere utilizar todo el año energía solar, se tiene que utilizar la energía solar del mes con menor más desfavorable.

Se recomienda ayudarse de un excel de cálculo para poder tomar una decisión con mayor análisis de los parámetros, considerando otros meses.

### Dimensionado del conductor

Se necesitan los siguientes datos, ordenados en la fórmula:

$$A_{mm^2} = \frac{L(m) \cdot P(W)}{3\% \cdot U(V)^2 \cdot K \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}}$$

En donde

- A=Área del conductor.
- L= Largo del conductor
- P= potencia del generador FV.
- U= voltaje de trabajo.
- K= conductividad eléctrica cobre Caída de tensión admisible 3%.

### Selección del inversor

Se debe seleccionar de acuerdo a las siguientes variables:

- De acuerdo al voltaje de corriente continua, que puede ser 12V o 24V - Inversor no sincrónico, para sistemas autónomos.
- Onda sinusoidal pura.
- Potencia de salida debe ser la potencia máxima requerida tomando en cuenta los consumos. Por ejemplo, si un inversor tiene una salida de 1200W, significa que la suma de todos los artefactos que están encendidos no debe superar dicha potencia.
- Peak de 5000W.

### Protecciones

El sistema debe estar equipado con protecciones tanto el lado de CC y CA con cortacorrientes para la aislación de los diferentes componentes; fusibles en caso de sobretensión y corriente; y tierras de servicio y protección.

- Por el lado de corriente continua, entre los módulos y el controlador se deben colocar cortacorrientes o fusibles de conexión y desconexión en caso de corto circuito.

- Entre el controlador y las baterías, se deben colocar fusibles de protección.
- Entre las baterías e inversor se debe instalar fusible para proteger el inversor frente a sobre corriente de entrada.
- Entre el **inversor y las cargas de corriente alterna** se deben instalar **cortacorrientes de protección** para aislar cada uno de los componentes en caso de mantención o reparación, además de un contactor diferencial para posibles fugas de corriente.
- Se debe colocar **tierra de protección** en: marco metálico de módulos FV, la estructura soportante, la estructuras de anclaje y en las carcasas de los diferentes componentes. El propósito es realizar descargas a tierra en caso que los sistemas estén electrificados.
- Deben existir las distancias y espacios adecuados de los componentes según especificaciones del fabricante, para que no se produzca sobre temperatura al interior de los tableros. Los tableros deben estar ventilados, para refrigerar –por ventilación- los diferentes componentes.

### **Criterios pre diseño sistemas FV On Grid**

Se deberá considerar en el pre diseño de sistemas FV on grid los siguientes criterios:

- **Compensación por autoconsumo:** las cargas que se quieren compensar; sólo iluminación; cargas día, o sólo un porcentaje del consumo.
- Disponibilidad de recursos: tengo una cierta cantidad de recurso, cuanto será el sistema que se puede instalar y cuanto será el aporte de energía para autoconsumo.
- **Limitaciones:** no se pueden diseñar sistemas tan grandes con potencias elevadas. Se deberá según NT Ley: 20.571 solicitar la información técnica a la empresa distribuidora. Sin embargo para inyección de excedentes conforme la Ley anterior, se pueden instalar sistemas FV con potencia menor o igual a 100 kWp.
- **Análisis energético:** se debe realizar una simulación de la generación FV día, mes y año para conocer la energía generada, la energía FV auto consumida y posible inyección de excedentes.
- **Análisis económico;** analizar lo que se inyecta a la red (excedentes) y simular lo que se va a consumir con la energía solar FV, calculando que si, por ejemplo, un kWh



consumido de la red tiene un valor de \$140, el kWh que se inyecte a la red va a tener un 50% de ese valor. El costo junto a la simulación de autoconsumo e inyección de excedentes, puedes ayudar a conocer el periodo de retorno de la inversión a realizar.

### **Etapas de diseño on grid**

Son más simples que los autónomos, porque se elimina el sistemas de acumulación en batería, reduciendo considerablemente el costo inicial del sistemas en torno al 30%. Muy similar a los criterios, las etapas serían:

- Análisis de la demanda y consumo eléctrico del usuario.
- Definir la energía de autoconsumo.
- Analizar el emplazamiento de la instalación: energía solar, sombras, superficie disponible y la inclinación y orientación del arreglo FV.
- Definir las tecnologías FV: características eléctricas y técnicas del módulo FV.
- Definir el inversor.
- Realizar los cálculos para un día y luego simular para todos los meses.

### **Metodología**

Es muy similar a la del sistema autónomo. Se puede definir lo que se va a compensar en un día, se divide por la radiación global, posteriormente se corrige la temperatura y se descuentan las pérdidas (revisar cálculos en sistemas autónomos).

### **Potencia FV necesaria**

La potencia FV instalada necesaria tomando en cuenta sólo el 50% de demanda diaria de energía eléctrica y, la energía solar disponible en invierno, será:

$$Potencia\ FV = \frac{6000W \times 0,5}{2000Wh \times 0,88 \times 0,95 \times 0,94} = 1900W$$

Si se toma en cuenta la energía solar disponible en verano, la potencia FV disminuye debido a que existe mayor recurso solar, por tanto la potencia FV será:

$$Potencia\ FV = \frac{6000W \times 0,5}{6300Wh \times 0,88 \times 0,95 \times 0,94} = 600W$$

Con los cálculos anteriores, se demuestra que es necesario definir diferentes escenarios de potencia FV instalada y realizar simulaciones para conocer la generación en los diferentes meses del año. Luego se compara con los perfiles de consumo de energía eléctrica mensual y, por sobre

todo se debe comparar la generación FV diaria junto al perfil de demanda diaria para saber la energía auto consumida durante el día y si existe una mayor generación FV que implique inyección de excedentes a la red de la empresa distribuidora.

### **Selección de módulos**

A modo de ejemplo, elegiremos un módulo modelo Hareon Solar de 230 Wp.

La operación sería la siguiente para el mes de invierno:

$$Potencia\ FV = \frac{1900W}{230W} \approx 8\ módulos\ FV\ de\ 230W$$

En cambio para el cálculo de verano:

$$Potencia\ FV = \frac{600W}{230W} \approx 3\ módulos\ FV\ de\ 230W$$

Para tener un máximo de aprovechamiento anual, la inclinación del módulo debe ser igual a la latitud del lugar con más menos 5° de tolerancia. Definiendo la inclinación según la ubicación de la instalación y el perfil anual de consumo eléctrico del usuario, se debe corregir la información de energía solar según el plano del sistema de captación.

Dado que la mayoría de los sistemas se instalan en techumbres, las que no necesariamente están orientadas al norte geográfico. Si se quiere utilizar el techo y no invertir en estructuras más complejas de fabricar, se puede realizar una simulación de cuánto es lo que el sistema va perder debido a que no está en una orientación o inclinación idónea.

### **Selección del inversor**

Para aprovechar al máximo las características eléctricas del inversor, principalmente la potencia nominal, se debe elegir uno que tenga una potencia menor en un 10% a la potencia FV instalada. También es importante conocer si el inversor es de tipo galvo o electrónico. Hoy en el comercio existen ambas tecnologías, siendo las más eficientes y económica los inversores electrónicos. Los inversores galvo, se utilizar para todas las tecnologías FV, no así los electrónicos.

En el arreglo FV, se debe cuidar que el voltaje de entrada al inversor se encuentre entre las tensiones MPPT del inversor, para asegurar una mayor generación de electricidad mediante esa tecnología.

El arreglo FV, también debe cuidar la corriente máxima de entrada del inversor, para no producir problemas eléctricos.

Se recomienda conocer los parámetros eléctricos de la red a la que se conectará el inversor.

En resume:

- Conocer e **interpretar las fichas técnicas del inversor.**
- Conocer cuáles son los voltajes de entrada máximos.
- Conocer cuál es la corriente máxima de entrada al inversor.
- Conocer cuáles son los voltajes donde el sistema produce MPPT.
- Rangos de salida del voltaje en CA.
- Potencia de salida nominal.
- Intensidad máxima de salida.
- Factor de potencia de los inversores.
- Instalación de protecciones entre el arreglo FV e inversor.
- Instalación de protecciones entre inversor y cargas CA.

## MÓDULO N° 7: Evaluación y requerimientos técnicos

La idea de este módulo es poder evaluar si un proyecto cumple con los requerimientos mínimos para poder calificar en todas las etapas y parte técnica. También la idea es poder evaluar in situ una instalación, ya sea en vías de construcción o ya instalada.

### Criterios técnicos

El tipo de tecnología solar FV que se utilice al momento de hacer un diseño va a depender exclusivamente del costo beneficio que implique su utilización. Acá mejores rendimientos de conversión implica mayor generación eléctrica.

En este sentido el propósito de un SFV es aprovechar al máximo la inversión mediante mayor generación eléctrica, elevando con ello el factor de planta de la instalación. Esto se logra realizando un buen diseño e instalación es sus diferentes etapas, que se han ido resaltando en el presente documento.

En todas las etapas de un proyecto FV, se necesitan criterios y fundamentos técnicos. Es importante que se realicen y discutan simulaciones de funcionamiento y el aporte de energía del sistema para los diferentes meses del año, y no que los proyectos integren sólo descripción técnica de los componentes.

Toda la información gráfica posible permitirá conocer y estimar adecuadamente el funcionamiento del SFV

Existen diferentes etapas que indican la cadena de valor de un proyecto FV:

- **Diagnóstico energético.** Conocer al usuario, cómo es la evaluación y distribución del consumo de energía en diferentes períodos (día, mes año). Esta etapa es esencial para analizar, hacer el diseño y estimar aspectos financieros de la instalación.
- **Análisis del recurso.** Para efectos de diseño, se pueden tomar tres fuentes de datos de información para reducir la incertidumbre del sistema de captación: corregir la información de acuerdo a la inclinación del sistema; análisis solar del emplazamiento para conocer las sombras; hacer un acápite independiente de la información solar y del emplazamiento del sistema.
- **Revisión del espacio disponible existente y futuro:** para efectos de instalación de sistemas de captación solar, se deberá evaluar la superficie disponible en donde se instalará el

sistema. Con ello se definirá algunos parámetros de instalación como es la inclinación y el tipo de estructura a utilizar.

- **Diseño básico – detalle.** Se toman en cuenta el tipo de usuario y por sobre todo las características técnicas de los componentes, sobre todo la tecnología FV. Se debe interpretar la información dada por el fabricante. Esta etapa incluye estimaciones de captación FV, superficie, conexionado de módulos, inversor, controladores y acumulación en batería en caso que existan.
- **Proyecto técnico.** Se debe explicitar cuál es la metodología de diseño algo más avanzado para los diferentes tipos de componentes de manera más detallada. Se debe entregar la información técnica de cada uno de los componentes que se utilizará en la instalación, incluyendo información y fichas técnicas de los fabricantes.
- **Diseño de la instalación.** Se realiza con la ayuda de un software de diseño 2D y 3D, para proyectar los equipos y los componentes de la instalación. La idea es no improvisar y conocer de forma preliminar como quedará la instalación.
- **Planificación.** Coordinación de la logística y planificación de la instalación en terreno.
- **Instalación.** Ejecución del proyecto, sumado a la parte técnica y logística.
- **Monitoreo.** Se debe monitorear y verificar de acuerdo al proyecto técnico las variables y parámetros técnicos de la instalación: irradiación e irradiancia solar, temperaturas de celda, viento, tensión y corriente en CC y CA.
- **Mantenimiento y seguimiento.** Debe diseñarse un plan preventivo y correctivo, donde se le haga seguimiento a la parte energética de la instalación, para conocer si las estimaciones realizadas están conforme a lo que se está produciendo de forma real. Esta etapa es de suma importancia para ganar experiencia y hacer transferencia técnica de este tipo de instalaciones.

Al momento de conocer y diagnosticar energéticamente al usuario **se deben elegir estrategias para minimizar el uso o hacer un uso más eficiente de la energía.** Se debe optimizar el suministro, y calcular cuál es la ganancia con respecto a otros tipos de combustibles. Con esto, ya se puede hacer un diseño final para otorgar confort térmico al usuario.

Los **requerimientos** para que un proyecto sea exitoso se basan en conocer los siguientes detalles:

- Conocer la demanda energética a través de un análisis.
- Dimensionado de la superficie captadora.

- Conexión de colectores y diseño hidráulico de la etapa de captación. Se requiere que el proyectista o el encargado entregue un diagrama de conexión de los colectores.
- Dimensionado de otros componentes: bombas; intercambiador de calor; vaso de expansión y otros elementos necesarios. Se debe tener un diagrama de conexión de los diferentes componentes, además de las fichas técnicas de cada sistema.
- Estimar los costos

### **Recomendaciones y criterios**

- Realice un plan de eficiencia energética a nivel de consumos.
- Aislación del sistema hidráulico convencional.
- Esto conducirá a la reducción de los costos de inversión y operación directamente.

### **Chequeo General.**

Se debe asegurar la existencia de los siguientes puntos e información a nivel de proyecto:

#### *Chequeo del proyecto.*

- Diagnóstico y evaluación de la demanda energética a cubrir o a compensar, para saber cuál será el período de retorno de la inversión.
- Diagnóstico y evaluación de del recurso solar (tablas, datos, gráficas).
- Diagnóstico y evaluación del emplazamiento (pérdidas permanentes, parciales, espacio adecuado, etcétera).
- Criterio de elección de los módulos FV (justificar por qué se selecciona un módulo monocristalino, policristalino, u otro).
- Configuración y conexión de módulos (en serie, en paralelo, corrientes, voltaje).
- Simulación del funcionamiento del sistema generador FV (día, mes y año).
- Metodología de cálculo.
- Selección de los componentes (controladores, inversores sistemas de inversión, baterías). Especificar la metodología de cálculo utilizada.
- Simulación de generación energética del sistema FV.
- Tablas, gráficos uso de software, diagramas.

- Fichas técnicas y certificaciones de todos los componentes<sup>2</sup>. Chequeo de ensayo y protocolos de ensayo.
- Garantías. Debe ser dada por la empresa proveedora, no sólo por el fabricante.

#### *Chequeo de una instalación fotovoltaica en terreno*

- Estructura soportante: tipo de estructura (metálica, aluminio u otra), inclinada, anclaje en el suelo, etcétera.
- Materiales estructura y estado: corrosión, anclajes, aspecto visual.
- Módulos: sistema de anclaje, configuración (serie-paralelo).
- Configuración y conexionado.
- Conectores entre módulos.
- Conductor CC (corriente continua).
- Canalización existente en el cableado solar.
- Presencia de polvo y suciedad de sistema captador.
- Existencia de puestas a tierra de los módulos y estructura.
- Verificación de elementos respecto del proyecto inicial. □ Termografía de sistema generador y componentes.

#### *Chequeo de componentes*

- Instalación de componentes: espacio adecuado entre ellos, en lugar acondicionado, o según norma IP.
- Chequeo etiquetas de especificaciones técnicas componentes.
- Verificación respecto al proyecto inicial.
- Estado de las conexiones.
- Conductores CC y CA (corriente continua y corriente alterna).
- Etiquetado y señalización de los diferentes componentes.
- Diagrama de conexionado in situ.
- Fichas técnicas y manuales a la vista y a disposición del chequeo.

#### *Chequeo de elementos eléctricos:*

- Tipo y especificaciones del conductor en cada tramo: entre módulos, módulos – corta corrientes, cortacorrientes sistema de regulación, etc.

---

<sup>2</sup> En Chile, de acuerdo a la Ley N°20.571 (Net Billing), los módulos y los inversores deben estar certificados ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) para poder tramitar una conexión de un sistema FV.

- Verificación elementos de protección: que funcionen los cortacorrientes, automáticos, fusibles, puestas a tierras.
- Variables eléctricas de trabajo (voltaje y amperaje máximo).
- Sistemas de almacenaje de los elementos: existencia de gabinetes, cajas.
- Sistema de monitoreo: qué se mide, registra y cómo se analizan los datos.
- Diagramas, especificaciones técnicas, señalética y manuales a la vista y a disposición de quienes realizarán las mantenciones.

#### *Chequeo de seguridad*

- Señalética adecuada: sobre tensión, sistema de corte, peligro, canalizaciones subterráneas, etc.
- Seguridad de los trabajadores.
- Plan de evacuación.
- Plan de emergencia.
- Procedimiento en caso de accidentes.
- Vestimenta trabajadores.
- Vestimenta visita

#### *Cuidados de una instalación FV*

- Monitoreo visual de los módulos FV.
- Limpieza de polvo excremento de aves.
- Revisión de conectores entre módulos.
- Revisión de estructura de anclaje de módulos.
- Monitoreo de la tensión de salida y corriente de los string y general □ Verificación de conexiones en los diferentes componentes.
- Verificación de funcionamiento de los componentes de protección.
- Verificación de voltaje de entrada y salida para los componentes.
- Monitoreo de temperatura de los componentes.
- Monitoreo de temperatura de los conductores.
- Termografía en módulos FV para conocer la presencia de puntos de calor.

### **Recomendaciones generales**

La instalación de sistemas FV con inyección de excedentes a red de distribución, debe realizarse mediante los siguientes instrumentos reglamentarios y normativos nacionales:



- D.S. N°71 Reglamento de la Ley N° 20.571 que regula el pago de tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.  
<http://www.minenergia.cl/ley20571/wpcontent/uploads/2015/03/Ley20.571.pdf>
- Norma técnica Norma técnica de conexión y operación de equipamiento de generación en baja tensión, emitida por la Comisión Nacional de Energía y Reconstrucción, sus modificaciones o disposición que lo reemplace.  
[http://www.minenergia.cl/ley20571/wpcontent/uploads/2015/03/NormaTecnicaConexionOperacionEquipamientoGeneracion\\_BajaTension.pdf](http://www.minenergia.cl/ley20571/wpcontent/uploads/2015/03/NormaTecnicaConexionOperacionEquipamientoGeneracion_BajaTension.pdf)
- Instructivo técnico N° 02/2014: diseño y ejecución de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. <http://www.minenergia.cl/ley20571/wp-content/uploads/2015/03/InstruccionTecDisEjecucionInstalacionesFotovoltaicasConectadasRed.pdf>
- NCh Elec. 4/2003: Instalaciones de Consumo en Baja Tensión, declarada Norma Chilena Oficial de la República mediante Decreto Supremo N° 115, de 2004, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, sus modificaciones o disposición que lo reemplace.

Otras referencias normativas internacionales aplicables:

- IEC 60269-6:2010 Low-voltage fuses - Part 6: Supplementary requirements for fuse-links for the protection of solar photovoltaic energy systems.
- IEC 60364-4-41:2005 Low-voltage electrical installations - Part 4-41: Protection for safety - Protection against electric shock.
- IEC 60364-5-53:2002 Electrical installations of buildings - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Isolation, switching and control.
- IEC 60364-6:2006 Low-voltage electrical installations - Part 6: Verification.
- IEC 60364-7-712:2002 Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic (PV) power supply systems. □ IEC 60529:2013 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- IEC/TR 60755:2008 General requirements for residual current operated protective devices.
- IEC 60947-2:2013 Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers.
- IEC 60947-3:2012 Low-voltage switchgear and controlgear - Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units.
- IEC 60998-1:2002 Connecting devices for low-voltage circuits for household and similar purposes - Part 1: General requirements.
- IEC 61439-1:2011 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies - Part 1: General rules.
- IEC 61557-8:2007 Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems.

- IEC 61643-11:2011 Low-voltage surge protective devices - Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and test methods.
- IEC 61936-1:2014 Power installations exceeding 1 kV a.c. - Part 1: Common rules.
- IEC 62020:2003 Electrical accessories - Residual current monitors for household and similar uses (RCMs)
- IEC 62109-1:2010 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 1: General requirements.
- IEC 62109-2:2011 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters.
- IEC 62116:2014 Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of islanding prevention measures.
- IEC 62305-2:2010 Protection against lightning - Part 2: Risk management.
- IEC 62446:2009 Grid connected photovoltaic systems - Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection.
- IEC/TS 62548:2013 Photovoltaic (PV) arrays - Design requirement.
- UNE-EN 50272-2:2002 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias.
- TÜV 2 pfg 1169/08.2007 Requirements for cables for use in photovoltaic-systems.
- IEEE Std. 81 Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System.

## Referencias

*“Manual de instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos y en red”*. Curso para instaladores FV, DIE U. de Chile – R. Valdovinos, R. Román [2015].

*“Manual de diseño básico e instalaciones de sistemas fotovoltaicos autónomos para viviendas rurales”*. CFT IDMA, memoria de título. R. Valdovinos, J. Espinoza [2015].

*“Metodología de cálculo para bombeo solar fotovoltaico”*. División de fomento INDAP – R. Valdovinos [2015].

*“Norma técnica Norma técnica de conexión y operación de equipamiento de generación en baja tensión”*. [http://www.minenergia.cl/ley20571/wp-content/uploads/2015/03/NormaTecnicaConexionOperacionEquipamientoGeneracion\\_BajaTension.pdf](http://www.minenergia.cl/ley20571/wp-content/uploads/2015/03/NormaTecnicaConexionOperacionEquipamientoGeneracion_BajaTension.pdf)

## Glosario

### Parámetros Ambientales

**Energía solar:** Es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable, limpia y sustentable.

**Espectro Electromagnético:** distribución energética por longitud ondas, energía y frecuencia del conjunto de las ondas electromagnéticas.

**Irradiancia solar:** potencia radiativa de la radiación solar por unidad de superficie.

**Irradiación solar:** integración de la irradiancia solar en un periodo de tiempo (hora, día, mes, año) por unidad de superficie.

**Longitud de onda:** distancia de una onda presente en el espectro electromagnético medida entre puntos de igual fase. Su unidad de medida es generalmente en  $\mu$  (micrones) o nm (nanómetros).

**Onda electromagnética:** forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio no necesitando un medio físico de propagación.

**Piranómetro:** instrumento para mediar la irradiancia global e irradiancia solar difusa.

**Pirheliómetro:** instrumento para medir irradiancia solar directa.

**Radiación Solar:** es la potencia radiativa procedente del Sol en forma de ondas electromagnética también denominada irradiancia solar.

**Radiación Solar Directa:** potencia radiativa de la radiación solar por unidad de área, que sin haber sufrido modificación en su trayectoria.

**Radiación solar difusa:** potencia radiativa de la radiación solar por unidad de área, procedente de la dispersión de la radiación solar directa producida en la atmósfera, por moléculas de aire, partículas sólidas, vapor de agua en suspensión, etc., que incide sobre una superficie.

**Radiación solar reflejada:** potencia radiativa de las superficies terrestres naturales o artificiales por unidad de área, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie. La reflexión dependerá del tipo de cubiertas.

**Radiación solar global:** es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada.

## Instalación

**Anti-isla:** uso de relés o controles para protección contra funcionamiento de isla.

**Arreglo:** subconjunto de módulos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo, con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

**CA:** corriente Alterna

**Caja de conexiones de string o junction box o tablero CC:** caja en la que se conectan eléctricamente los strings entre sí.

**Carga eléctrica:** dispositivo consumidor de energía eléctrica a una tensión determinada.

**CC:** corriente continua.

**Celda solar o fotovoltaica:** dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

**Conductor:** hilo metálico, de cobre o cobre estañado de sección transversal frecuentemente cilíndrico o rectangular, destinado a conducir corriente eléctrica. De acuerdo a su forma constructiva podrá ser designado como alambre, si se trata de una sección circular sólida única, barra si se trata de una sección rectangular o conductor cableado si la sección resultante está formada por varios alambres iguales de sección menor.

**Consumo energético:** gasto total de energía en un proceso determinado y en un periodo de tiempo determinado.

**Consumo electricidad:** energía eléctrica consumida en un periodo de tiempo (hora, día, mes, semana o año), la unidad de medida en el kilowatts hora en un periodo de tiempo (kWh/día, kWh/mes, kWh/año).

**Corriente de cortocircuito en condiciones de ensayo normalizadas  $I_{sc}$  (STC):** corriente en cortocircuito de un módulo, de un string, de un grupo o de un generador fotovoltaico.

**Corriente eléctrica: (intensidad eléctrica):** variable eléctrica que mide el flujo de las cargas eléctricas por unidad de tiempo. La unidad de medida es el amperio o amperes A. La corriente eléctrica se puede medir con un amperímetro de tenazas.

**Demanda eléctrica:** potencia eléctrica de consumo medida en Watts [W].

**Demanda eléctrica instalada:** suma de las potencias eléctricas de todos los equipos consumidores de energía eléctrica, media en Watts [W].

**Demanda eléctrica máxima:** potencia eléctrica medida en Watts [W], correspondiente a mediciones realizadas.

**Diodo de bloqueo:** es un diodo utilizado para impedir el flujo inverso de corriente hacia la fuente del circuito fotovoltaico.

**Electricidad:** propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes, originada por la existencia de electrones, con carga negativa, o protones, con carga positiva.

**Empalme:** conjunto de elementos y equipos eléctricos que conectan el medidor del sistema del cliente, a la red de suministro de energía eléctrica.

**Empresa(s) Distribuidora(s):** concesionario(s) de servicio público de distribución de electricidad.

**Energía eléctrica:** es la potencia eléctrica producida, transmitida o consumida en un período de tiempo.

**Factor de Consumo:** es un valor porcentual que se le asigna al equipo según su consumo, el cual es variable. Esto se debe a que, si bien el equipo está conectado a la electricidad, no está en todo momento e uso el 100% del tiempo y solo trabaja cuando es requerido.

**Factor de potencia:** se define factor de potencia de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa  $P$  y la potencia aparente  $S$ . Da una medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa. Por ello los dispositivos con factor de potencia igual a 1 (f.d.p=1) son cargas puramente resistivas; y el dispositivos inductivos y capacitivos idealmente sería con factor de potencia igual a cero (f.d.p=0). Factores de potencias altos son con  $\text{Cos}\phi=1$ .

**Generación de electricidad:** consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica, luminosa, etc., en energía eléctrica.

**Generador:** es un dispositivo usado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética. Consta de dos partes: rotor y estator.

**Kilowatts:** unidad de potencia eléctrica equivalente a 1.000 watts.

**Kilowatts-hora:** unidad de energía térmica o eléctrica.

**Kilowatts-hora/día:** energía consumida o demandada en un día.

**Unidad de Generación Fotovoltaica (UGF):** unidad generadora capaz de convertir la radiación solar incidente directamente en energía eléctrica en forma de corriente directa. Está constituido por la integración eléctrica y mecánica de los siguientes componentes:

- Módulos fotovoltaicos.
- String.

- Arreglo fotovoltaico.
- Cajas de conexión.
- Cables y conexiones eléctricas.
- Dispositivos de protección.
- Sistema de tierras.
- Estructuras de montaje.

**IEC:** *International Electrotechnical Commission*, Comisión Electrotécnica Internacional.

**Interfaz con la Red:** Interconecta la salida del inversor con las cargas locales de CA del inmueble, y con el sistema eléctrico de distribución. Permite al sistema fotovoltaico operar en paralelo con la red para que la energía pueda fluir en uno u otro sentido entre la red y la interfaz.

**Interruptor general:** dispositivo de seguridad y maniobra que permite separar la instalación fotovoltaica de la red de la empresa distribuidora.

**Inversor:** convertidor de tensión y corriente continua en tensión y corriente alterna.

**Inversor multi string:** inversor diseñado para operar con un conjunto de varios módulos que se conectan en serie (string). Se pueden conectar uno o varios strings, dependiendo del modelo del inversor. El inversor string se caracteriza por la posibilidad de conectar los strings de manera directa, sin caja de conexión intermedia.

**Inversor central:** inversor diseñado para operar con muchos módulos, conectados en serie (string), y muchos strings en paralelo. Para conectar strings en paralelo, generalmente se utiliza una caja de conexión (junction box) que junta los strings para luego realizar la conexión al inversor.

**Línea de transmisión:** conjunto de conductores y accesorios destinados a transmitir la energía eléctrica en alta tensión entre partes de un sistema eléctrico.

**Luminaria incandescente:** es un dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico. En la actualidad, técnicamente son muy ineficientes, en vista de que consumen más energía que un ahorrador.

**Luminaria LED:** dispositivo de iluminación de alta eficiencia, bajo consumo energético y elevada vida útil.

**Microinversor:** inversor diseñado para operar con un solo módulo fotovoltaico. Su entrada es para corriente continua y en su salida exporta corriente alterna. Generalmente se instala debajo del módulo fotovoltaico e incluye todas las protecciones necesarias por el lado CC y CA.

**Panel o Módulo fotovoltaico:** conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

**Potencia de la instalación fotovoltaica:** es la suma de las potencias nominales de los inversores (la especificada por el fabricante).

**Potencia nominal del generador ( $P_{peak}$ ):** suma de las potencias máximas o peak de los módulos fotovoltaicos.

**Protección de Red e Instalación (Protección RI):** protección que actúa sobre el Interruptor de Acoplamiento, cuando al menos un valor de operación de la red de distribución, se encuentra fuera del rango de ajuste de esta protección.

**Punto de conexión a la red de distribución:** es el punto en donde se une la acometida del usuario a la red.

**Reconexión automática (RA):** reconexión del interruptor de potencia controlado por un dispositivo automático.

**Red eléctrica:** está formada por generadores eléctricos, transformadores, líneas de transmisión y líneas de distribución para llevar energía eléctrica a los usuarios de la electricidad.

**Sistema fotovoltaico conectado a la red:** unidad o Conjunto de Unidades de Generación y aquellos componentes necesarios para su funcionamiento, conectados a la red de distribución a través del empalme del usuario o cliente final. Comprende además las protecciones y dispositivos de control necesarios para su operación y control.

**Sistema monofásico:** circuito eléctrico compuesto por un conductor que lleva la corriente eléctrica comúnmente conocido como Fase (rojo), más otros dos conductores eléctricos; un neutro N (blanco) y un conductor de tierra (verde). Los sistemas eléctricos de baja tensión en 220V domiciliarios son monofásicos.

**Sistemas trifásicos:** circuito eléctrico de mediana tensión en 380V que utiliza 3 fases (rojo, negro, azul) más el conductor neutro (blanco) y el conductor a tierra (verde).

**String:** circuito conformado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie.

**Tensión en circuito abierto en condiciones de ensayo normalizadas ( $V_{oc stc}$ ):** tensión en condiciones de ensayo normalizadas, a través de los bornes descargados (abiertos) de un módulo fotovoltaico, de un string, de un grupo fotovoltaicos, de un generador fotovoltaicos o sobre el lado de corriente continua del inversor.

**Tensión de red eléctrica:** variable eléctrica que cuantifica el diferencial de potencial eléctrico entre dos puntos y su unidad de medida es el Volt. La red eléctrica doméstica trabaja con una tensión en torno a los 220V. Por norma la distribuida eléctrica debe entregar en la red una mínima de 180V. La tensión se puede medir con un voltímetro.



**Watts:** es la unidad básica de potencia eléctrica. 1000W son 1 kW.