

1. LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Antecedentes Técnicos: el Efecto Fotoeléctrico, Tipos de Celdas,
Términos importantes



Historia y Origen

- 1838 Descubrimiento del efecto fotovoltaico en el Selenio por el físico francés Henri Becquerel
- 1877 Primera celda FV de Selenio: William Grylls Adams y Richard Evans
- 1905 Albert Einstein entrega una explicación teórica del efecto fotoeléctrico
- 1954 Laboratorios Bell: descubrimiento accidental del efecto del dopado en semiconductores de Silicio. Se inicia la era moderna de la tecnología.
- 1954 – 1960 Aplicaciones en satélites: silicio monocristalino
- 1973 Aplicaciones comerciales. Gran desarrollo tecnológico. Nuevos materiales
- 2016 Potencia instalada mayor a 340 GW



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



El Efecto Fotoeléctrico



Efecto Fotovoltaico: generación directa de un voltaje eléctrico en la celda mediante la absorción de radiación solar



Silicio: en la actualidad, es el material semiconductor más utilizado para la fabricación de celdas fotovoltaicas



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



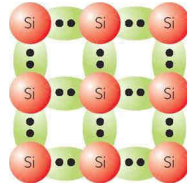
El Atomo de Silicio y Enlaces Covalentes



El enlace covalente es la unión entre átomos al compartir electrones adyacentes creando un equilibrio de fuerzas que mantiene unidos a los átomos.

Los átomos comparten uno o más electrones en un nuevo orbital.

Se unen a través de sus electrones en el último orbital



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

Silicio semiconductor

Activación térmica:

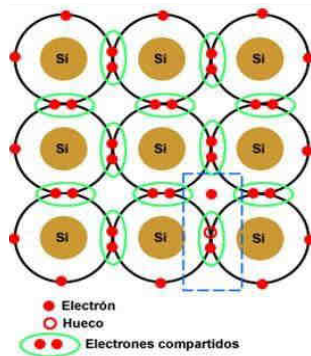
$T = 0 \text{ K}$: conductividad eléctrica = 0

$T > 0 \text{ K}$: conductividad eléctrica > 0

ó:

Activación óptica:

Conductividad eléctrica > 0 , electrones libres

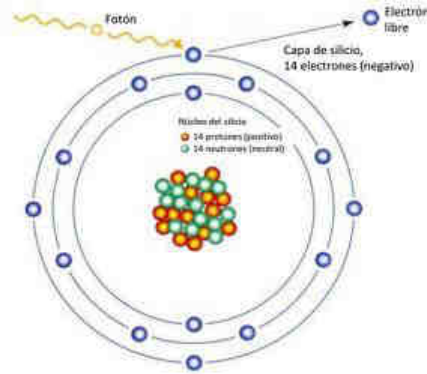


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

El Efecto Fotoeléctrico

1. Un fotón de luz "golpea" un electrón de la capa exterior
2. El electrón al aumentar su energía, escapa de su órbita
3. Este fenómeno no es suficiente, se debe provocar un campo eléctrico, generando un exceso y una falta artificial de electrones por medio de átomos extraños al Silicio (dopaje) P (Fósforo) y B (Boro)

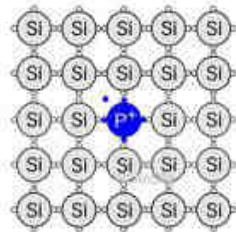
Cuando la luz solar incide en la celda se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica





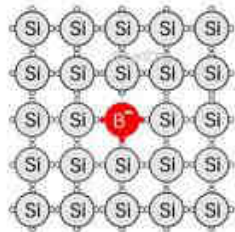
Dopado del Silicio

Dopado con Fósforo



05 valencias
Se aumenta la cantidad de portadores de carga negativa (electrones).
Silicio tipo n

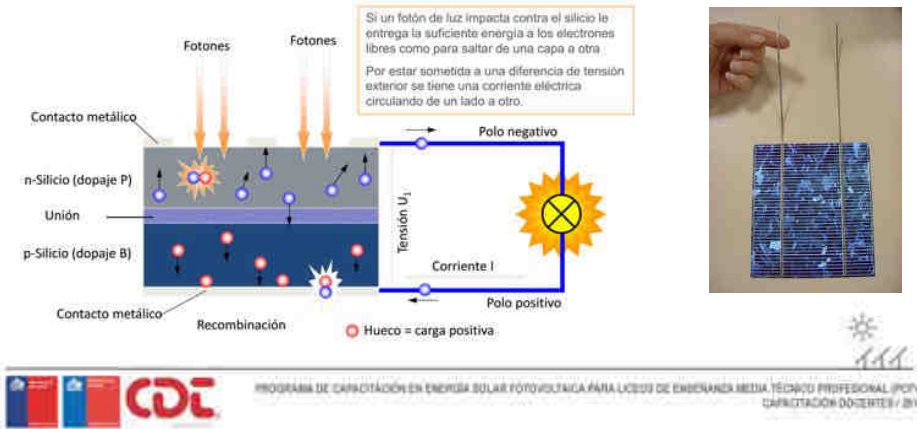
Dopado con Boro



03 valencias
Se aumenta la cantidad de portadores de carga positiva (huecos).
Silicio tipo p



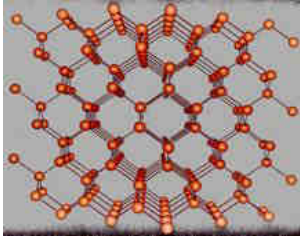
Celdas Fotovoltaicas: configuración y funcionamiento



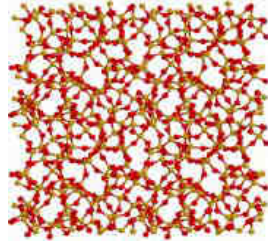
Transformación de la Energía Solar



Tecnologías de Celdas Fotovoltaicas



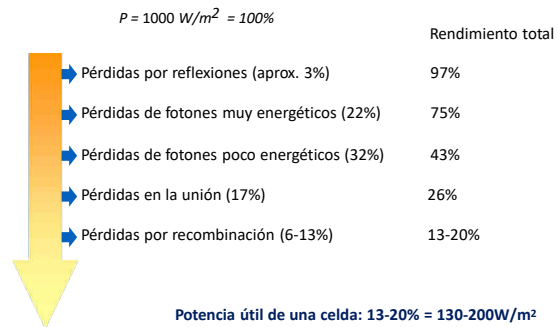
Estructura Cristalina



Estructura Amorfa



Rendimiento de una Celda Fotovoltaica Cristalina



Tipos de Celdas Fotovoltaicas de Silicio

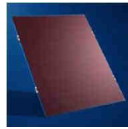
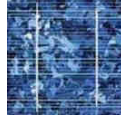


Celda Silicio Monocristalino:

Un solo cristal
Eficiencia del **20 – 21%** (Sunpower)
Proceso de fabricación más largo y caro

Celda Silicio Policristalino:

Varios cristales (fracciones)
Eficiencia hasta **17%** (Yingli)
Más utilizada



Celda Capa Fina:

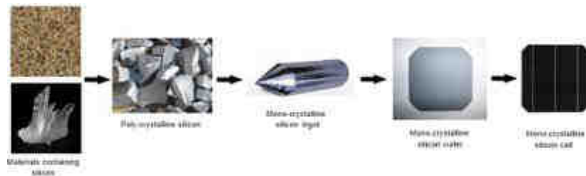
Depósito de una capa fina de silicio sobre vidrio
Eficiencia del **6 -10%** (First Solar)
Diversas tecnologías y aleaciones: CdTe, CIS, CIGS, etc.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



Proceso de Fabricación de Celdas Monocristalinas



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



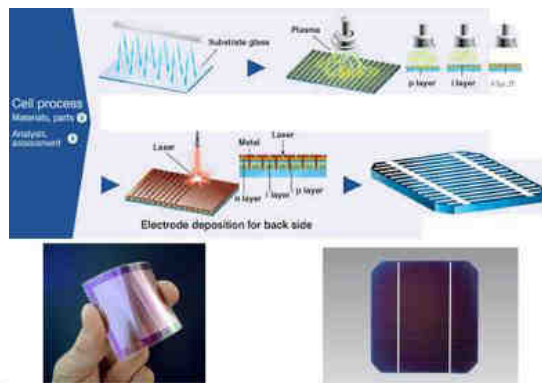
Proceso de Fabricación de Celdas Policristalinas



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POFV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



Proceso de Fabricación de Celdas de Capa Fina



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POFV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



Tipos de Celdas según el material



Principales características de las celdas y módulos fotovoltaicos

- Generan corriente al **exponerse a la luz**.
- No se pueden **apagar o encender**.
- No tienen piezas móviles.
- **No generan** emisiones o ruidos.
- Funcionan a toda escala.



Condiciones Estándar de Prueba (STC)

Standar Test Conditions (STC)

Condiciones de pruebas estandarizadas para poder comprar celdas y módulos

- ✓ Irradiancia
1000 W/m²
- ✓ Temperatura de la Celda
25°C
- ✓ Índice de Masa Aérea (AM)
1,5

La eficiencia de la celda está influida por la temperatura

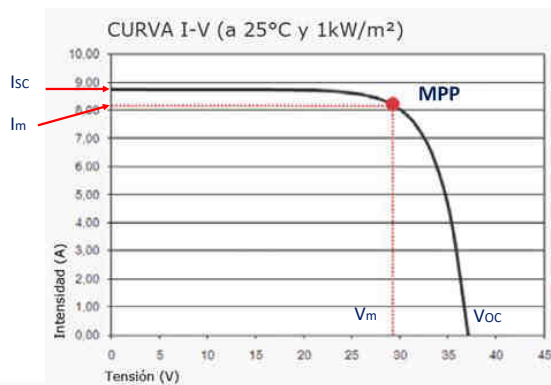
- ✓ **80°C** en verano
- ✓ La potencia baja con el aumento de la temperatura



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



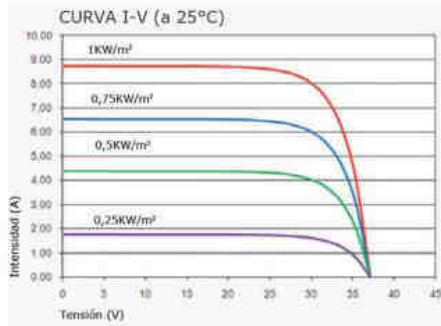
Curva característica de una Celda Fotovoltaica (STC)



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



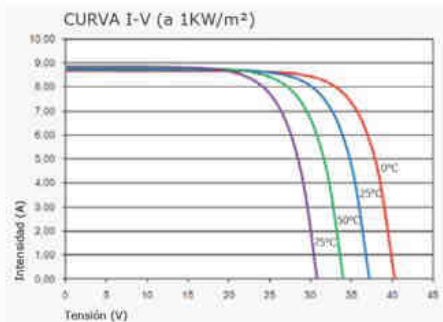
Curva característica de una Celda Fotovoltaica bajo diferentes condiciones de Irradiancia



- La celda se comporta como una fuente de corriente en función de la radiación
- Si la radiación aumenta, la corriente aumenta y la tensión se mantiene constante
- Por lo tanto, la potencia aumenta



Curva característica de una Celda Fotovoltaica bajo diferentes condiciones de Temperatura



- El aumento de temperatura disminuye la tensión
- Si la temperatura aumenta, la tensión disminuye y la corriente se mantiene constante
- Por lo tanto, la potencia disminuye



Términos importantes

- **Irradiancia [W/m²]**
- **Radiación global horizontal [kWh/m²a]**
- **Masa Aérea, AM**
- **STC: Condiciones de ensayo estándar**
- **Potencia [Wp]**
- **Tensión de circuito abierto, UOC [V]**
- **Corriente de corto circuito, ISC [A]**
- **Punto de máxima potencia, MPP**
- **Tensión UMPP y corriente IMPP**
- **Coefficientes de Temperatura**
- **NOCT: temperatura normal de operación de la celda**
- **Intensidad (potencia) de la radiación solar sobre una superficie.**
- **Energía solar que en promedio llega a 1 m² durante un año**
- **La masa de aire que atraviesa la luz para llegar a la tierra y que influye en el espectro de la radiación.**
- **1000W/m², 25°C, AM 1,5**
- **Potencia del módulo FV bajo condiciones STC**
- **Tensión del módulo sin conexión de consumidores**
- **Corriente del módulo cortocircuitado**
- **Punto de trabajo en el cual el producto de tensión y corriente es la máxima potencia que puede generar el módulo en las condiciones dadas.**
- **Los valores eléctricos en el punto de máxima potencia**
- **Indican como se comportan los valores eléctricos a diferentes niveles de temperatura**
- **800W/m², 20°C, velocidad de viento 1m/s**



2. EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Antecedentes Técnicos: Componentes, Parámetros Eléctricos y Térmicos, Configuraciones



APLICACIONES FOTOVOLTAICAS



Conexión On Grid



Bombeo



Sistemas Aislados



MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Produce electricidad de corriente continua.
- Es una fuente de corriente.
- La potencia eléctrica depende de la radiación solar.
- La cantidad de energía eléctrica disponible es limitada.
- Potencia peak.



COMPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

CUBIERTA SUPERIOR:

- Protege de agentes atmosféricos.
- Vidrio templado (excelente transmisión a la radiación solar)..
- Liso para no retener suciedad.

PROTECCIÓN POSTERIOR

- Protege de agentes atmosféricos
- Materiales acrílicos (TEDLAR o EVA), color blanco ↑ el rendimiento;

CAPAS ENCAPSULANTES

- Protege las células frente vibraciones, agua...
- Adhesivo entre las diferentes cubiertas
- EVA o etileno-vinilo-acetato (excelente aislante, nula degradación frente las radiaciones ultravioletas)



COMPOSICIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

MARCO DE SOPORTE:

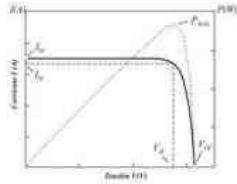
- Robustez mecánica y posibilidad de ubicarlos en estructuras
- Aluminio anodizado
- Provisto con los agujeros (evitar taladrar) y toma a tierra

CONTACTOS ELÉCTRICOS:

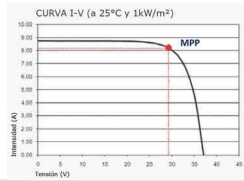
- Una o dos cajas de conexión IP65 con los diodos by-pass
- Salida de conectores + y – con clavijas de conexionado rápido en serie



RELACIÓN CORRIENTE – VOLTAJE DE LA CELDA FOTOVOLTAICA



- Voc: Voltaje Circuito Abierto
- Isc: Corriente de Cortocircuito
- Im: Corriente de máxima potencia
- Vm: Voltaje de máxima potencia
- Pmax: Potencia máxima o peak
- MPP: Punto de máxima potencia



Standard Test Conditions

- Irradiancia: 1000 W/m²
- Temperatura: 25°C
- Índice de Masa Aérea (AM): 1.5



MÓDULO FOTOVOLTAICO: PARÁMETROS ELÉCTRICOS

INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO (Isc):

- Se produce cuando no existe tensión
- Se mide directamente con un amperímetro conectado a la salida de los bornes del módulo
- Corrientes entre 3 y 8 A para 1000 W/m²

TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (Voc):

- Se produce cuando no existe carga conectada
- Se mide directamente con un voltímetro conectado a la salida de los bornes del módulo
- Valor de tensión máxima: 20-30% superior a la tensión peak.

POTENCIA PEAK o MÁXIMA (Pmax):

El máximo que puede suministrar el módulo en condiciones estándar de medida:

Irradiancia: 1000 W/m²
Distribución espectral: AM 1,5 G
Temperatura de la célula: 25°C

Unidad de medida: Wp (Watt peak)



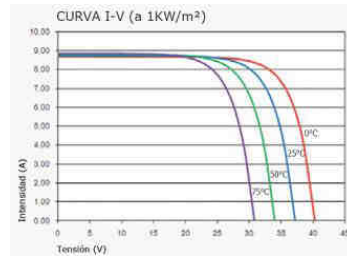
INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CELDA FOTOVOLTAICA

El aumento de temperatura disminuye la tensión

Si Temp → Tensión ↓ , Intensidad Cte. , Potencia ↓

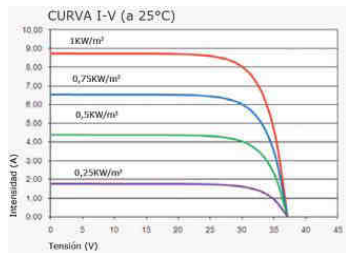
Los fabricantes entregan coeficientes de temperatura para voltaje, corriente y potencia:

- Voltaje: CT = - 0.35 % / K
- Corriente: CT = 0.03 % / K
- Potencia: CT = - 0.50 % / K



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POFV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN SOBRE LA CELDA FV



La celda se comporta como una fuente de corriente en función de la radiación



Si ↑ Radiación, entonces: Intensidad ↑ , Tensión constante , Potencia ↑

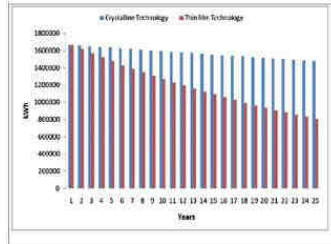


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POFV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

VIDA ÚTIL Y DEGRADACIÓN

Silicio Cristalino

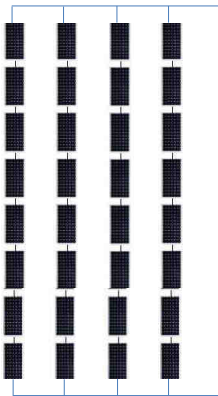
- 25 años: 80% de la potencia peak inicial (fabricante)
- Promedio:
 - 0.9% / año
- Experiencias en terreno (NREL, TUV, ISE):
 - 0.3% / año
 - 0.9% / año



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POPY)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



RELACIÓN RADIACIÓN SOLAR Y POTENCIA ELÉCTRICA: DATOS REALES

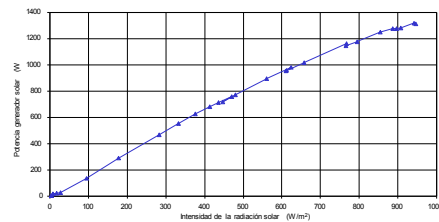


Soga – Pampa del Tamarugal

$P_{peak} = 1760 \text{ W}$

32 paneles 8s x 4p, 55 Wp

$P_{el.max} = 1380 \text{ W}$



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POPY)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



EL MÓDULO FOTOVOLTAICO: PARÁMETROS ELÉCTRICOS

- **INTENSIDAD y TENSIÓN DE MÁXIMA POTENCIA:**

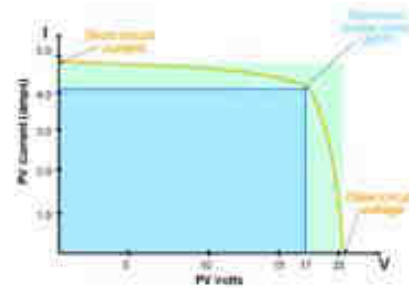
$$P = V_{mp} \times I_{mp}$$

- **FACTOR DE FORMA (FF):**

- Se define mediante la expresión:

$$FF = (I_m \times V_m) / (I_{sc} \times V_{oc})$$

- $FF < 1$
- Un módulo es mayor cuando el FF es cercano a 1



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

EL MÓDULO FOTOVOLTAICO: COEFICIENTES DE TEMPERATURA

Tk(V): coeficiente de disminución de la tensión respecto a la variación de temperatura

En %/°C respecto a una tensión de referencia
En V/°C
 $V(T^{\circ}C) = V(STC) + Tk(V) \times DT$
(DT=T°C- 25°C)

A temperaturas bajas de célula (-10°C):

DT=-10°C - 25°C = -35°C
Voc (-10°C) = Voc (STC) + Tk(V) x DT
Tk(V%) x DT= -0,33%/°C x (-35°C) = +11,6%
Tk(V) = 45,2V x -0,33%/°C = -0,15 V/°C
Tk(V) x DT= -0,15 V/°C x (-35°C) = +5,2 V

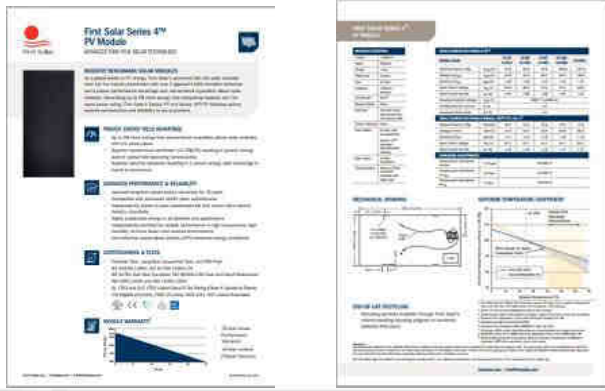
A temperaturas altas de célula (70°C):

DT=70°C - 25°C = 50°C
Tk(V%) x DT= -0,33%/°C x (+50°C) = -16,5%



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

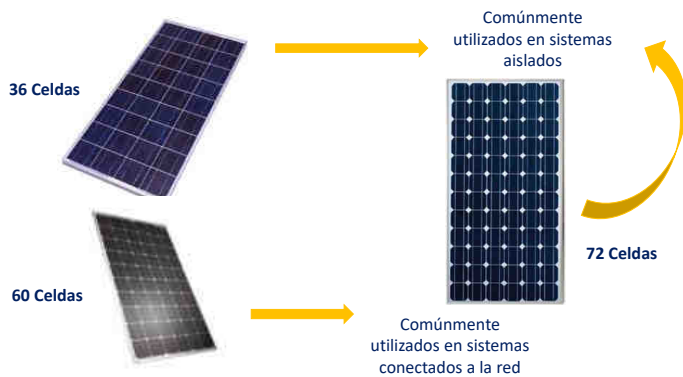
FABRICANTES: EJEMPLOS FICHAS TÉCNICAS



Panel FV Capa Fina



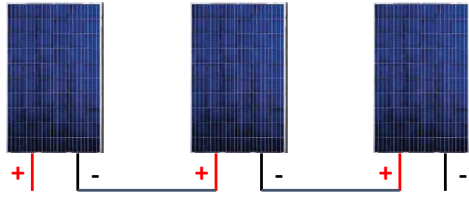
EL MÓDULO FOTOVOLTAICO: NÚMERO DE CELDAS





CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS

Conexión Serie



Voltaje aumenta ↑ Corriente se mantiene — Potencia aumenta ↑

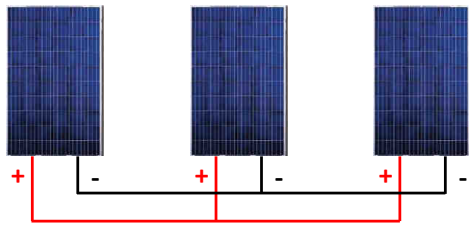


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE EMPLEO EN MEDIO RÚRICO TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS

Conexión Paralelo



Voltaje se mantiene — Corriente aumenta ↑ Potencia aumenta ↑

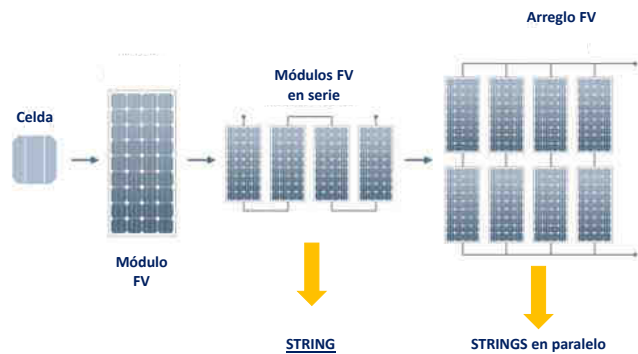


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE EMPLEO EN MEDIO RÚRICO TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS

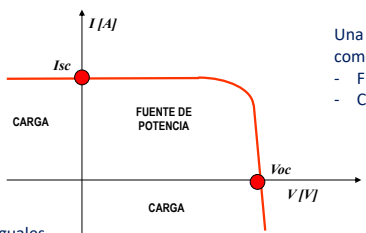
Conexión en serie - paralelo



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIODOS DE BY – PASS Y DE BLOQUEO



Una celda FV puede comportarse como:

- Fuente de potencia
- Carga: "hot-spot"

- No todas las celdas son exactamente iguales
- Utilización de cámaras térmicas
- Problema creciente en las plantas
- Disminución de la producción eléctrica

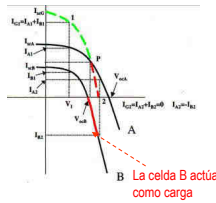
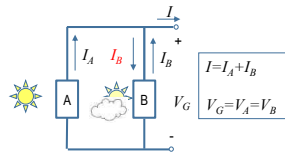


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIODOS DE BY – PASS Y DE BLOQUEO

Conexión en paralelo de dos celdas



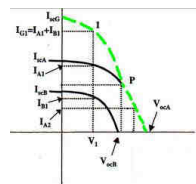
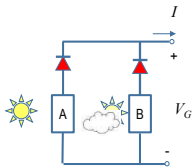
La celda B se convierte en una carga:
sobrecalentamiento (hot spot)
y destrucción de la celda.

Se pierde toda la potencia.



DIODOS DE BY – PASS Y DE BLOQUEO

Solución: diodo de bloqueo



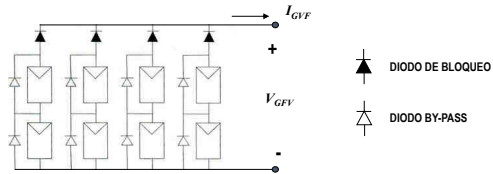
El diodo de bloqueo no conduce cuando la corriente de la celda tiende a ser negativa.

La corriente total disminuye, pero no se pierde toda la potencia.



DIODOS DE BY – PASS Y DE BLOQUEO

Topología estándar de un Generador Fotovoltaico



- **Diodos de By - Pass:**
 - Se utilizan para dejar fuera a módulos defectuosos dentro del arreglo fotovoltaico
- **Diodos de Bloqueo:**
 - Se utilizan para dejar fuera strings defectuosos dentro del arreglo fotovoltaico.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



INVERSOR

Dispositivo capaz de convertir la corriente continua del sistema fotovoltaico en corriente alterna con tensión y frecuencia idénticas a la red.

- TIPOS DE INVERSORES:
 - Inversores Aislados: son utilizados en sistemas aislados, sin conexión a la red, donde el inversor toma energía desde un banco de baterías, el cual es cargado por un generador fotovoltaico. Normalmente, estos dispositivos no interactúan con la red, por lo que no deben estar protegidos con un sistema anti isla.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LUGOS DE ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



INVERSOR

Dispositivo capaz de convertir la corriente continua del sistema fotovoltaico en corriente alterna con tensión y frecuencia idénticas a la red.

• **TIPOS DE INVERSORES:**

- Inversores de Red: son equipos que se sincronizan, en tensión y frecuencia, con la red eléctrica de distribución. Estos inversores están diseñados para desconectarse automáticamente frente a la pérdida de la red pública. Tampoco están diseñados para actuar como respaldo energético frente a apagones.



INVERSOR

Dispositivo capaz de convertir la corriente continua del sistema fotovoltaico en corriente alterna con tensión y frecuencia idénticas a la red.

• **TIPOS DE INVERSORES:**

– **Inversores Híbridos:**

- Son un tipo especial de inversores diseñados para tomar energía desde un banco de baterías, manejar la carga del banco a través de un cargador incorporado e inyectar el excedente de energía a la red. Estos equipos son capaces de suministrar energía AC durante un apagón eléctrico y deben contar con la protección anti isla.



INVERSOR DE RED

- **CARACTERÍSTICAS:**

- Voltaje de entrada (Vcc) = voltaje campo FV
- Voltaje de salida (Vca): entre 1,15x220V y 0,85x220V
- Frecuencia entre 50,5Hz y 48Hz
- Monitoreo constante
- Incluyen protecciones obligatorias para conexión a red:
 - Control de tensión
 - Control de frecuencia
 - Separación galvánica
 - No funcionamiento en isla
- Incorporan un MPPT como mínimo
- Rendimiento europeo entre 90% y 99%
- A partir de 5kW modelos en trifásico para balance de fases
- Pueden conectarse varios monofásicos por fase en un sistema trifásico



INVERSOR

- **RANGOS DE FUNCIONAMIENTO EN AC:**

Potencia nominal (PINV): potencia AC de salida → Pnom de la instalación.

Potencia máxima: potencia máxima que puede entregar.

Tensión y frecuencia dentro de rangos de red.



INVERSOR

- RANGOS DE FUNCIONAMIENTO EN CC:

Potencia máxima en CC: potencia de entrada superior que no debe superarse con el campo fotovoltaico. Habitualmente, Pp del campo se sobredimensiona un 10-25% por encima de PINV, pero sin superar Pcc MAX. Voltaje de entrada máximo (Vcc max): voltaje que nunca debe superar el campo FV incluso a la Tmin del lugar (**habitualmente calculado a -10°C**)

Rango de voltaje MPPT (Vcc MPPT max y min): tensión máxima y mínima de funcionamiento del "tracker". **Comprobar que Vmp de módulos a -10°C y +70°C no salen del rango.** Intensidad de entrada máxima: los amperios máximos en CC aceptables en la entrada. Isc de módulos nunca debe superar esta magnitud y Imp debería trabajar un 10% por debajo.



INVERSOR DE RED

- TIPOS DE INVERSOR A RED

Inversor Central: este equipo es de gran capacidad y está diseñado para ser utilizado en grandes plantas generadoras para uso comercial o para inyección directa a la red. Puede manejar grandes potencias y ofrece grandes economías de escala y eficiencia.



INVERSOR DE RED

- TIPOS DE INVERSOR A RED

Inversor String:

Está conectado a una serie o string de paneles. Un inversor string estará, usualmente, localizado a corta distancia del arreglo fotovoltaico entre éste y el tablero de inyección. Es el tipo más común de inversor usado en sistemas residenciales y sistemas comerciales de pequeña y mediana escala.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPY)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



INVERSOR DE RED

- TIPOS DE INVERSOR A RED

Microinversor:

Este equipo convierte electricidad CC en AC directamente en cada uno de los módulos de un arreglo fotovoltaico. Los microinversores tienen un mejor desempeño en techos sombreados, ya que la sombra afectará a los paneles en forma individual y no a aquellos que están a pleno sol. Son más caros de instalar que un inversor central, ya que cada panel tendrá su inversor. Además, se aumentan las opciones de falla, pero funcionan mejor en condiciones de altas temperaturas que un inversor string.

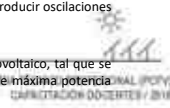


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPY)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016



INVERSOR DE RED

- RASTREADOR DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA, MPPT (Maximum Power Point Tracker)
 - Los inversores solares usan el MPPT para obtener la máxima potencia posible desde un arreglo fotovoltaico.
 - En general, los inversores poseen un controlador MPPT, pero es usual encontrar modelos con dos o más controladores.
 - La ventaja de utilizar un número mayor de MPPT radica en que se puede maximizar la generación del campo fotovoltaico, ya que permite agrupar un conjunto de módulos que estén en una orientación o ángulo definido en un MPPT, mientras que otro grupo de paneles en una orientación distinta se conecta a un segundo MPPT, obteniéndose la máxima generación para cada grupo de módulos.
- Existen tres tipos principales de algoritmos para encontrar el punto de máxima potencia:
 - Perturbar y Observar: en este método, el controlador ajusta el voltaje en una pequeña cantidad desde el arreglo y mide la potencia, si ésta se incrementa, se ejecutan ajustes más amplios en esa dirección, hasta que ya no hay incrementos de potencia. Este es el método más utilizado, ya que es sencillo de implementar, aunque puede resultar en oscilaciones en la potencia de salida.
 - Conductancia Incremental: el controlador mide los cambios incrementales en el voltaje y la corriente del arreglo fotovoltaico para predecir el efecto de un cambio en el voltaje. Este método requiere más computación en el controlador, pero puede seguir condiciones cambiantes más rápidamente que el método de Perturbar y Observar. También puede producir oscilaciones en la potencia de salida.
 - Barrido de corriente: este método utiliza una forma de onda de barrido para la corriente del arreglo fotovoltaico, tal que se obtiene la característica I-V del arreglo y se actualiza a intervalos fijos de tiempo. El voltaje del punto de máxima potencia luego puede ser computado desde la curva característica a los mismos intervalos.



INVERSOR DE RED

- UTILIZACIÓN DE FUSIBLES EN STRINGS
 - Con el fin de evitar corrientes inversas que sean mayores a las máximas que puedan soportar los paneles fotovoltaicos, **deben utilizarse fusibles en cada string**.
 - Estos fusibles podrán omitirse cuando se conecte un máximo de dos strings por entrada MPPT, conectados en forma directa al inversor, siempre que la suma de las corrientes máximas de los dos strings no exceda la corriente máxima del conductor y no exceda la máxima corriente inversa permitida por los módulos.



INVERSOR DE RED

Definida la potencia del GFV, podemos aproximar la potencia del inversor:

$$P_{GFV} \geq P_{INV} \geq P_{GFV} \times 0,8$$

De esta manera queda sobredimensionado el GFV respecto al inversor para compensar:

- Pérdida de potencia por calentamiento de célula
- Descompensación entre módulos del string
- Reflexión de radiación por ángulos no normales
- Suciedad en el cristal



INVERSOR DE RED

Según la instalación interior se elige:

- Monofásico
- Trifásico: Puede conseguirse mediante un modelo trifásicos, o bien, con 3 inversores monofásicos (uno por fase)

Según la potencia:

- 1 sólo equipo: menor mano de obra, solución centralizada, menos espacio necesario, más económico, mayor riesgo ante fallos
- Varios equipos: más caro, instalación más sencilla, menor peso por unidad, secciones de cable menores, más equipos a instalar, más fiabilidad



INVERSOR DE RED

Según las particularidades del campo fotovoltaico:

- 1 solo MPPT
- varios MPPT (Quizá varios inversores)

Según la estructura del cableado:

- Tablero CC concentrador:
- Una sola entrada de string
- Tendido independiente cada string:
- Varias entradas

Según el control y seguimiento deseado:

- Opciones de visualización in-situ
- Opciones de monitorización a distancia

El criterio suele ser también:

- Marca conocida → modelo más idóneo
- Disponibilidad proveedor
- oferta según stock



INTEGRACIÓN GENERADOR FV E INVERSOR



• Límites de seguridad:

- $P_{mp\ GFV} \leq P_{DC\ INV}$
- $I_{sc\ GFV} < I_{DC\ MAX\ INV}$
- $V_{oc\ GFV} (-10^{\circ}C) < P_{DC\ MAX\ INV}$

• Límites de eficiencia:

- $V_{mp\ GFV} (-10^{\circ}C) < V_{DC\ MAX\ MPPT\ INV}$
- $V_{mp\ GFV} (+70^{\circ}C) > V_{DC\ MIN\ MPPT\ INV}$





INTEGRACIÓN GENERADOR FV E INVERSOR

De los límites anteriores se deduce:



- **Límite de módulos:**

$$N < P_{DC\ MAX\ INV} / P_{mp}$$
$$N = N_{serie} \times N_{string}$$

- **Límite de módulos en serie por string:**

$$N_{serie} < P_{DC\ MAX\ INV} / V_{oc} (-10^{\circ}C)$$

- **Límite de strings en paralelo:**

$$N_{strings} < I_{DC\ MAX\ INV} / I_{sc}$$

Se aconseja el uso de programas especializados o del fabricante de inversores



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Funciones:

- Fijar y soportar el peso de los módulos
- Soportar las fuerzas de los vientos
- Dar la orientación e inclinación de los módulos

Materiales:

- Aluminio anodizado (poco peso, fácil mecanización, caro...)
- Acero inoxidable (ambientes salinos)
- Fibra de vidrio



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

PROTECCIONES ELÉCTRICAS DC (POSITIVO Y NEGATIVO)



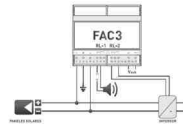
- Protector de sobretensiones transitorias (atmosféricas): descarga a tierra posibles sobretensiones (p.e. DEHN DG Y PV)



- Protección cortocircuitos: fusibles (p.e. o disyuntores rearmables (p.e. SCHNEIDER C60PV)



- Vigilante de aislamiento: detecta fallos de aislamiento (pone a tierra el + y el - para evitar contactos indirectos) (p.e. PROAT FAC3)



PROTECTOR CON SOBRETENSIONES (B1 Y B2)

- Son varistores (electrónicos) o descargadores de gas.
- Tipos de Sobretensiones:
 - Transitorias: de origen atmosférico debido a la cercanía de impactos de relámpago.
 - Permanentes: una sobretensión de más del 10% del valor nominal de forma permanente o de larga duración
- B1 son de clase I (los de mayor capacidad de protección) se instalan en el cuadro DC del campo FV
- B2 son de clase II (protección más amplia) se instalan a la entrada (DC) y salida (AC) del inversor (normalmente los incluye el propio inversor)



CABLEADO Y PROTECCIONES ELÉCTRICAS AC



Cableado eléctrico AC:

- Cobre, aislamiento según normativa
- Sección adecuada:
 - Seguridad: intensidad máxima admisible $I_{AC\ INV} \times 1,25 < I_{cable}$
 - Eficiencia: caída de tensión mínima $CdT < 1,5\%$ de la VAC
- Instalación canalizada según normativa



CABLEADO Y PROTECCIONES ELÉCTRICAS AC



Protecciones eléctricas AC:

- **Interruptor magnetotérmico de línea:**
 - En instalaciones monofásicas, se debe instalar un interruptor bipolar
 - En instalaciones trifásicas, se debe instalar un interruptor tetrapolar
- **Interruptor diferencial de línea**
 - Cuando no exista, al menos, una separación simple entre el lado de corriente continua y el lado de corriente alterna del inversor, se deberá utilizar un interruptor diferencial tipo B
 - En otro caso, se podrá utilizar un interruptor diferencial tipo A
 - Para instalaciones menores a 10 kW, se deben considerar corrientes diferenciales de 30 mA
 - Para instalaciones iguales o superiores a 10 kW, se deben considerar corrientes diferenciales no superiores a 300 mA



CONEXIÓN A TIERRA



- Usamos la puesta a tierra del edificio
- PERO se tiende un CP (cable de protección) independiente
- Conectamos el CP a las masas metálicas de la instalación: estructuras, armarios, canaletas y equipos
- Conectamos los descargadores de sobretensiones DC y AC al CP
- La sección mínima del CP debe ser de 4 mm²
- El valor resultante de la puesta a tierra debe ser menor a los 20 Ω
- Se debe contar con una camarilla de inspección para efectuar mediciones de tierra



2. CONFIGURACIONES Y DIMENSIONAMIENTO

Antecedentes Técnicos: Configuraciones usuales, dimensionamiento de componentes

DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FV

Sistema
Fotovoltaico (SFV)
conectado a la red:

- ✓ Forma parte un sistema eléctrico mayor: red de distribución, transmisión.
- ✓ Necesita a la red de energía eléctrica para su funcionamiento: no es un sistema de respaldo de energía.
- ✓ Se conecta a la red a través de un inversor que debe ajustarse a los requerimientos y parámetros de la red pública.
- ✓ Debe cumplir con el ordenamiento legal y normativo vigente.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



CLASIFICACIÓN DE LOS SFV

Se pueden clasificar de acuerdo a lo siguiente:

- | | |
|-----------------------------|---|
| ▪ Tecnología | cristalino, capa fina |
| ▪ Tamaño | 100 Wp, 1 kWp, 100 kWp, 1 MWp |
| ▪ Utilización de la energía | venta total, autoconsumo, venta de excedentes |
| ▪ Tipo de montaje | suelo, techo (plano, inclinado), fachada |
| ▪ Conexión | monofásica, trifásica (en baja o media tensión) |



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA CONEXIÓN A RED

Esquema Básico

- 1) Generador FV: varios módulos interconectados.
- 2) Protección de sobretensión.
- 3) Cableado y canalización de corriente continua.
- 4) Interruptor DC.
- 5) Inversor.
- 6) Cableado y canalización de corriente alterna.
- 7) Medidores de energía, interruptores AC.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

APLICACIONES Y USOS DE LOS SFV

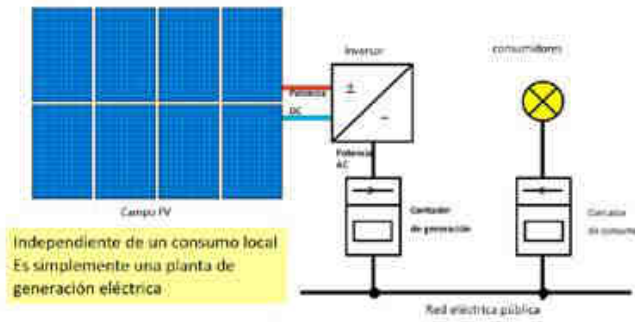
1. SFV para autoconsumo
 - ✓ Para abastecer parte del consumo eléctrico y reducir la cuenta de la luz
 - ✓ Existen distintas variantes (net-metering, net-billing, ...)
2. SFV para inversión económica
 - ✓ En países con tarifas atractivas para la fotovoltaica (feed-in tarif)
 - ✓ Normalmente independiente del consumo local
 - ✓ 100% inyección a la red eléctrica
 - ✓ Caso en Japón, Alemania, y otros
3. SFV para seguridad de suministro
 - ✓ En lugares donde la red sufre muchos apagones y/o es muy inestable
 - ✓ Típicamente sistemas híbridos, con sistema de baterías y/o grupo electrógeno adicional
 - ✓ Caso en algunos países africanos y asiáticos, puntos extremos de la red



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

TIPOS DE CONEXIÓN A LA RED

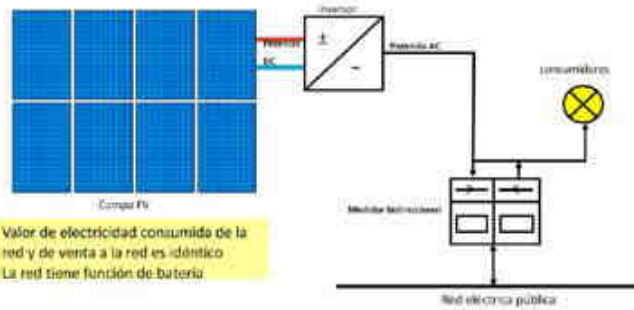
Sistema Fotovoltaico (SFV) conectado a la red: venta 100%



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV).
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

TIPOS DE CONEXIÓN A LA RED

Sistema Fotovoltaico (SFV) conectado a la red: net - billing



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV).
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

DEFINICIÓN Y DIMENSIONADO DE SFV

¿Qué quiere el cliente?

Conocer sus motivaciones: ahorro, autoconsumo certificación, leed, ecológicos, venta de energía, etc.

Información:

Lugar de instalación
Fecha de instalación
Presupuesto

Educación:

Potencialidades del sistema
Restricciones del sistema

Un buen sistema FV es aquel que satisface los requerimientos del cliente!!!



DIMENSIONAMIENTO: OBTENCIÓN DE DATOS



- Superficie disponible
- Presupuesto para invertir
- Boleta/factura
- Tipo de conexión: monofásica, trifásica, BT o MT, potencia máxima, etc.
- Visita técnica



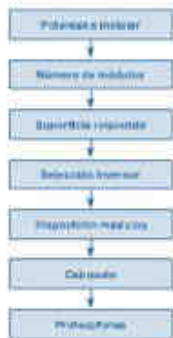
DIMENSIONAMIENTO: INGENIERÍA BÁSICA



- Determinación del tamaño del sistema FV de acuerdo a los datos obtenidos.
- Elección del tipo de módulo FV a utilizar
- Interconexión de los módulos y del o los inversores
- Estudio de sombras
- Estudio de cálculo estructural, si corresponde.



DIMENSIONAMIENTO: POTENCIA PEAK



- Existen diversos criterios el dimensionamiento: para

- Económico
- Superficie disponible
- Potencia peak
- Energía generada
- Regulatorios
- Etc.



DIMENSIONAMIENTO

▪ Generador Fotovoltaico

- La potencia que se dese instalar determina el número de módulos a utilizar:

$$N = \frac{P_{max}}{P_{peak}}$$

- Con el número de módulos se determina la superficie mínima requerida:

$$S_T = N \cdot A$$

donde:

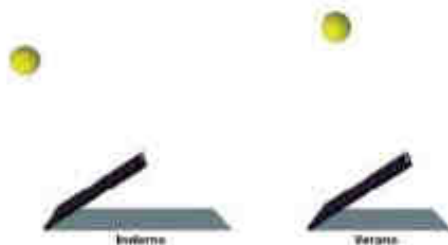
A: superficie unitaria del módulo



DIMENSIONAMIENTO

▪ Separación entre módulos

La inclinación de los módulos produce un aumento de la superficie requerida, ya que es necesario evitar el efecto de las sombras:



DIMENSIONAMIENTO

Separación entre módulos

- Se considera la elevación solar mínima que proyecta la sombra más larga:

$$H = (90^\circ - |\phi|) - 23,5^\circ$$

Siendo H la altura solar en grados y ϕ la latitud de la localidad

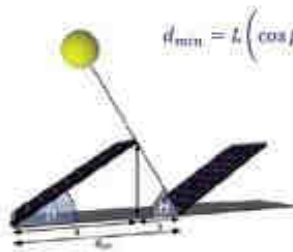


DIMENSIONAMIENTO

Separación entre módulos

- La distancia mínima entre las filas está dada por la expresión:

$$d_{\min} = l \left(\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan H} \right)$$



Donde l es la longitud total del módulo, H es la elevación solar y β es la inclinación del módulo



DIMENSIONAMIENTO

Selección del inversor

- Depende de la potencia instalada
- Capacidad del empalme.
- Tipos de módulos utilizados
- Factores medioambientales del sitio geográfico de instalación
- En general, la potencia nominal del inversor debe ser aproximadamente igual a la potencia peak del generador fotovoltaico
- Debe ser para instalaciones conectadas a la red (inversores "on-grid" o "grid tied")



DIMENSIONAMIENTO

Configuración serie y paralelo

- Lo primero es verificar los parámetros de entrada del inversor: tensión y corriente máxima admisibles.
- Con ese dato se determina la configuración serie y paralelo del generador fotovoltaico.
- Tensión máxima del inversor determina el número máximo de módulos en serie por cada string:

$$N_s = \frac{V_{MAX}}{1,25 \cdot V_{OC}}$$

- Tensión del sistema debe estar dentro del rango MPPT del inversor



DIMENSIONAMIENTO

Configuración serie y paralelo

- Corriente máxima de entrada del inversor determina el número de strings máximo en paralelo:

$$N_p = \frac{I_{MAX}}{1,25 \cdot I_{SC}}$$

- La corriente máxima no debe sobrepasar los valores de entrada del inversor.
- Los módulos deben ser del mismo modelo y fabricante, asegurando tensiones de trabajo idénticas y evitando flujos de corriente hacia el generador.



DIMENSIONAMIENTO

Inclinación de los módulos

- Es necesario definir el período del año en el cual se desea maximizar la energía recibida, ya sea invierno, verano o el máximo promedio anual.
- La mejor manera de obtener la inclinación óptima de los módulos es con los datos de radiación para distintas inclinaciones y azimut de cada localidad.

AZ	INCL.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
17		202,3	183,8	177,9	144,7	125,1	112,1	128,1	146,6	163,7	196,5	197,0	207,6	1.985,2
27		190,9	177,3	177,4	149,5	132,8	120,9	137,5	153,5	165,5	191,7	187,0	194,4	1.978,3
37		175,7	167,1	173,1	150,9	137,4	126,8	143,7	156,8	163,5	182,7	172,8	177,3	1.927,9
47	0 al Norte	157,0	153,5	165,0	149,0	138,8	129,7	146,4	156,5	168,0	169,6	155,3	156,8	1.835,6
90		73,2	76,6	100,4	108,8	112,5	110,2	122,3	120,0	103,4	88,7	73,1	71,2	1.160,4

Radiación en kWh/m² para la ciudad de Copiapó (27,35° latitud sur). La tabla corresponde a un azimut de 0°.
Fuente: "Radiación Solar en Terrenos de la República de Chile", CNE / PNUD / UFRSA 2008.



DIMENSIONAMIENTO

Inclinación de los módulos

- Existe una fórmula empírica que nos proporciona el valor del ángulo de inclinación de los módulos para maximizar la producción anual, de acuerdo a la latitud del lugar de instalación:

$$\beta = 3,7 + 0,69 |\varphi|$$

Donde

$|\varphi|$ corresponde al valor absoluto de la latitud.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIMENSIONAMIENTO

Conductores CC

- El cableado de la etapa CC debe ser elegido de tal forma que la caída de tensión no supere el 1,5%.
- La sección del conductor se calcula según la expresión:

$$S = \rho \cdot \frac{2L \cdot I}{0,01 \cdot V}$$

Donde:

L : longitud del conductor

ρ : resistividad del cobre (0,018 Ω ·mm²/m, a 20°C)

I : Corriente que circula por el conductor

V : Tensión del sistema



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIMENSIONAMIENTO

- La sección del conductor no debe ser menor a la del conductor que sale desde la caja de conexiones del módulo.
- La aislación del conductor debe ser resistente a la intemperie y a la radiación UV.
- En todo momento se debe considerar la Norma Chilena de Electricidad N°4/2003 y las disposiciones que establece para los materiales y canalizaciones.

Cable (mm ²)	Área (cm ²)	TEMPERATURA DE SERVICIO (°C)					
		40		75		90	
		sección A	sección B	sección A	sección B	sección A	sección B
4	12,56	32	19	32	19	32	19
6	28,26	35	22	35	22	35	22
10	78,50	38	25	38	25	38	25
16	201,06	42	29	42	29	42	29
25	392,69	45	33	45	33	45	33
35	385,01	48	36	48	36	48	36
50	785,00	52	40	52	40	52	40
70	1539,08	55	44	55	44	55	44
95	2835,28	60	49	60	49	60	49
120	4521,60	65	54	65	54	65	54
150	7068,00	70	59	70	59	70	59
185	10773,60	75	64	75	64	75	64
240	18086,40	80	70	80	70	80	70
300	28260,00	85	76	85	76	85	76
370	43347,60	90	82	90	82	90	82
450	63618,00	95	88	95	88	95	88
550	95032,50	100	94	100	94	100	94
675	135022,50	105	100	105	100	105	100
825	196350,00	110	106	110	106	110	106
1000	282600,00	115	112	115	112	115	112
1200	392640,00	120	118	120	118	120	118
1450	530700,00	125	124	125	124	125	124
1750	706800,00	130	130	130	130	130	130
2100	950325,00	135	136	135	136	135	136
2500	1256625,00	140	142	140	142	140	142
3000	1767000,00	145	148	145	148	145	148
3600	2474160,00	150	154	150	154	150	154
4300	3381600,00	155	160	155	160	155	160
5100	4491600,00	160	166	160	166	160	166
6000	5823600,00	165	172	165	172	165	172
7000	7386000,00	170	178	170	178	170	178
8200	9282000,00	175	184	175	184	175	184
9500	11511000,00	180	190	180	190	180	190
11000	14196000,00	185	196	185	196	185	196
13000	17340000,00	190	202	190	202	190	202
15500	21825000,00	195	208	195	208	195	208
18500	26850000,00	200	214	200	214	200	214
22000	32520000,00	205	220	205	220	205	220
26000	39160000,00	210	226	210	226	210	226
30000	45870000,00	215	232	215	232	215	232
35000	53670000,00	220	238	220	238	220	238
40000	61560000,00	225	244	225	244	225	244
46000	70644000,00	230	250	230	250	230	250
53000	80928000,00	235	256	235	256	235	256
61000	92514000,00	240	262	240	262	240	262
70000	105404000,00	245	268	245	268	245	268
80000	119608000,00	250	274	250	274	250	274
92000	135228000,00	255	280	255	280	255	280
105000	152262000,00	260	286	260	286	260	286
120000	170712000,00	265	292	265	292	265	292
138000	190584000,00	270	298	270	298	270	298
158000	211884000,00	275	304	275	304	275	304
180000	234612000,00	280	310	280	310	280	310
205000	258768000,00	285	316	285	316	285	316
233000	284448000,00	290	322	290	322	290	322
265000	311664000,00	295	328	295	328	295	328
300000	340416000,00	300	334	300	334	300	334
340000	370716000,00	305	340	305	340	305	340
385000	402564000,00	310	346	310	346	310	346
435000	435960000,00	315	352	315	352	315	352
490000	470904000,00	320	358	320	358	320	358
550000	507396000,00	325	364	325	364	325	364
615000	545436000,00	330	370	330	370	330	370
685000	585024000,00	335	376	335	376	335	376
760000	626160000,00	340	382	340	382	340	382
840000	668844000,00	345	388	345	388	345	388
925000	713076000,00	350	394	350	394	350	394
1015000	758856000,00	355	400	355	400	355	400
1110000	806184000,00	360	406	360	406	360	406
1210000	855060000,00	365	412	365	412	365	412
1315000	905496000,00	370	418	370	418	370	418
1425000	957492000,00	375	424	375	424	375	424
1540000	1011048000,00	380	430	380	430	380	430
1660000	1066164000,00	385	436	385	436	385	436
1785000	1122840000,00	390	442	390	442	390	442
1915000	1181076000,00	395	448	395	448	395	448
2050000	1240872000,00	400	454	400	454	400	454
2190000	1302228000,00	405	460	405	460	405	460
2335000	1365144000,00	410	466	410	466	410	466
2485000	1429620000,00	415	472	415	472	415	472
2640000	1495656000,00	420	478	420	478	420	478
2795000	1563252000,00	425	484	425	484	425	484
2955000	1632408000,00	430	490	430	490	430	490
3120000	1703124000,00	435	496	435	496	435	496
3285000	1775400000,00	440	502	440	502	440	502
3455000	1849236000,00	445	508	445	508	445	508
3630000	1924632000,00	450	514	450	514	450	514
3805000	1999588000,00	455	520	455	520	455	520
3985000	2076096000,00	460	526	460	526	460	526
4170000	2154156000,00	465	532	465	532	465	532
4355000	2233768000,00	470	538	470	538	470	538
4545000	2314932000,00	475	544	475	544	475	544
4740000	2397648000,00	480	550	480	550	480	550
4940000	2481916000,00	485	556	485	556	485	556
5145000	2567736000,00	490	562	490	562	490	562
5355000	2655108000,00	495	568	495	568	495	568
5570000	2744032000,00	500	574	500	574	500	574
5790000	2834508000,00	505	580	505	580	505	580
6015000	2926536000,00	510	586	510	586	510	586
6245000	3020116000,00	515	592	515	592	515	592
6480000	3115248000,00	520	598	520	598	520	598
6720000	3211932000,00	525	604	525	604	525	604
6965000	3310168000,00	530	610	530	610	530	610
7215000	3409956000,00	535	616	535	616	535	616
7470000	3511296000,00	540	622	540	622	540	622
7730000	3614188000,00	545	628	545	628	545	628
7995000	3718632000,00	550	634	550	634	550	634
8265000	3824628000,00	555	640	555	640	555	640
8540000	3932176000,00	560	646	560	646	560	646
8820000	4041276000,00	565	652	565	652	565	652
9105000	4151928000,00	570	658	570	658	570	658
9395000	4264132000,00	575	664	575	664	575	664
9690000	4377888000,00	580	670	580	670	580	670
9990000	4493196000,00	585	676	585	676	585	676
10295000	4609056000,00	590	682	590	682	590	682
10605000	4726468000,00	595	688	595	688	595	688
10920000	4845432000,00	600	694	600	694	600	694
11240000	4965948000,00	605	700	605	700	605	700
11565000	5088016000,00	610	706	610	706	610	706
11895000	5211636000,00	615	712	615	712	615	712
12230000	5336808000,00	620	718	620	718	620	718
12570000	5463532000,00	625	724	625	724	625	724
12915000	5591808000,00	630	730	630	730	630	730
13265000	5721636000,00	635	736	635	736	635	736
13620000	5853016000,00	640	742	640	742	640	742
13980000	5985948000,00	645	748	645	748	645	748
14345000	6120432000,00	650	754	650	754	650	754
14715000	6256468000,00	655	760	655	760	655	760
15090000	6394056000,00	660	766	660	766	660	766
15470000	6533196000,00	665	772	665	772	665	772
15855000	6673888000,00	670	778	670	778	670	778
16245000	6816132000,00	675	784	675	784	675	784
16640000	6960932000,00	680	790	680	790	680	790
17040000	7108288000,00	685	796	685	796	685	796
17445000	7258196000,00	690	802	690	802	690	802
17855000	7410656000,00	695	808	695	808	695	808
18270000	7565668000,00	700	814	700	814	700	814
18690000	7723232000,00	705	820	705	820	705	820
19115000	7883348000,00	710	826	710	826	710	826
19545000	8046016000,00	715	832	715	832	715	832
19980000	8211236000,00	720	838	720	838	720	838
20420000	8379008000,00	725	844	725	844	725	844
20865000	8549332000,00	730	850	730	850	730	850
21315000	8722208000,00	735	856	735	856	735	856
21770000	8897636000,00	740	862	740	862	740	862
22230000	9075616000,00	745	868	745	868	745	868
22695000	9256148000,00	750	874	750	874	750	874
23165000	9439232000,00	755	880	755	880	755	880
23640000	9624868000,00	760	886	760	886	760	886
24120000	9813056000,00	765	892	765	892	765	

DIMENSIONAMIENTO

Protecciones eléctricas



- Resguardan al usuario y a los equipos frente a condiciones de funcionamiento anormales del sistema.
- Es importante conectar todas las partes metálicas de la instalación a la tierra de protección: marcos de los módulos y estructuras de soporte, junto con las carcasas de los equipos.
- En el inversor se contemplan protecciones anti- isla, lo que permite su desconexión en ausencia de red.
- También puede contar con aislación galvánica: separación física de la etapa CC y CA. Interruptor DC entre el generador FV y el inversor: por lo general, incluido en el equipo.
- Protecciones contra sobreintensidades: disyuntores, varistores, fusibles.



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIMENSIONAMIENTO

Ejemplo

- Lugar de Instalación: Antofagasta
- Datos para el dimensionamiento:
 - Potencia a instalar: 2 kWp
 - Superficie disponible: 40 m², sin inclinación (terreno horizontal)
 - Distancia desde el generador fotovoltaico al inversor: 10 m
 - Distancia del inversor al punto de inyección: 5 m



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIO TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018



DIMENSIONAMIENTO

- Generador Fotovoltaico

- Elección del módulo: marca, modelo, potencia nominal
- Número de módulos totales
- Superficie mínima para la instalación

MÓDULO FOTOVOLTAICO		
Potencia máxima	P_{max}	265 Wp
Tensión de circuito abierto	V_{oc}	38,1 V
Tensión de trabajo	V_{MPP}	31,9 V
Corriente de corto circuito	I_{sc}	8,82 A
Corriente de trabajo	I_{MPP}	8,33 A
Dimensiones	1,001 x 1,675 x 0,031m	



DIMENSIONAMIENTO

- Inversor

- Elección del inversor: marca, modelo, potencia nominal
- Potencia nominal cercana a la potencia peak del generador FV

INVERSOR	
Potencia nominal	2.000 W
Potencia máxima de entrada*	2.500 W
Máxima tensión CC	600 V
Máxima corriente CC/CA	15 A/10 A
Rango MPPT	175 - 480 V

*En condiciones STC

- Agrupación de los módulos: "largo" del string y número de strings.
- Verificación de la tensión de trabajo del string.



DIMENSIONAMIENTO

- Disposición de los módulos

- Adopción de un criterio: máximo anual, verano o invierno

Az	INCL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
0 al Norte	13	198,7	176,8	178,0	141,8	110,9	103,4	112,6	128,2	150,0	181,1	191,9	206,1	1.878,4
	23	187,8	170,0	177,8	146,3	117,0	111,2	120,3	133,3	151,4	176,9	182,4	193,4	1.867,9
	33	173,3	160,6	173,7	147,6	120,7	116,5	125,3	135,6	149,5	169,1	169,1	176,7	1.817,6
	43	155,1	147,9	165,8	145,7	121,7	119,2	127,6	134,9	144,4	157,6	152,3	156,4	1.728,6
	90	59,2	60,6	82,7	93,2	89,9	94,1	97,8	92,0	80,9	68,5	66,2	59,6	934,5

- Determinación de la elevación solar mínima
- Distancia mínima entre filas
- Superficie



DIMENSIONAMIENTO

Conductores

- Etapa CC
 - Considerar la corriente máxima de la línea
 - Calcular la sección del conductor considerando la caída de tensión admisible
- Etapa CA
 - Considerar la corriente máxima de salida del inversor
 - Calcular la sección del conductor considerando la caída de tensión admisible.



DIMENSIONAMIENTO

Protecciones

- Etapa CC

- Fusibles de string: normalmente, integrados en el inversor

- Etapa CA

- Considerar la corriente máxima de salida del inversor y la corriente máxima admisible del conductor.
- Instalación de un interruptor termomagnético bipolar de 15 A.
- Instalación de un interruptor diferencial tipo A de 15 A, con sensibilidad de 30 mA.



AAA

3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Antecedentes Técnicos: Normativa aplicable, operación, mantenimiento preventivo y correctivo

OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

- Las instalaciones fotovoltaicas no requieren de la intervención de ningún operario, son completamente automáticas y autónomas.
- Están pensadas para no requerir una vigilancia continuada ni exhaustiva.
- Sin embargo, **NO** están exentas de fallos, y por lo tanto pueden dejar de producir.
- Un buen mantenimiento preventivo anual es suficiente en instalaciones pequeñas, donde la amortización de la instalación no es tan importante.





OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

- En instalaciones medianas, en donde exista personal de mantenimiento general, se puede complementar el mantenimiento preventivo anual con inspecciones visuales periódicas para detectar posibles paradas fortuitas:
 - Cortes de servicio por desconexiones de protecciones eléctricas (sobretensiones?)
 - Fallos de aislamiento en CC (cortes en cableado en intemperie por viento y rozaduras?)
 - Fallos internos de inversores (averías)
 - Robos o actuaciones malintencionadas
- En instalaciones medianas y grandes, donde la rentabilidad es lo más importante, Sí se llevan a cabo tareas de control y seguimiento específicas.
- La solución óptima es la monitorización a distancia.





GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS FV BAJO LA NORMATIVA 20.571





GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS FV BAJO LA NORMATIVA 20.571

- La norma técnica establece los procedimientos, metodologías y demás exigencias para la operación de sistemas FV conectados a las redes de distribución.
- La capacidad instalada total **no debe superar los 100 kW**.
- La operación de los sistemas FV conectados a la red **no debe tener ninguna repercusión sobre la red o sobre otros clientes**.
- La instalación debe ejecutarse por un **instalador debidamente autorizado por la SEC**.



GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS FV BAJO LA NORMATIVA 20.571

- Todos los componentes utilizados en la conexión deben cumplir con las disposiciones de grado de IP de protección, resistencia UV y climática.
- Los módulos fotovoltaicos, al estar montados e instalados no pueden ser “apagados”.



- El nivel de corriente continua es proporcional a la irradiancia, mientras que el voltaje nominal puede obtenerse a niveles bajos de irradiancia.
- Si existen fallas en la aislación, esto puede causar un arco eléctrico permanente → importancia de la puesta a tierra!!!



GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS FV BAJO LA NORMATIVA 20.571

- Cuando se conectan interruptores DC, se debe tener cuidado en la polaridad y en la dirección del flujo de energía.
- En algunos casos, se debe verificar si las celdas de los módulos deben ser aterrizadas.
- Para los arreglos o strings fotovoltaicos que utilicen la tecnología denominada capa fina o Thin Film, se permitirá utilizar un conector tipo Y para agrupar strings, siempre y cuando el inversor utilizado acepte esta configuración.
- Para los arreglos o strings fotovoltaicos que utilicen la tecnología denominada capa fina o Thin Film, sólo se podrán utilizar inversores con separación galvánica, conectando además el polo negativo del sistema fotovoltaico al sistema de puesta a tierra. También podrá conectarse el polo positivo al sistema de puesta a tierra, siempre y cuando el fabricante del panel lo especifique.



GENERALIDADES DE LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS FV BAJO LA NORMATIVA 20.571



- En la conexión de strings, prestar atención a la polaridad de los cables: con polarización inversa existe posibilidad de daños en los diodos de bypass o en la etapa de entrada del inversor.
- Todas las conexiones en CC deberán ser mediante conectores tipo MC4 u equivalente y deberán permitir un montaje rápido, manteniendo la seguridad y la impermeabilidad del sistema. Estará prohibida la utilización de uniones por enroscamiento de conductores o uniones a través de regletas de conexión en el lado de CC.
- Los conectores MC4 deberán cumplir con los requerimientos técnicos de la instalación, en conformidad a la norma IEC 60998-1.
- No se deben desconectar los módulos cuando están bajo carga!!!
- El cableado debe ser resistente a los rayos UV y a las inclemencias meteorológicas.
- Minimizar el largo total del cableado de los módulos (menores pérdidas!!!)
- Poner atención a la polaridad de los cables.



EFFECTOS DE SOMBRAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Dependerá de:

- Número de paneles sombreados
- Interconexión de celdas y diodos de bypass
- Grado de la sombra
- Distribución espacial y el curso de la sombra en el tiempo
- Interconexión de los módulos
- Diseño del inversor



ASPECTOS DE SEGURIDAD



ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS EN ALTURA

- **Protección anti caídas**

Para lo cual se deben revisar las recomendaciones de los institucionales de seguridad laboral.

- **Plataformas elevadoras, andamios y escalas**

Deben ser usados según las especificaciones del fabricante y sus normas.

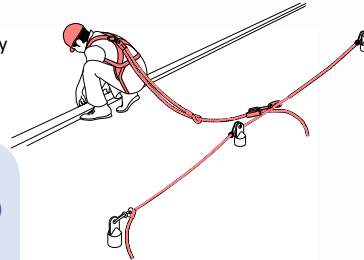
- **Equipos de Protección Personal**

Que deben ser revisados regularmente.



ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS EN ALTURA

Aparte de los riesgos usuales en obras e instalaciones, en FV hay riesgos que por ser muy habituales o poco conocidos, merecen atención especial.



Los más usuales:

- Cortes por manejo de perfiles metálicos (uso de guantes)
- Aplastamiento o daño en los pies (uso de botas con puntera metálica)
- Golpes en la cabeza con salientes o piezas móviles, así como por objetos caídos de un nivel superior (uso de casco)



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS EN ALTURA

Riesgo de caídas a distinto nivel:

- Uso de casco con barbiquejo
- Cubiertas transitables sin barandilla
 - Poner barandillas provisionales para instalación o bien dejarlas fijas para mantenimiento
 - Trabajar con arnés de seguridad y línea de vida
- Cubiertas no transitables o en mal estado:
 - Disponer pasarelas + arnés y línea de vida
 - Redes de seguridad



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICA PROFESIONAL (POV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2016

ASPECTOS DE SEGURIDAD PARA TRABAJOS EN ALTURA

Riesgo de caídas a distinto nivel:

- Tejados inclinados:
 - Trabajar con arnés de seguridad y línea de vida
 - Disponer escaleras verticales o pasarelas perpendiculares, ancladas
- Uso de maquinaria elevadora: brazos, tijeras, grúas...
 - Usar siempre la cesta con barandillas + arnés
 - No superar el peso permitido (riesgo de vuelque)



SEGURIDAD ELÉCTRICA

Riesgo de choque eléctrico:



- Tensiones superiores a **50V tanto en DC como en AC.**
- Módulos: de día siempre hay tensión Voc!
- Strings: **tensiones hasta 1000V!!** recomendable dejar desconectado 1 conector rápido hasta terminar todos los trabajos
- Tableros: varios circuitos con posible tensión. Ojo en FV hay tensión "aguas abajo" de la red.



SEGURIDAD ELÉCTRICA

Riesgo de choque eléctrico

Prevención:

- Trabajar sin tensión, abriendo los interruptores o seccionadores y comprobar con el tester.
- Usar siempre herramientas con aislamiento de 1000V.
- Si hay que tocar partes activas: guantes aislantes de 1000V.

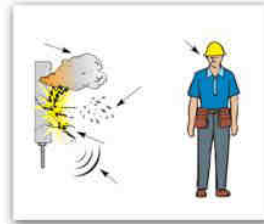


PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

SEGURIDAD ELÉCTRICA

Riesgo de quemadura por arco voltaico:

- Posible arco voltaico en desconexión en carga de elementos:
 - En conectores rápidos de los módulos
 - En portafusibles
 - Borneras
- Prevención:
 - *Desconectar primero mediante interruptores seccionadores*
 - *Si no hay seccionador en los strings, apagar inversor (off) para cortar paso de corriente.*



PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICENCIADOS DE INGENIERÍA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL (POPV)
CAPACITACIÓN DOCENTES / 2018

PROCEDIMIENTO DE APAGADO DE EMERGENCIA

- apagado interruptor magnetotérmico o seccionador AC → **el inversor detecta fallo de red y deja de inyectar corriente**
- el GFV queda en Voc y **no circula corriente**
- Apertura de portafusibles CC sin problemas de arco voltaico (o desconexión con disyuntor CC)
- Si es necesario para trabajos de mantenimiento sin tensión : desconectar conectores rápidos de módulo



FALLA A TIERRA

- En el caso de una falla a tierra, los componentes que normalmente no están energizados pueden energizarse, lo cual se vuelve peligroso.
- Por ejemplo, si se tiene un módulo con uno de sus **cables cortados, expuesto y en contacto con el marco del módulo**, eso puede hacer que la corriente circule por el marco del módulo, en vez de circular por el lado positivo y negativo.
- En caso de falla a tierra, el inversor y el sistema de monitoreo debe mostrar la falla (generalmente es un led rojo) e interrumpir el flujo de corriente.
- El dispositivo de protección de falla a tierra deberá ser capaz de detectar una falla, interrumpir el flujo de corriente de falla, y dar una indicación que ocurrió la falla.





HERRAMIENTAS MANUALES Y ELÉCTRICAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)



- **Casco clase A** (Nch 461/77, caso de seguridad dieléctrico clase 20 kV)
- **Gautes de seguridad**
- **Protección visual** (lentes de seguridad y protección facial cuando se requiera)
- **Ropa de trabajo adecuada**
- **Zapatos de seguridad** que sean del tipo dieléctrico o aislante apropiado para los voltajes involucrados.



HERRAMIENTAS MANUALES Y ELÉCTRICAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)



- Intervención en modo energizado (pruebas eléctricas, verificaciones en puntos sin aislación, etc.):
- **Gautes aislantes** con guante de cuero protector para el nivel de tensión requerido (Nch 1668/2005: Ropa de protección: gautes de material aislante para trabajos eléctricos):
 - Clase 00: para tensiones hasta 500 V
 - Clase 0: para tensiones hasta 1 kV
- **Ropa de trabajo ignífuga**
- **Careta facial con protección anti arco eléctrico**



HERRAMIENTAS MANUALES Y ELÉCTRICAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

- Realizar la mantención adecuada y regular a las herramientas de trabajo
- No quitar los seguros o protecciones que las herramientas traen incorporadas
- **Usar las herramientas adecuadas para la actividad específica**
- Seguir las instrucciones del fabricante
- Utilizar sistemas de alimentación eléctrica en buen estado y montado de acuerdo a normas específicas (por ejemplo, grupos electrógenos, extensiones, tableros de faena con disyuntores, protecciones diferenciales operativas, y sistema de puesta a tierra de protección, entre otros)





PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO





PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

- El mantenimiento preventivo se debe balancear de manera tal que **sus costos no sobrepasen a sus beneficios.**
- Los protocolos de mantenimiento preventivo **dependen del sistema, tamaño, diseño y entorno.**
- En general, se debe hacer, al menos, **una visita anual de mantenimiento preventivo.**



DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Generador
Fotovoltaico

- **Módulos:** impactos en cristales, condensación interna, corrosión marcos aluminio, cableado suelto...
- **Estructuras:** desperfectos, aparición de óxido, acumulación de agua o suciedad...
- **Canalizaciones exteriores:** estanqueidad, acumulación de agua o suciedad...
- **Reapriete de tornillería** (bianual)
- **Termografía para puntos calientes**
- **Limpieza de cristales:** agua y jabón, con esponja y escurridor, también manguera baja presión o máquinas. Ojo contraste térmico!



DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Tablero CC:

- General: quemaduras en bornes por contactos sueltos, protecciones desconectadas o fundidas (fusibles, varistores...)
- Reapriete de bornes eléctricos
- Comprobación tensión y corriente strings: desequilibrios en tensión, corrientes débiles por hot spots en módulo defectuoso o estropeado,...

Tablero AC:

- General: quemaduras en bornes por contactos sueltos, protecciones desconectadas (magnetotérmicos, diferenciales...)
- Reapriete de bornes eléctricos



PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- La limpieza manual de los módulos puede incrementar significativamente la potencia de salida del sistema dependiendo de la locación.
- Varios estudios concluyen que la potencia de salida del generador se puede incrementar entre un 2 y un 7% al realizar una limpieza constante de los módulos.

Antes de la limpieza:

- Leer las instrucciones de limpieza del fabricante del módulo.
- Tomar todas las medidas de seguridad necesarias: EPP, plataforma elevadora y/o andamio.
- Asegurar que el circuito está desconectado del inversor antes de comenzar la limpieza.
- No se debe caminar sobre los módulos FV.
- Nunca rociar agua sobre módulos dañados.



PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- Identificar zonas de riesgo que podrían ser muy resbaladizas al caerles agua.
- Planificar hacia dónde va a escurrir el agua (presencia de drenajes) y en caso de usar productos químicos, recoger el agua usada.
- Verificar la temperatura del módulo.
- Determinar si hay una fuente de agua cercana (grifo) o si es necesario traerla de una fuente externa usando una manguera o cisterna.
- No usar limpiador de alta presión.





PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- No usar agua destilada.
- Usar agua pobre en cal.
- Verificar si el tipo de agua utilizada no tiene mucho calcio o componentes que dejen rastros sobre el vidrio de los módulos.



- Los paneles, normalmente, pueden limpiarse con agua de la llave, en algunos casos puede ser recomendable usar agua desmineralizada o permitir que la misma agua de lluvia los limpie (en algunos casos el agua de la llave puede tener sustancias como cal, arsénico, que podría dañar los paneles).
- Al respecto es importante consultar las indicaciones del fabricante respecto a cómo limpiar el equipamiento SFV.



LISTA DE CHEQUEO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Frecuencia	Equipo	Acción
Diario	Inversor	¿Operación con indicación de fallas?
Mensual	Chequeo de generación: a través de las lecturas proporcionadas por el inversor o sistema de monitoreo.	Revisar y anotar los valores medidos
Cada 6 meses	Superficies de módulos	Suciedad por hojas/excrementos de aves/polución del aire/otros. ¿Existen módulos bajo tensión, producto de alguna deformación en la techumbre?
	Cajas de combinación de strings	¿Existen insectos o humedad dentro de las cajas? Revisar todos los fusibles que estén accesibles.



LISTA DE CHEQUEO PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Frecuencia	Equipo	Acción
Cada 6 meses	Cables	Revisar por daños en la aislación o rotura. Revisar todas las conexiones.
	Protecciones	Verificar su funcionamiento.
Cada 3 – 4 años	Inversores ubicados en el exterior	Penetración de humedad. Sólo un especialista
	Módulos	Medida de la curva característica, análisis termográfico y funcional por un experto.
	Cajas de combinación de strings	Revisar los fusibles de strings.
	Dispositivos de protección AC	Revisar los interruptores termomagnéticos y diferenciales.



AVERÍAS, FALLAS TÍPICAS Y MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS





MÓDULOS DESCONECTADOS

- Esta falla se produce al **conectar un string**, en el cual se deja un módulo fuera.
- Puede permanecer sin descubrir, **incluso con una medición de voltaje**.
- Es importante efectuar una medición de voltaje de circuito abierto de los módulos, basada en la temperatura actual de ellos.



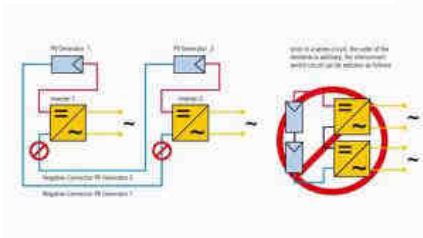
MÓDULOS CONECTADOS EN POLARIDAD INVERSA

- Ocurre cuando un módulo dentro de un string **es conectado con polaridad inversa**.
- Esto causa una caída de voltaje en hasta dos módulos, ya que uno de los módulos con polaridad correcta tiene que compensar el voltaje adyacente incorrecto.
- Esta falla es fácil de detectar durante las mediciones de voltaje.



MÓDULOS EN CONEXIÓN CRUZADA

- Esta falla se produce cuando el terminal positivo de un sub-generador **está conectado a su inversor correspondiente, mientras que el terminal negativo está conectado al inversor de otro arreglo**.
- Esto implica que ambos sub-generadores, así como los inversores, **están conectados en serie**.
- El voltaje total del generador será del doble del proyectado, lo que puede ocasionar **daños a los inversores**.





INVERSORES

- Verificación de la correcta ventilación del inversor (ventiladores, filtros, disipadores etc.) ➡ debe hacerse de forma regular.
- En caso de mal funcionamiento el inversor se calienta innecesariamente, lo que puede resultar en limitación de potencia temporal, significando una pérdida de rendimiento.
- Muchos inversores lo indican con una luz roja. Es importante seguir las instrucciones del fabricante, pues cualquier intervención indebida puede implicar la pérdida de garantía.



DAÑOS EXTERNOS

- Pueden ser producto de causas naturales: efectos del clima o sombreado debido a la vegetación.
- Producto de actos vandálicos.
- Problemas en la red de distribución: pueden alterar el comportamiento operacional del inversor: disparo del vigilante de tensión o de frecuencia.
- Diodos de baypass o de strings pueden fallar debido a sobrecarga termal o por sobrevoltajes: tormentas eléctricas.



RIESGOS DE INCENDIOS

- Los sistemas FV pueden obstruir las labores de combate contra incendios.
- Es por ello que los sistemas FV deben estar separados en varias subsecciones: **por lo menos 1 metro libre cada 10 metros.**
- Debe existir separación eléctrica entre el sistema FV y el resto del edificio.
- Desde el punto de vista eléctrico, existen dos grandes diferencias entre un sistema FV y un sistema eléctrico estándar:
 - Un sistema FV no puede ser apagado completamente.
 - Durante el flujo de corriente se puede desarrollar un arco, el cual no es fácilmente extinguido dado que se trata de corriente continua.





RIESGOS DE INCENDIOS

- Un sistema FV debe considerarse como un sistema eléctrico conectado cuando se está extinguiendo el fuego.
- La única excepción a lo anterior es oscureciendo el generador: no existe presencia de voltaje.
- En áreas inundadas de agua, los voltajes en el generador FV, los cuales pueden ser ocasionalmente muy altos, pueden llevar a daños adicionales.
- Es necesario mantener una distancia de seguridad de al menos 1 metro entre el generador y las áreas inundadas.





EXPERIENCIA A LARGO PLAZO Y CALIDAD

- La generación de los sistemas FV es calculada sobre un período de **20 años**.
- Más allá de este período, aún se espera que el sistema siga generando.
- El comportamiento de los módulos y del inversor es particularmente importante.



COMPORTAMIENTO A LARGO PLAZO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- Los sistemas FV operarán sin problema por muchos años cuando son bien planificados y cuidadosamente instalados, así como cuando son utilizados componentes de alta calidad.
- Los módulos son los componentes más durables de un sistema FV.
- La luz ultravioleta causa envejecimiento de las celdas y su degradación, lo que implica una caída de la potencia de salida.
- La degradación inicial de los módulos cristalinos es muy baja (1 a 2%) y en algunos casos, policristalinos, aún menor.
- Mientras el laminado de la celda permanezca sellado, ésta no envejecerá totalmente.
- Cuando el laminado se rompe y entra aire y humedad a la celda o al módulo, se acelerará el envejecimiento.



COMPORTAMIENTO A LARGO PLAZO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS



• El factor clave en el envejecimiento es el comportamiento a largo plazo del plástico utilizado para el encapsulamiento y su compatibilidad con otros sustratos químicos (antirreflejo)

- Plástico envejecido: **decoloración amarilla o café.**
- Pruebas sobre módulos que han estado funcionando por 25 años con signos visibles de envejecimiento, aún estaban produciendo, en promedio, un **75%** de su salida de potencia original.
- La degradación promedio anual de los módulos cristalinos se puede asumir en un **0,25%**.



CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS INVERSORES

- La mayoría de los inversores comercializados en Chile tienen la aprobación CE y, por lo tanto, cumplen con los estándares de seguridad eléctrica.
- Los inversores son los componentes más vulnerables en un sistema FV.
- La experiencia a largo plazo ha demostrado que el período promedio de operación sin fallas es de **5 a 8 años**.
- En promedio, las reparaciones o el reemplazo total de un equipo se debe efectuar después de **10 años** de operación.
- Un acuerdo de servicios con el fabricante que incluya un servicio de reemplazo minimiza las pérdidas de generación.
- Las fallas, a menudo son causadas por fallas de los fusibles en el equipo o por fallas en los varistores.



CALIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS INVERSORES

- La vida útil del inversor puede incrementarse con una buena ventilación.
- Los equipos montados en el exterior están expuestos a variaciones de temperatura, lo cual puede afectar su durabilidad. Además, no existe protección que asegure el no ingreso de humedad al interior del inversor.
- El monitoreo continuo durante la operación y un mantenimiento regular pueden optimizar la operación del sistema completo.
- Una causa frecuente en la falla de los inversores es la falla de los condensadores electrolíticos, los cuales son usados en la entrada DC para almacenar energía mientras se "switchea" la polaridad.
- En la actualidad, algunos inversores operan sin estos componentes.



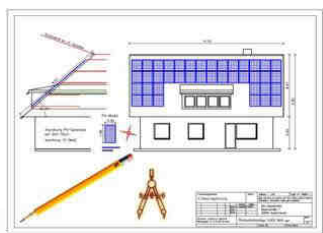
4.PLANIMETRÍA Y ESTRUCTURA DE MONTAJE

WEBINAR

PLANIMETRÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

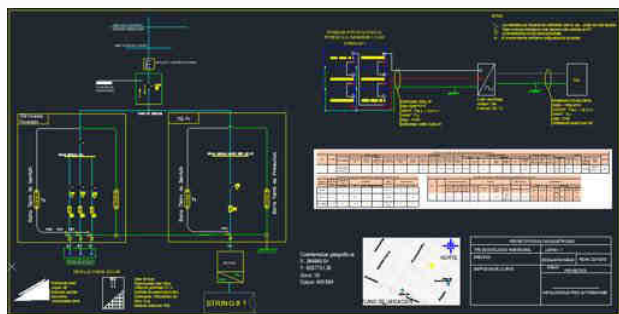
Normativa a considerar

NCH Elec. 4/2003
NCH Elec. 2/84
NTCO EGBT
RGR N° 01/2017
RGR N° 02/2017





Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV



La Instrucción técnica RGR N°01/2017, nos entrega el lineamiento para llevar a cabo la correcta elaboración de la planimetría de un sistema fotovoltaico residencial.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

Ubicación geográfica de la instalación



Para la ubicación de las coordenadas geográficas en coordenadas UTM, deben consultar la siguiente página web:

- <http://www.mundivideo.com/coordenadas.htm>

En esta página, ingresar la dirección de la instalación, con lo cual obtendremos los datos de las coordenadas X, Y, Zona y Datum



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

Nombre de perfil de protecciones de red chileno y si el inversor da acceso a los parámetros de configuración de ajuste:

NOTAS:

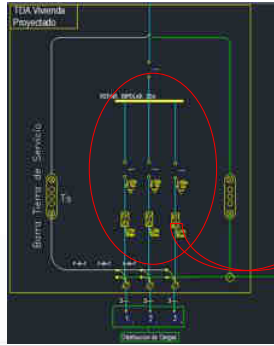
1. Los materiales que requieren de certificación para su uso, cumple con este requisito.
2. Todas la alturas indicadas en este proyecto están referidas al NPT.
3. La canalización con de apoyo que han sido.
4. El Inversor permite verificar la configuración de los ajustes.

Es importante constatar con el instalador autorizado o el proveedor de inversor, que este permite verificar la configuración de los ajustes según la norma chilena.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

b) Datos del Tablero General

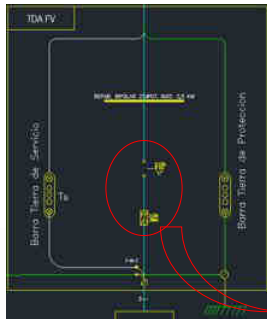


Indicar cantidad y tipo de protecciones, valor de la corriente nominal, nivel de corriente de ruptura y curvas de operación. Para las barras de distribución señalar su sección y capacidad de transporte. En el caso de los diferenciales, indicar su tipo y sensibilidad.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

c) Detalle de las protecciones pertenecientes al generador FV residencial



Se deben detallar las protecciones pertenecientes al generador fotovoltaico, considerando sus características técnicas, tipo, valores y cantidad. Recuerda que para las instalaciones fotovoltaicas residenciales, se deben considerar interruptores termomagnéticos bipolares y los interruptores diferenciales deben de ser del tipo A o B (quedan excluidos los del tipo AC, usados comúnmente).



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

f) Generador Fotovoltaico



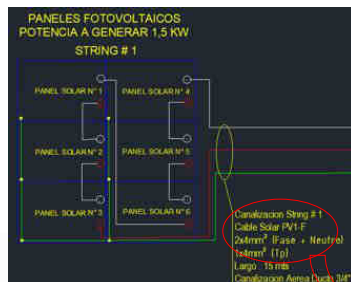
Destacar el ángulo de inclinación de los paneles.

Es importante identificar el número total de módulos y el número de strings.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

g) String



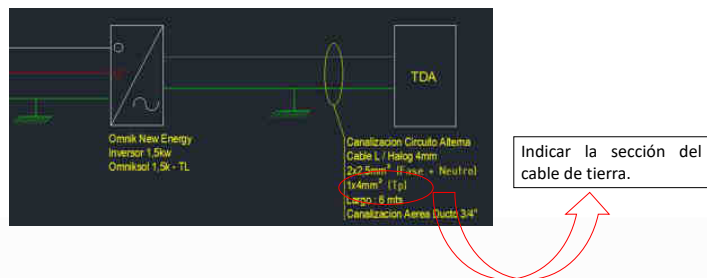
En el caso de que se utilicen fusibles y diodos externos, se debe indicar su especificación técnica.

En este caso, hay que especificar el cable del string en cuanto a su sección y a su aislación.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

j) Puesta a tierra y protección de sobretensión



Indicar la sección del cable de tierra.



Puntos a destacar en la planimetría eléctrica de un sistema FV

k) Sistema CA



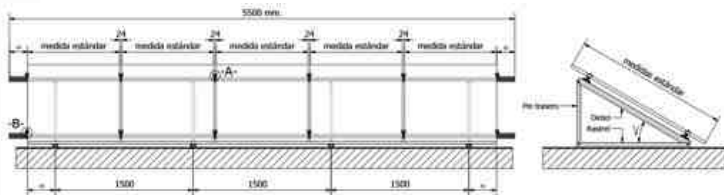
Señalar el tipo de canalización, sección, longitud, etc. del tramo AC.



ESTRUCTURAS DE SOPORTE PARA LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

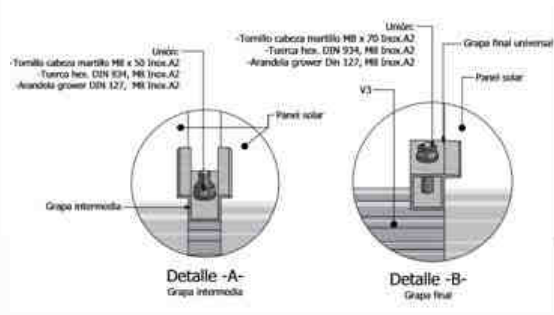


1. Estructura en ángulo para techos planos

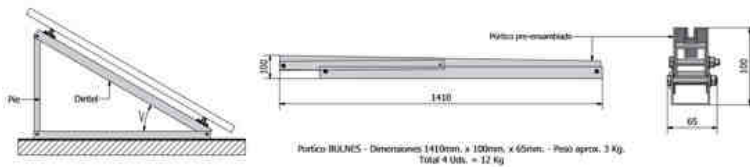




2. Detalle de fijaciones (grapas) entre paneles y estructura



3. Detalle de pórtico triangular



3. Detalle de pernería de fijación de paneles



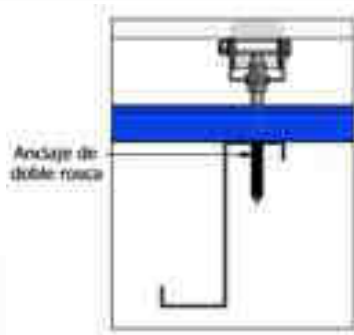


4. Detalle de barras transversales para fijación de paneles





5. Ejemplo de fijación a cubierta





6. Estructura paralela a techo (sin ángulo)





7. Ejemplos de anclaje a techos metálicos



