

Módulo y Generador

Energía Solar Fotovoltaica

Oscar Perpiñán Lamigueiro

<http://oscarperpinan.github.io>

Módulo Fotovoltaico

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales.
- ▶ Es necesario realizar **agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente adecuadas.**

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales.
- ▶ Es necesario realizar **agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente adecuadas.**
- ▶ Un **módulo fotovoltaico** es una **asociación de células** a las que **protege de la intemperie**, las **aisla eléctricamente** del exterior dando **rigidez mecánica** al conjunto.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

- ▶ Las características eléctricas de una célula no son suficientes para alimentar las cargas convencionales.
- ▶ Es necesario realizar **agrupaciones en serie y paralelo para entregar tensión y corriente adecuadas.**
- ▶ Un **módulo fotovoltaico** es una **asociación de células** a las que **protege de la intemperie**, las **aisla eléctricamente** del exterior dando **rigidez mecánica** al conjunto.
- ▶ Existen multitud de módulos diferentes, tanto por su configuración eléctrica como por sus características estructurales y estéticas.

Estructura de un módulo fotovoltaico



- ▶ La asociación de células es encapsulada en **dos capas de EVA** (etileno-vinilo-acetato), entre una **lámina frontal de vidrio** y una **capa posterior** de un polímero termoplástico (frecuentemente se emplea el **tedlar**).
- ▶ Este conjunto es enmarcado en una **estructura de aluminio anodizado** con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica del conjunto y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte.

El vidrio frontal

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- Debe tener y mantener una **alta transmisividad** en la bandapectral en la que trabajan las células solares.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

El vidrio frontal

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Debe tener y mantener una **alta transmisividad** en la banda espectral en la que trabajan las células solares.
- ▶ Debe tener buena **resistencia al impacto y a la abrasión.**

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

El vidrio frontal

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Debe tener y mantener una **alta transmisividad** en la banda espectral en la que trabajan las células solares.
- ▶ Debe tener buena **resistencia al impacto y a la abrasión**.
- ▶ Su superficie debe ser de forma que combine un **buen comportamiento antireflexivo** con la **ausencia de bordes o desniveles** que faciliten la acumulación de suciedad o dificulten la limpieza de ésta mediante la acción combinada del viento y la lluvia.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

El vidrio frontal

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Debe tener y mantener una **alta transmisividad** en la banda espectral en la que trabajan las células solares.
- ▶ Debe tener buena **resistencia al impacto y a la abrasión**.
- ▶ Su superficie debe ser de forma que combine un **buen comportamiento antireflexivo** con la **ausencia de bordes o desniveles** que faciliten la acumulación de suciedad o dificulten la limpieza de ésta mediante la acción combinada del viento y la lluvia.
- ▶ Frecuentemente se emplea **vidrio templado con bajo contenido en hierro con algún tipo de tratamiento antireflexivo**.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

- ▶ El **encapsulante a base de EVA**, combinado con un tratamiento en vacío y las capas frontal y posterior, **evita la entrada de humedad** en el módulo, señalada como la causa principal de la degradación a largo plazo de módulos fotovoltaicos.
- ▶ Además, esta combinación permite obtener **altos niveles de aislamiento eléctrico**.

Configuración eléctrica

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Una **configuración eléctrica muy común** hasta hace unos años empleaba **36 células en serie** para obtener módulos con potencias comprendidas en el rango 50 Wp – 100 Wp con tensiones en MPP cercanas a los 15 V en funcionamiento.
- ▶ Estos módulos eran particularmente adecuados para su acoplamiento con baterías de tensión nominal 12 V en los sistemas de electrificación rural.
- ▶ Con el protagonismo abrumador de los sistemas fotovoltaicos de conexión a red, esta configuración ha perdido importancia. Ahora son frecuentes los módulos de potencia superior a los 200 Wp y tensiones en el rango 30 V – 50 V.

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Norma Internacional IEC 61215

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Para los módulos compuestos por **células de silicio cristalino** es de aplicación la **norma internacional IEC-61215** «Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Design Qualification and Type Approval».
- ▶ Esta norma internacional recoge los **requisitos de diseño y construcción** de módulos fotovoltaicos terrestres apropiados para su operación en períodos prolongados de tiempo bajo los efectos climáticos.
- ▶ Detalla un **procedimiento de pruebas** a los que se debe someter el módulo que deseé contar con la certificación asociada a esta normativa

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Suposiciones del modelo

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

$$I = I_{sc} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{V - V_{oc} + I \cdot R_s}{V_t}\right)\right)$$

- ▶ Los efectos de la resistencia paralelo son despreciables

Módulo
Fotovoltaico

Introducción
Modelado de un módulo
Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Suposiciones del modelo

$$I = I_{sc} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{V - V_{oc} + I \cdot R_s}{V_t}\right)\right)$$

- ▶ Los efectos de la resistencia paralelo son despreciables
- ▶ La corriente fotogenerada (I_L) es igual a la corriente de cortocircuito

Suposiciones del modelo

$$I = I_{sc} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{V - V_{oc} + I \cdot R_s}{V_t}\right)\right)$$

- ▶ Los efectos de la resistencia paralelo son despreciables
- ▶ La corriente fotogenerada (I_L) es igual a la corriente de cortocircuito
- ▶ En cualquier condición de operación $\exp\left(-\frac{V + I \cdot R_s}{V_t}\right) \gg 1$

Efecto de la radiación y la temperatura

- ▶ La **corriente de cortocircuito** depende exclusivamente y de forma lineal de la **irradiancia**.

$$I_{sc} = G_{ef} \cdot \frac{I_{sc}^*}{G^*}$$

- ▶ La **tensión de circuito abierto** depende exclusivamente de la **temperatura de célula**, y decrece linealmente con ella.

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc}^* + (T_c - T_c^*) \cdot \frac{dV_{oc}}{dT_c}$$

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
FotovoltaicoEjemplos de
generadores
fotovoltaicos

Temperatura de operación de célula

- ▶ La **temperatura de operación de la célula** depende de la **temperatura y la irradiación**

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{NOCT - 20}{800}$$

- ▶ Como consecuencia, la **eficiencia decrece** a razón de 0,5% por grado centigrado.
- ▶ La **resistencia serie** es **independiente** de las condiciones de operación.

Módulo
Fotovoltaico[Introducción](#)[Modelado de un módulo](#)[Punto Caliente](#)Generador
Fotovoltaico[Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos](#)

- ▶ Temperatura que alcanza una *célula* cuando su *módulo* trabaja en las siguientes condiciones:
 - ▶ Irradiancia: $G = 800 \text{ W m}^{-2}$
 - ▶ Espectro: el correspondiente a $AM = 1.5$.
 - ▶ Incidencia normal
 - ▶ Temperatura *ambiente*: $T_a = 20^\circ\text{C}$.
 - ▶ Velocidad de viento: $v_v = 1 \text{ m s}^{-1}$.

Módulo Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Punto caliente

Módulo y
Generador

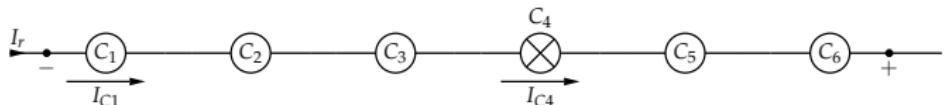
Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Introducción
Modelado de un módulo
Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

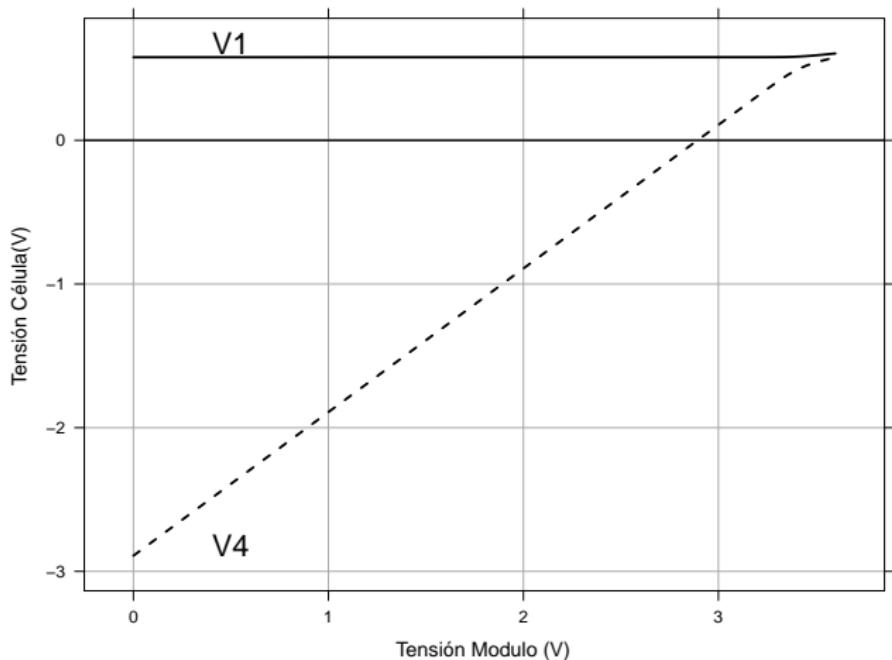
Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Punto caliente

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro



Módulo
Fotovoltaico

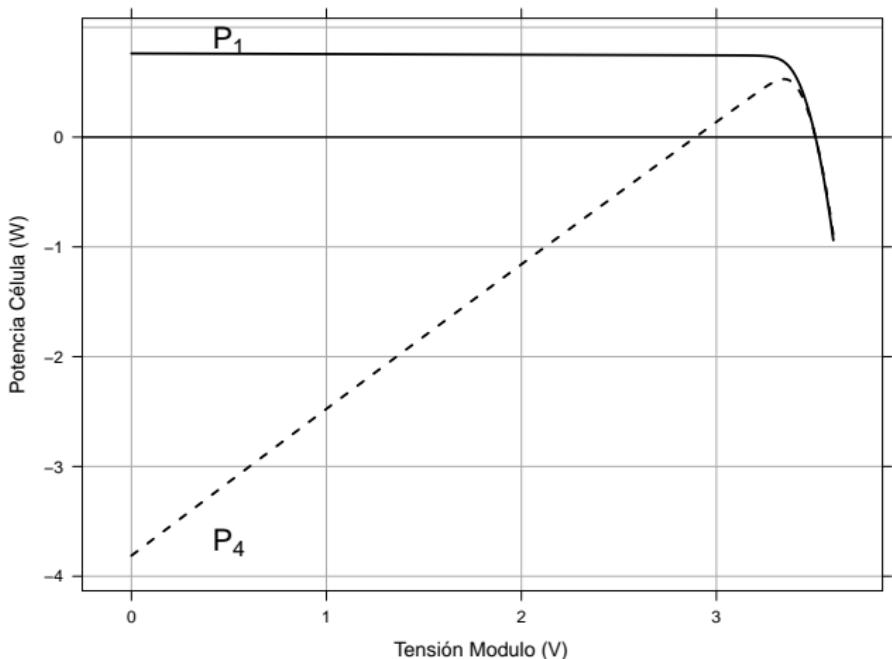
Introducción
Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Punto caliente



Diodo de paso

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

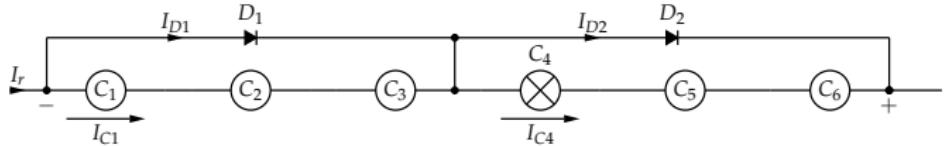
Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

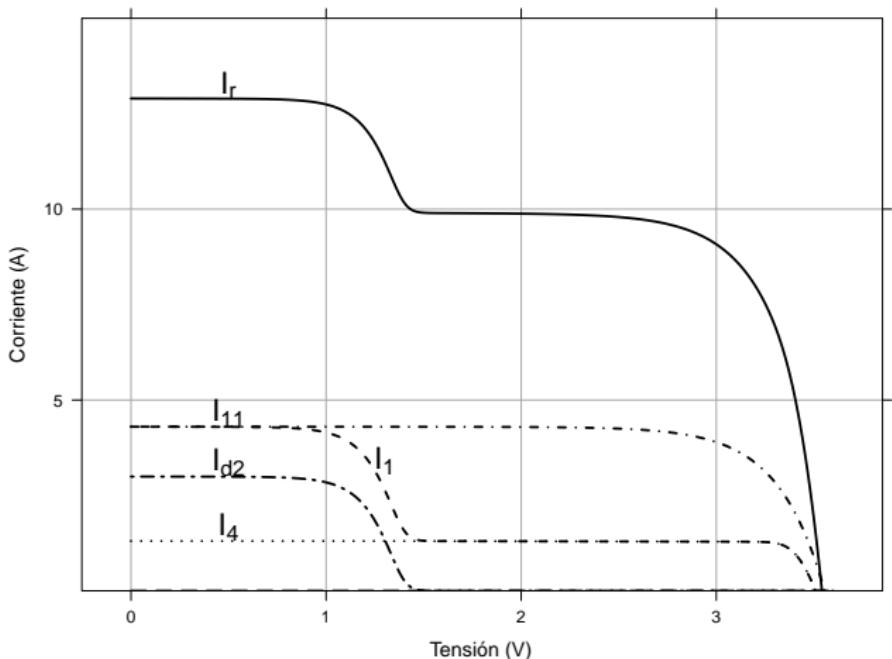
Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Curvas I-V con diodo de paso

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro



Módulo
Fotovoltaico

Introducción

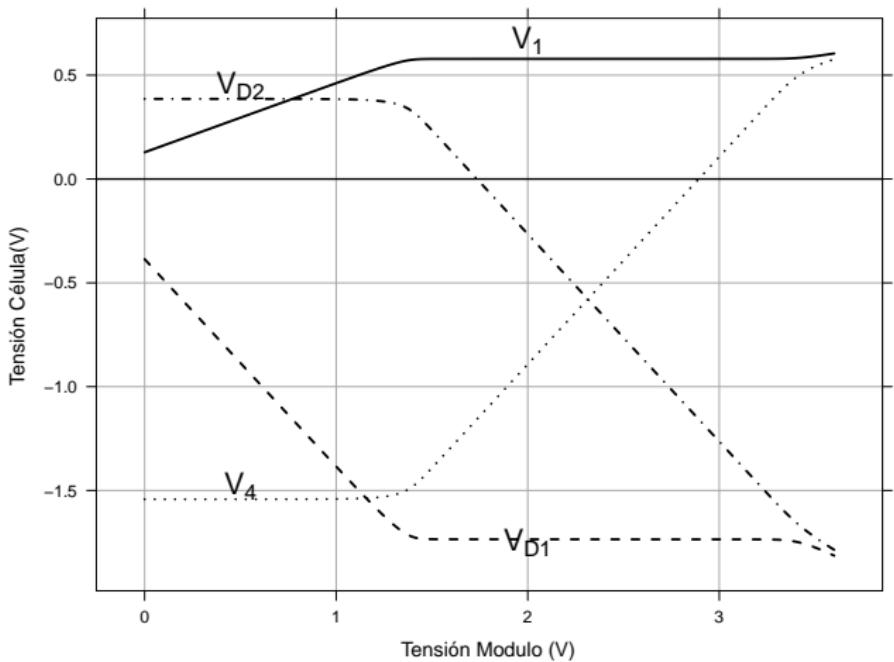
Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Tensión con diodo de paso

Módulo
Fotovoltaico

Introducción

Modelado de un módulo

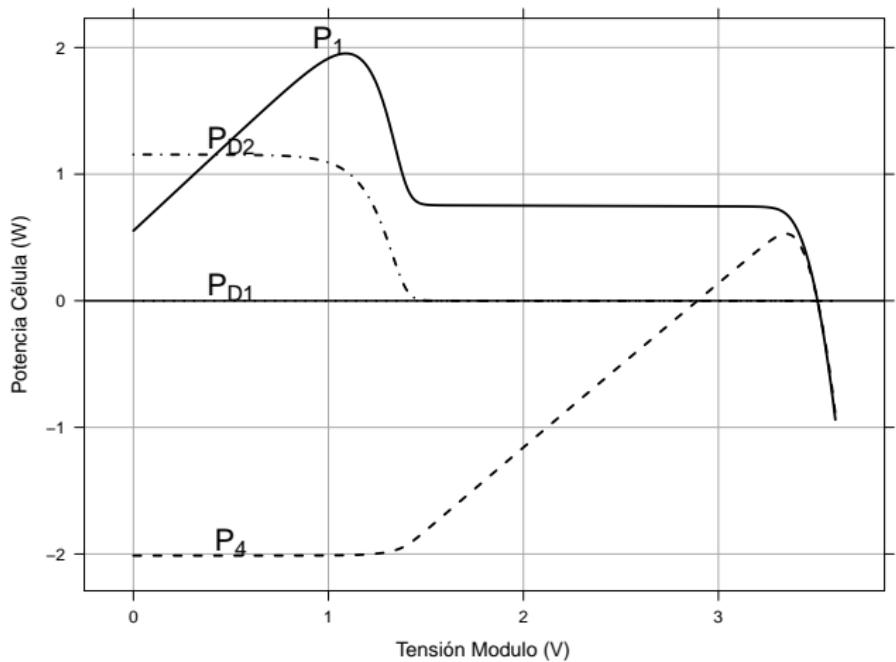
Punto Caliente

Generador
FotovoltaicoEjemplos de
generadores
fotovoltaicos

Curvas Potencia con diodo de paso

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro



Módulo
Fotovoltaico

Introducción
Modelado de un módulo

Punto Caliente

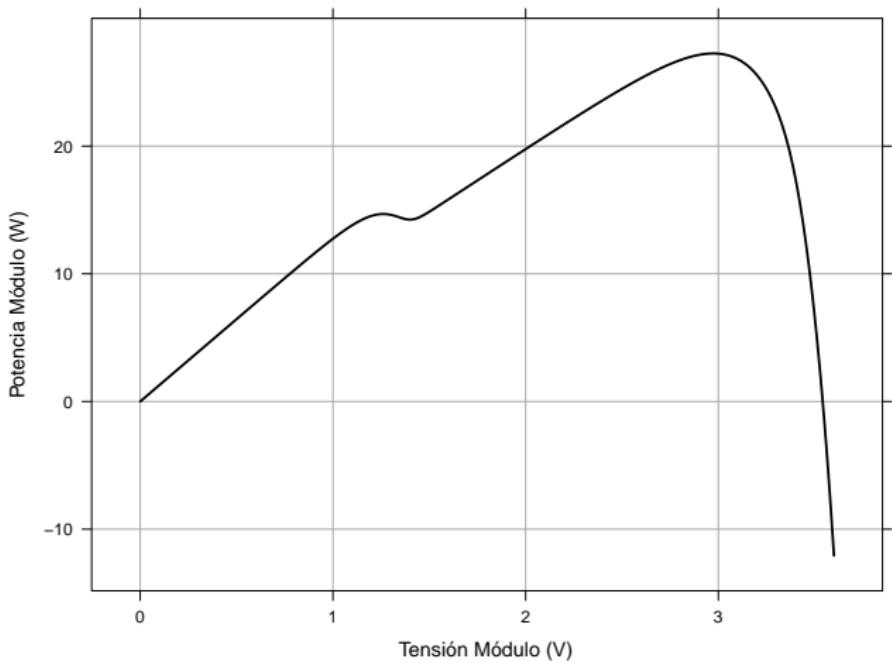
Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Curva Módulo con Diodos de Paso

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro



Módulo
Fotovoltaico

Introducción
Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Diodos de paso

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

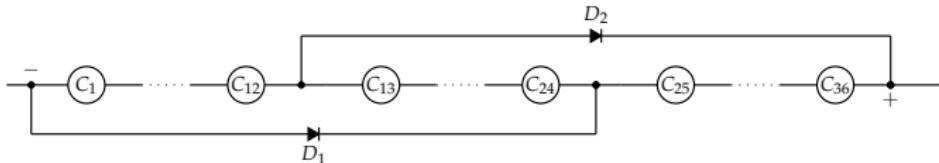
Introducción

Modelado de un módulo

Punto Caliente

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo Fotovoltaico

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Generador Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

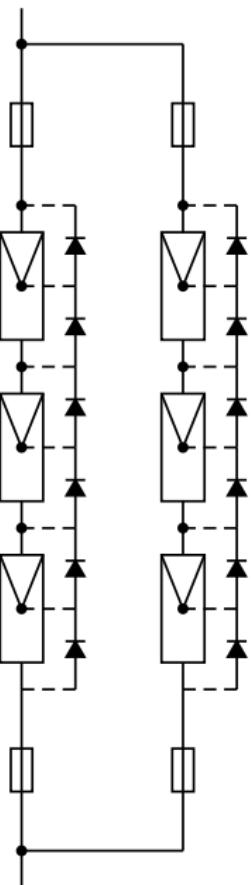
Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Generador Fotovoltaico

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- Un generador fotovoltaico es una **asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos** para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada.



Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

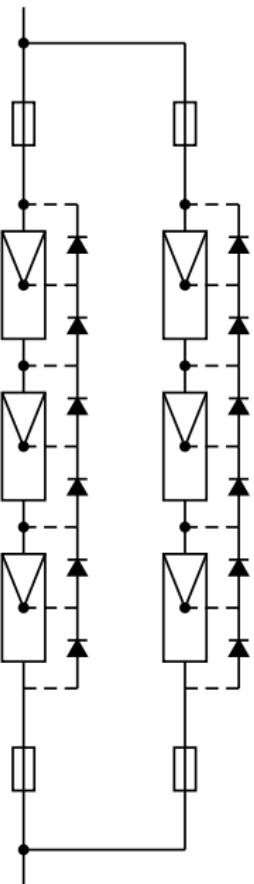
Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Generador Fotovoltaico

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

- ▶ Un generador fotovoltaico es una **asociación eléctrica de módulos fotovoltaicos** para adaptarse a las condiciones de funcionamiento de una aplicación determinada.
- ▶ Se compone de un total de $N_T = N_p \cdot N_s$ módulos, siendo N_p el número de ramas (módulos en paralelo), y N_s el número de módulos en cada serie.



Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Ramas y series

- ▶ El número de ramas, N_p , define la corriente total del generador

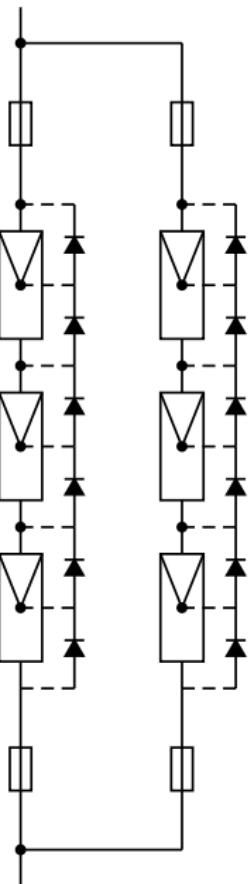
$$I_{sc,g} = N_p \cdot I_{sc,m}$$

- ▶ El número de modulos en serie, N_s , define la tensión del generador.

$$V_{oc,g} = N_s \cdot V_{oc,m}$$

- ▶ La potencia del generador es (idealmente):

$$P_g = N_T \cdot P_m = (N_s \cdot V_{mpp,m})(N_p \cdot I_{mpp,m})$$



Ejemplo de cálculo

Calcular el comportamiento eléctrico de un generador fotovoltaico constituido por 40 módulos, asociados en 4 ramas, bajo la suposición de factor de forma constante.

- ▶ Las condiciones de operación de este generador son:
 $G_{ef} = 700 \text{ W/m}^2$ y $T_a = 34^\circ\text{C}$.
- ▶ De las fichas técnicas del módulo se extrae la siguiente información: $I_{sc}^* = 3 \text{ A}$, $V_{oc}^* = 19,8 \text{ V}$,
 $I_{mpp}^* = 2,8 \text{ A}$ y $V_{mpp}^* = 15,7 \text{ V}$.
- ▶ Cada módulo está constituido por 33 células asociadas en serie. La TONC del módulo es de 43°C .

Módulo
FotovoltaicoGenerador
Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Generador Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Pérdidas por dispersión

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Definición del problema

Los parámetros eléctricos de un módulo FV presentan dispersión: la producción energética será menor que la ideal.

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Definición
Pérdidas por dispersión

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Eficiencia de conexión

- ▶ Las pérdidas de **dispersión por corriente** (conexión serie en una rama) aumentan con el número de módulos en serie.
- ▶ Las pérdidas de **dispersión por tensión** (conexión paralelo entre ramas) es despreciable.

Clasificación de módulos

- ▶ Un **método para reducir las pérdidas por dispersión** consiste en **realizar clasificaciones** de los módulos atendiendo a sus valores reales de corriente.
- ▶ Recomendable clasificación en **tres categorías**, conectando en cada rama módulos de una misma categoría.
- ▶ Reducciones del 2-3% en las pérdidas globales del sistema.

Problema

La indeterminación asociada a medidas «flash» son del mismo rango que la separación entre categorías.

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Definición

Pérdidas por dispersión

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

Módulo Fotovoltaico

Generador Fotovoltaico

Ejemplos de generadores fotovoltaicos

Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos



Módulo y
Generador

Oscar Perpiñán
Lamigueiro

Módulo
Fotovoltaico

Generador
Fotovoltaico

Ejemplos de
generadores
fotovoltaicos

