

MÓDULO Y GENERADOR FOTOVOLTAICO

OSCAR PERPIÑÁN LAMIGUEIRO

1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Introducción
- Modelado de un módulo
- Punto Caliente

2 GENERADOR FOTOVOLTAICO

- Definición
- Pérdidas por dispersión

3 EJEMPLOS DE GENERADORES FOTOVOLTAICOS

MÓDULO FOTOVOLTAICO

- 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**) **u otra lámina de cristal** cuando se desea obtener módulos con algún grado de transparencia.
- 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.

ESTRUCTURA DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

EL VIDRIO FRONTAL

- 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 antirreflexivo** 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 antirreflexivo**.

ESTRUCTURA DE UN MÓDULO EVA

- 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**.

ESTRUCTURA DE UN MÓDULO

CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

- 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.

NORMA INTERNACIONAL IEC 61215

- 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 desee contar con la certificación asociada a esta normativa

MODELADO DEL MÓDULO

SUPOSICIONES

- 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 $\exp(\frac{V+I \cdot R_s}{V_t}) \gg 1$

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

MODELADO DEL MÓDULO

- 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.

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

MODELADO DEL MÓDULO

- 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.

TONC

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*: $T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Velocidad de viento: $v_v = 1 \text{ m/s}$.

EJEMPLO DE CÁLCULO

FACTOR DE FORMA CONSTANTE

Calcular el comportamiento eléctrico de un generador fotovoltaico constituido por 40 módulos, asociados en 4 ramas.

Las condiciones de operación de este generador son:

$$G_{ef} = 700 \text{ W/m}^2 \text{ y } T_a = 34^\circ\text{C}.$$

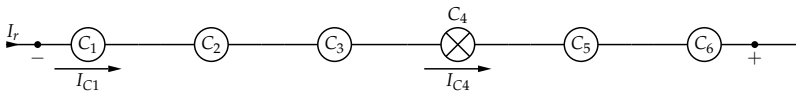
De las fichas técnicas del módulo se extrae la siguiente información: $I_{sc}^* = 3 \text{ A}$, $V_{oc}^* = 19,8 \text{ V}$, $I_{mpp}^* = 2,8 \text{ A}$ y

$$V_{mpp}^* = 15,7 \text{ V}.$$

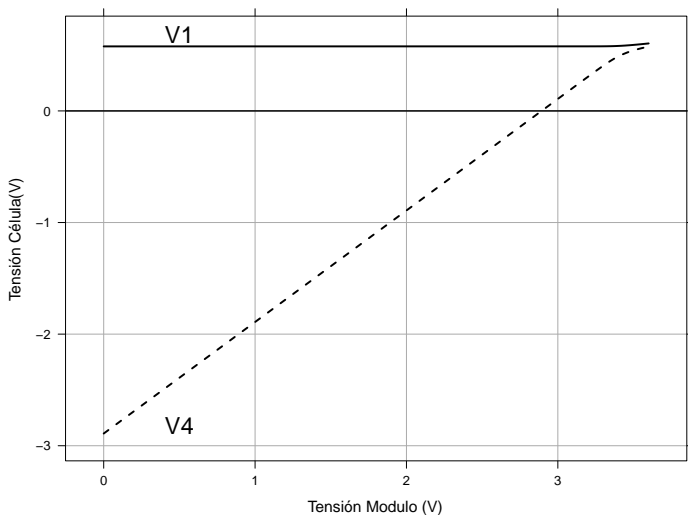
Cada módulo está constituido por 33 células asociadas en serie.

La TONC del módulo es de 43°C .

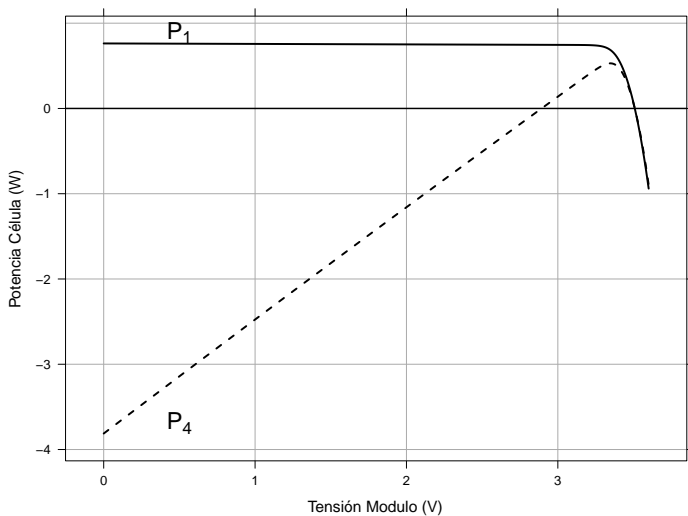
PUNTO CALIENTE



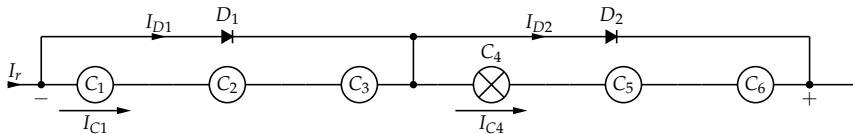
PUNTO CALIENTE



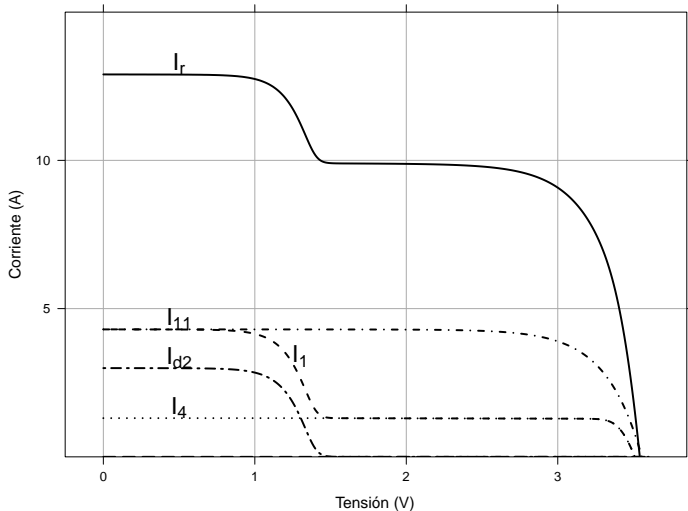
PUNTO CALIENTE



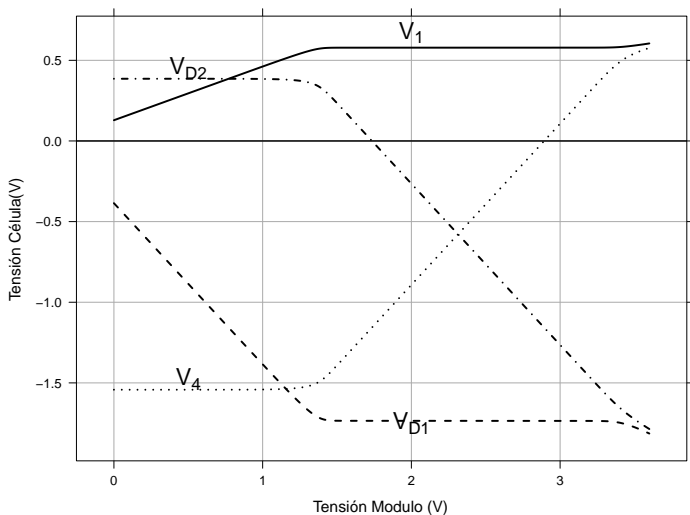
DIODO DE PASO



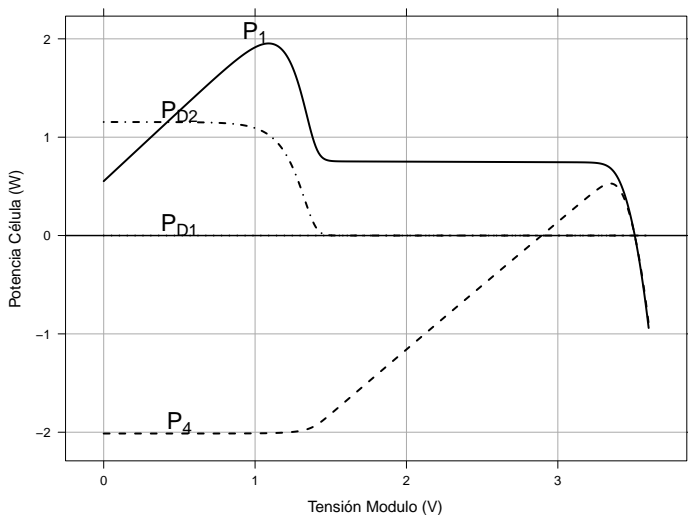
CURVAS I-V CON DIODO DE PASO



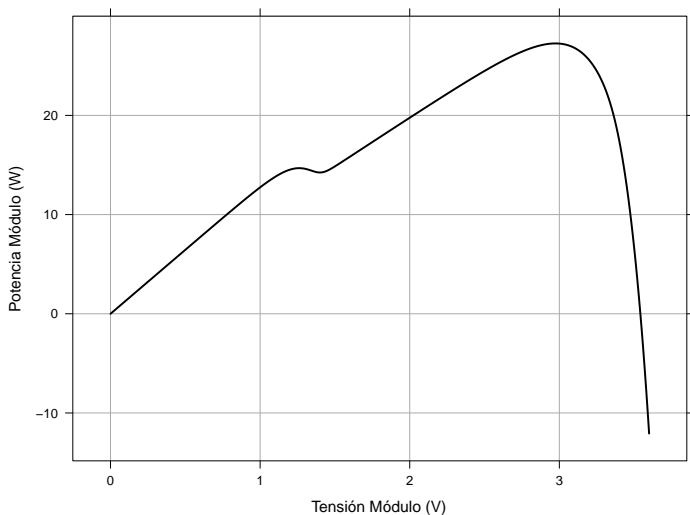
TENSIÓN CON DIODO DE PASO



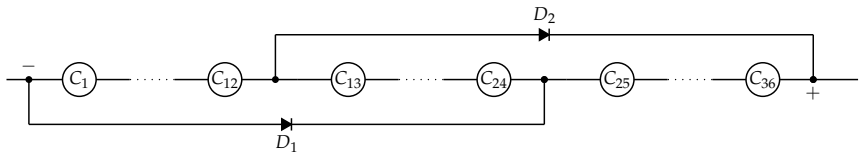
CURVAS POTENCIA CON DIODO DE PASO



CURVA MÓDULO CON DIODOS DE PASO



DIODOS DE PASO



1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Introducción
- Modelado de un módulo
- Punto Caliente

2 GENERADOR FOTOVOLTAICO

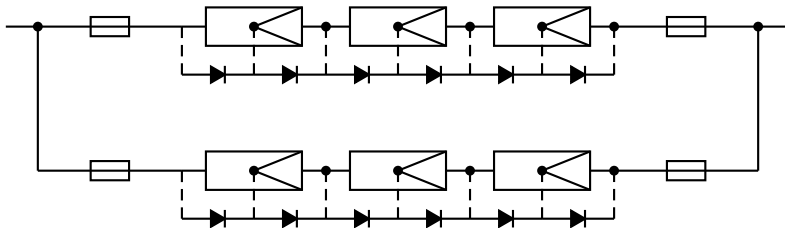
- Definición
- Pérdidas por dispersión

3 EJEMPLOS DE GENERADORES FOTOVOLTAICOS

GENERADOR FOTOVOLTAICO

- 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 $N_p \cdot N_s$ módulos, siendo N_p el número de ramas y N_s el número de módulos en cada serie.
- El número de ramas define la corriente total del generador y el número de módulos por serie define la tensión del generador.

GENERADOR FOTOVOLTAICO



PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

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

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

La corriente de máxima potencia de un conjunto de módulos puede caracterizarse por una distribución tipo Weibull

$$f(I_{mpp}) = \alpha \beta^{-\alpha} I_{mpp}^{\alpha-1} \exp \left[- \left(\frac{I_{mpp}}{\beta} \right)^{\alpha} \right]$$

siendo α el factor de forma y β el factor de escala de la distribución. La eficiencia de conexión serie es:

$$\eta_{cs} = \frac{I_{mpp}^r}{\overline{I_{mpp}}}$$

siendo I_{mpp}^r la corriente de la rama, y $\overline{I_{mpp}}$ la media de las corrientes del grupo de módulos.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

- A partir de la distribución y la definición de eficiencia de conexión serie puede deducirse que ésta se calcula mediante

$$\eta_{cs} = N^{-\frac{1}{\alpha}}$$

siendo N el número de módulos en la serie. Por tanto, **la eficiencia disminuye si aumenta N**. Asimismo, la eficiencia aumenta con α .

- Por otra parte, puede demostrarse que la **tensión de un grupo de módulos** puede modelarse mediante una función gaussiana y que la **dispersión de valores de tensión es suficientemente baja para poder considerar que la eficiencia de conexión de ramas en paralelo es igual a 1**.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

- La dispersión de un conjunto depende inversamente del valor de α , así que un **método para reducir las pérdidas por dispersión** consiste en **realizar clasificaciones** de los módulos atendiendo a sus valores reales de corriente.
- En sistemas de cierta entidad, puede ser conveniente realizar una clasificación en tres categorías y crear cada rama con módulos de una misma categoría.
- Este método puede suponer reducciones del 2-3 % en las pérdidas globales del sistema.

PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN

PROBLEMA

- Las clasificaciones se realizan en base a las méridas realizadas por los fabricantes con “flash”.
- **La indeterminación asociada a este método en relación a las medidas a sol real son del mismo rango que la separación entre categorías.**

1 MÓDULO FOTOVOLTAICO

- Introducción
- Modelado de un módulo
- Punto Caliente

2 GENERADOR FOTOVOLTAICO

- Definición
- Pérdidas por dispersión

3 EJEMPLOS DE GENERADORES FOTOVOLTAICOS













