

# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

BLOQUE I: Principios de generación y diseño de instalaciones  
fotovoltaica. Clase II

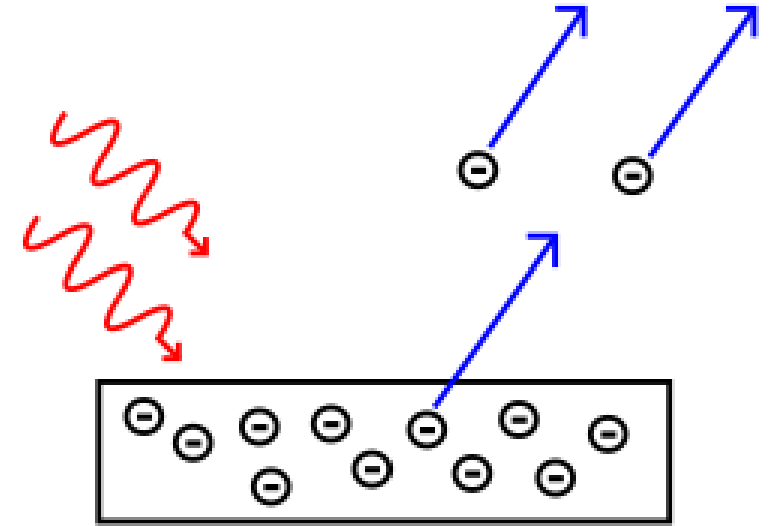
# 2. El panel fotovoltaico

## 2.1 Introducción

1) Efecto fotoeléctrico

$$\lambda \leq h \cdot c / E_G$$

2) Una parte de la radiación no es capaz de liberar los electrones



Material	Si (Silicio)	InP (Indio-Fósforo)	AsGA (Arsénico-Galio)	CdTe (Cadmio-Telurio)	CdS (Cadmio-Azufre)
Rendimiento	0.22	0.24	0.26	0.23	0.18

donde

$\lambda$  longitud de onda (en m)

$h$  constante de Planck (en J·s)

$c$  velocidad de la luz (en m/s)

$E_G$  anchura de la banda prohibida [en eV (electronvoltio); 1 eV = 1.602 176 620 8 × 10<sup>-19</sup> J]

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.2 Tipos de células

- Células de silicio (bajo rendimiento y precio por metro cuadrado elevado)
- Nuevos materiales

## 2. El panel fotovoltaico

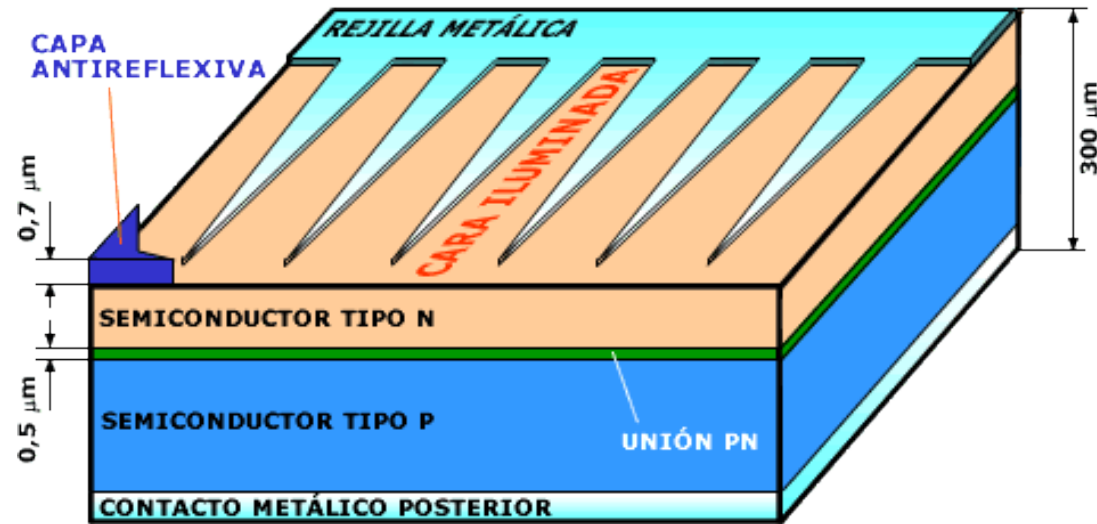
### 2.2 Tipos de células. 2.2.1 Células de silicio cristalino

- Células monocristalinas y policristalinas
- Monocristalinas: todos los átomos de silicio de la célula están perfectamente ordenados
- Policristalinas: el grado de ordenación es menor
- Células monocristalinas: rendimiento de entre un 14% y un 17%
- Células policristalinas: rendimiento de entre un 12% y un 14%

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.3 Estructura de un panel FV de silicio (I/III)

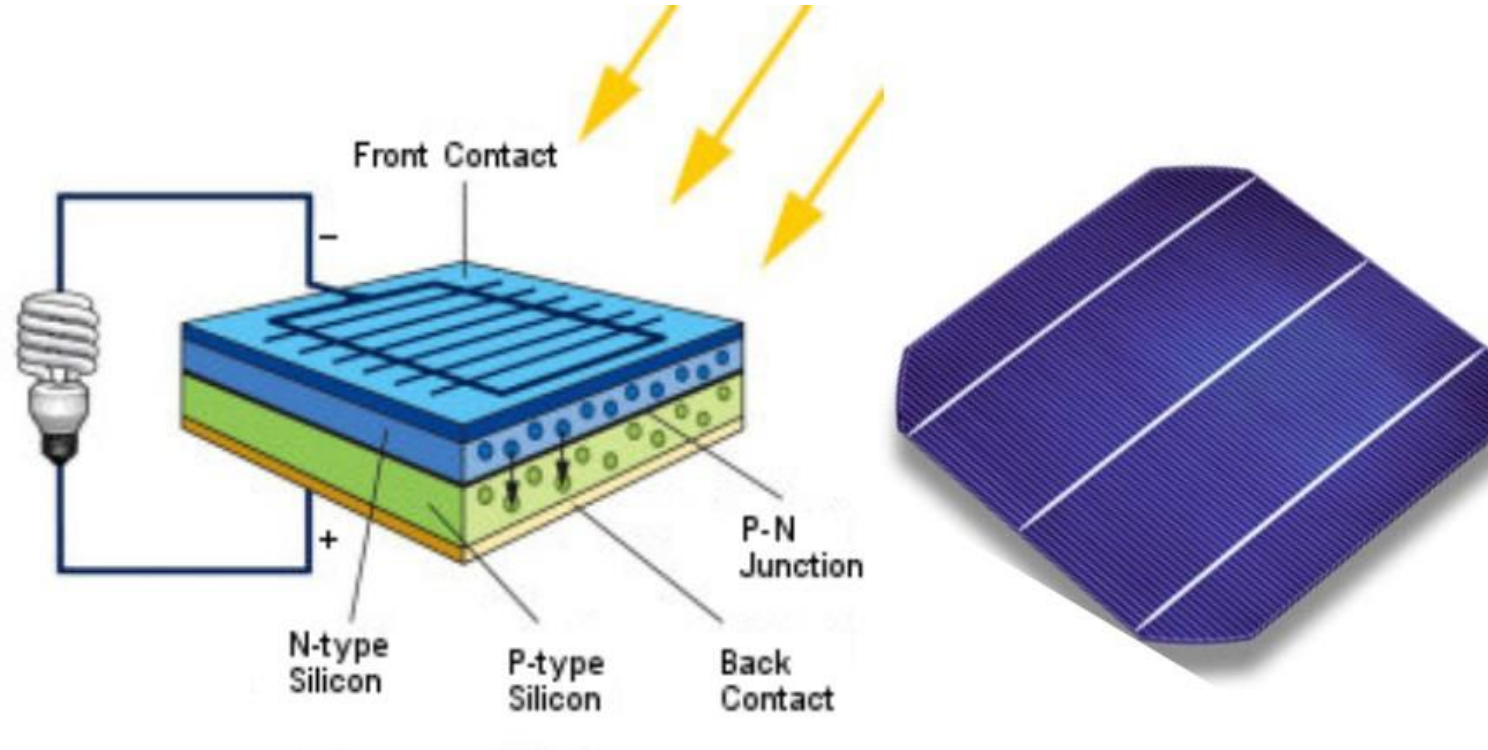
#### LA CÉLULA SOLAR FOTOVOLTAICA



Esquema típico de una célula solar

## 2. El panel fotovoltaico

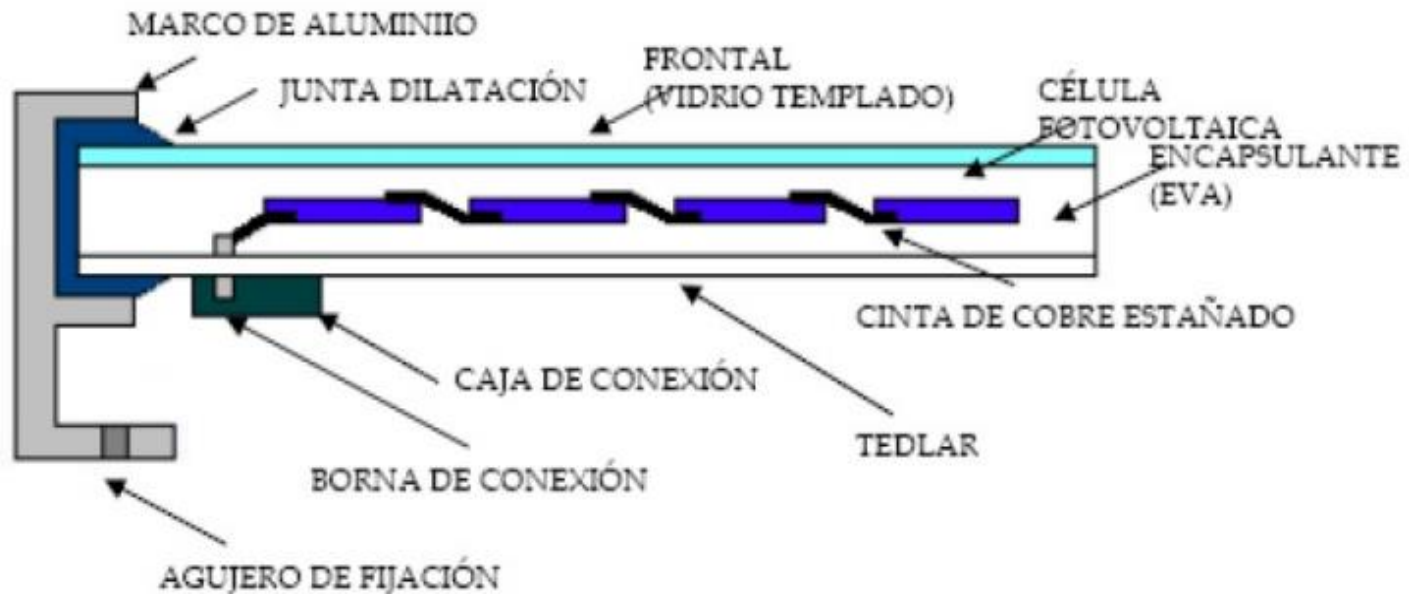
### 2.3 Estructura de un panel FV de silicio (II/III)



Esquema típico de una célula solar

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.3 Estructura de un panel FV de silicio (III/III)

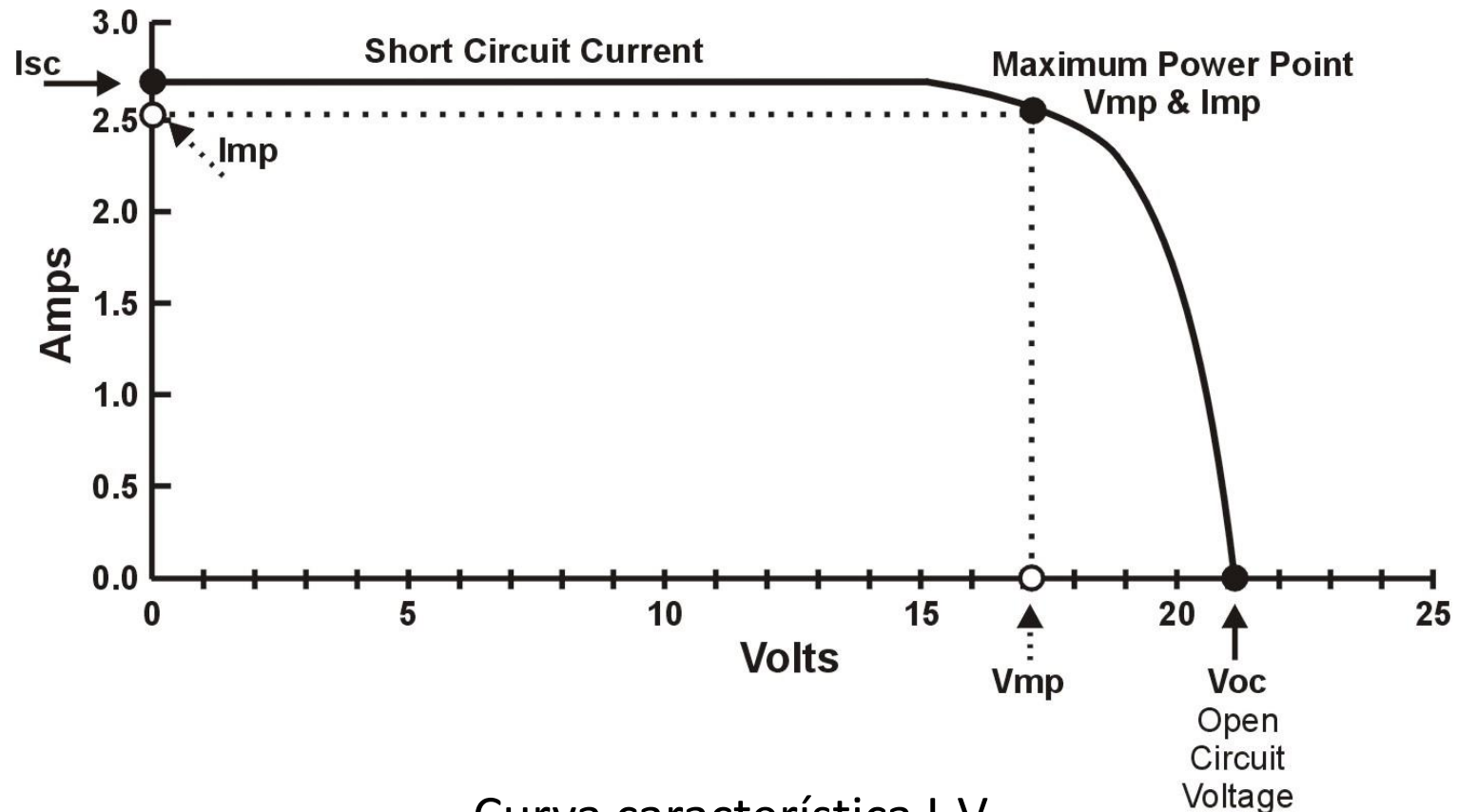


Esquema típico de un panel solar

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.1 Curva característica I-V (I/VII)

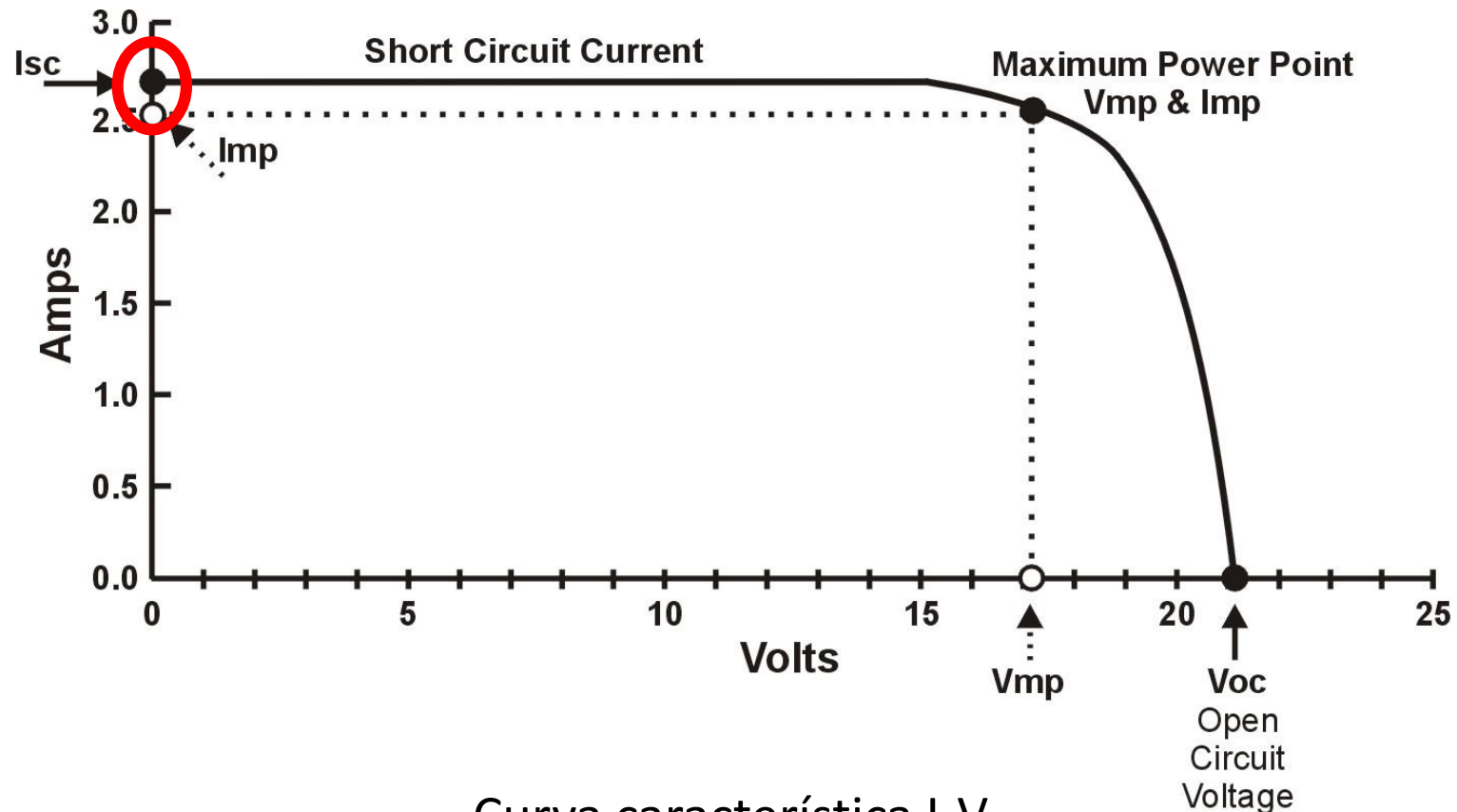




## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.1 Curva característica I-V (II/VII)

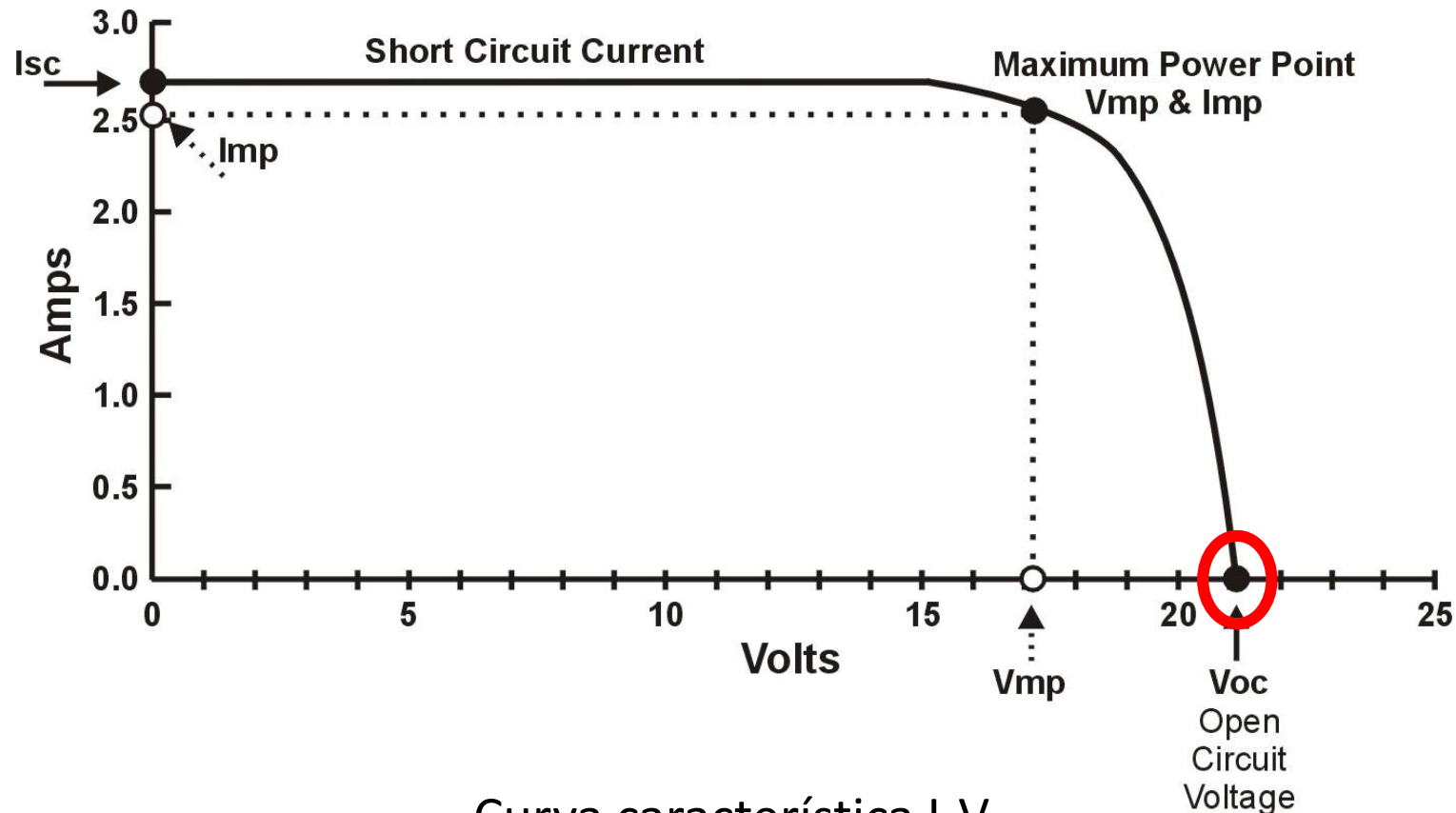


Curva característica I-V

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.1 Curva característica I-V (III/VII)

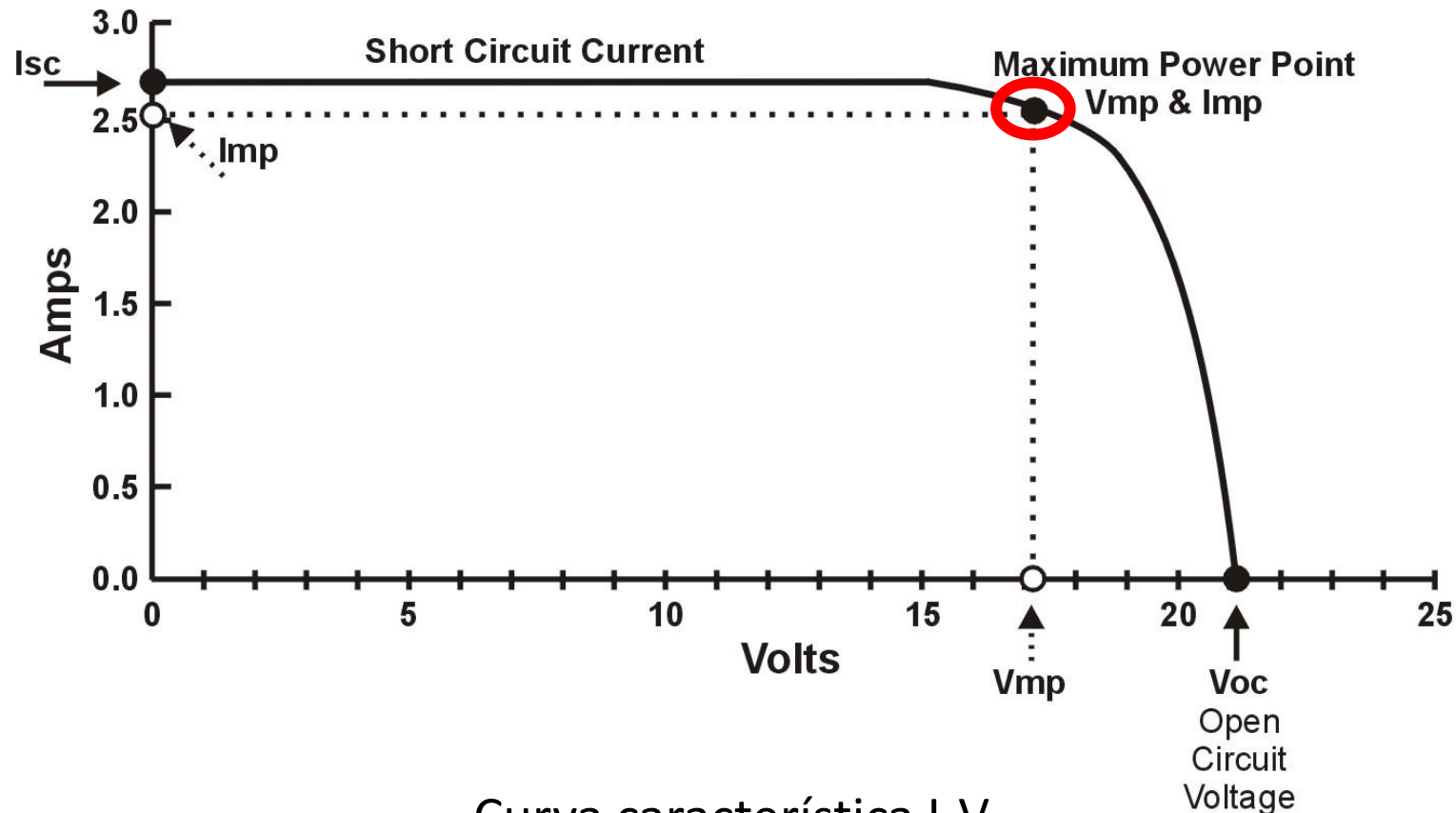


Curva característica I-V

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

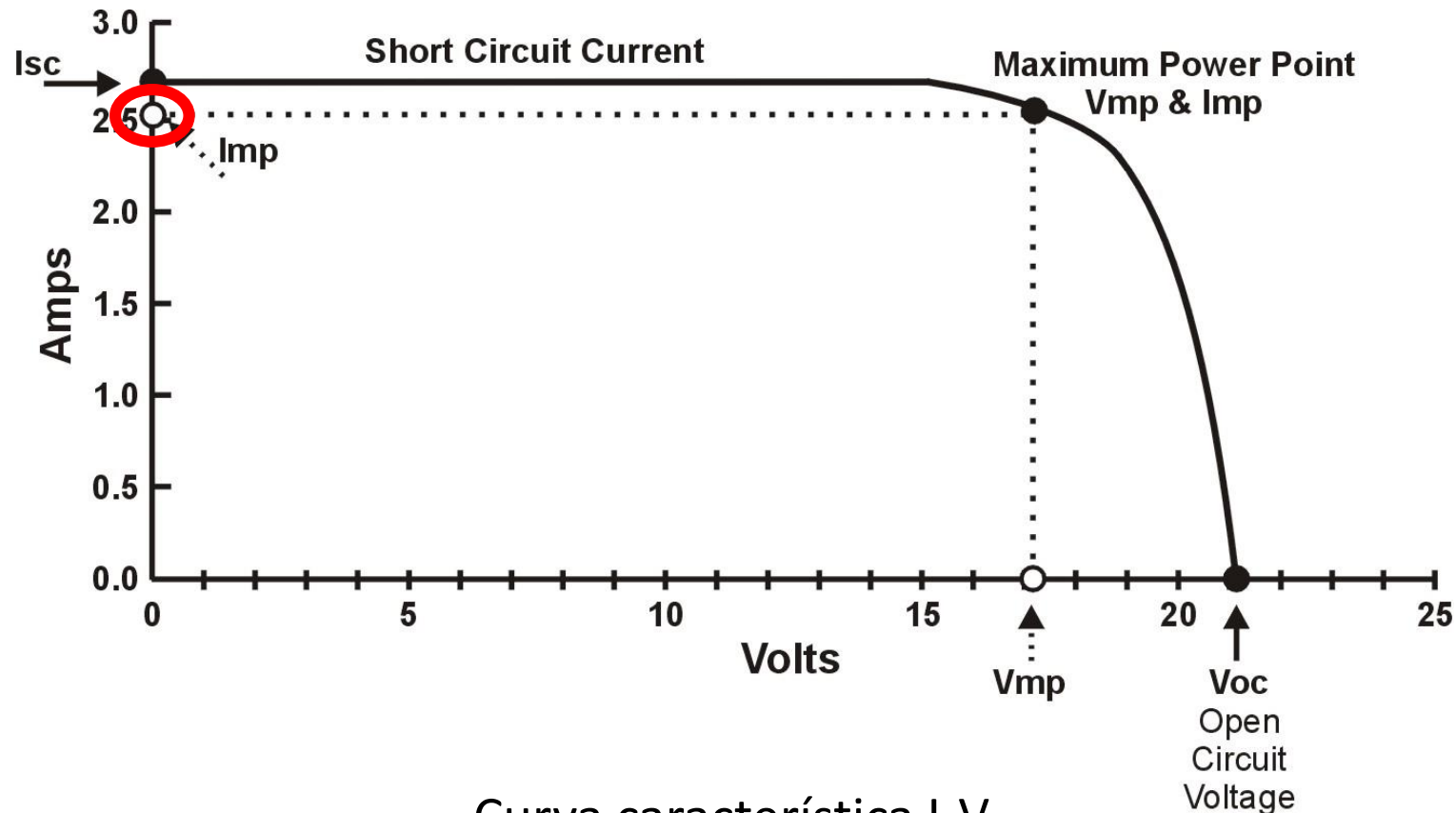
#### 2.4.1 Curva característica I-V (IV/VII)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.1 Curva característica I-V (V/VII)

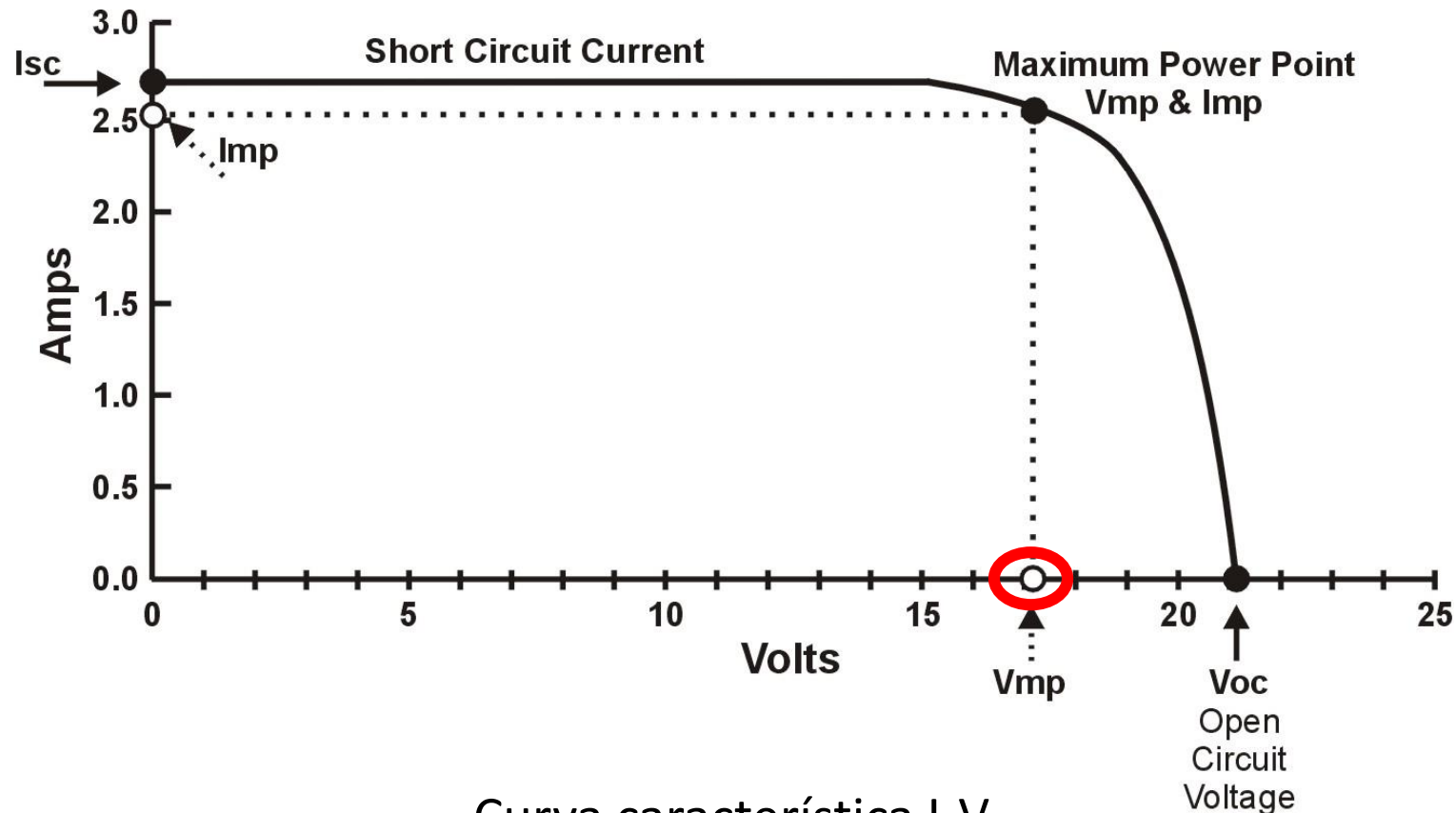


Curva característica I-V

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

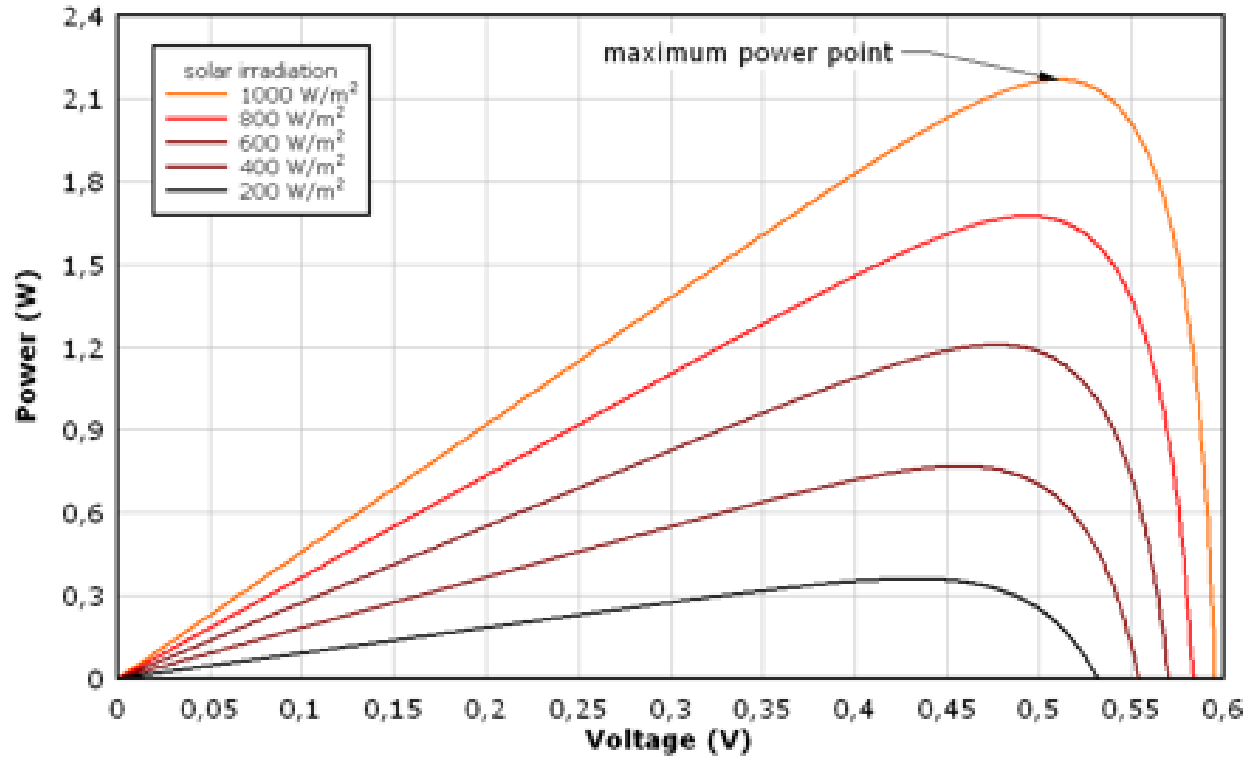
#### 2.4.1 Curva característica I-V (VI/VII)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.1 Curva característica I-V (VII/VII)



$$\eta = V \cdot I / P_{ri}$$

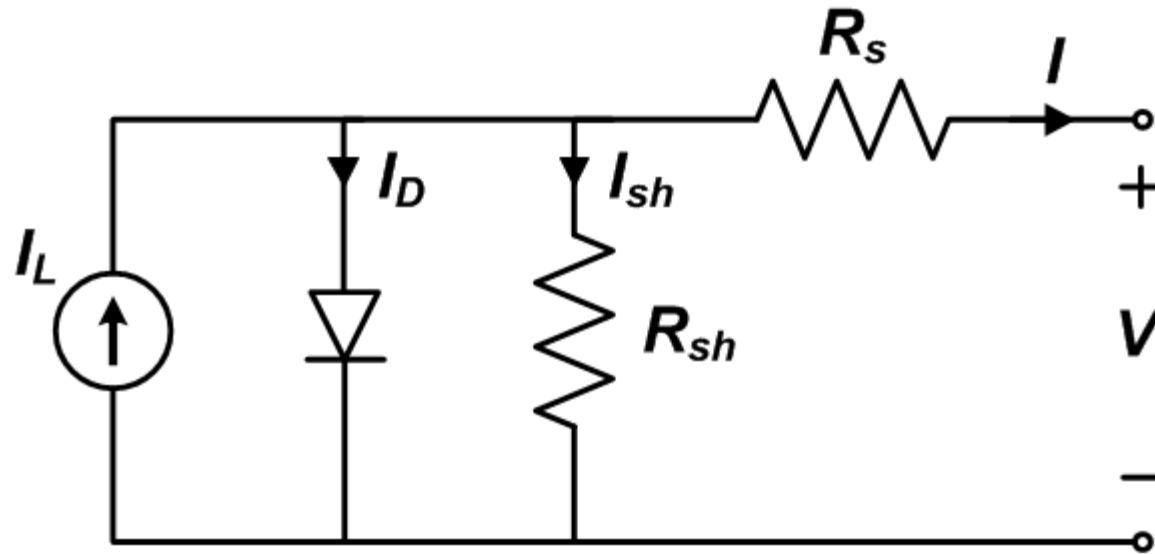
donde

- $\eta$  rendimiento del panel fotovoltaico (en %)
- $V$  tensión del panel fotovoltaico (en V)
- $I$  corriente del panel fotovoltaico (en A)
- $P_{ri}$  potencia de la radiación incidente (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.2 Resistencia serie, resistencia paralelo y factor de forma (I/V)



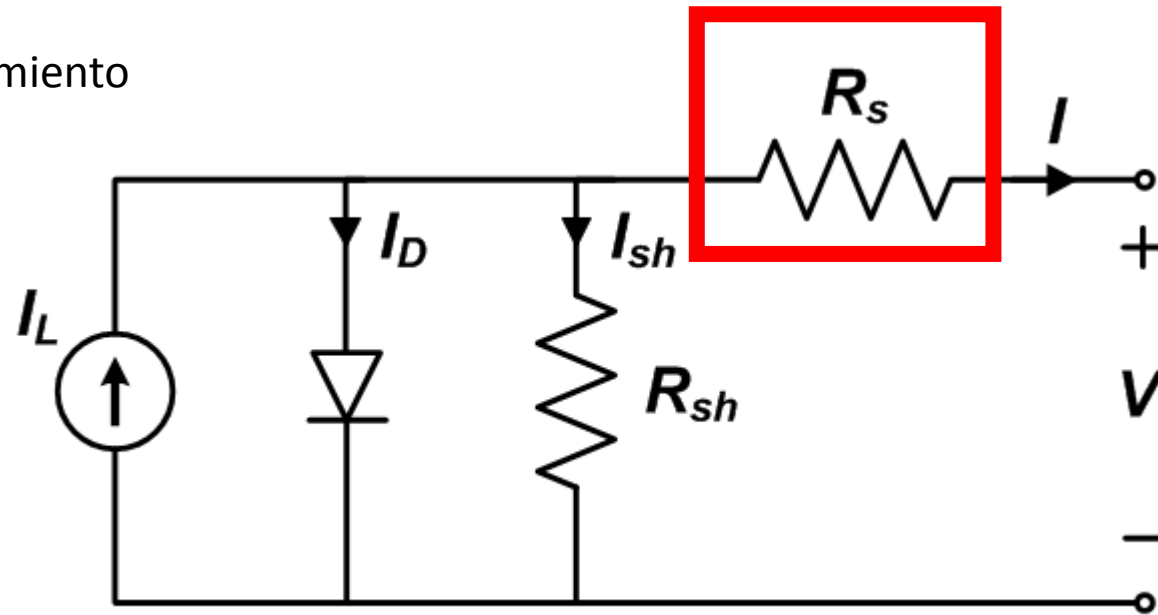
## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.2 Resistencia serie, resistencia paralelo y factor de forma (II/V)

Parámetros que especifican comportamiento

- Resistencia serie





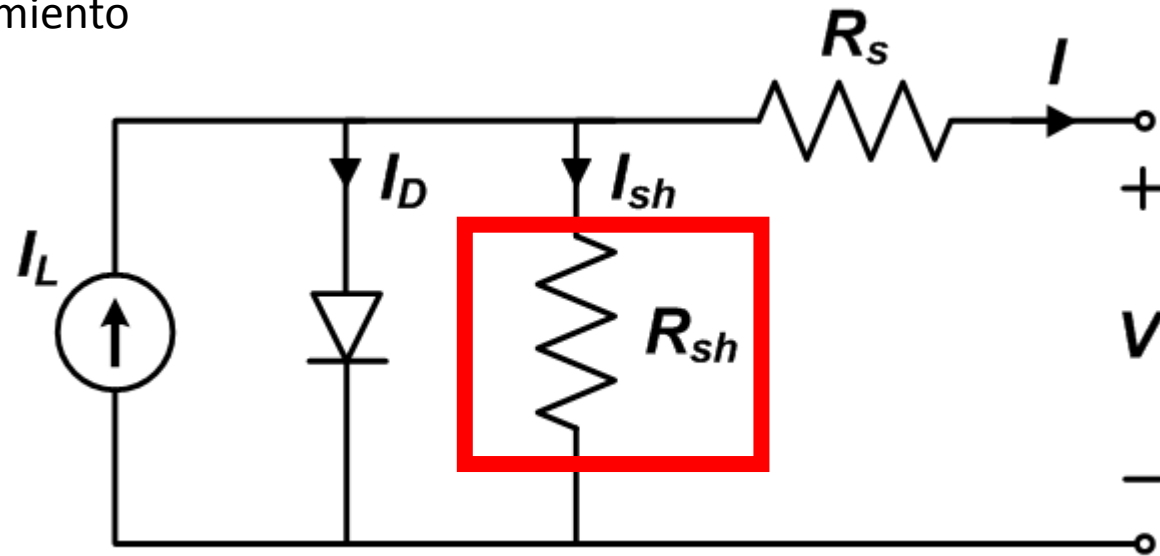
## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.2 Resistencia serie, resistencia paralelo y factor de forma (III/V)

Parámetros que especifican comportamiento

- Resistencia paralelo



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.2 Resistencia serie, resistencia paralelo y factor de forma (IV/V)

Parámetros que especifican comportamiento

- Factor de forma o factor de llenado (FF).
- Para las células de silicio, suele tener un valor comprendido entre 0.7 y 0.8

$$FF = V_{mp} \cdot I_{mp} / (V_{oc} \cdot I_{sc}) \quad (2)$$

donde

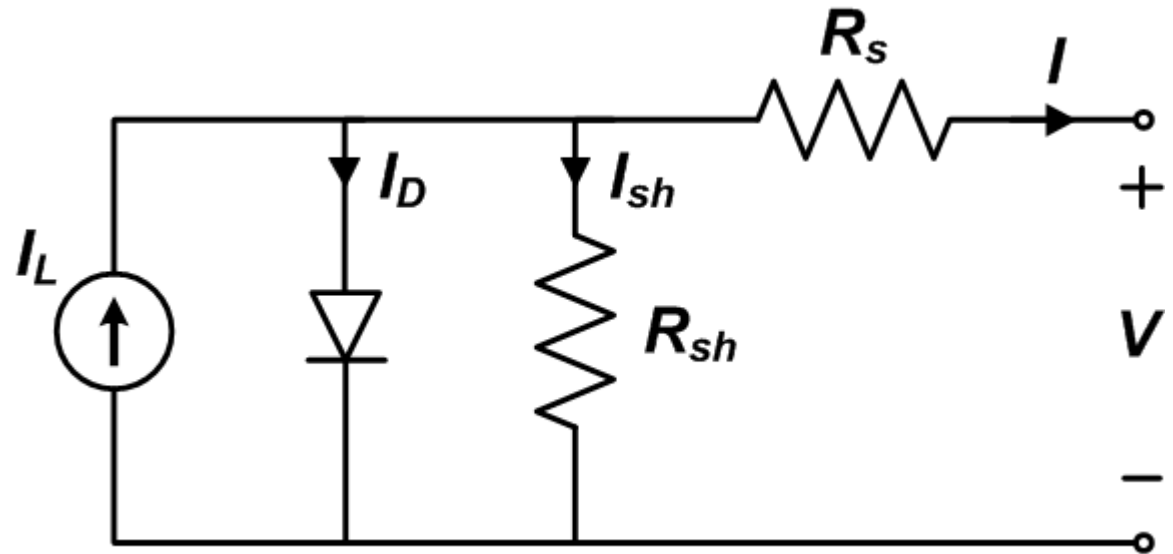
$FF$  factor de forma o factor de llenado

$V_{mp}$  tensión máxima (en V)

$I_{mp}$  intensidad máxima (en A)

$V_{oc}$  tensión de circuito abierto (en V)

$I_{sc}$  corriente de cortocircuito (en A)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.2 Resistencia serie, resistencia paralelo y factor de forma (V/V)

$$P_m = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (3)$$

$$P_m = FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (4)$$

donde

$P_m$  potencia máxima (en W)

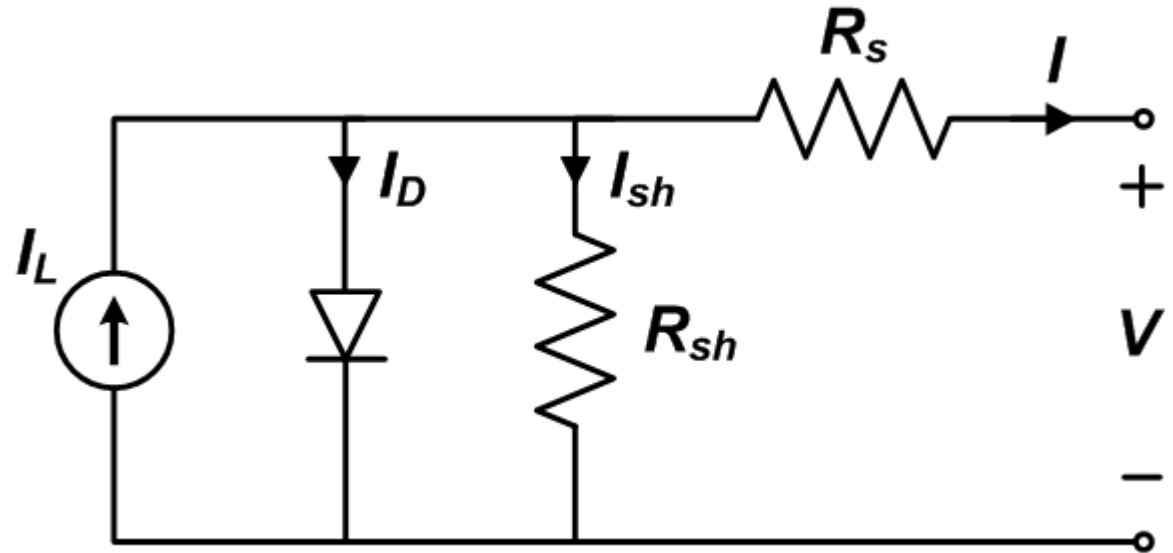
$V_{mp}$  tensión máxima (en V)

$I_{mp}$  intensidad máxima (en A)

$FF$  factor de forma o factor de llenado

$V_{oc}$  tensión de circuito abierto (en V)

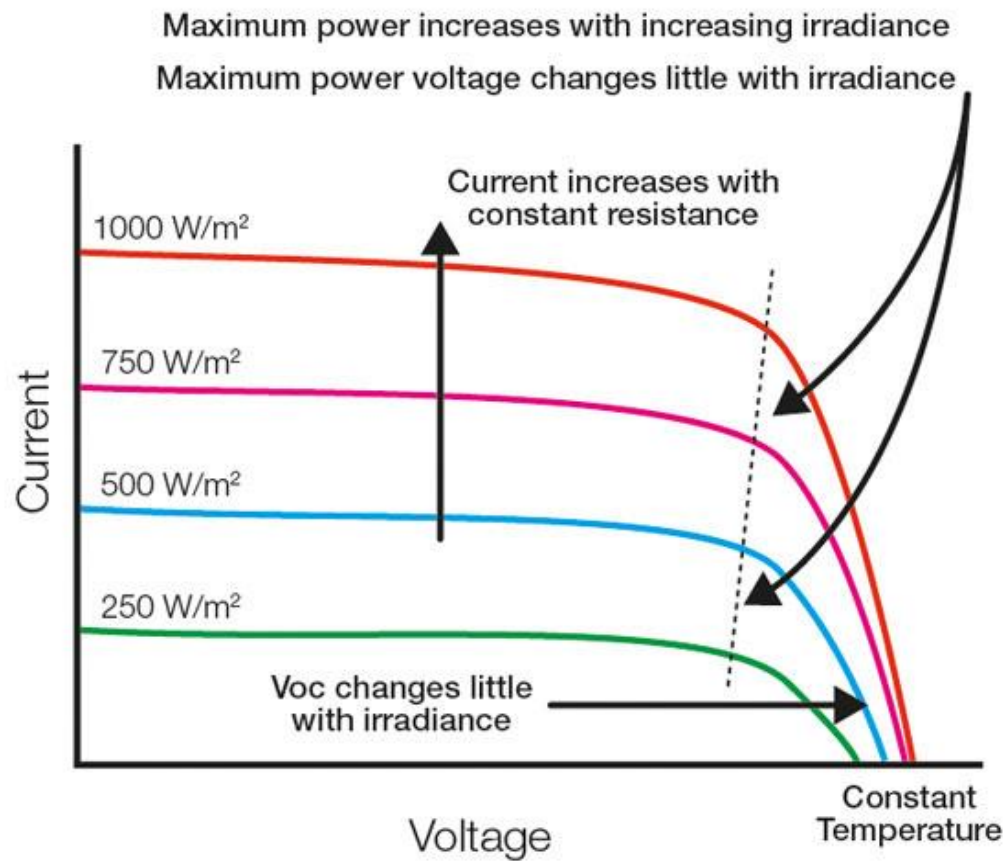
$I_{sc}$  corriente de cortocircuito (en A)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.3 Influencia de la intensidad de la luz y de la temperatura del panel (I/II)



$$\eta = V \cdot I / P_{ri}$$

donde

$\eta$  rendimiento del panel fotovoltaico (en %)

$V$  tensión del panel fotovoltaico (en V)

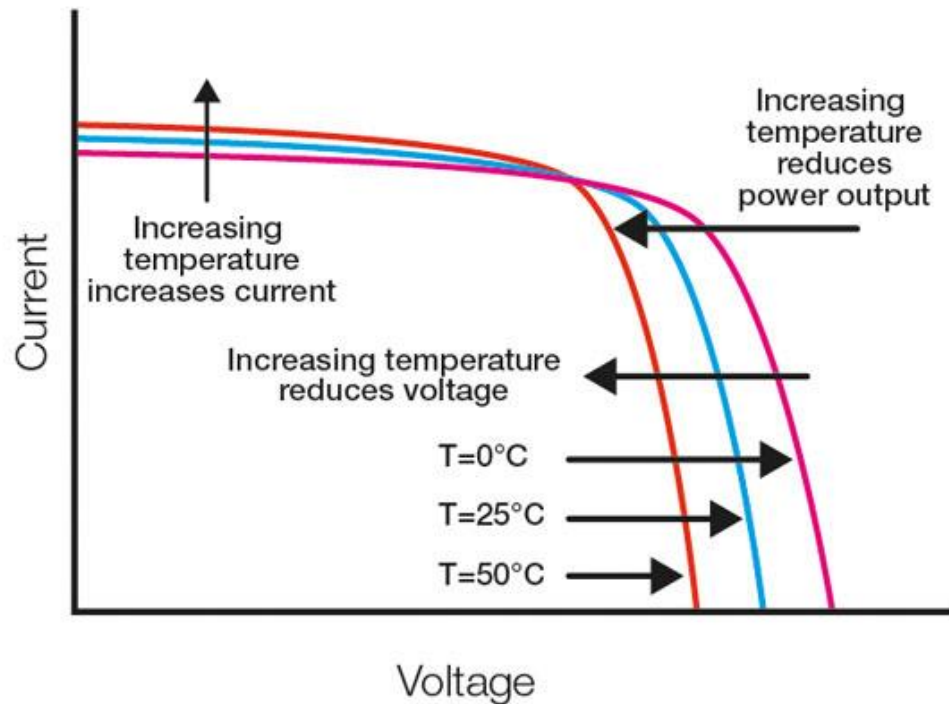
$I$  corriente del panel fotovoltaico (en A)

$P_{ri}$  potencia de la radiación incidente (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.4 Características de una célula o un panel.

#### 2.4.3 Influencia de la intensidad de la luz y de la temperatura del panel (II/II)



$$\eta = V \cdot I / P_{ri}$$

donde

$\eta$  rendimiento del panel fotovoltaico (en %)

$V$  tensión del panel fotovoltaico (en V)

$I$  corriente del panel fotovoltaico (en A)

$P_{ri}$  potencia de la radiación incidente (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.5 Ensayo de los paneles fotovoltaicos

- Irradiancia normal de  $1000 \text{ W/m}^2$
- Temperatura del panel  $25 \pm 2^\circ\text{C}$
- Espectro de la radiación AM 1.5 G

#### Nota:

El término AM (Del inglés “Air Mass”) se refiere a la masa de aire que atraviesa la radiación en la atmósfera. Le acompaña un número que indica **la longitud normalizada con respecto a la menor longitud posible**, es decir cuando el sol incide directamente.

La letra G(Global) indica que se trata de luz global que abarca tanto la luz directa como la difusa, si solo se tiene en cuenta la luz directa, la G se reemplaza por una D. Con este parámetro se cuantifica la reducción de la densidad de potencia de la luz cuando atraviesa la atmósfera.

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (I/III)

- Elección del panel más adecuado a las necesidades de la instalación solar que se proyecta
- Características eléctricas y físicas

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (II/III)

- Potencia máxima ( $P_m$ ), también llamada potencia pico
- Tensión en el punto de potencia máxima ( $V_{mp}$ )
- Corriente o intensidad en el punto de potencia máxima ( $I_{mp}$ )
- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )
- Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ )
- Factor de forma (FF<sub>m</sub>)
- Rendimiento ( $\eta_m$ )
- Efecto de la temperatura



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (III/III)

- Características físicas
- Dimensiones, superficie real y efectiva, peso, puntos de anclaje, conexión al sistema, materiales, resistencia al efecto del viento, etc.

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1)

- Según datos de catálogo, un panel tiene las características eléctricas siguientes:
- Potencia máxima:  $P_m = 336 \text{ Wp}$
- Tensión en el punto de potencia máxima:  $V_{mp} = 28.2 \text{ V}$
- Tensión de circuito abierto:  $V_{OC} = 36.0 \text{ V}$
- Intensidad de cortocircuito:  $I_{SC} = 12.6 \text{ A}$
- Factores de corrección por temperatura:
  - potencia:  $k_p = -0.45\%/^{\circ}\text{C}$
  - tensión de C.A.:  $k_V = -126 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$
  - intensidad de C.C.:  $k_I = 2.1 \text{ mA}/^{\circ}\text{C}$

**Calcular la potencia máxima, tensión de circuito abierto (vacío) e intensidad de cortocircuito, si el panel trabaja a la temperatura de 45 °C.**

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos I/II)

Paso 1:  $\Delta P_m = k_p \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 2:  $P_{m(45)} = P_m \cdot \frac{(100 - \Delta P_m)}{100}$

Paso 3:  $\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar})$

donde

- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)
- $k_p$  factor corrección de la potencia debido a la temperatura (en %/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $P_{m(45)}$  potencia máxima a la temperatura de 45 °C (en W)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $k_V$  factor de corrección de la tensión de C.A. debido a la temperatura (en mV/°C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos II/II)

$$\text{Paso 4: } V_{sc(45)} = V_{OC} + \frac{\Delta V_{sc}}{1000}$$

$$\text{Paso 5: } \Delta I_{OC} = k_I \cdot (t_t - t_{ar})$$

$$\text{Paso 6: } I_{OC(45)} = I_{SC} + \frac{\Delta I_{OC}}{1000}$$

donde

- $V_{sc(45)}$  tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo (en V)
- $V_{OC}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)
- $k_I$  factor de corrección de la intensidad de C.C. debido a la temperatura (en mA/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $I_{OC(45)}$  intensidad de cortocircuito a la temperatura de 45 °C
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos I/II)

Paso 1:  $\Delta P_m = k_p \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 2:  $P_{m(45)} = P_m \cdot \frac{(100 - \Delta P_m)}{100}$

Paso 3:  $\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar})$

donde

- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)
- $k_p$  factor corrección de la potencia debido a la temperatura (en %/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $P_{m(45)}$  potencia máxima a la temperatura de 45 °C (en W)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $k_V$  factor de corrección de la tensión de C.A. debido a la temperatura (en mV/°C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución I/VI)

$$\Delta P_m = k_p \cdot (t_t - t_{ar}) = -0.45 \cdot (45 - 25) = -9\%$$

donde

- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)
- $k_p$  factor corrección de la potencia debido a la temperatura (en %/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos I/II)

Paso 1:  $\Delta P_m = k_p \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 2:  $P_{m(45)} = P_m \cdot \frac{(100 - \Delta P_m)}{100}$

Paso 3:  $\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar})$

donde

- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)
- $k_p$  factor corrección de la potencia debido a la temperatura (en %/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $P_{m(45)}$  potencia máxima a la temperatura de 45 °C (en W)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $k_V$  factor de corrección de la tensión de C.A. debido a la temperatura (en mV/°C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución II/VI)

$$P_{m(45)} = P_m \cdot \frac{(100 - \Delta P_m)}{100} = 336 \cdot \frac{(100 - 9)}{100} = 305.8 \text{ W}$$

donde

- $P_{m(45)}$  potencia máxima a la temperatura de 45 °C (en W)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos I/II)

Paso 1:  $\Delta P_m = k_p \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 2:  $P_{m(45)} = P_m \cdot \frac{(100 - \Delta P_m)}{100}$

Paso 3:  $\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar})$

donde

- $\Delta P_m$  incremento de potencia máxima debida a la temperatura (en %)
- $k_p$  factor corrección de la potencia debido a la temperatura (en %/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $P_{m(45)}$  potencia máxima a la temperatura de 45 °C (en W)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $k_V$  factor de corrección de la tensión de C.A. debido a la temperatura (en mV/°C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución III/VI)

$$\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar})$$

$$\Delta V_{sc} = k_V \cdot (t_t - t_{ar}) = -126 \cdot (45 - 25) = -2520 \text{ mV}$$

donde

- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $k_V$  factor de corrección de la tensión de C.A. debido a la temperatura (en mV/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos II/II)

Paso 4:  $V_{sc(45)} = V_{OC} + \frac{\Delta V_{sc}}{1000}$

Paso 5:  $\Delta I_{OC} = k_I \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 6:  $I_{OC(45)} = I_{SC} + \frac{\Delta I_{OC}}{1000}$

donde

- $V_{sc(45)}$  tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo (en V)
- $V_{OC}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)
- $k_I$  factor de corrección de la intensidad de C.C. debido a la temperatura (en mA/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $I_{OC(45)}$  intensidad de cortocircuito a la temperatura de 45 °C
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución IV/VI)

$$V_{sc(45)} = V_{OC} + \frac{\Delta V_{sc}}{1000} = 36.0 - \frac{2520}{1000} = 34.5 \text{ V}$$

donde

- $V_{sc(45)}$       tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo (en V)
- $V_{OC}$             tensión de circuito abierto (en V)
- $\Delta V_{sc}$           incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos II/II)

Paso 4:  $V_{sc(45)} = V_{OC} + \frac{\Delta V_{sc}}{1000}$

Paso 5:  $\Delta I_{OC} = k_I \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 6:  $I_{OC(45)} = I_{SC} + \frac{\Delta I_{OC}}{1000}$

donde

- $V_{sc(45)}$  tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo (en V)
- $V_{OC}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)
- $k_I$  factor de corrección de la intensidad de C.C. debido a la temperatura (en mA/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $I_{OC(45)}$  intensidad de cortocircuito a la temperatura de 45 °C
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución V/VI)

$$\Delta I_{OC} = k_I \cdot (t_t - t_{ar}) = 2.1 \cdot (45 - 25) = 42 \text{ mA}$$

donde

- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)
- $k_I$  factor de corrección de la intensidad de C.C. debido a la temperatura (en mA/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Pasos II/II)

Paso 4:  $V_{sc(45)} = V_{OC} + \frac{\Delta V_{sc}}{1000}$

Paso 5:  $\Delta I_{OC} = k_I \cdot (t_t - t_{ar})$

Paso 6:  $I_{OC(45)} = I_{SC} + \frac{\Delta I_{OC}}{1000}$

donde

- $V_{sc(45)}$  tensión de circuito abierto a la temperatura de trabajo (en V)
- $V_{OC}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $\Delta V_{sc}$  incremento de tensión de circuito abierto debido a la temperatura (en mV)
- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)
- $k_I$  factor de corrección de la intensidad de C.C. debido a la temperatura (en mA/°C)
- $t_t$  temperatura de trabajo (en °C)
- $t_{ar}$  temperatura ambiente de referencia (en °C)
- $I_{OC(45)}$  intensidad de cortocircuito a la temperatura de 45 °C
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 1; Solución VI/VI)

$$I_{OC(45)} = I_{SC} + \frac{\Delta I_{OC}}{1000} = 12.6 + \frac{42}{1000} = 12.64 \text{ A}$$

donde

- $I_{OC(45)}$  intensidad de cortocircuito a la temperatura de 45 °C
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito
- $\Delta I_{OC}$  incremento de intensidad de cortocircuito debido a la temperatura (en mA)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 2)

**Con los datos del ejemplo anterior, calcular la intensidad en el punto de potencia máxima y el factor de forma del panel, en condiciones estándar.**

Datos:

$$P_m = 336 \text{ W}; V_{mp} = 28.2 \text{ V}; V_{oc} = 36.0 \text{ V}; I_{sc} = 12.6 \text{ A}$$

donde

- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $V_{mp}$  tensión máxima (en V)
- $V_{oc}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $I_{sc}$  corriente de cortocircuito (en A)

## 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 2; Pasos)

1) Cálculo de la intensidad en el punto de potencia máxima mediante la ecuación (3).

$$I_{mp} = P_m / V_{mp}$$

2) Cálculo del factor de forma mediante la ecuación (2).

donde

$$FF = V_{mp} \cdot \frac{I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

- $I_{mp}$  intensidad máxima (en A)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $V_{mp}$  tensión máxima (en V)
- $FF$  factor de forma o factor de llenado
- $V_{oc}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $I_{sc}$  corriente de cortocircuito (en A)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 2; Solución)

$$I_{mp} = P_m / V_{mp} = \frac{336}{28.2} = 11.9 \text{ A} \quad (3)$$

$$FF = V_{mp} \cdot \frac{I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = 28.2 \cdot \frac{11.9}{36 \cdot 12.6} = 0.74 \quad (2)$$

donde

- $I_{mp}$  intensidad máxima (en A)
- $P_m$  potencia máxima (en W)
- $V_{mp}$  tensión máxima (en V)
- $FF$  factor de forma o factor de llenado
- $V_{oc}$  tensión de circuito abierto (en V)
- $I_{sc}$  corriente de cortocircuito (en A)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3)

Del catálogo de un fabricante de paneles, se extraen los datos siguientes:

Dimensiones exteriores del panel 1665\*991 mm, dimensiones del rectángulo ocupado por las células 1625\*950 mm y potencia máxima en condiciones estándar 235 Wp.

Calcular el rendimiento bruto, referido a la superficie ocupada por las células y el rendimiento neto del panel.

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Pasos I/II)

1) Paso 1: Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie ocupada por las células, rendimiento bruto.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_C \cdot A_C$

Radiación incidente :  $I = S_b \cdot I_n$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $m^2$ )
- $L_C$  longitud del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $A_C$  ancho del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $Wp$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $W/m^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Pasos II/II)

2) Paso 2: Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie real del panel, rendimiento neto del panel.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_E \cdot A_E$

Radiación incidente:  $I = S_b \cdot I_n$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $m^2$ )
- $L_E$  longitud exterior del panel (en m)
- $E$  ancho exterior del panel (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $Wp$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $W/m^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Pasos I/II)

1) Paso 1: Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie ocupada por las células, rendimiento bruto.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_C \cdot A_C$

Radiación incidente :  $I = S_b \cdot I_n$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $m^2$ )
- $L_C$  longitud del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $A_C$  ancho del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $Wp$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $W/m^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Solución I/II)

Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie ocupada por las células, rendimiento bruto.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_C \cdot A_C = 1.625 \cdot 0.950 = 1.544 \text{ m}^2$

Radiación incidente:  $I = S_b \cdot I_n = 1.544 \cdot 1000 = 1544 \text{ Wp}$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I} = \frac{235}{1544} = 0.152 \text{ (15.22\%)}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $\text{m}^2$ )
- $L_C$  longitud del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $A_C$  ancho del rectángulo ocupado por las células (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $\text{Wp}$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Pasos II/II)

2) Paso 2: Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie real del panel, rendimiento neto del panel.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_E \cdot A_E$

Radiación incidente:  $I = S_b \cdot I_n$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $m^2$ )
- $L_E$  longitud exterior del panel (en m)
- $E$  ancho exterior del panel (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $Wp$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $W/m^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.6 Datos de catálogo de los paneles (Ejemplo numérico 3; Solución II/II)

Cálculo del rendimiento, en condiciones estándar, referido a la superficie real del panel, rendimiento neto del panel.

Superficie de cálculo:  $S_b = L_E \cdot A_E = 1.665 \cdot 0.991 = 1.650 \text{ m}^2$

Radiación incidente:  $I = S_b \cdot I_n = 1.650 \cdot 1000 = 1650 \text{ Wp}$

Rendimiento bruto:  $\eta = \frac{P_m}{I} = 235/1650 = 0.142 \text{ (14.2\%)}$

donde

- $S_b$  superficie de cálculo (en  $\text{m}^2$ )
- $L_E$  longitud exterior del panel (en m)
- $A_E$  ancho exterior del panel (en m)
- $I$  radiación incidente (en  $\text{Wp}$ )
- $I_n$  irradiancia normal (en  $\text{W}/\text{m}^2$ )
- $\eta$  rendimiento bruto (en %)
- $P_m$  potencia máxima (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (I/III)

$$E_{ud} = F_c \cdot \eta_m \cdot S \cdot HSP \quad (5)$$

donde:

- $E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada en kWh
- $F_c$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del panel
- $\eta_m$  rendimiento útil (en %)
- $S$  superficie del panel (en m<sup>2</sup>)
- $HSP$  horas solares pico

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (II/III)

$$E_{ud} = n_{mod} \cdot F_C \cdot HSP \cdot W_m / 1000 \quad (6)$$

$$E_{ud} = n_{mod} \cdot F_C \cdot HSP \cdot FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC} / 1000 \quad (7)$$

donde:

- $E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada en kWh
- $n_{mod}$  número de módulos instalados
- $F_C$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del panel
- $HSP$  horas solares pico
- $W_m$  potencia del módulo (en W)
- $FF$  factor de forma (en %)
- $V_{OC}$  tensión del circuito abierto (en V)
- $I_{SC}$  intensidad de cortocircuito en A

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (III/III)

$$E_{um} = F_{i,m} \cdot n_{d,m} \cdot E_{ud,m}$$

$$E_{ua} = \sum F_{i,m} \cdot n_{d,m} \cdot E_{ud,m}$$

donde:

- $E_{um}$  energía útil generada mensual en kWh
- $F_{i,m}$  un factor, igual o menor que la unidad, que tiene en cuenta posibles interrupciones por diversas incidencias, durante el mes  $m$
- $n_{d,m}$  número de días del mes  $m$
- $E_{ud,m}$  energía diaria útil, en kWh, generada en el mes  $m$
- $E_{ua}$  energía útil anual en kWh
- $\sum$  sumatorio del número de meses de funcionamiento durante todo el año

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (Ejemplo numérico 4)

Un consumidor demanda una energía eléctrica diaria de 2.50 kWh y está situado en un sitio en que la irradiación diaria, teniendo en cuenta el día y orientación de los paneles, es 21.7 MJ/m<sup>2</sup>

Se conoce que la irradiación diaria expresada en número de horas solares pico es de 5.19 horas.

Calcular el número de paneles necesarios si su potencia máxima o pico es 220 W y se asume que el factor de la energía generada es  $F_C = 0.8$ .

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (Ejemplo numérico 4; Pasos)

#### Paso 1: Cálculo del número de paneles mediante la ecuación (6)

$$E_{ud} = n_{mod} \cdot F_C \cdot HSP \cdot W_m / 1000 \quad (6)$$

donde:

- $E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada en kWh
- $n_{mod}$  número de módulos instalados
- $F_C$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del panel
- $HSP$  horas solares pico
- $W_m$  potencia del módulo (en W)

## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (Ejemplo numérico 4; Pasos)

#### Paso 1: Cálculo del número de paneles mediante la ecuación (6)

$$E_{ud} = n_{mod} \cdot F_C \cdot HSP \cdot W_m / 1000 \quad (6)$$

donde:

- $E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada en kWh
- $n_{mod}$  número de módulos instalados
- $F_C$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del panel
- $HSP$  horas solares pico
- $W_m$  potencia del módulo (en W)



## 2. El panel fotovoltaico

### 2.7 Estimación de la energía diaria generada (Ejemplo numérico 4; Solución)

- $E_{ud} = n_{mod} \cdot F_C \cdot HSP \cdot \frac{W_m}{1000} \rightarrow 2.50 = n_{mod} \cdot 0.8 \cdot 5.19 \cdot 220/1000$  (6)
- $n_{mod} = \frac{2.50}{0.913} = 2.74 \text{ módulos}$

donde:

- $E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada por los paneles en kWh
- $n_{mod}$  número de módulos instalados
- $F_C$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de los paneles
- $HSP$  horas solares pico
- $W_m$  potencia del módulo (en W)

# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

*FIN*

*¿¿¿¿PREGUNTAS????*

*GRACIAS POR SU ATENCIÓN*

