

Laboratorio de Energías Renovables y Radiación Solar

Energías Renovables: Energía Solar Fotovoltaica



**Jose Luis Gómez Amo
Víctor Estellés Leal
M^a Pilar Utrillas Esteban
Fernando Tena Sangüesa**

Energía Solar Fotovoltaica

OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico
- Obtener la curva característica de un módulo fotovoltaico
- Encontrar el punto de máxima potencia de un módulo
- Estudiar la dependencia del módulo respecto de la irradiancia recibida
- Estudiar las conexiones serie-paralelo de módulos fotovoltaicos
- Estudiar el efecto de sombras o ensuciamiento en los módulos fotovoltaicos

MATERIAL

Dos módulos fotovoltaicos. 2 lámparas de iluminación. 2 polímetros. Luxómetro. Reostato. Cables de conexión. Panel de montajes. Piranómetro. Regla. Hojas traslucidas.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Un módulo fotovoltaico sobre el que incide una irradiancia I (W/m^2) produce una corriente eléctrica cuya curva característica ($i = f(V)$) puede escribirse en primera aproximación:

$$i = i_{sc} \left(1 - \exp \left[\frac{V - V_{oc}}{V_T} \right] \right); \quad \text{con } V_T = \frac{nkT}{q} \quad (1)$$

siendo: i_{sc} , intensidad de cortocircuito; V_{oc} , Voltaje de circuito abierto; k , constante de Boltzman; 1.38×10^{-23} J/K; q , carga eléctrica elemental: 1.6×10^{-19} C; T , temperatura de trabajo en K; n , número de células en serie. La forma de la **curva característica** puede verse en la figura 1.

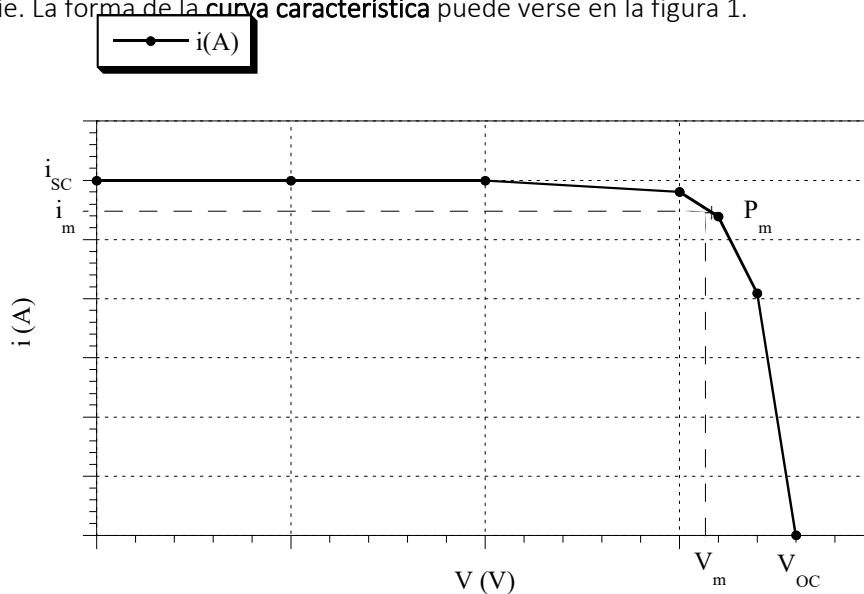


Fig. 1.- Curva característica de un módulo fotovoltaico

El **factor de forma** del módulo fotovoltaico (**FF**) se define como la relación entre la potencia máxima y la potencia máxima ideal:

$$FF = \frac{P_m}{P_{ideal}} = \frac{V_m \cdot i_m}{V_{OC} \cdot i_{SC}} \quad (2)$$

FF toma valores [0, 1] y cuanto más cercano a 1 el funcionamiento del módulo será mejor.

El **rendimiento de conversión** fotovoltaica (η), se define como el cociente entre la potencia máxima entregada por el módulo y la potencia recibida del sol:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{sol}} = \frac{V_m \cdot i_m}{A \cdot I} \quad (3)$$

Donde I es la irradiancia recibida (W/m^2) y A el área útil del módulo (m^2). El rendimiento es el parámetro más importante del módulo solar y su valor difícilmente supera el 15%.

La intensidad de corriente eléctrica producida por el módulo fotovoltaico (i) es proporcional a la irradiancia (I) recibida (Figura 2). Por este motivo la intensidad de corriente eléctrica fotogenerada variará en cualquier situación que modifique la irradiancia incidente, como por ejemplo: nubosidad, sombreado o ensuciamiento de los módulos fotovoltaicos.

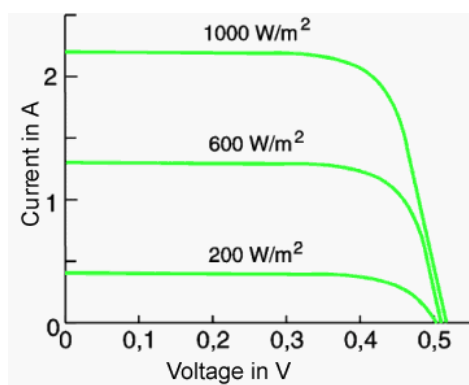


Fig. 2.- Dependencia de la curva característica respecto de la irradiancia recibida por el módulo

En una instalación fotovoltaica, los parámetros de diseño deseados se obtienen asociando los módulos en serie, en paralelo o en una combinación serie-paralelo. Si conocemos la intensidad de corriente eléctrica (i) y la diferencia de potencial (V) para un solo módulo fotovoltaico

Al conectar n módulos en serie se cumplirá (figura 3a):

$$i_{serie} = i \quad V_{serie} = nV \quad (4)$$

Al conectar k módulos en paralelo se cumplirá (figura 3b):

$$i_{paralelo} = ki \quad V_{paralelo} = V \quad (5)$$

REALIZACIÓN

Primera parte. Curva característica de un módulo fotovoltaico.

Trabajaremos con 1 módulo fotovoltaico y un foco.

- 1.- Estudiar la distribución de la irradiancia sobre el módulo fotovoltaico mediante un radiómetro. Para ello:
 - a) Situar el módulo a 45cm del foco
 - b) Anotar el valor de la irradiancia que recibe cada uno de los elementos del panel.
 - c) Determinar, con su error, el área útil del módulo (múltiplo del área de cada una de las células de que está compuesto)
- 2.- Estudiar la curva característica del módulo empleado. Para ello:
 - a) Realizar el montaje de la figura 3
 - b) Medir la resistencia correspondiente a cada una de las posiciones del reostato. Llevar los resultados a la tabla 1.
 - c) Medir los valores de V y de i en todas las posiciones del reostato y anotar los valores medidos en la tabla 1. Hay que medir también los valores de V y de i **para circuito abierto (oc) y cortocircuito (sc)**.
 - d) Hallar el valor de la potencia en cada punto. $P=V \cdot i$
 - e) Dibujar la curva característica y la curva de potencia del módulo: $i = f(V)$ y $P = f(V)$
 - f) Determinar con su error, los valores de V_{oc} , i_{sc} , V_m , i_m
 - g) Determinar con su error, el valor del factor de forma (FF) y el rendimiento del módulo (η)

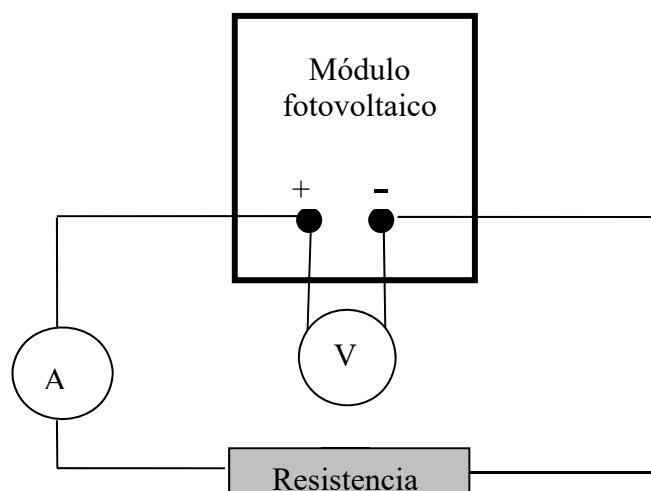


Fig. 3.- Montaje experimental para un solo panel

Tabla 1.- Valores experimentales para la obtención de la curva característica del módulo fotovoltaico

Medida	$R \pm \epsilon$ (Ω)	$V \pm \epsilon$ (V)	$i \pm \epsilon$ (mA)	$P \pm \epsilon$ (W)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
sc	--			
oc	--			

Segunda parte. Estudio del sombreado o ensuciamiento de un módulo fotovoltaico

Seguimos con el montaje de la primera parte (Figura 3), 1 módulo fotovoltaico y un foco a 45 cm de distancia

3.- Estudiar la curva característica del módulo en caso de sombreado homogéneo y parcial.

- Colocar las hojas traslucidas sobre el módulo fotovoltaico de forma que lo cubran completamente y repetir el procedimiento del apartado 2 (c-g).
- Colocar una hoja traslucida sobre una esquina del módulo fotovoltaico de forma que cubra al menos una célula entera y repetir el procedimiento del apartado 2 (c-g).

Tercera parte. Curva característica de la conexión en serie-paralelo de 2 módulos fotovoltaicos.

Trabajaremos con 2 módulo fotovoltaicos y dos focos

4.- Estudiar la distribución de la irradiancia sobre los módulos fotovoltaicos mediante un radiómetro. Para ello:

- Situar los módulos a **45cm de los focos**, procurando que cada uno de los focos incida sobre uno de los módulos.
- Anotar el valor de la irradiancia que recibe cada uno de los elementos del panel.
- Determinar, con su error, el área útil del conjunto de los módulos

5.- Estudiar las conexiones serie-paralelo de módulos fotovoltaicos (figura 4)

- Conectar los dos paneles en serie y repetir el procedimiento del apartado 2 (c-g)
- Conectar los dos paneles en paralelo y repetir el procedimiento del apartado 2 (c-g)

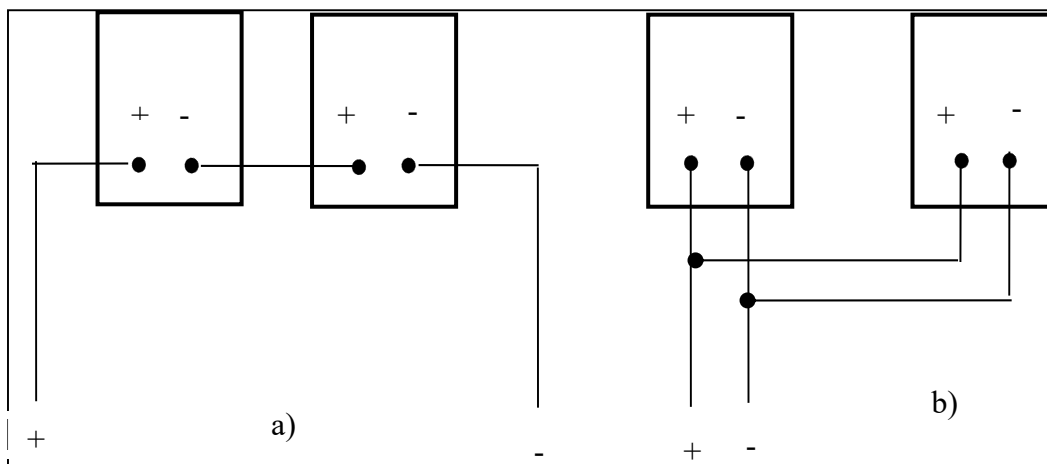


Fig. 4.- Conexión en serie (a) y en paralelo (b) de dos módulos fotovoltaicos

RESULTADOS

IRRADIANCIA:

- 1.- Mapa irradiancia sobre un módulo y sobre dos módulos. Comentarios de los resultados estudiando las similitudes y las diferencias.
- 2.- Valor del área útil del módulo y de la irradiancia recibida en el plano del mismo. Valor del área útil de los dos módulos y de la irradiancia recibida en el plano de los mismos. Comentarios de los resultados estudiando las similitudes y las diferencias.

CONEXIÓN SERIE-PARALELO:

- 3.- Tabla 1 de los valores experimentales para la obtención de la curva característica de un módulo fotovoltaico, y para dos módulos conectados en serie y en paralelo.
- 4.- Curvas características y de potencia para un módulo fotovoltaico y para la asociación en serie y en paralelo de dos módulos.
- 5.- Valor, **con su error**, de los principales parámetros (V_{oc} , i_{sc} , i_m , V_m , FF y η) obtenidos para un módulo fotovoltaico y para la asociación en serie y en paralelo de dos módulos.
- 6.- Análisis del efecto de la conexión serie-paralelo de dos módulos fotovoltaicos. Comentarios de los resultados estudiando las similitudes y las diferencias respecto a un solo módulo.

SOMBREADO O ENSUCIAMIENTO

- 7.- Tabla 1 de los valores experimentales para la obtención de la curva característica del módulo fotovoltaico en condiciones de sombreado homogéneo y parcial.
- 8.- Curvas características y de potencia para un módulo fotovoltaico en condiciones de sombreado homogéneo y parcial.
- 9.- Valor, **con su error**, de los principales parámetros (V_{oc} , i_{sc} , i_m , V_m , FF y η) obtenidos para un módulo fotovoltaico en condiciones de sombreado homogéneo y parcial.
- 10.- Análisis del efecto de las condiciones de sombreado homogéneo y parcial. Comentarios de los resultados estudiando las similitudes y las diferencias respecto a un módulo sin sombras.