

## MEDIDA Y SIMULACION TEORICA DE LA CARACTERISTICA I-V DE UNA CELDA SOLAR

O. Herrera, C. Quiñones y G. Gordillo<sup>1</sup>

Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, COLOMBIA

### RESUMEN

En este trabajo se describe un sistema diseñado y construido para medir en forma automática la característica I-V de celdas solares utilizando el paquete LabVIEW. El sistema permite obtener los parámetros que caracterizan la celda solar (corriente de corto circuito  $I_{sc}$ , voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ , potencia máxima de la celda, factor de llenado FF y eficiencia de conversión). El sistema se probó con una celda solar de silicio policristalino; estos resultados fueron interpretados mediante simulación teórica de la curva I-V, asumiendo que el transporte eléctrico en la celda solar es dominado por procesos de difusión y que el efecto de la resistencia en paralelo es despreciable. Comparando la curva experimental de I vs V con la correspondiente obtenida teóricamente se determinó el factor de diodo.

### INTRODUCCIÓN

La forma como generalmente se determina el funcionamiento de una celda solar es a través de medidas de la corriente en función del voltaje de polarización, tanto bajo condiciones de iluminación como en oscuro. Parámetros tales como corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ), voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ), resistencia serie ( $R_s$ ), eficiencia ( $\eta$ ) y otros, pueden ser obtenidos de tales medidas. A partir del conocimiento de estos parámetros, se puede tener información relacionada con los mecanismos que afectan la corriente y el voltaje de los dispositivos [1]. De otro lado, sistemas de medida de la característica I-V permite hacer en forma automática un diagnóstico rápido y confiable del comportamiento de los módulos fotovoltaicos en un proceso industrial de producción en línea[2].

La medida automática de la característica I-V de una celda solar y el procesamiento de datos es de gran utilidad tanto en investigación como en la industria. Adicionalmente, un equipo de medida de la característica I-V puede ser un gran complemento en cursos para estudiantes de pregrado y posgrado.

En este trabajo se describirá un sistema diseñado para realizar medida automática de la característica I-V de celdas solares, utilizando el paquete LabView para adquisición y procesamiento de datos así como también para la generación de la rampa de voltaje usada para polarizar la celda. El sistema será utilizado para determinar los parámetros que caracterizan una celda solar de silicio. Los resultados experimentales serán analizados mediante comparación de estos con los obtenidos mediante simulación teórica de la curva I-V.

---

<sup>1</sup> e-mail: ggordill@ciencias.ciencias.unal.edu.co

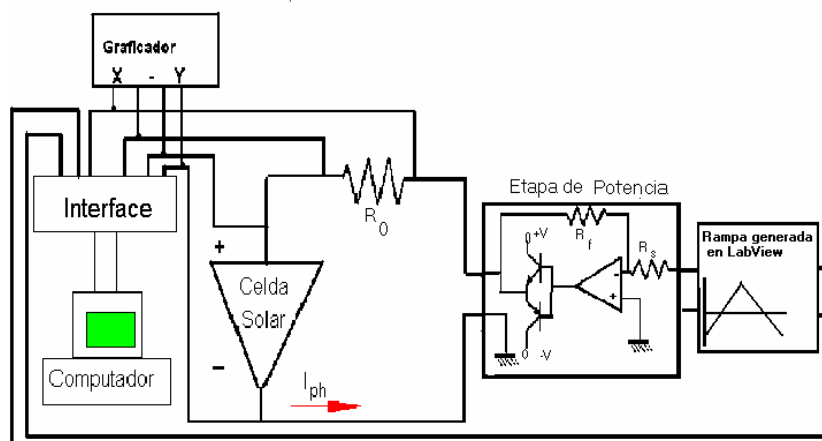


Fig. 1: Sistema usado para realizar medidas de la característica I-V de celdas solares

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA DE LA CARACTERÍSTICA I-V

Para realizar las medidas de la característica I-V se diseñó e implementó un circuito como el mostrado en la Fig.1 , el cual está constituido por los siguientes elementos:

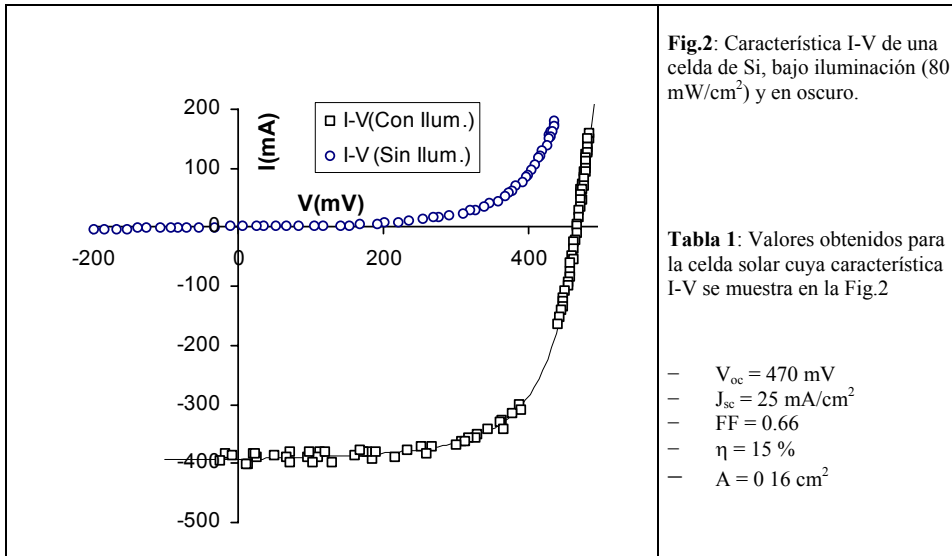
- Celda Solar de silicio policristalino.
- Interfase: Permite hacer la adquisición de datos, controlar el funcionamiento del sistema, graficar la curva de I vs V, calcular los parámetros de la celda ( $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $\eta$ ) y hacer el cálculo teórico de I vs V. Se utiliza la tarjeta PCLPM-16PNP de la National Instruments y el paquete LabView.
- Rampa: Permite generar el voltaje de polarización de la celda solar entre -0,5V y 0,7V aproximadamente. La rampa de voltaje se genera utilizando el software LabView; Esta se aplica a la celda a través de una etapa de potencia ya que la sola tarjeta no soporta la corriente requerida para las medidas de I-V.
- Computador: Controla el proceso , genera la rampa de voltaje y almacena y procesa los datos obtenidos.
- Graficador X-Y: Permite graficar la curva I-V al mismo tiempo que se capturan los correspondientes datos en el computador.
- $R_0$ : Es empleada para determinar la corriente generada por la celda solar mediante medida del voltaje en ella ( $V = IR_0$ ) .

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

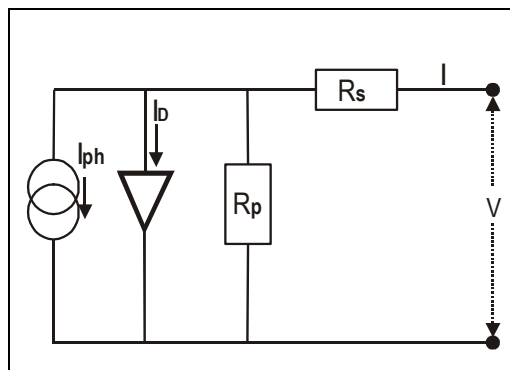
#### MEDIDA DE LA CARACTERÍSTICA I-V DE UNA CELDA SOLAR DE SI-POLICRISTALINO

En la Fig.2 se muestra la característica I-V de una celda solar de Si-policristalino usada en este trabajo para realizar las correspondientes medidas experimentales que nos

permitieron obtener los parámetros usados en el cálculo teórico de la curva de I vs V. En la tabla 1 se presentan los valores obtenidos para los parámetros que caracterizan la celda solar (Corriente de corto circuito  $I_{SC}$ , voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$ , factor de llenado FF, eficiencia de conversión  $\eta$ ). La descripción del funcionamiento básico de la celda solar y la definición de los parámetros de la celda se dan en la Ref. [3].



**CALCULO TEORICO DE LA CARACTERISTICA I-V**



**Fig.3** circuito equivalente de una celda solar.

En la Fig.3 se muestra el circuito equivalente de una celda solar. Bajo una cierta iluminación, la relación entre la corriente y el voltaje de la celda esta dada por:

$$I = I_0 \left\{ \exp \left( \frac{V - IR_s}{nV_T} \right) \right\} + \frac{V - IR_s}{R_p} - I_{ph}$$

Donde  $I_{ph}$  es la corriente generada por la celda,  $R_s$  y  $R_p$  las resistencias series y paralelo del dispositivo,  $I_0$  la corriente inversa de saturación en oscuro,  $V_T=kT/q$  el voltaje térmico y  $n$  el factor de idealidad que depende de los mecanismos de transporte en la celda.

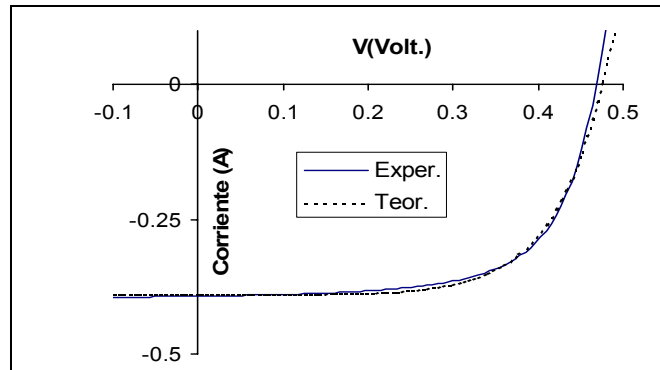
Para calcular la corriente de la celda en función del voltaje de polarización  $V$  se necesita conocer  $I_0$ ,  $R_s$ ,  $R_p$ , y  $n$ . El parámetro  $I_0$  se obtiene generalmente de la curva experimental  $I$  vs  $V$  en oscuro y para la determinación  $R_s$  y  $R_p$  se han propuesto muchos métodos [4,5,6]. En este trabajo  $R_s$  y  $R_p$  serán determinados experimentalmente de medidas de la característica  $I$ - $V$  bajo iluminación utilizando un método que asume que  $R_s = I/(dI/dV)|_{I=0}$  y  $R_p = I/(dI/dV)|_{V=0}$  [7,8], donde  $dI/dV$  es la pendiente de la curva  $I$ - $V$  de la celda bajo iluminación en  $I=0$  y  $V=0$  respectivamente. Estos resultados son confiables cuando el voltaje de circuito abierto  $V_{oc} \gg nV_T$ , lo cual se cumple en celdas con  $V_{oc} \gg 0.4V$  ya que  $nV_T \approx 0.04V$  a temperatura ambiente.

Finalmente, el factor de diodo  $n$  se determina comparando la curva teórica  $I$  vs  $V$  con la correspondiente curva experimental medida bajo iluminación.

El cálculo de  $I$  vs  $V$  utilizando la Ec. 1 se realizó numéricamente utilizando un procedimiento muy sencillo y que básicamente consiste en lo siguiente:

1. Se calcula  $I$  utilizando la Ecuación 1 asumiendo  $R_s=0$  y  $R_p \gg 1$  para un valor de  $V$  negativo donde  $I$  no es afectado por  $R_s$  y  $R_p$ .
2. Se incrementa el voltaje de polarización usado en el paso anterior en una cantidad muy pequeña ( $\approx 1$  mV) y se calcula de nuevo  $I$  reemplazando  $I$  en el lado derecho de la Ecuación 1 por el valor calculado en el paso 1.
3. Se repite el calculo como en el paso 2 para valores de  $V$  que se van incrementando 1mV hasta llegar aun valor un poco mayor que el  $V_{oc}$  de la celda.

En la Fig.4 se comparan la curva  $I$ - $V$  de una celda solar de silicio policristalino determinada experimentalmente bajo una iluminación de  $80mW/cm^2$  con la correspondiente obtenida teóricamente. Se encontró que una buena reproducción de los resultados experimentales se obtienen utilizando los siguientes parámetros  $n=2.2$ ,  $I_0=9 \times 10^{-4}$  A,  $R_s=1 \Omega$  y  $R_p=70 \Omega$ .



**Fig.4** : Comparación de la característica I-V de una celda solar de Si-polícristalino con la curva I-V calculada teóricamente.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñó y construyó un sistema para medir automáticamente la característica I-V de celdas solares utilizando únicamente el paquete LabView y un circuito de potencia que proporciona la corriente que se requiere para las medidas de I vs V. Las pruebas realizadas indicaron que tanto los datos de I y V como los valores de los parámetros que caracterizan la celda solar son precisos y confiables. Se encontró que la curva I vs V de la celda solar de Si utilizada en este trabajo se puede describir bastante bien con una expresión de la forma

$$I = I_0 \left\{ \exp \left( \frac{V - IR_s}{nV_T} \right) \right\} + \frac{V - IR_s}{R_p} - I_{ph}$$

Comparando la curva I-V obtenida experimentalmente con una simulada teóricamente se logró determinar el factor de diodo de la celda solar.

### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con apoyo económico de la Universidad Nacional de Colombia (Cont. Dinain DI00C276) y COLCIENCIAS (Cont. · 405-2000)

### REFERENCIAS

- [1] W. T. Picciano, *Energy Convers.* **9**,1 (1969)
- [2] A. Nedungadi, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* IM-31 (3), 206 (1982)
- [3] M. Grizalez, C. Quiñonez y G. Gordillo, XIX Congreso Nacional de Física, Manizales, Septiembre (2001)
- [4] M. Wolf and H. Rauchenbach, *Advanced Energy Conversion* **3**, 455 (1963)
- [5] K. Rajkanan and J. Shewchun, *Solid St. Electron* **22**, 193 (1979)
- [6] G. L. Araujo and E. Sanchez, *IEEE Trans Electron. Dev.* ED-29 1511 (1982)
- [7] D.S. Chan, J.R. Phillips and C.H. Phang, *Solid St. Electron* **29**,3,329 (1986)
- 8] A. Morales and Valencia, *Computers in Physics*, **3**, 2 (1989)