

CARACTERIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO AMORFO CON SOFTWARE LIBRE

M. Villena, V. Serrano, M. Montero

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO-CONICET)

Consejo de Investigación - Universidad Nacional de Salta (CIUNSA)

Avenida Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta

Tel. 0387 – 4255489 – e-mail: maiver@inenco.net

Recibido 13/08/16, aceptado 10/10/16

RESUMEN: En este trabajo se presenta la simulación de un módulo de Silicio amorfo (a-Si). Se utiliza un software para cálculo científico orientado al cálculo numérico denominado Scilab. En este programa se implementa una función representativa del modelo y se presentan las curvas obtenidas para diferentes temperaturas. Los resultados se contrastan con las medidas iniciales de un panel del fabricante Solar Cell, concluyendo que el modelo se ajusta a lo esperado.

Palabras clave: energía solar, panel fotovoltaico amorfo, modelización computacional, software libre

INTRODUCCIÓN

Los módulos fotovoltaicos de silicio amorfo se fabrican en un proceso continuo y único que consiste en la deposición plasmática de los átomos de silicio a partir del gas silano. Se obtiene así, un módulo de espesor reducido que puede tomar diferentes formas, tamaños y un alto grado de flexibilidad. Esta tecnología de fabricación difiere con la utilizada en los módulos de silicio cristalino, en donde celdas individuales se “ensamblan” para formar el panel. En la última fase de su fabricación, se someten a una prueba que certifica su potencia.

El módulo se estabiliza con la radiación solar, por lo que cuando son expuestos al sol en una instalación, su potencia suele ser superior a la nominal durante unas cuantas semanas o meses. Transcurrido este tiempo, se estabiliza en el entorno de su potencia nominal. En los 20 años garantizados por el fabricante de estos módulos, se produce una pequeña degradación, similar en porcentaje y ritmo que la de demás módulos fotovoltaicos.

Los módulos de silicio amorfo funcionan mejor que los de silicio cristalino a altas temperaturas. Al incrementarse la temperatura de la celda, el voltaje disminuye debido a que la producción de electrones se ve afectada y disminuye. Esta circunstancia genera una reducción de la potencia haciendo que su producción disminuya. El coeficiente de temperatura de la celda, suministrado por los fabricantes, es la referencia que indica la pérdida de potencia con el incremento de la temperatura. En celdas de silicio cristalino en el intervalo de -10° a 70° C, la potencia producida varía de tal forma que se pierde por este concepto, prácticamente el 30% de forma aproximadamente lineal, esto supone que la eficiencia de la celda disminuye en el entorno un 1% por cada $2,5^{\circ}$ C de incremento de temperatura.

En la práctica, un módulo fotovoltaico de 100 W de potencia, construido con celdas de silicio cristalino, a temperatura de 25° C produce 100 W, a 50° C produce 90W y a 70° C su producción disminuye, por este concepto, hasta los 82W. Las pérdidas que presenta un módulo de silicio amorfo por estos conceptos son aproximadamente del 50% respecto a las anteriores. La temperatura que alcanzan las celdas es una componente que se ve afectada no sólo por la temperatura ambiente, sino también por la irradiación directa del sol e indirecta de elementos próximos como el suelo o los

edificios, la carga térmica que acumulan los elementos que conforman los módulos, sus soportes, el cableado, etc. y el incremento de temperatura que genera la propia producción de electrones en el proceso fotovoltaico. Una radiación de 1.000 W/m² es capaz de calentar un módulo unos 30 °C por encima de la temperatura del aire circundante. Un parque fotovoltaico con módulos de silicio cristalino trabajando a una temperatura de 50 °C tendrá una producción casi un 11% inferior a la del mismo parque trabajando con temperatura de módulos a 25 °C.

El mismo parque con módulos de silicio amorfo disminuirá su producción en ese intervalo de temperatura en el 5,5%. Esta es una de las razones por las que, en las mismas condiciones y con la misma potencia instalada, un parque fotovoltaico de silicio amorfo tiene una producción media anual superior en un 4 a 5% aproximadamente, a la de un parque de silicio cristalino. (Alonso, 2009)

MODELIZACIÓN

El uso de un circuito equivalente es un método utilizado ampliamente para describir el comportamiento de dispositivos electrónicos. Generalmente, un circuito equivalente ofrece tres ventajas: es fácil de utilizar dentro de circuitos eléctricos; permite describir las propiedades del dispositivo de un modo estandarizado y mediante un modelo analítico simple permite representar el dispositivo dentro del proceso físico que se analiza.

El circuito equivalente que generalmente se usa para celdas fotovoltaicas (Merten et al., 1998) se muestra en la Figura 1. Está constituido esencialmente por una fuente de corriente cortocircuitada mediante un diodo. Estos dos elementos corresponden a la generación y pérdida de foto-corriente del dispositivo.

Las resistencias R_s y R_p pueden ser consideradas como los elementos “parásitos” del dispositivo, se utilizan estas resistencias para describir el comportamiento real de una celda solar con sus limitaciones técnicas.

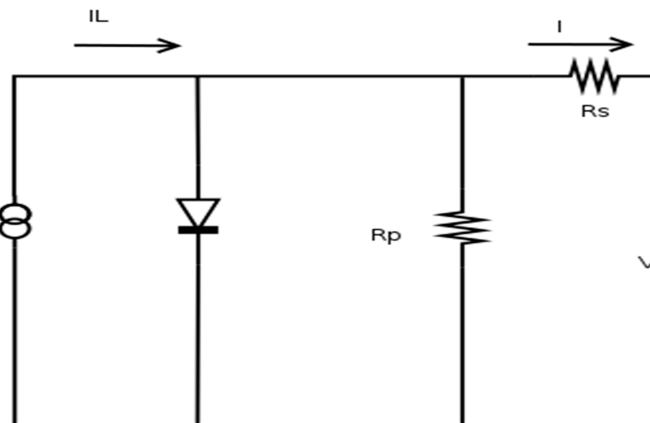


Figura 1: Circuito Equivalente para una célula fotovoltaica

En el modelo presentado, la fuente de corriente depende de la irradiación y la temperatura, la corriente de cortocircuito del diodo depende de la temperatura. La resistencia en serie R_s representa la resistencia interna y los contactos del generador. La resistencia en paralelo R_p representa el efecto de la corriente resistiva a través del cristal. Donde R_s es una resistencia muy pequeña.

En un modelo más simplificado, se considera que R_p es muy grande por lo tanto podría no considerarse para el análisis.

Para el diseño del modelo computacional en Scilab se parte de la ecuación (1) que describe el comportamiento de una célula solar:

$$I = I_L - I_0 e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT}} - 1 \quad (1)$$

Para ello $K=1.38 \times 10^{-23}$ J/K: constante de Boltzmann, $q=1.6021 \times 10^{-19}$ C: Carga elemental, T: Temperatura en grados Kelvin, n: factor de idealidad del diodo, I_L : corriente foto-generada, I_0 : corriente de saturación del diodo, I: corriente del panel, R_s : resistencia interna en serie.

La corriente foto-generada I_L depende de las variaciones de irradiancia y temperatura:

$$I_L = I_{L(T_1)}(1 + K_0(T - T_1)) \quad (2)$$

$$I_{L(T_1)} = \frac{GI_{sc(T_1, nom)}}{G_{nom}} \quad (3)$$

$$K_0 = \frac{I_{sc(T_2)} - I_{sc(T_1)}}{I_{sc(T_1)}(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

$$I_0 = I_{0(T_1)} \left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{3}{n}} e^{\frac{-qV_g}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)} \quad (5)$$

$$I_{0(T_1)} = \frac{I}{\frac{qV_{oc(T_1)}}{e^{nkT_1}} - 1} \quad (6)$$

$$R_s = \frac{-dV}{dI_{V_{oc}}} - \frac{1}{X_v} \quad (7)$$

$$X_v = I_{0(T_1)} \frac{q}{nkT_1} e^{\frac{qV_{oc(T_1)}}{nkT_1}} \quad (8)$$

El modelo desarrollado que se describe en la siguiente sección contempla la resolución computacional de las ecuaciones precedentes y permite obtener las curvas características Tensión-Corriente (I-V) que se muestran posteriormente.

SIMULACIÓN

Scilab es un software computacional científico para cálculos numéricos, que presenta un entorno de trabajo robusto para aplicaciones científicas y de ingeniería. Se trata de un paquete de software multiplataforma (GNU/Linux, Mac OS y Windows) Provee un lenguaje de programación de alto nivel que incluye múltiples librerías de cálculo que crece constantemente.

Scilab es desarrollado por el Instituto Nacional Francés para la Investigación en Ciencias de la Computación (INRIA) desde 1990 y distribuye libremente su producto, esto posibilita un conveniente uso en ambientes educativos y de investigación porque se puede prescindir de costosas licencias de software comerciales similares.

Con todas las consideraciones analizadas en la sección precedente para el modelo, se implementó una función en el lenguaje de programación de Scilab que tiene como argumentos los valores de tensión, la radiación y la temperatura.

Se ejecutó dicha función para valores de tensión comprendidos entre 0V y 15V con un incremento de 0.2V, el valor de radiación considerado es de 877 W/m² valor que fue obtenido con un solarímetro del INENCO para el día que se realizaron las medidas del módulo ensayado, mientras que el valor de temperatura es de 27°C.

Como resultado de la ejecución del programa en Scilab se obtienen los valores correspondientes de corriente para la gráfica I-V que se muestra en la Figura 2.

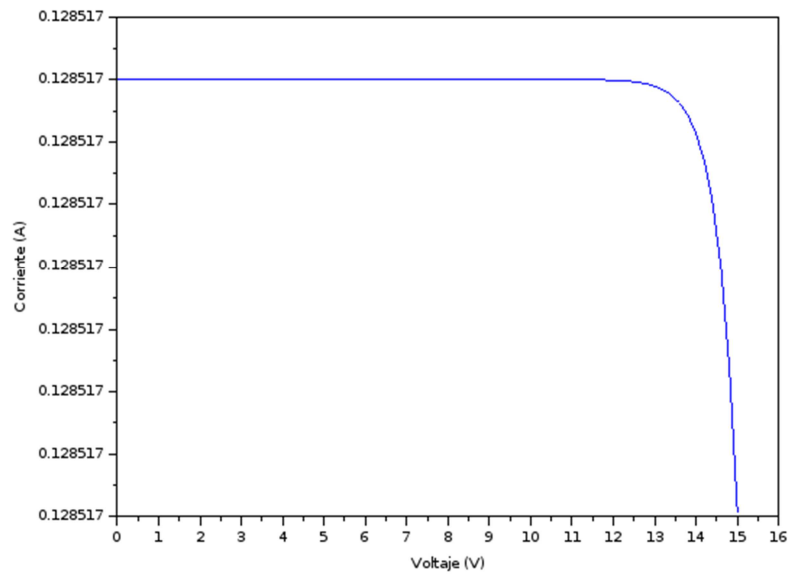


Figura 2: Curva I-V mediante simulación

La función implementada permite rápidamente modelizar el comportamiento del panel para distintos valores de temperatura y radiación.

La Figura 3 exhibe las gráficas obtenidas con una radiación de 877 W/m² con temperaturas de 50°C (izquierda) y 70°C (derecha)

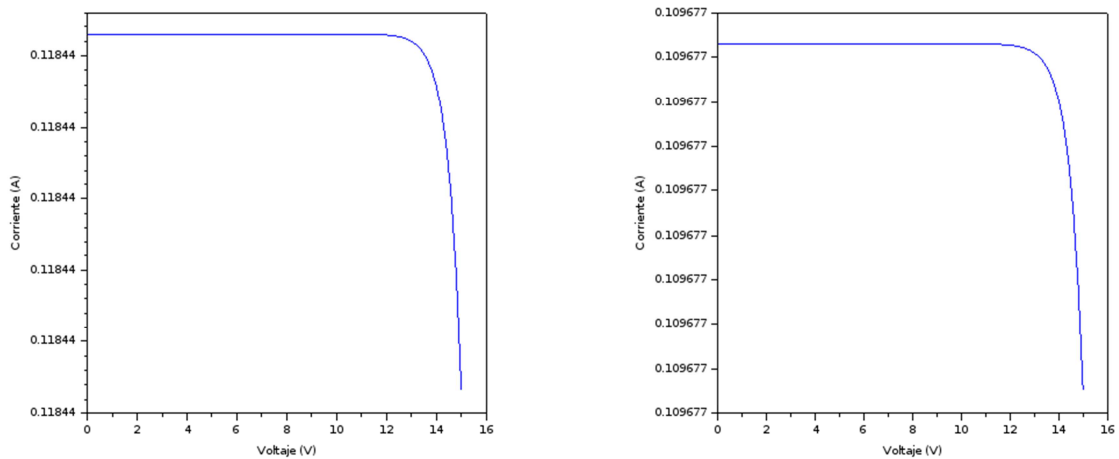


Figura 3: Curvas I-V para 50°C y 70°C

PROCESO DE MEDICIÓN

La Figura 4 muestra el módulo fotovoltaico de silicio amorfo ensayado, del fabricante Solar Cells modelo SM106



Figura 4: Módulo FV a-Si

Las principales características del modelo ensayado, se resumen en la Tabla 1

Wp	2.0 W
Voc	22.5 V
Isc	165 mA
Vspec	14.5 V
I & Vspec	138 mA

Tabla 1: Especificaciones módulo FV Solar Cells SM106

La Tabla 2 presenta los registros para un módulo de a-Si de 2W en un día soleado del mes de agosto con una temperatura de 27°C y una radiación de 877 W/m² en Salta Capital.

V(V)	I(A)	V(V)	I(A)	V(V)	I(A)
0	0.12	6.5	0.12	13.4	0.07
0.1	0.12	7.4	0.12	14	0.06
0.2	0.12	10.2	0.11	14.1	0.06
1.66	0.12	11.3	0.1	14.4	0.05
2.8	0.12	12.5	0.09	14.6	0.04
3.1	0.12	13	0.08	14.8	0.03
5.8	0.12	13.1	0.08	15	0

Tabla 2: Valores de Tensión y Corriente medidos

Con estos valores se obtiene la curva I-V característica, la cual se muestra en la Figura 5

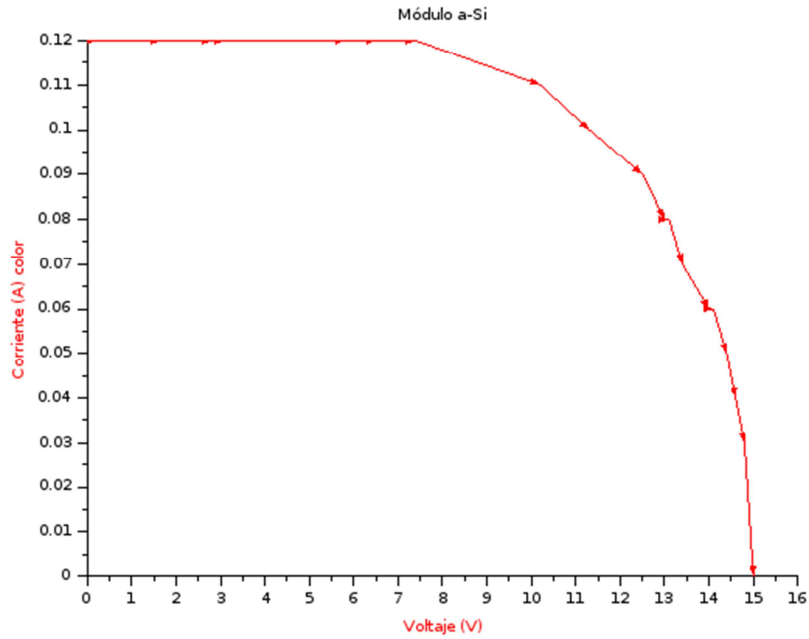


Figura 5: Curva característica I-V a partir de los datos medidos

Resulta interesante la comparación entre las gráficas de la simulación y la de los datos medidos, esto demuestra una razonable aproximación entre los valores obtenidos mediante la modelización computacional y los valores medidos.

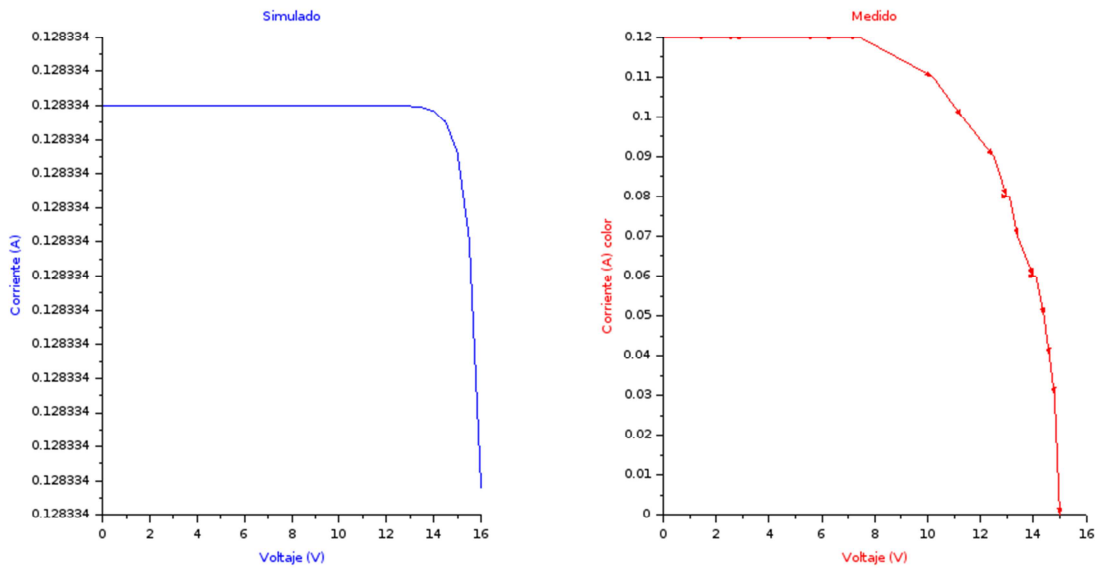


Figura 6: Modelo computacional y curva característica medida

CONCLUSIONES

El modelo computacional desarrollado y aplicado en la simulación, muestra la capacidad de reproducir con una buena aproximación, el desempeño de un módulo fotovoltaico a-Si. El mismo puede utilizarse como una herramienta de cálculo y diseño en sistemas fotovoltaicos que incluyan módulos fotovoltaicos a-Si.

La potencialidad de Scilab y su licencia de uso libre lo confirman como una herramienta computacional indispensable para los ambientes académicos y de investigación, ya que con un adecuado uso de su lenguaje de programación pueden obtenerse funciones desarrolladas por el usuario que resuelven muchos problemas de la ciencia y la ingeniería.

REFERENCIAS

Alonso L. Iñarra Ignacio (2009). Sobre las características del silicio amorfo y su futuro en España.

Deng X., Schiff D. (2003). Amorphous Silicon Based Solar Cells, in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, pp. 505 - 565.

Merten J., Asensi J., Voz C., Shah V., Platz R., and Andreu J. (1998). Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules. IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 45 N° 2.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, pp. 748-761. Wiley & Sons, New Jersey.

Jordan D., Kurtz S. Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review, Journal Article.

Merten J., Muñoz A., Voz C., Asensi J., and Andreu J. (1998). Industrial Quality Control of Amorphous Silicon Modules by Variable Illumination Measurements (VIM). 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion. Vienna, Austria. NREL/JA-5200-51664. June 2012.

Torres M., Battioni M., Cutrera M., Risso G., Gottlieb B , Buitrago R., Evaluación del comportamiento de paneles de silicio amorfo triple junta bajo condiciones naturales, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 5, 2001. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

Merten J., Asensi J.M., Voz C., Shah V., Platz R., and Andreu J. (1998) Improved Equivalent Circuit and Analytical Model for Amorphous Silicon Solar Cells and Modules. IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 45 N° 2.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, pp. 748-761. Wiley & Sons, New Jersey.

www.scilab.org

ABSTRACT

In this paper the simulation of a (a-Si), amorphous silicon module is presented. Software for scientific computing oriented numerical calculation called Scilab is used. In this program a representative model function is implemented and the curves obtained for different temperatures are presented. The results are compared with the initial steps of a panel manufacturer Solar Cell, concluding that the model fits expected.

Keywords: solar energy, amorphous photo-voltaic panel, computational modeling, free software