

Comparación de modelos para celdas solares de alta eficiencia usadas en pequeños satélites y CubeSats

Jesús González-Llorente¹, Ronald Hurtado²

¹Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia, jesusd.gonzalez@correo.usa.edu.co

²Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia, ronald.hurtado@correo.usa.edu.co

Two mathematical models of solar cells are compared with the typical current – voltage characteristic taken from the manufacturer datasheet. The models used were: an analytical behavioral model and a model based on equivalent circuit. The solar cell used was a 28.3% Ultra Triple Junction (UTJ) design for space applications. According to the results, the analytical model had an obviously better approximation to the manufacturer data.

INTRODUCCIÓN

Pequeños satélites como los definidos por el estándar CubeSats tienen restricciones de peso de 1.3kg por cada unidad de 1 decímetro cúbico (The CubeSat Program, 2009). De las diferentes alternativas para proveer energía a este tipo de satélites, las celdas solares o fotovoltaicas son la mejor opción debido a su baja masa y a que la radiación solar es la única fuente externa disponible (Patel, 2005). El estudio del comportamiento eléctrico de estas fuentes de energía es clave en el desarrollo de los sistemas de alimentación, los cuales también se conocen como EPS (del inglés, *Electrical Power System*).

Diferentes métodos para modelar las celdas solares han sido propuestos; algunos están basados en circuitos equivalentes conocidos como modelo de un solo diodo y de doble diodo (Khaligh & Onar, 2009). Estos modelos requieren el cálculo de varias constantes y parámetros que no son suministrados por los fabricantes. Otros modelos se basan en el comportamiento eléctrico, describiendo la relación entre la corriente y el voltaje en sus terminales; así como también el efecto de la temperatura y la irradiación (Ortiz-Rivera & Peng, 2005).

En este trabajo se comparan dos modelos para celdas solares, tomando como referencia las características presentadas por el fabricante en la hoja de especificaciones. El modelo analítico basado en el comportamiento de la curva corriente – voltaje es ampliamente descrito en (Gil-Arias & Ortiz-Rivera, 2008), por su parte, el modelo basado en el circuito equivalente es presentado en (Villalva, Gazoli, & Filho, 2009). Como caso de estudio se usa una celda solar de triple juntura de alta eficiencia (28.3%) de la compañía Spectrolab Inc., la cual ha sido desarrollada especialmente para aplicaciones espaciales (Spectrolab, 2010).

MODELADO DE CELDAS SOLARES

En el modelo analítico del comportamiento eléctrico, la relación entre la corriente suministrada I y el voltaje en los terminales V de la celda solar está dada por la ecuación

$$I = \frac{I_x}{1 - \exp\left(-\frac{1}{b}\right)} \left[1 - \exp\left(\frac{V}{bV_x} - \frac{1}{b}\right) \right] \quad (1)$$

donde I_x y V_x son la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto respectivamente, que son los valores máximos determinados por las condiciones de irradiación y temperatura, y la constante b es una característica propia del panel (Gil-Arias & Ortiz-Rivera, 2008).

El modelo basado en circuito equivalente, describe la relación entre la corriente I y el voltaje V por la ecuación

$$I = I_{pv} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (2)$$

la cual requiere el cálculo de la resistencia serie R_s , la resistencia paralela R_p , la corriente generada por la radiación incidente I_{pv} , la corriente de fuga del diodo I_0 , el voltaje térmico V_t y la constante del diodo a (Villalva et al., 2009).

RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS

Para la comparación de los modelos de las celdas solares se usaron los datos dados por el fabricante en la hoja de especificaciones, los cuales se resumen en la tabla 1. A partir de estos datos se calcularon las constantes requeridas por los modelos. Para el modelo de Ortiz-Rivera solamente se calculó la constante b , mientras que para el modelo de Villalva se calcularon las constantes R_s , R_p , I_{pv} , I_0 , V_t y a ; en ambos casos se consideraron las condiciones estándares de prueba, esto es: irradiación de 1353W/m^2 y temperatura de 28°C .

Tabla 1: Parámetros de la celda solar Spectrolab 28.3% (Spectrolab, 2010) 28°C y 1353W/m^2

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de circuito abierto (V_x)	2.66	V
Corriente de corto circuito (I_x)	17.05	mA/cm^2
Voltaje de máxima potencia (V_{mpp})	2.35	V
Corriente de máxima potencia (I_{mpp})	16.3	mA/cm^2

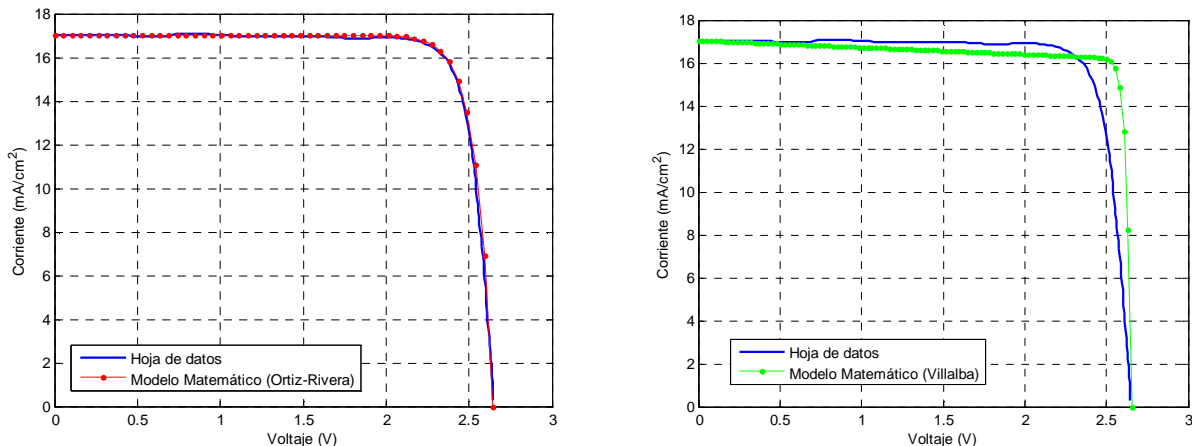


Figura 1: Comparación de Curva corriente – voltaje para celdas solares de Spectrolab usando el modelo analítico y el basado en circuito equivalente.

CONCLUSIONES

Se presento la comparación entre los modelos analítico del comportamiento eléctrico y el modelo basado en circuito equivalente para celdas solares de triple juntura, las cuales son diseñadas para aplicaciones espaciales y ampliamente usadas en pequeños satélites y CubeSats. A pesar del modelo analítico no tener una consideración mayor de variables como si lo hace el modelo de circuito equivalente, este se aproxima más a la curva de caracterización presentada por el fabricante; por lo que será considerado para los futuros análisis y diseño de los sistemas de energía de los pequeños satélites y CubeSats.

REFERENCIAS

- Gil-Arias, O., & Ortiz-Rivera, E. I. (2008). A general purpose tool for simulating the behavior of PV solar cells, modules and arrays. *2008 11th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics* (pp. 1-5). IEEE. doi:10.1109/COMPEL.2008.4634686
- Khaligh, A., & Onar, O. (2009). *Energy Harvesting Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems* (First Edit.). CRC Press.
- Ortiz-Rivera, E.I., & Peng, F. Z. (2005). Analytical Model for a Photovoltaic Module using the Electrical Characteristics provided by the Manufacturer Data Sheet. *IEEE 36th Conference on Power Electronics Specialists, 2005.* (pp. 2087-2091). IEEE. doi:10.1109/PESC.2005.1581920
- Patel, M. (2005). *Spacecraft Power System* (1st ed.). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Spectrolab. (2010). 28.3% Ultra Triple Junction (UTJ) Solar Cells. Sylmar, CA. USA. Retrieved from <http://www.spectrolab.com/DataSheets/cells/PV UTJ Cell 5-20-10.pdf>
- The CubeSat Program. (2009). CubeSat Design Specification rev. 12. Cal Poly. Retrieved from http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. R. (2009). Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(5), 1198-1208. doi:10.1109/TPEL.2009.2013862