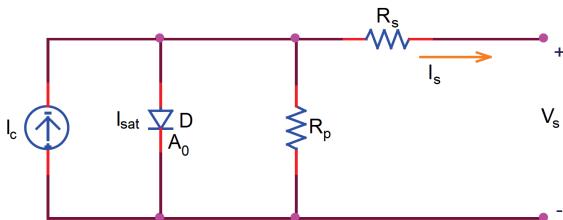


DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILICIO PARA DIFERENTES IRRADIANCIAS Y TEMPERATURAS

P. Bonfili¹, D. Fantini², M. Baptista de Siqueira²

5 de junio de 2023

- ¹ Departamento de Matemática Facultad de Ingeniería, UNSJB, Trelew.
- ² Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica Laboratório de Energia e Ambiente Brasília DF, Brazil.



Circuito equivalente de una célula fotovoltaica (modelo de un diodo).

Fantini D.G., Baptista de Siqueira M.B. (2020)

"Determinación de parámetros en módulos fotovoltaicos de silicio para diferentes irradiancias y temperaturas – método simplificado con datos del DATASHEET"

XVII Congreso Ibérico e XIII Congreso Ibero-americano de Energía Solar.

Corriente en el circuito

Aplicando la ley de corriente de Kirchhoff al circuito junto con la ecuación del diodo de Shockley se obtiene, la ecuación:

$$I_s = I_c - I_{sat} \left(e^{\frac{I_s R_s + V_s}{A_0 V_t}} - 1 \right) - \frac{I_c R_s + V_s}{R_p} \quad (1)$$

- $I_c[A]$: Corriente generada por la célula fotovoltaica.
- $I_{sat}[A]$: Corriente de saturación del diodo D .
- A_0 : Factor de idealidad del diodo.
- $R_s[\Omega]$: Resistencia en serie.
- $R_p[\Omega]$: Resistencia en paralelo.

Parámetros

Parámetros a determinar algebraicamente:

- $I_c[A]$: Corriente generada por la célula fotovoltaica.
- $I_{sat}[A]$: Corriente de saturación del diodo D .

Parámetros a determinar numéricamente:

- A_0 : Factor de idealidad del diodo.
- $R_s[\Omega]$: Resistencia en serie.
- $R_p[\Omega]$: Resistencia en paralelo.

Parámetros dados:

- $V_s[V]$: Tensión de salida.
- $V_t[V]$: Voltaje térmico de la unión pn del diodo.

Corriente I_{sat} .

Corriente de saturación del diodo D:

$$I_{sat} = \frac{I_c - \frac{V_{ca}}{R_p}}{e^{\frac{V_{ca}}{A_0 V_t}} - 1}$$

- Condición de circuito abierto.
- $V_{ca}[V]$: Tensión de circuito abierto.

Corriente generada por la célula fotovoltaica:

$$I_c = I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p} \right)$$

- Condición de corto circuito.
- $I_{cc}[A]$: Corriente de corto circuito.

Potencia máxima.

$$F_1(A_0, R_s, R_p) = I_{pm} - I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p} \right) + \frac{I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p} \right) - \frac{V_{ca}}{R_p}}{e^{\frac{V_{ca}}{A_0 V_t}} - 1} \left(e^{\frac{I_{pm} R_s + V_{pm}}{A_0 V_t}} - 1 \right) + \frac{I_{pm} R_s + V_{pm}}{R_p}$$

- $I_{pm}[A]$: Corriente de potencia máxima.
- $V_{pm}[V]$: Tensión de potencia máxima.
- $I_{cc}[A]$: Corriente de corto circuito.
- $V_{ca}[V]$: Tensión de circuito abierto.

Condición de extremo $\left. \frac{dP}{dV} \right|_{pm} = 0$
condición de potencia máxima.

$$F_2(A_0, R_s, R_p) = I_{pm} + \frac{I_{pm}R_s - V_{pm}}{R_p} + \frac{I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) - \frac{V_{ca}}{R_p}}{e^{\frac{V_{ca}}{A_0V_t}} - 1} e^{\frac{I_{pm}R_s + V_{pm}}{A_0V_t}} \left(\frac{I_{pm}R_s + V_{pm}}{R_p} \right)$$

- $I_{pm}[A]$: Corriente de potencia máxima.
- $V_{pm}[V]$: Tensión de potencia máxima.
- $I_{cc}[A]$: Corriente de corto circuito.
- $V_{ca}[V]$: Tensión de circuito abierto.

Condición de extremo $\left. \frac{dP}{dV} \right|_{pm} = 0$
condición de de corto circuito.

$$F_3(A_0, R_s, R_p) = \frac{1}{R_s + \left(\frac{I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p} \right) - \frac{V_{ca}}{R_p}}{A_0 V_t e^{\frac{V_{ca}}{A_0 V_t} - 1}} e^{\frac{I_{cc} R_s}{A_0 V_t}} + \frac{1}{R_p} \right)^{-1}} - \frac{I_{cc} - I_{pm}}{m V_{mp}}$$

- $I_{pm}[A]$: Corriente de potencia máxima.
- $V_{pm}[V]$: Tensión de potencia máxima.
- $I_{cc}[A]$: Corriente de corto circuito.
- $V_{ca}[V]$: Tensión de circuito abierto.
- m : Factor de corrección.

Método de Newton:

$$F_1(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$F_2(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$F_3(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$(A_0, R_s, R_p)(i + 1) = (A_0, R_s, R_p)(i) - DF^{-1}F$$

Condiciones iniciales Hejri et al. (2016):

$$A_0 = \frac{2V_{mp} - V_{ca}}{V_t \left(\frac{I_{mp}}{I_{cc} - I_{mp}} - \ln \left(\frac{I_{cc} - I_{mp}}{I_{cc}} \right) \right)}$$

$$R_s = \frac{2V_{mp} - V_{ca}}{I_{mp} + (I_{cc} - I_{mp}) \ln \left(\frac{I_{cc} - I_{mp}}{I_{cc}} \right)} + \frac{V_{mp}}{I_{mp}}$$

$$R_p = \frac{2V_{mp}}{I_{cc} - I_{mp}}$$

Método de Newton:

$$DF = \begin{bmatrix} F_{1A_0} & F_{1R_s} & F_{1R_p} \\ F_{2A_0} & F_{2R_s} & F_{2R_p} \\ F_{3A_0} & F_{3R_s} & F_{3R_p} \end{bmatrix}$$

$$DF^{-1} = \text{Det}(F)^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} F_{2R_s} F_{3R_p} - F_{2R_p} F_{3R_s} & F_{1R_p} F_{3R_s} - F_{1R_s} F_{3R_p} & F_{1R_s} F_{2R_p} - F_{1R_p} F_{2R_s} \\ F_{2R_p} F_{3A_0} - F_{2A_0} F_{3R_p} & F_{1A_0} F_{3R_p} - F_{1R_p} F_{3A_0} & F_{1R_p} F_{2A_0} - F_{1A_0} F_{2R_p} \\ F_{2A_0} F_{3R_s} - F_{2R_s} F_{3A_0} & F_{1R_s} F_{3A_0} - F_{1A_0} F_{3R_s} & F_{1A_0} F_{2R_s} - F_{1R_s} F_{2A_0} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{Det}(F) &= -F_{1R_p} F_{2R_s} F_{3A_0} + F_{1R_s} F_{2R_p} F_{3A_0} + F_{1R_p} F_{2A_0} F_{3R_s} \\ &\quad - F_{1A_0} F_{2R_p} F_{3R_s} - F_{1R_s} F_{2A_0} F_{3R_p} + F_{1A_0} F_{2R_s} F_{3R_p} \end{aligned}$$

Método de Newton:

$$F_1(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$F_2(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$F_3(A_0, R_s, R_p) = 0$$

$$(A_0, R_s, R_p)(i + 1) = (A_0, R_s, R_p)(i) - DF^{-1}F$$

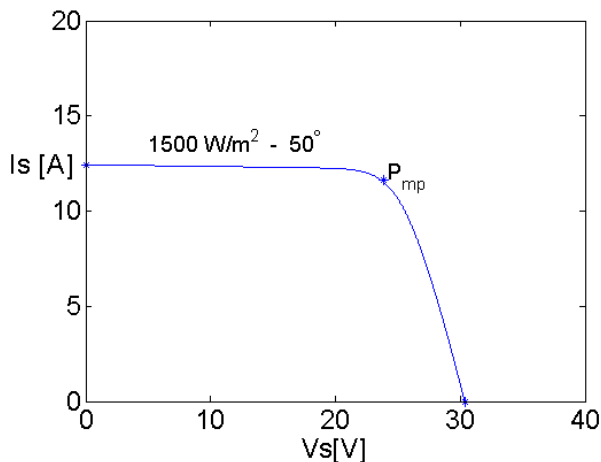
Condiciones iniciales para $T = 100^\circ\text{C}$:

$$A_0 = A_0(90, \text{Irradiancia})$$

$$R_s = R_s(90, \text{Irradiancia})$$

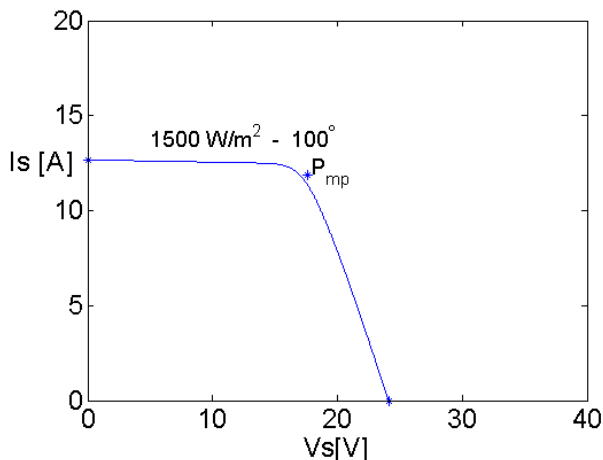
$$R_p = R_p(90, \text{Irradiancia})$$

Resultados: Curva de corriente en función de la tensión.



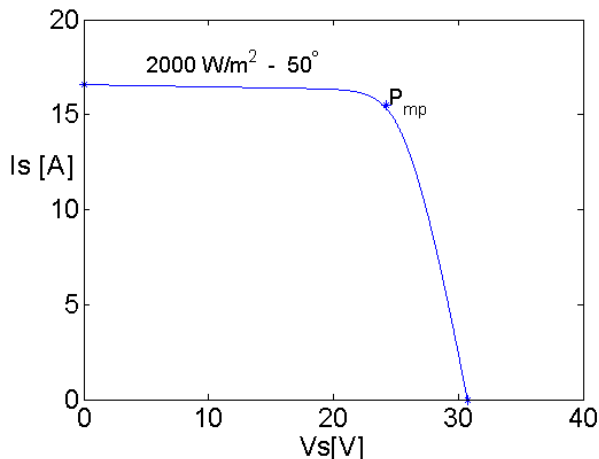
p_{mp} se tiene de la hoja de datos y se corrige con la fórmula de Marion et al. (2000), Marion (2002)

Resultados: Curva de corriente en función de la tensión.



p_{mp} se tiene de la hoja de datos y se corrige con la fórmula de Marion et al. (2000), Marion (2002)

Resultados: Curva de corriente en función de la tensión.



p_{mp} se tiene de la hoja de datos y se corrige con la fórmula de Marion et al. (2000), Marion (2002)

Resultados: factor de idealidad A_0 .

Evolución del factor de idealidad A_0 con la temperatura y la irradiancia:

| T °C | 500 W/m^2 | 1000 W/m^2 | 1500 W/m^2 | 2000 W/m^2 |
|--------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 10 | 1.0584 | 1.0887 | 1.1073 | 1.1208 |
| 40 | 0.7670 | 0.7866 | 0.7986 | 0.8073 |
| 50 | 0.6829 | 0.6996 | 0.7098 | 0.7172 |
| 80 | 0.4618 | 0.4713 | 0.4771 | 0.4812 |
| 100 | 0.3362 | 0.3420 | 0.3455 | 0.3480 |

Resultados: resistencia en serie $R_s[\Omega]$.

Evolución de la resistencia en serie $R_s[\Omega]$ con la temperatura y la irradiancia:

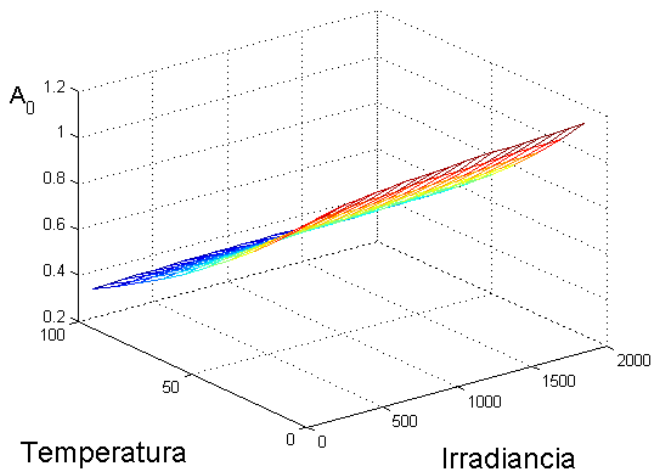
| T °C | 500 W/m ² | 1000 W/m ² | 1500 W/m ² | 2000 W/m ² |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10°C | 0.4889 | 0.2514 | 0.1705 | 0.1294 |
| 40°C | 0.7669 | 0.3933 | 0.2662 | 0.2018 |
| 50°C | 0.8576 | 0.4393 | 0.2971 | 0.2251 |
| 80°C | 1.1239 | 0.5735 | 0.3870 | 0.2928 |
| 100°C | 1.2974 | 0.6600 | 0.4445 | 0.3358 |

Resultados: resistencia en paralelo $R_p[\Omega]$.

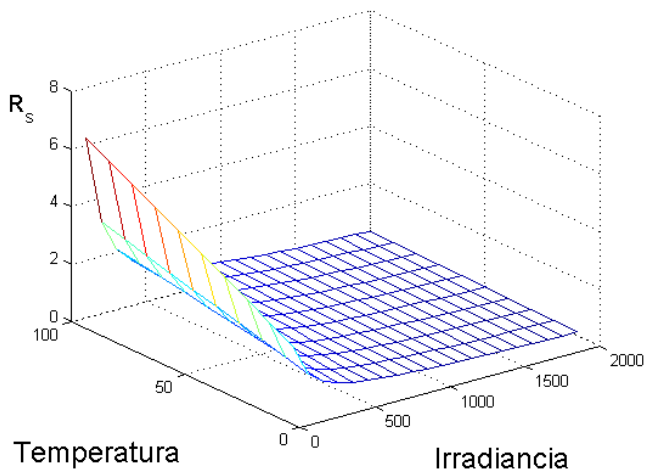
Evolución de la resistencia en paralelo $R_p[\Omega]$ con la temperatura y la irradiancia:

| T °C | 500 W/m ² | 1000 W/m ² | 1500 W/m ² | 2000 W/m ² |
|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10°C | 412.1558 | 211.9756 | 143.7255 | 109.1122 |
| 40°C | 355.6839 | 182.3924 | 123.4441 | 93.5920 |
| 50°C | 336.8291 | 172.5325 | 116.6921 | 88.4295 |
| 80°C | 280.1609 | 142.9581 | 96.4646 | 72.9782 |
| 100°C | 242.2744 | 123.2434 | 83.0065 | 62.7120 |

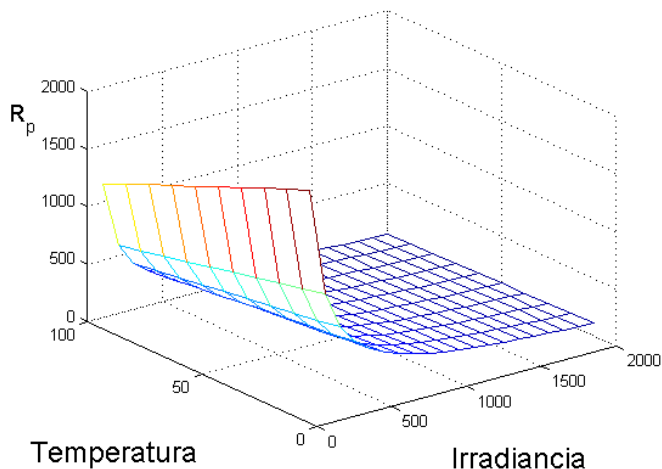
Resultados: Evolución del factor de idealidad.



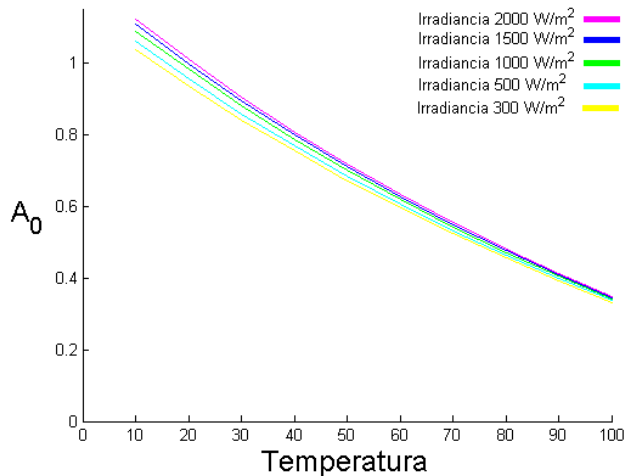
Resultados: Evolución de la resistencia en serie.



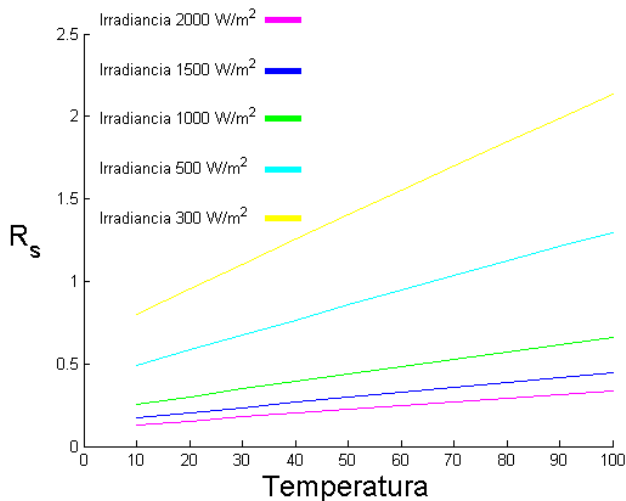
Resultados: Evolución de la resistencia en paralelo.



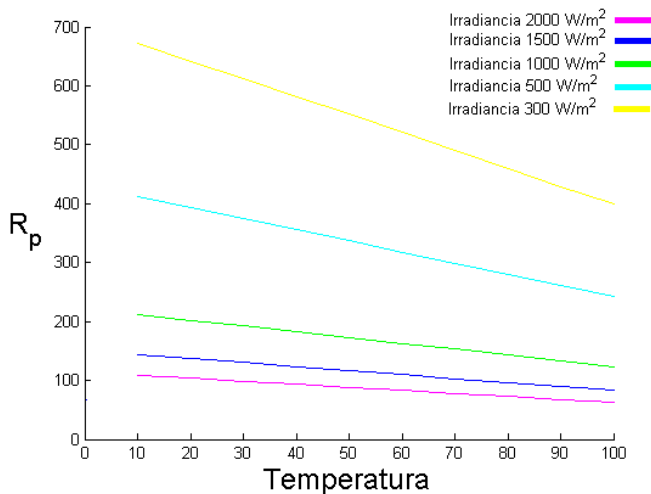
Resultados: Comparación de la evolución del factor de idealidad.



Resultados: Comparación de la evolución de la resistencia en serie.



Resultados: Comparación de la evolución de la resistencia en paralelo en paralelo.



Conclusiones

- El cambio en la estimación de las condiciones iniciales, permitió ampliar el rango de evaluación.
- Este análisis aporta resultados para irradiancia superior a $1000W/m^2$.
- Los resultados obtenidos permiten predecir el cambio en el rendimiento de la célula con la temperatura y la irradiancia.

Próximo paso

- Comparar los resultados obtenidos numéricamente con los resultados experimentales que se obtengan ensayando el concentrador.



Próximo paso

- Comparar los resultados obtenidos numéricamente con los resultados experimentales que se obtengan ensayando el concentrador.





¡Muchas gracias!