



Title: Diseñar e Implementar un Algoritmo de Control para el Seguimiento Solar de un Módulo Fotovoltaico

Author: Carlos David, AVALOS-GALINDO, Joel Josué, ONTIVEROS-MIRELES, Néstor Daniel, GALÁN-HERNÁNDEZ, Guillermo Javier, RUBIO-ASTORGA

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 23
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

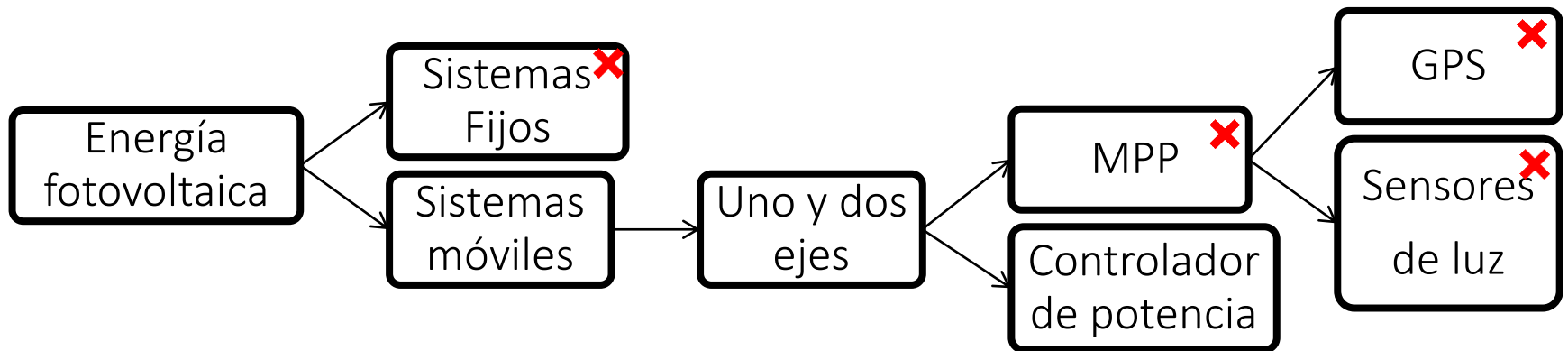
Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

Contenido

- I. Introducción
- II. Estimación de posición solar
- III. Modelado del sistema de seguimiento
- IV. Diseño del algoritmo de control PID
- V. Simulaciones
- VI. Implementación
- VII. Resultados
- VIII. Conclusiones

I. Introducción



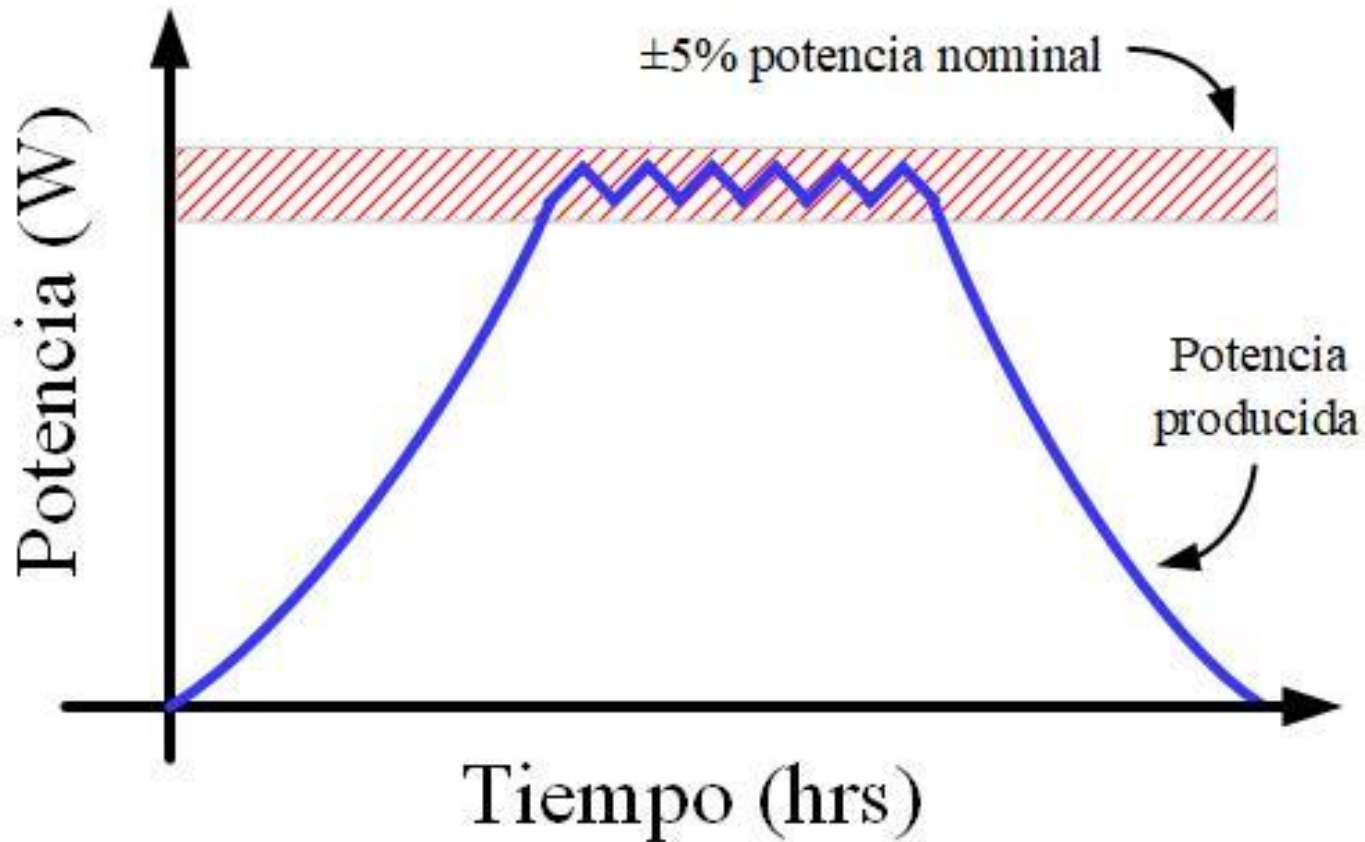


Figura 1. funcionamiento del controlador

II. Estimación de posición solar

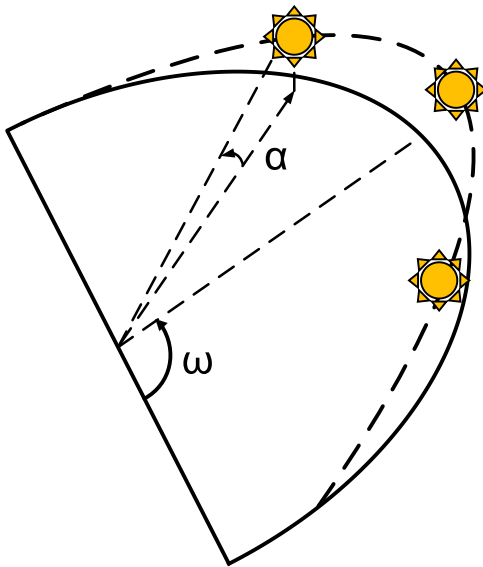


Figura 2. Altura solar y ángulo horario (Khatib & Elmenraich, 2016).

Tiempo solar verdadero (Muneer, Gueymard & Kambezidis, 2004):

$$T_{sv} = U_T + E_{TC} + \frac{1}{15} (L_{me1} + L_{Long}) \quad (1)$$

Ángulo horario (Muneer, Gueymard & Kambezidis, 2004):

$$\omega = \frac{15T_{sv} - (12 \times 60)}{60} \quad (2)$$

Altura solar (Muneer, Gueymard & Kambezidis, 2004):

$$\alpha = a \text{sen}[\text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta_{dec} + \cos(\phi) \cos(\omega))] \quad (3)$$

III. Modelado de sistema de seguimiento

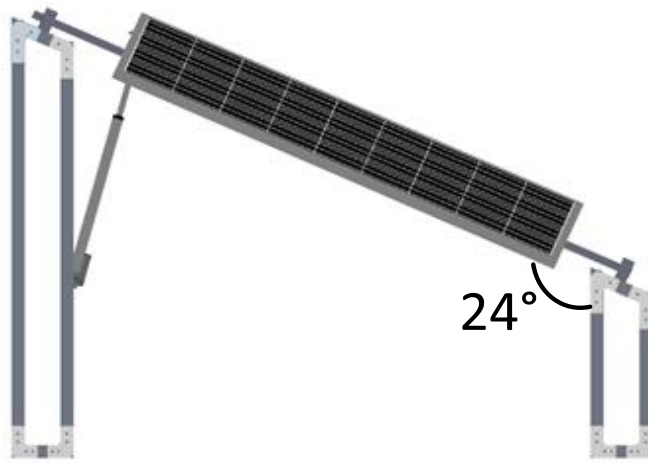


Figura 3. Estructura de un eje de libertad



Figura 4. Estructura de Dos ejes de libertad

Ecuación eléctrica (Utkin, Guldner & Shi, 2009):

$$U(t) = R_a i(t) + L_a \frac{di(t)}{dt} + K_e \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4)$$

Ecuación mecánica (Utkin, Guldner & Shi, 2009):

$$\tau(t) = J_1 \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (5)$$

Sistema mecánico (Ogata, 2010) :

$$\tau(t) = J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B_1 \frac{d\theta(t)}{dt} + B_2 \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (6)$$

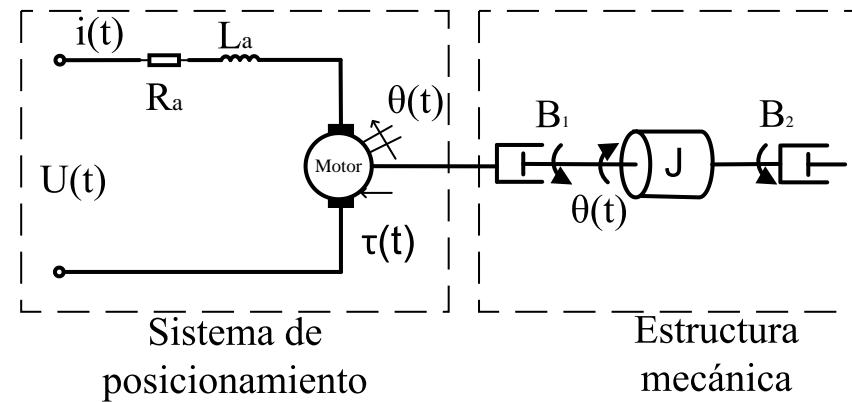
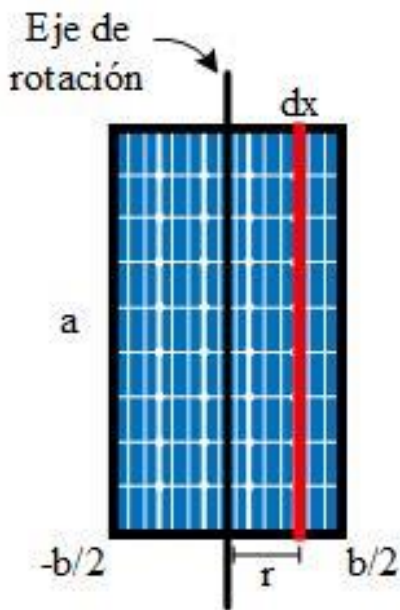


Figura 5. Sistema de seguimiento solar (Utkin, Guldner & Shi, 2009).

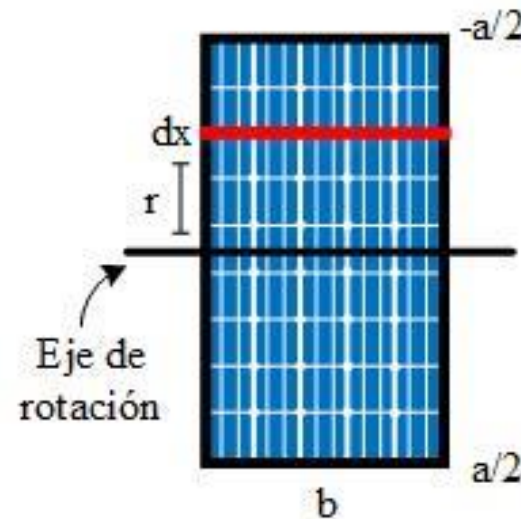
Momento de inercia vertical (Jonhson, Mazurek & Eizanberg, 2010):



$$J = \frac{M_a}{a} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} x^2 dx \quad (7)$$

Figura 6. Momento de inercia vertical.

Momento de inercia horizontal (Jonhson, Mazurek & Eizanberg, 2010):



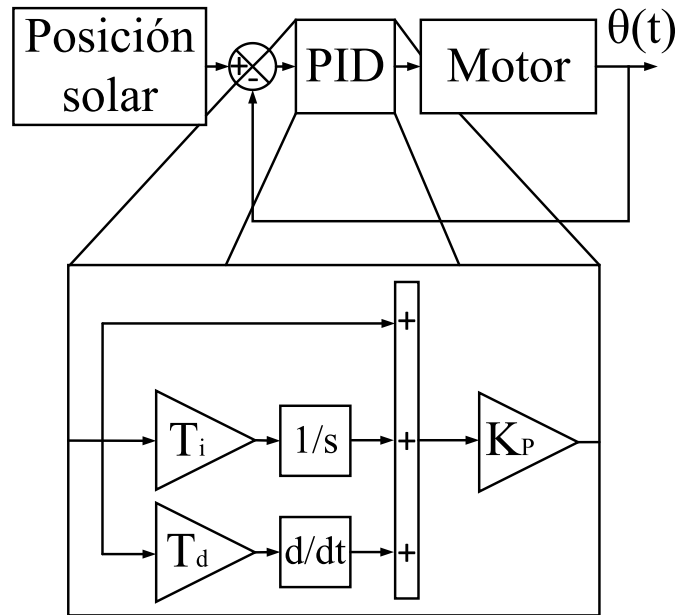
$$J = \frac{M_a}{b} \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} x^2 dx \quad (8)$$

Figura 7. Momento de inercia horizontal.

Función de transferencia:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_M}{s[(J_1 L_a + J L_a)s^2 + (J_1 R_a + J R_a + B L_a)s + K_M K_e]} \quad (9)$$

IV. Diseño de algoritmo de control PID



Ecuación de controlador
PID (Ogata, 2010) :

$$\text{PID} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (10)$$

Figura 8. Diagrama a bloques de controlador PID (Ogata, 2010).

Tabla 1. Ganancias de controlador ángulo horario para seguidor de un eje.

	Ziegler Nichols	Sintonizado
K_p	104.848	10.4848
T_i	5.048	0.05048
T_d	1.262	0.001262

Tabla 2. Ganancias de controlador ángulo altura solar para seguidor de dos ejes.

	Ziegler Nichols	Sintonizado
K_p	235.3547	2.3535
T_i	14.1285	0.1413
T_d	3.5321	0.0035

Tabla 3. Ganancias de controlador ángulo horario para seguidor de dos ejes.

	Ziegler Nichols	Sintonizado
K_p	207.6485	2.0765
T_i	11.1032	14.1285
T_d	2.7758	0.0026

V. Simulaciones

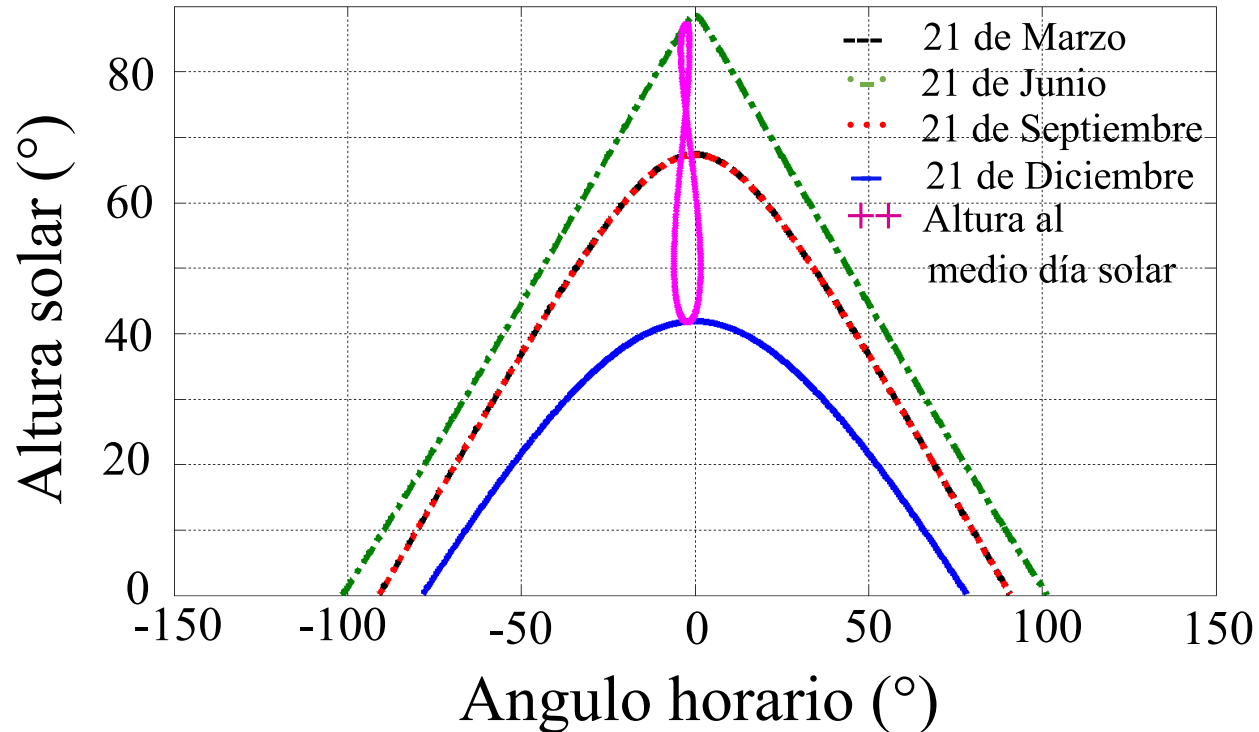


Figura 9. Estimación de altura solar.

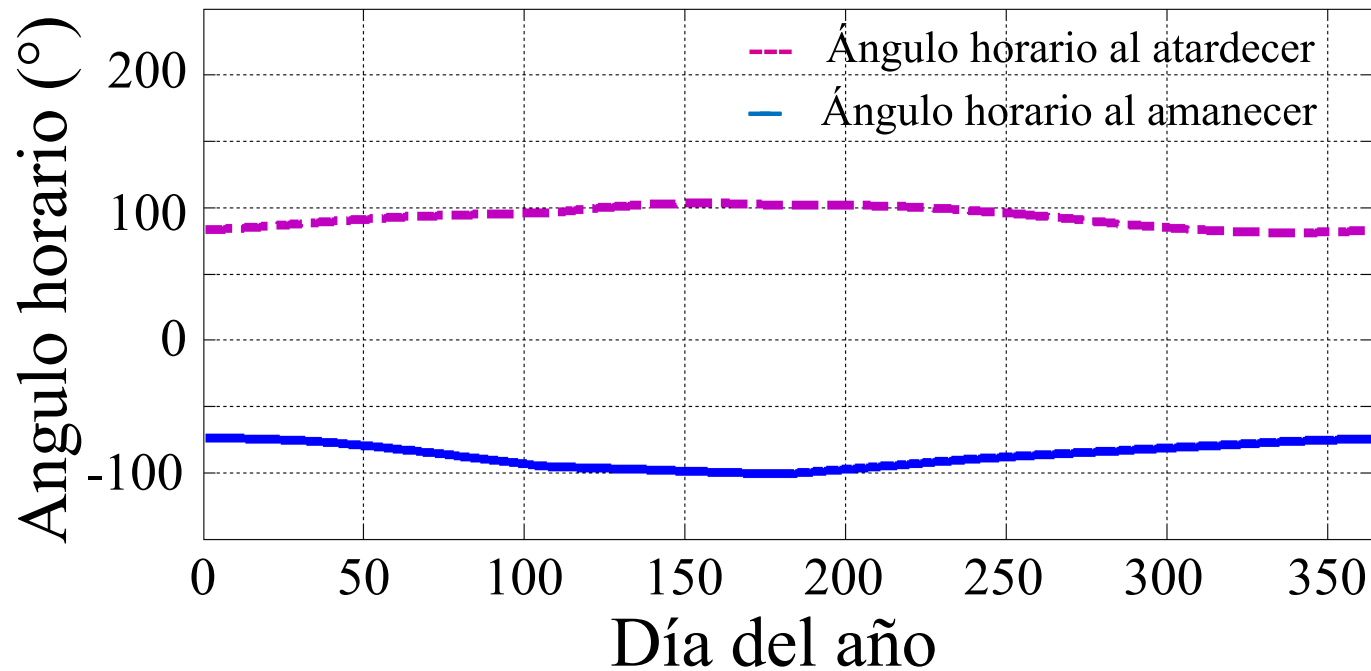


Figura 10. Estimación de ángulo horario al alba y ocaso.

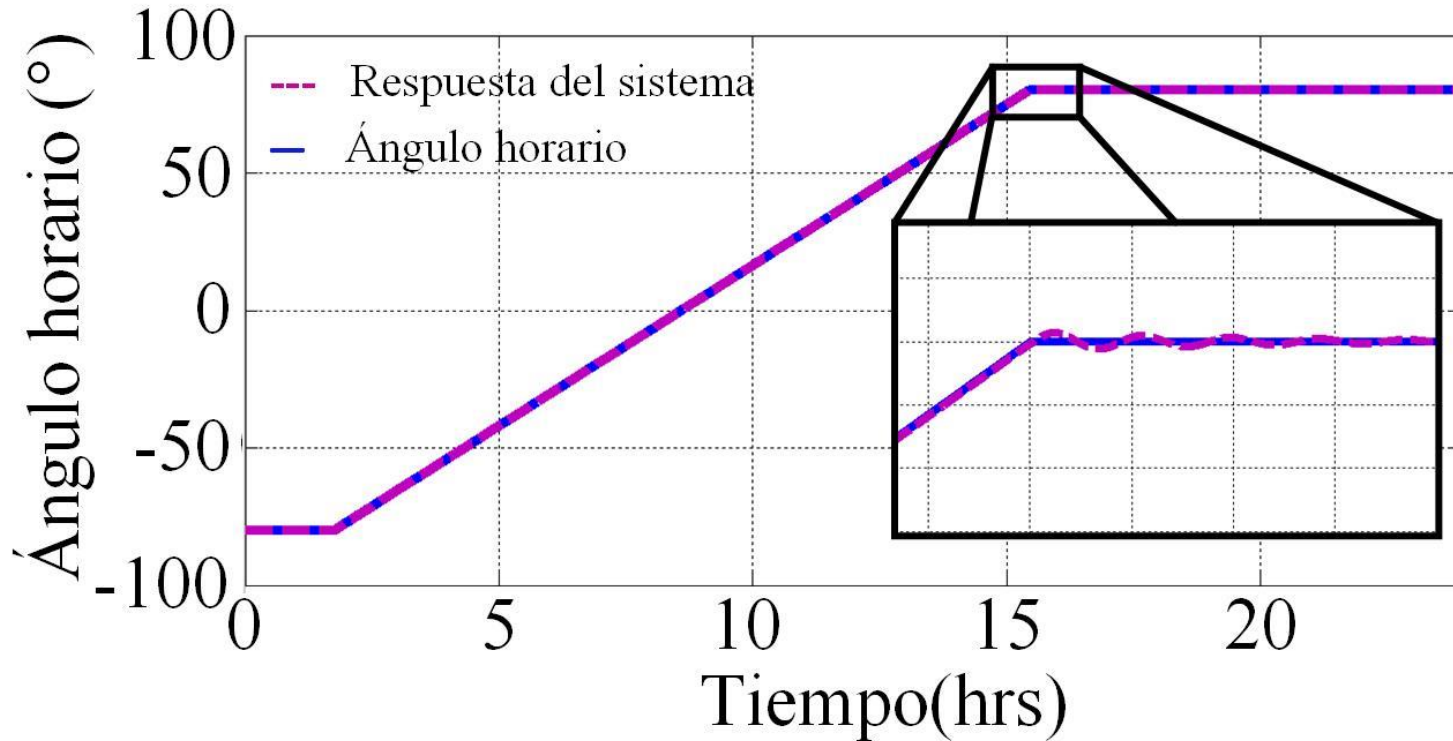


Figura 11. Respuesta de controlador de seguidor de un eje de libertad.

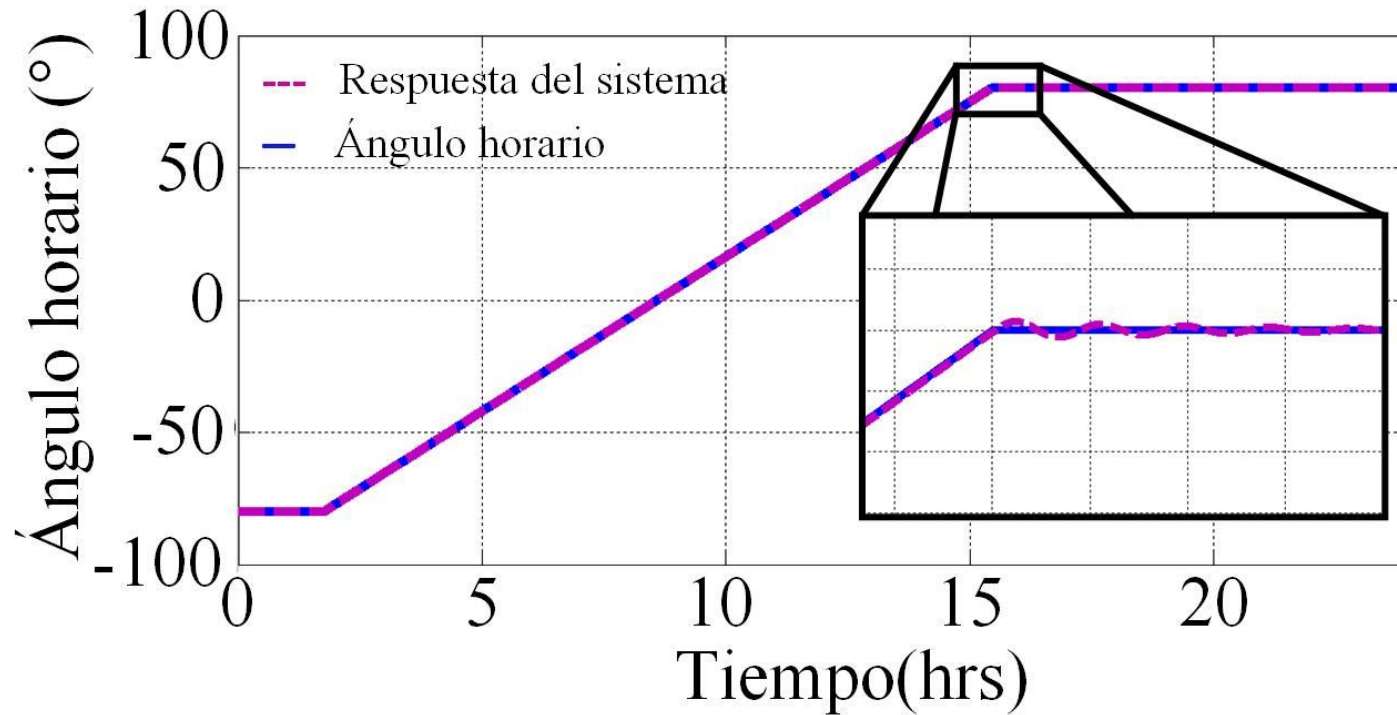


Figura 12. Respuesta de controlador altura solar para seguidor de dos ejes de libertad.

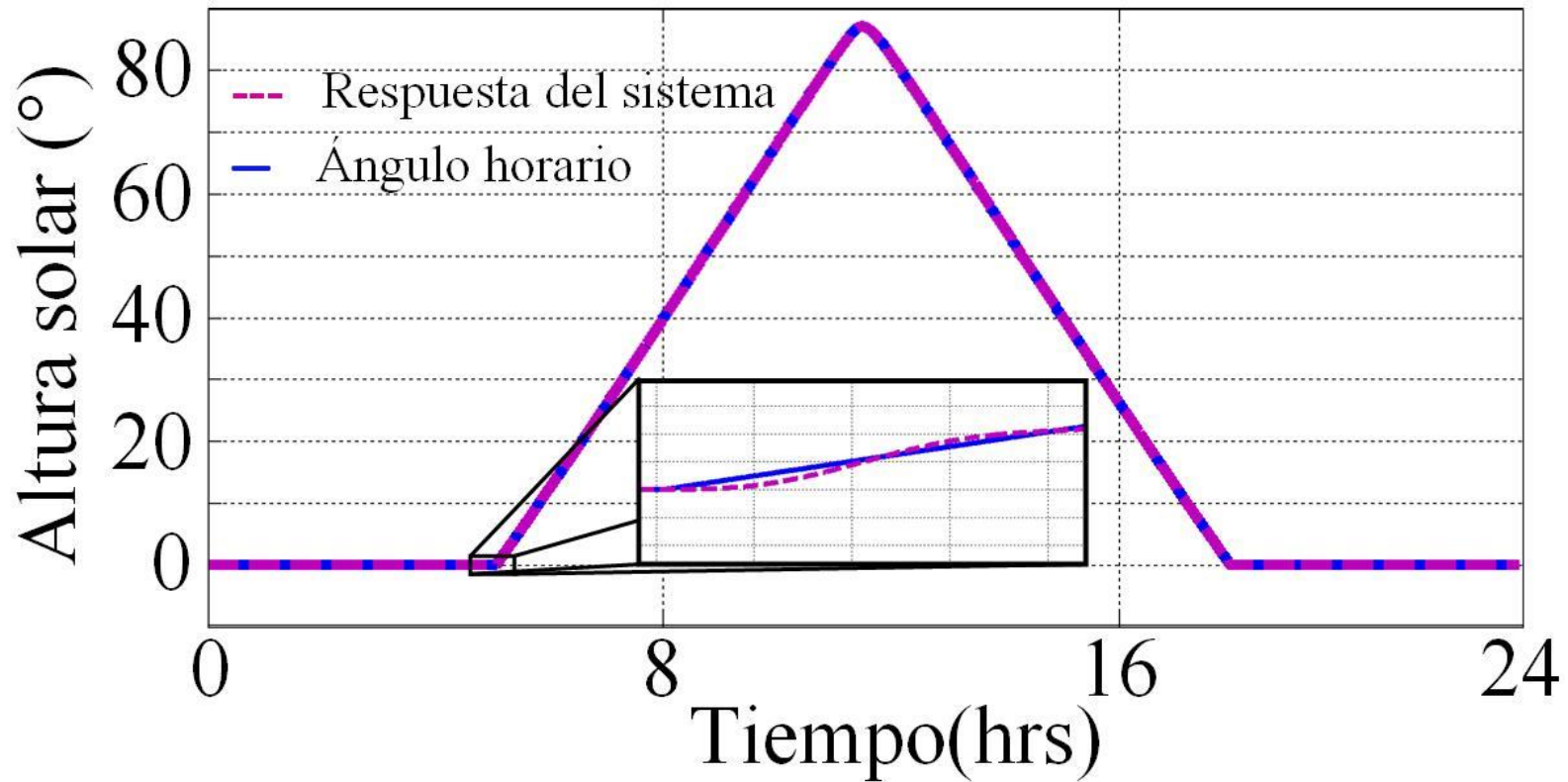


Figura 13. Respuesta de controlador ángulo horario para seguidor de dos ejes de libertad.

VI. Implementación

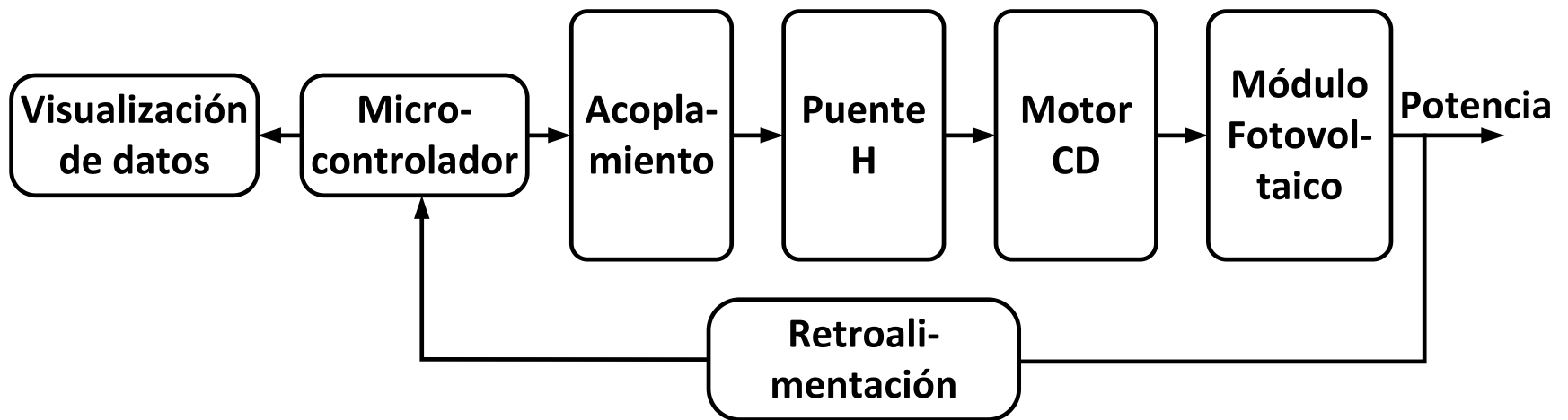


Figura 14. Diagrama de implementación.

Tabla 4. Especificaciones de módulos.

Parámetro	Módulo policristalino	Módulo amorfo
P_{mp}	250W	135W
V_{mp}	30.2V	62.3V
I_{mp}	8.3A	2.17A
V_{oc}	37.8V	78.4V
I_{sc}	8.7A	2.52A

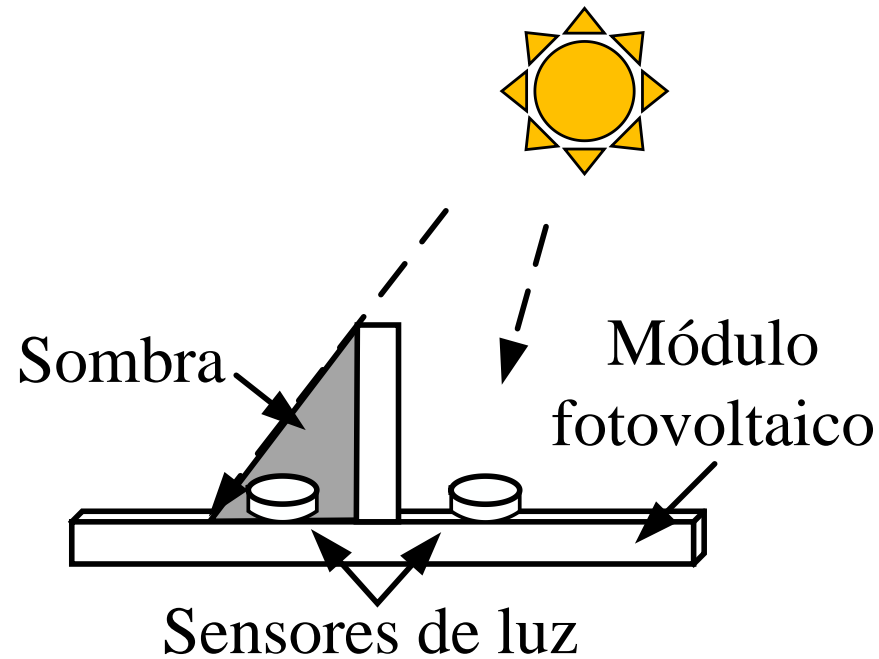


Figura 15. Sensor de posición solar (Makhija, S., et.al. 2017).

VII. Resultados

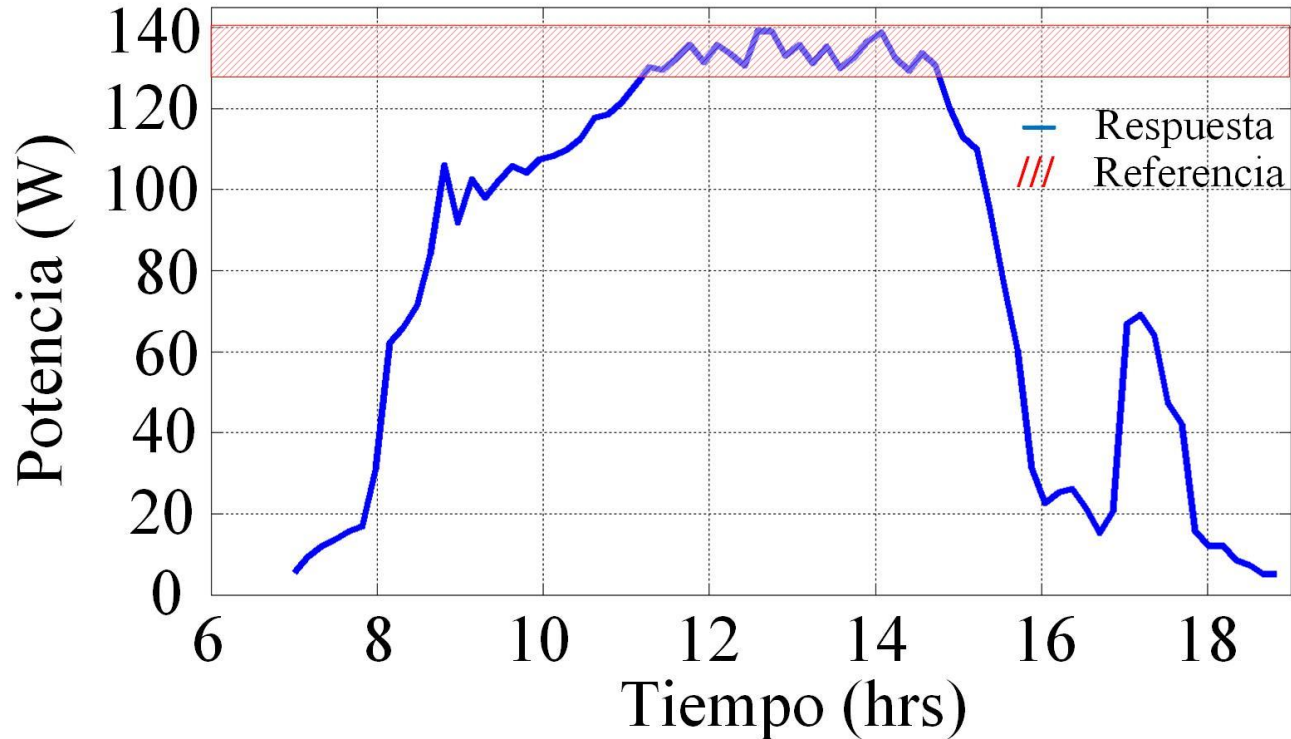


Figura 16. Resultados de prueba 1.

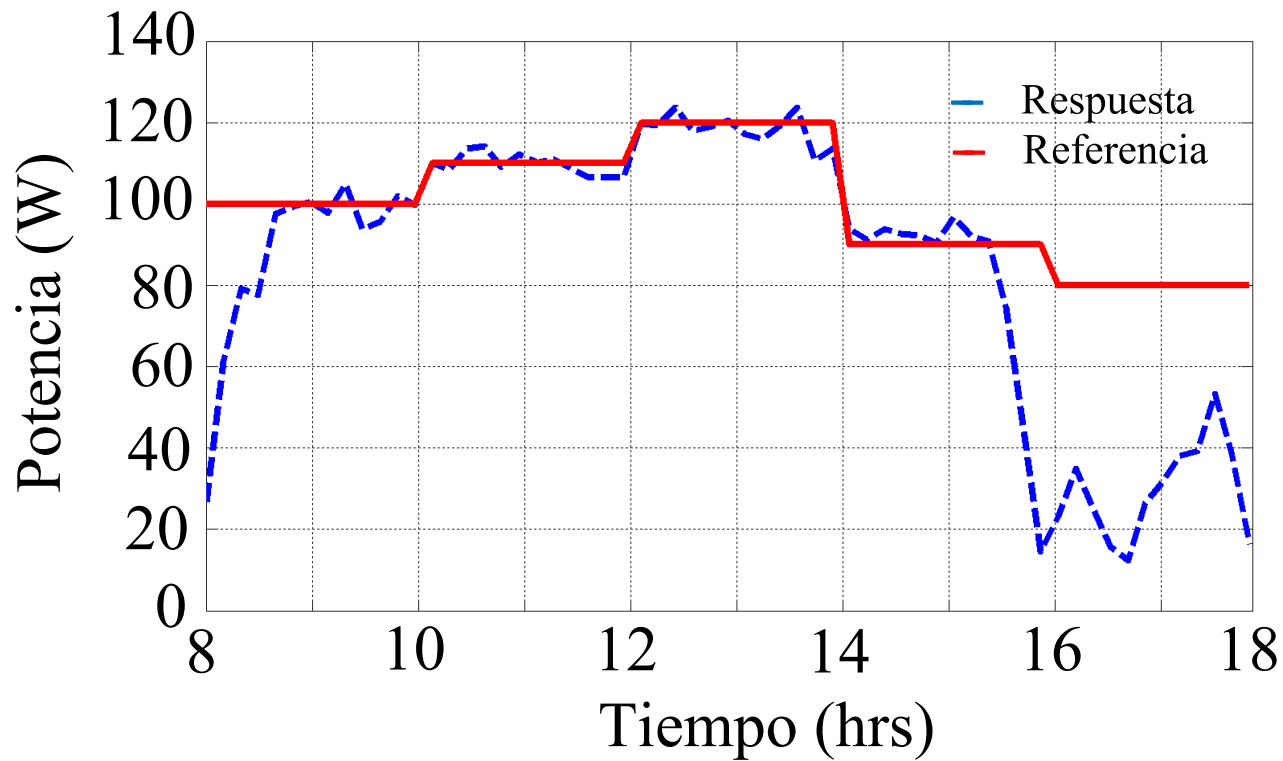


Figura 17. Resultados de prueba 2.

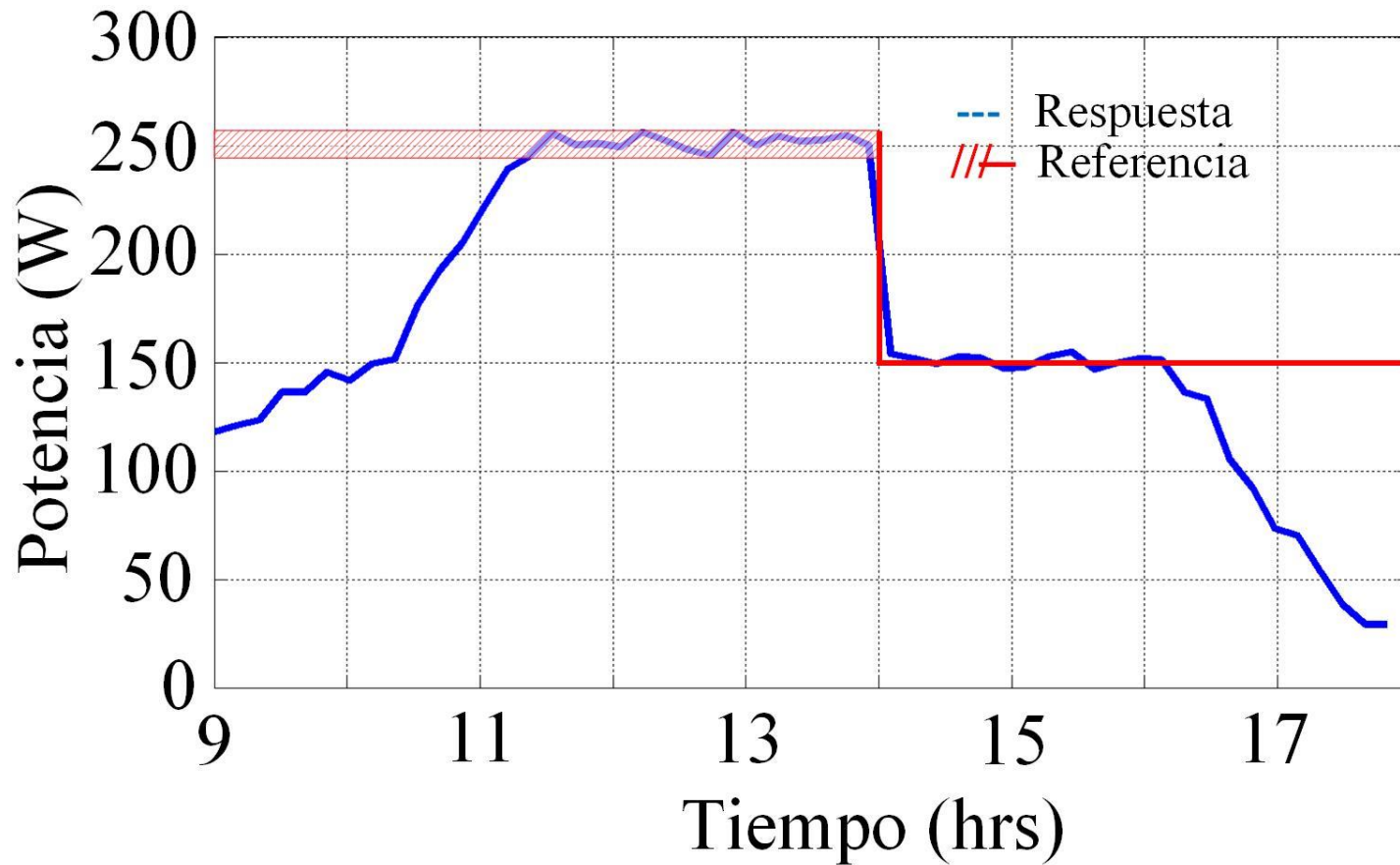


Figura 18. Resultados de prueba 3.

VIII. Conclusiones

- Se diseñan las estructuras de seguimiento solar de uno y dos ejes en el programa SOLIDWORKS®.
- Se diseña e implementa un algoritmo de control.
- El seguidor de dos ejes produce $\pm 5\%$ su potencia nominal durante 4hrs.
- El seguidor de dos ejes puede seguir cualquier referencia.
- El seguidor de un eje puede mantener $\pm 5\%$ la potencia nominal y cualquier referencia.

Referencias

- Khatib, T., & Elmenraich, W. (2016). *Modelling of a Photovoltaic System Using Matlab*. Canadá: Woley & Sons, Inc.
- Muneer, T., Gueymard, C., & Kambezidis, H. (2004). *Solar Radiation and Daylight Models*. Sheffield, England: Butterworth-Heinemann.
- Utkin, V., Guldner, J., & Shi, J. (2009). *Sliding Mode Control in Electro-MEchanical Systems*. Columbus, Ohio, USA: Taylor& Francis Group, LLC.
- Jonhson, B., Mazurek, & Eizanberg. (2010). *MEcánica Vectorial Para Ingenieros: Estátca*. Ciudad de México, México: Mc Grw Hill.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid, España: Pearson Education, S. A.
- Makhija, S., Khatwani, A., Khan, M. F., Goel, V., & Roja, M. (2017). *Design & Implementation of an Automated Dual-Axis Solar Tracker with Data-Logging*. International Conference on Inventive Systems and control. Mumbai.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)