



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT

Registro Nacional de Instituciones
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

CONACYT

LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Análisis dinámico de servomotor para el seguimiento solar a dos ejes para el aprovechamiento eficiente de una celda fotovoltaica de 15 watts

Author: José Carlos AGUILAR ANASTACIO

Editorial label ECORFAN: 607-8324
BCIERMIMI Control Number: 2017-02
BCIERMIMI Classification (2017): 270917-0201

Pages: 20
Mail: jcaguilar@tese.edu.mx
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

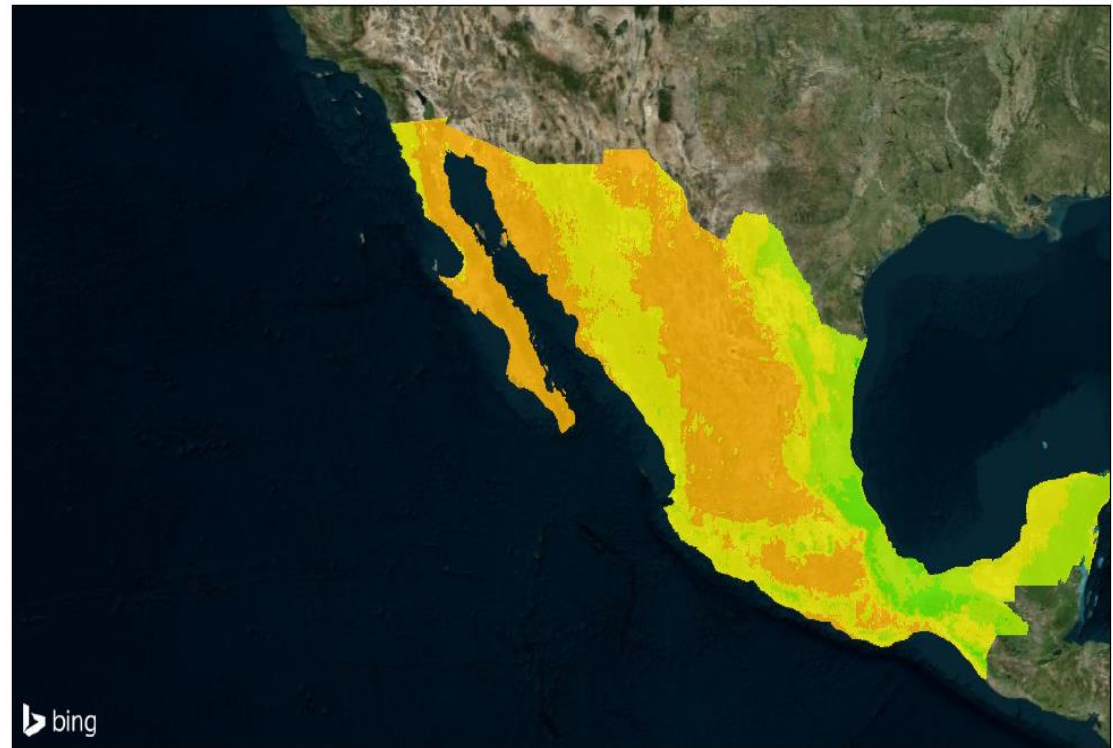
Holdings

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
Peru	Spain	Cuba	Haití
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
Czech Republic			

INTRODUCCIÓN

La posición geográfica de la República Mexicana ofrece ventaja en la captación de radiación solar para su aprovechamiento.

INVENTARIO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES

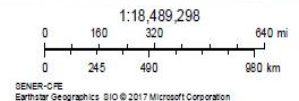


September 14, 2017

Irradiación global horizontal (anual)

0 - 3500
 3501 - 5000

5001 - 5500
 5501 - 6000
 6001 - 6500
 6501 - 7500
 7501 - 9000



San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.



Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables, Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática

2017

INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos son aquellos que transforman la radiación solar en energía eléctrica para su aprovechamiento

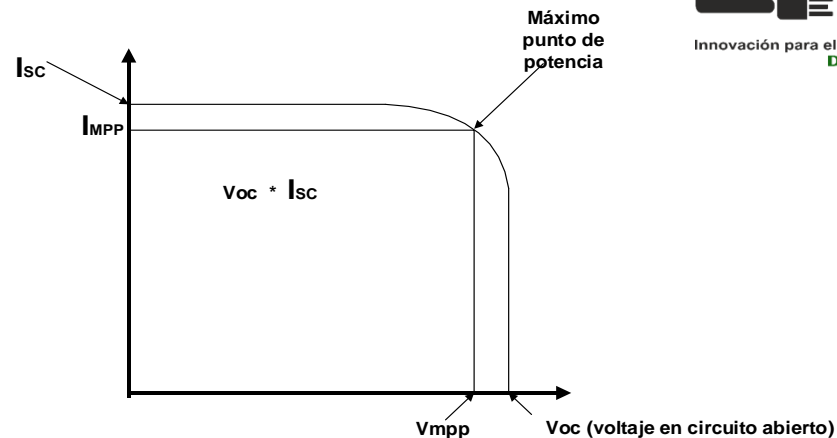


Sistema Fotovoltaico

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

INTRODUCCIÓN

Para los sistemas fotovoltaicos colocados fijamente a un ángulo específico, su producción eléctrica está por debajo de su punto máximo de potencia (MPP)



Sistema Fotovoltaico Fijo

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

OBJETIVOS

- Análisis matemático considerando los elementos importantes de un servomotor para el desplazamiento angular.
- Demostrar que el seguimiento es una alternativa para el aprovechamiento solar.

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

METODOLOGÍA

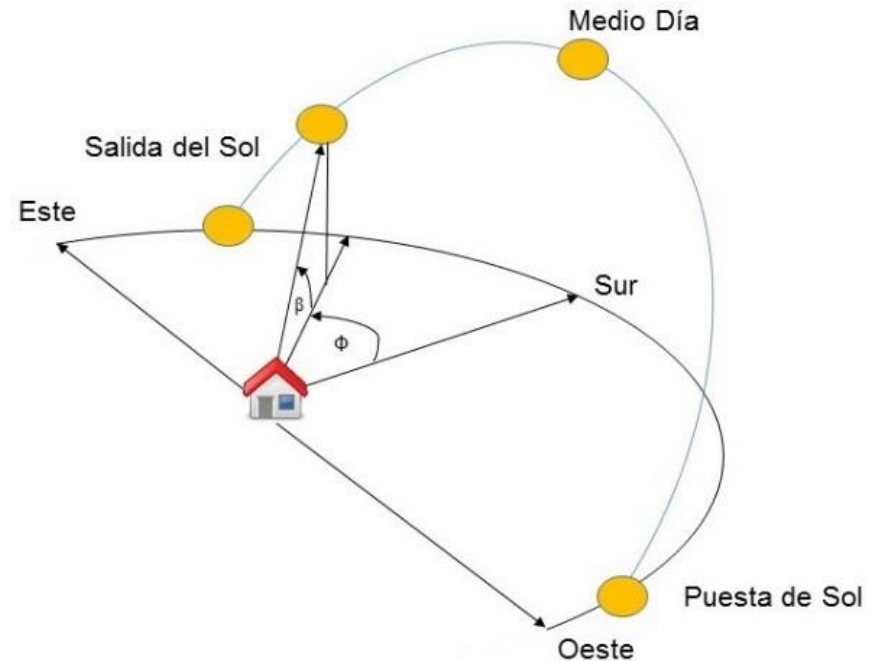
- El análisis dinámico del servomotor se desarrolla considerando cada una de las etapas que lo componen
- El modelo obtenido se comprueba en MATLAB®
- Los ángulos obtenidos del modelo se comprueban con un seguidor solar prototipo con una celda fotovoltaica de 15 watts

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

Para el desarrollo del modelo es necesario saber que la trayectoria del sol sobre la tierra, se lleva a cabo en dos ángulos:

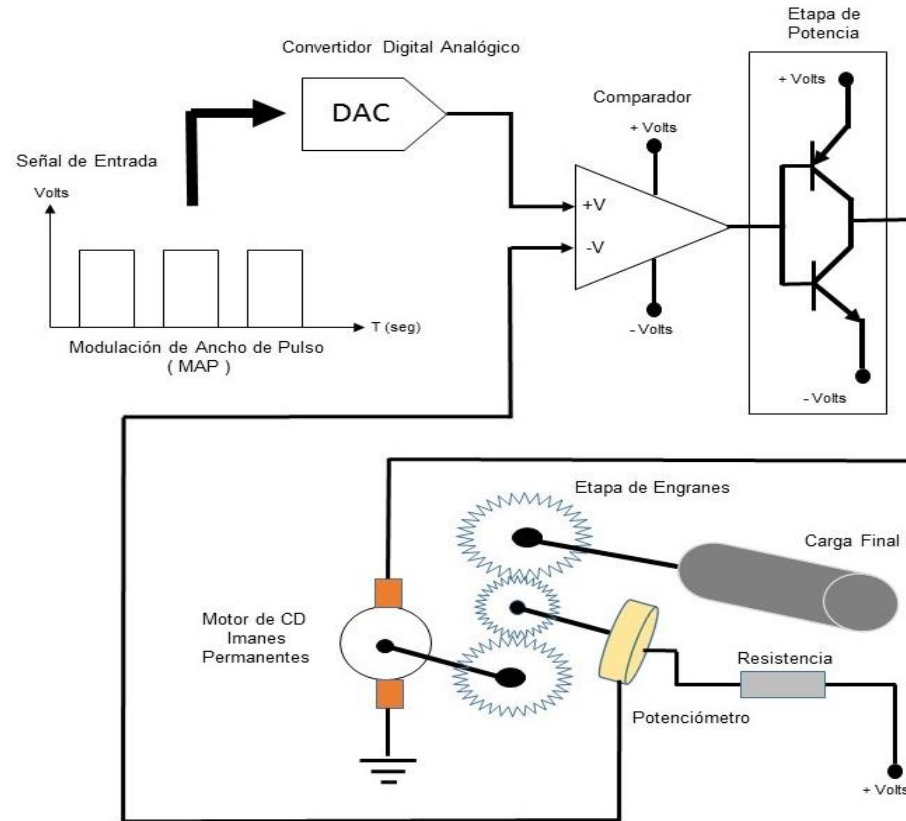
Altitud (β) y Azimut (Φ_s)



San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

Para cada ángulo es necesario un servomotor



Partes principales de un servomotor

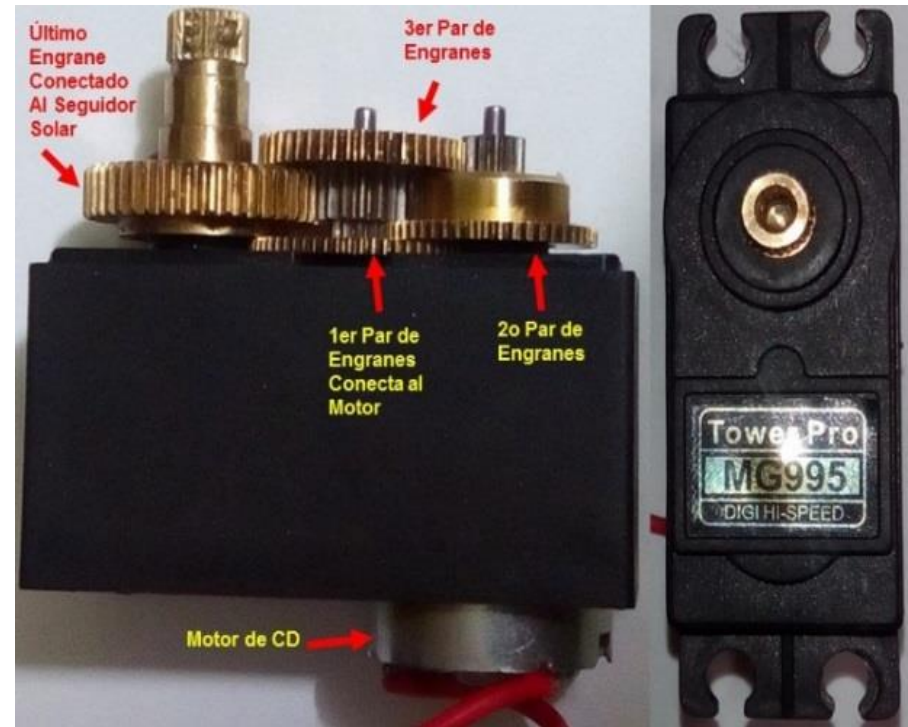
San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

El servomotor en estudio se basa en un servomotor comercial TOWER PRO MG99

Con características:

- Torque de 0.13N-m
- Voltaje de 4.8volts
- Velocidad de operación: 0.13 seg/60°

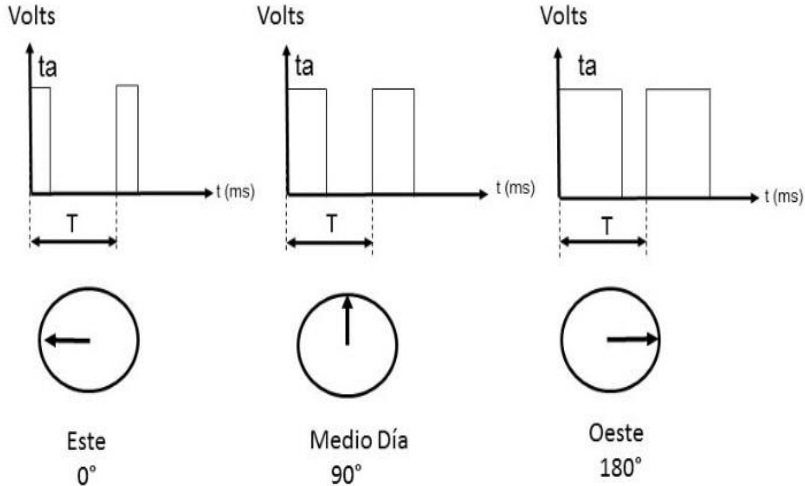


Servomotor Tower Pro MG99

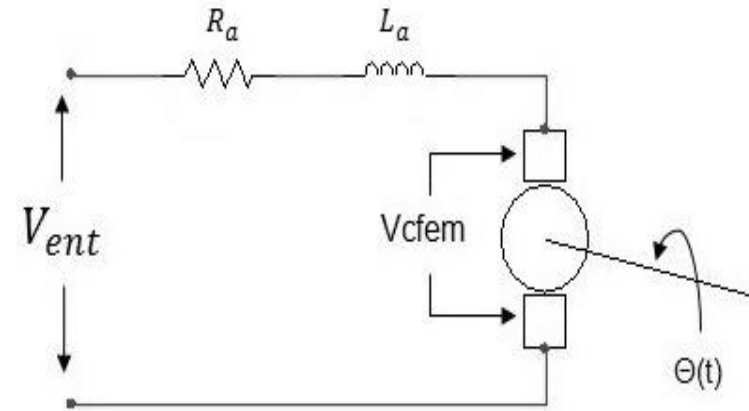
San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

$$V_{MAP} = \frac{t_a}{T} V_s = DV_s$$



Modulación de ancho de pulso (MAP)



Circuito equivalente del motor de CD

Ecuación de kirchhoff de voltajes:

$$-V_{ent} + V_{Ra} + V_{La} + V_{cfem} = 0$$

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

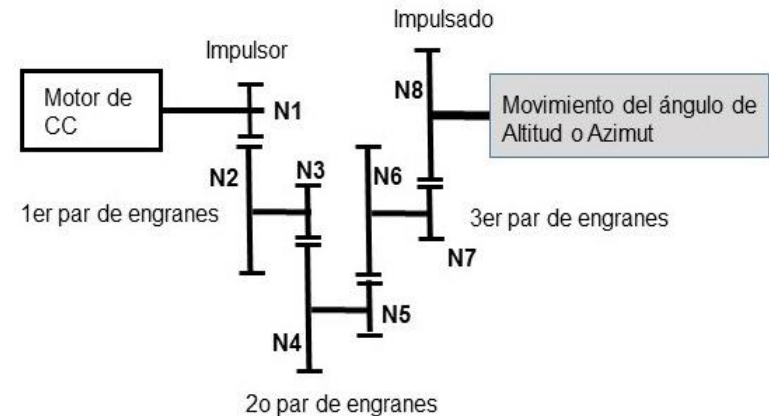
$$\theta(s) = \frac{\frac{Kt}{(Jm)(Ra)}}{s \left[s + \frac{1}{Jm} \left(Dm + \frac{(Kb)(Kt)}{Ra} \right) \right]} V_{ent}$$

Función de transferencia del motor en CD

$$J_m = J_a + J_L \left[\frac{N_1 N_3 N_5 N_7}{N_2 N_4 N_6 N_8} \right]^2 \quad D_m = D_a + D_L \left[\frac{N_1 N_3 N_5 N_7}{N_2 N_4 N_6 N_8} \right]^2$$

J_m inercia de la armadura y carga

D_m amortiguamiento viscoso en armadura y carga final



Engrane impulsor: N1 = 11 dientes

1er par: N2 = 60 y N3 = 12

2º par: N4 = 48 y N5 = 12

3er par: N6 = 48 y N7 = 16

Engrane impulsado: N8 = 47 dientes

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

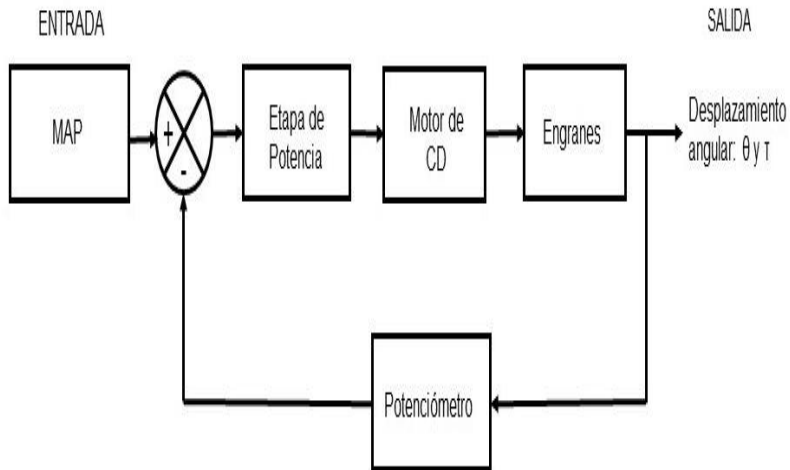


Diagrama a bloques del servomotor

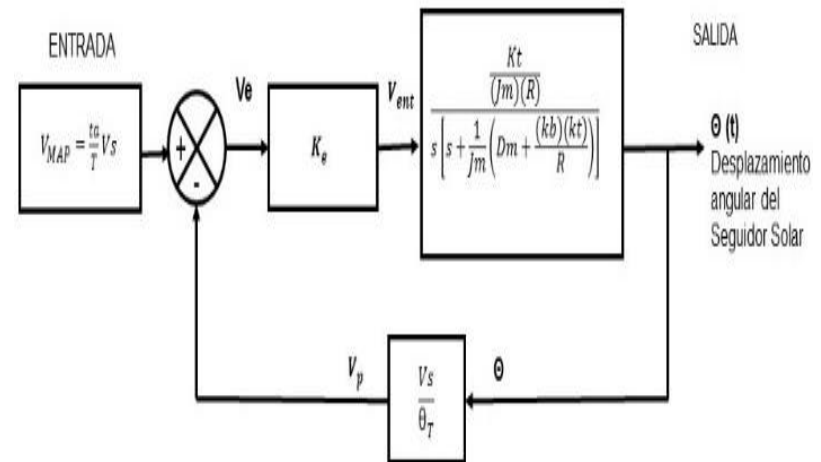


Diagrama a bloques equivalente

El servomotor como un sistema de lazo cerrado

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

$$V_e = G(V_{MAP} - V_p)$$

$$V_p = \theta \cdot V_s / \theta_T$$

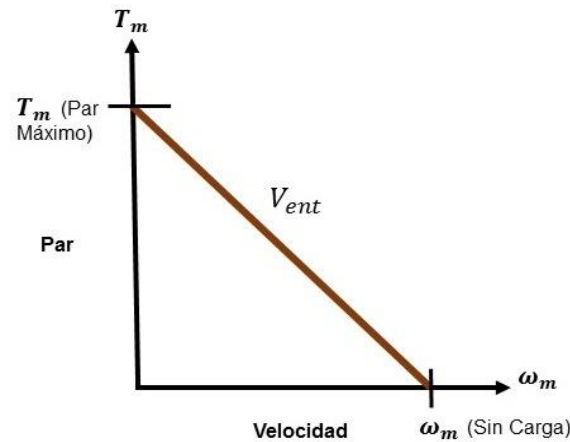
$$V_{ent} = V_e \cdot K_e$$

$$K_e = 1$$

$$V_{ent} = V_e$$

$$R_a = 2\Omega \text{ del motor}$$

$$\omega_{\text{sin carga}} = 6.16 \text{ rad/seg}$$



Gráfica de recta par-velocidad

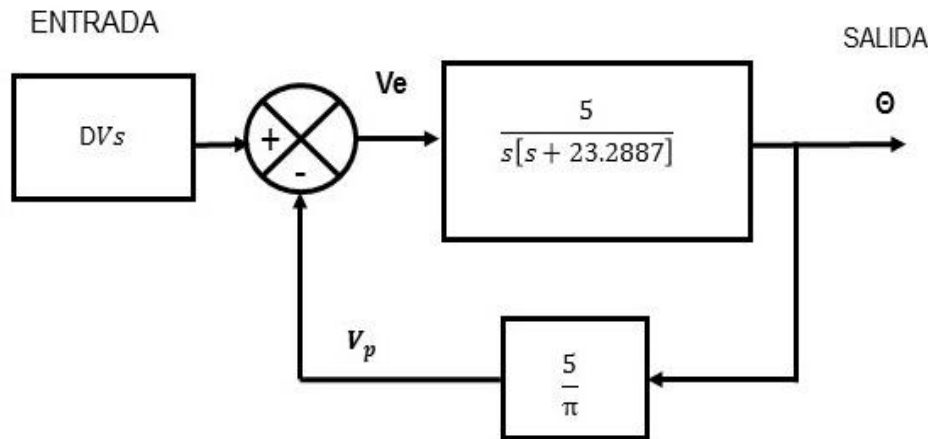
$$T_m = -\frac{K_b K_t}{R_a} \cdot \omega_m + \frac{K_t}{R_a} V_{ent}$$

$$k_t = \frac{T_m \cdot R_a}{V_{ent}} = 0.052 \frac{Nm}{A}$$

$$k_b = \frac{V_{ent}}{\omega_{\text{sin carga}}} = 0.8116 \frac{N \cdot m}{A}$$

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO



$$\theta(s) = \frac{5 \cdot DV_s}{s^2 + 23.2887s + 7.9577}$$

Función de transferencia

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

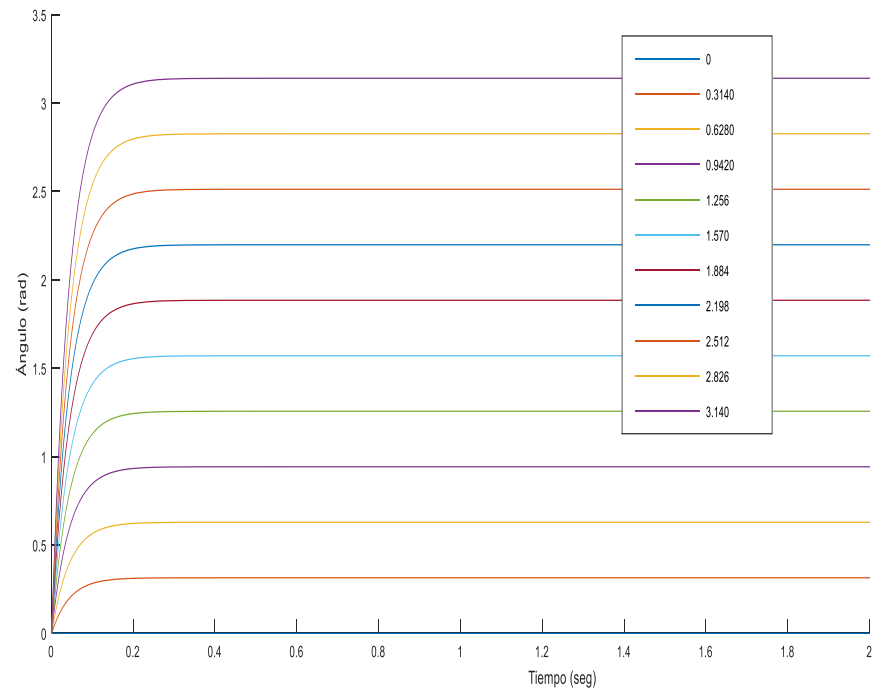
Aplicando la transformada inversa de Laplace a la ecuación:

$$\theta(t) = 0.628(D \cdot V_s)[1.019 + 0.015e^{-22.94t} - 1.034e^{-0.34t}]$$

Sí el termino $1.019 \approx 1$, para mayor precisión en el ángulo:

$$\theta(t) = 0.628(D \cdot V_s)[1 + 0.015e^{-22.94t} - 1.034e^{-0.34t}]$$

GRÁFICO 1. Respuesta a la entrada (DVs)



San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

GRÁFICO 2. Desplazamiento angular

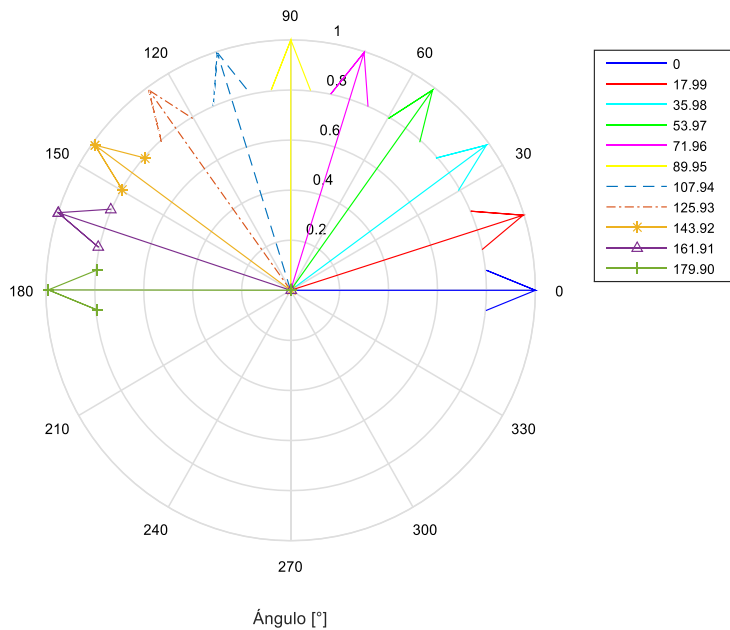


TABLA 1. Desplazamiento angular en función del ciclo de trabajo

Ciclo de Trabajo D (adimensional)	Respuesta θ (rad)	Desplazamiento Servomotor ($^{\circ}$)
0.1	0.3140	17.9908
0.2	0.6280	35.9817
0.3	0.9420	53.9725
0.4	1.2560	71.9633
0.5	1.5700	89.9542
0.6	1.8840	107.9450
0.7	2.1980	125.9358
0.8	2.5120	143.9267
0.9	2.8260	161.9175
1	3.1400	179.9083

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO

TABLA 2. Ángulos de desplazamiento del seguidor solar.



Orientación del seguidor solar.

Tiempo Hrs	Áng-real del Servo de β ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)	Φ_s ($^{\circ}$)
9:00-10:00	48	48	150
10:00-11:00	62	62	135
11:00-12:00	76	76	120
12:00-13:00	87	87	105
13:00-14:00	104	76	90
14:00-15:00	118	62	75
15:00-16:00	132	48	60
16:00-17:00	146	34	45
17:00-18:00	159	21	30
18:00-19:00	173	7	15
19:00-20:00	179	1	0

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

DESARROLLO



Seguidor Fotovoltaico de 15 W.

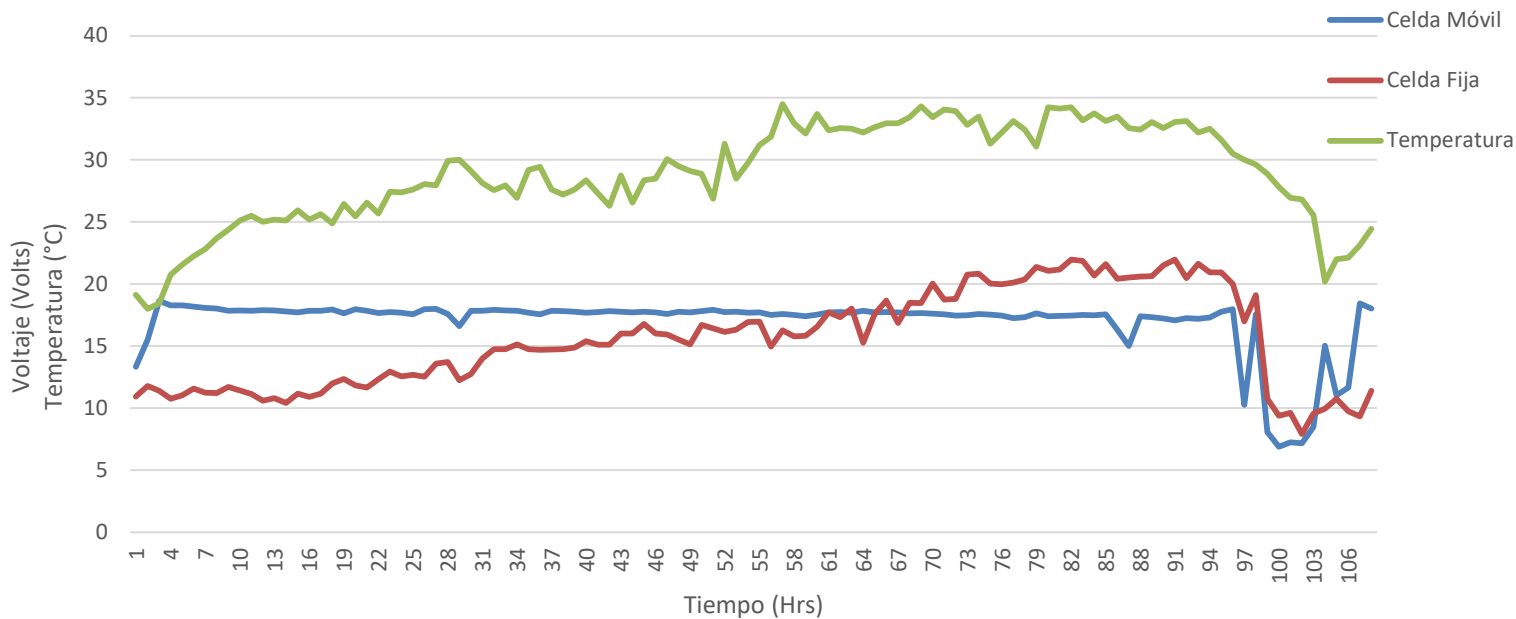
TABLA 3. Comparativo de ángulos Φ_s y Θ_{Modelo}

Ciclo de Trabajo (D)	Φ_s (°)	Θ_{Modelo} (°)
0.83	150	149.32
0.75	135	134.93
0.66	120	118.73
0.58	105	104.34
0.5	90	89.95
0.41	75	73.76
0.33	60	59.36
0.25	45	44.97
0.16	30	28.78
0.08	15	14.39
0	0	0

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

GRÁFICO 3. Comparativo

Comparativo de Voltaje entre Celda Fija y Móvil del día 31 de agosto del 2017



San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

CONCLUSIONES

El modelo desarrollado puede aplicarse en el diseño o desarrollo de seguidores para el aprovechamiento solar, considerando las cargas o partes mecánicas que involucran en los ángulos principales.

Simular el modelo antes del diseño para conocer previamente el comportamiento de un servomotor

Predecir la carga límite que puede soportar antes de su destrucción conociendo las variables principales del sistema.

Como aportación principal del modelo se puede diseñar un sistema servomotor externo para el seguimiento solar.

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.

REFERENCIAS

SENER. (2016). Prospectiva de energías renovables 2016-2030. CD de México. Secretaria de Energía.

Konrad, M. (2014). Photovoltaics. Fundamentals, Technology and Practice. United Kingdom: wiley.

Lorenzo, D. Pérez, M. Ezepeleta, A. & Acedo, J. (2002). Design of Tracking Photovoltaic Systems whit a Single Vertical Axis. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 10, 533-543.

Pouleka, V. Librab, M. (1998). New solar tracker. Solar Energy Materials and Solar Cells, 51, 113-120.

Clifford, M. Eastwood, D. (2004). Design of a novel passive solar tracker. Solar Energy, 77, 269-280.

Cemil S. (2009). Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaics panels in Turkey. Renewable Energy, 34, 1119-1125.

Rubio, F. Ortega, M. Gordillo, F. & Lopez, M. (2007). Application of new control strategy for sun tracking. Energy Conversion and Management, 48, 2174-2184.

Gilbert, M. (2004). Renewable and Efficient Electric Power Systems. New Jersey: John Wiley & Sons.

John, A. William, A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes. New Jersey: John Wiley.

Bolton, W. (2008). Mechatronics, electronic control systems in mechanical and electrical engineering. Canada: Printice Hall.

Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderno. España: Prentice Hall.

Norman, S. (2011). Control systems engineering. USA: John Wiley.

Bolton, W. (1998). Control Engineering. England: Prentice Hall.

Benjamin, C. (1996). Sistemas de control automático. México: Prentice Hall.

Dorf, R. Bishop, R. (2011). Modern Control Systems. USA: Prentice Hall.

Stephen, J. (2012). Máquinas Eléctricas. México: Mc Graw Hill.

San Juan del Río, Qro. 27 al 29 de septiembre del 2017.



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. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)