

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



547251 – Modelación de procesos

2022-2

Juan Pablo Segovia Vera

Tarea 1

Fabián Alexis Peña Peña
Felipe Ignacio Martel Zuñiga
Antonio Alexis Palma Villa

Concepción, 07 de noviembre de 2022

Resumen

El presente informe, contiene el proyecto trabajado para la tarea 1 del curso “Modelación de procesos”, código 547251-1, a cargo del Sr. Juan Pablo Segovia Vera. La simulación fue realizada en Simulink ®.

En esta ocasión, lo que se estudió fue la velocidad con la que opera un motor instalado en un panel solar rotativo, bajo el efecto de un voltaje proporcionado por el usuario. Para la construcción del panel, se consideró el movimiento del sol, siendo una elipse inclinada con respecto a la normal (ver figura 1), incidiendo esto en la decisión del movimiento del panel, el cual se da en el plano transversal (ver figura 2).

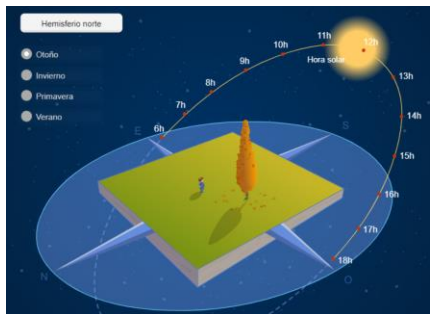


Figura 1. Fotografía tomada de simulación proporcionada por Edumedia para estudio.

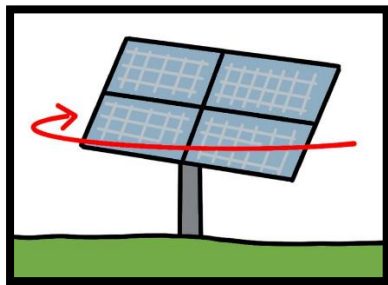


Figura 2. Ilustración propia.

Tabla de Contenidos

NOMENCLATURA.....	IV
PROYECTO	5
1.- ENUNCIADO	5
2.- SOLUCIÓN	6
3.- PRUEBAS DEL MODELO.....	8
4.- CONCLUSIÓN.....	11
BIBLIOGRAFÍA	11



Nomenclatura

Escalares

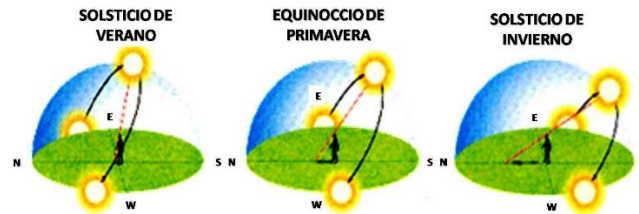
m	: Masa del panel solar
w	: Ancho del panel solar
l	: Largo del panel solar
d	: Profundidad del panel solar
$A = w * l$: Área del panel solar
$beta = \frac{\pi}{4}$: Ángulo de elevación del panel
Kd	: Constante de amortiguamiento
J	: Inercia del panel solar
Kf	: Back EMF constante
Kt	: Constante de torque
L	: Inductancia
R	: Resistencia
Kg	: Razón entre engranajes
I	: Intensidad
t	: Torque angular
T	: Torque angular final
a	: Aceleración angular
V	: Voltaje inducido por el sol
V_{cons1}	: Voltaje consumido por motor
V_{cons2}	: Voltaje consumido por circuito



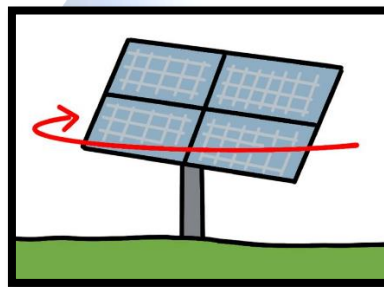
Proyecto

1.- Enunciado

Dada la urgente preocupación sobre el cambio climático y la demanda energética se ha tenido que buscar soluciones para combatirlo, nuestro proyecto consiste en la optimización de un panel solar, obteniendo así un mayor porcentaje de energía útil. Lo primero que se investigó, fue la trayectoria del sol por la tierra, la cual es diferente para cada hemisferio, como se muestra en la siguiente imagen:



Como podemos apreciar, el recorrido de sol es una elipse inclinada con respecto a la normal, por lo cual, es conveniente diseñar un panel solar inclinado en 45° (fijo) con movimiento en el plano transversal, como se ilustra a continuación:



Una vez diseñado el prototipo de panel solar rotativo, se decidió para este proyecto estudiar la velocidad rotacional con la que el motor mueve el panel, bajo un voltaje ajustable y variable. Cabe señalar que no se considerará la posición del sol, pues solo queremos observar la velocidad con que rota el panel; a futuro se querrá controlar el voltaje para una velocidad y posición específica.

Ahora, procederemos a indicar nuestras variables, tanto de entrada como de salida, así como los parámetros y perturbaciones del sistema.

Variables de Entrada:

- Voltaje

Variables de Salida:

- Velocidad angular del motor
- Posición angular del panel motor

Perturbaciones:

- Coeficiente de Amortiguamiento
- Coeficiente de Torque
- Constante de la FEM

Parámetros:

- PANEL SOLAR: en nuestro caso, usaremos como modelo de referencia el panel “440W Mono 156 Media Celdas Sunergy”, el cual se encuentra disponible para su compra en Chile.
 - Masa = 24.5 [Kg]
 - Ancho = 0.996 [m]
 - Largo = 2.18 [m]
 - Profundidad o grosor = 0.035 [m]
 - Área superficial = 2.17128 [m²]
 - Ángulo de elevación = $\pi/4$ [rad]
 - Constante de amortiguamiento = 5 [(N*m) / (rad/s)]
 - Inercia = $m/12*(l^2*\cos(\beta)^2+d^2*\sin(\beta)^2+w^2)$ [Kg*m²]
- MOTOR: parámetros obtenidos del siguiente enlace el día 22/10/2022: [\[https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-parameter-estimation-results_tbl3_272102820\]](https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-parameter-estimation-results_tbl3_272102820)
 - Constante de FEM trasera = 1.8350 [V/(rad/s)]
 - Constante de Torque = 1.8350 [N*m/A]
 - Inductancia del motor = 0.1042 [H]
 - Resistencia del motor = 3.05 [Ω]
 - Razón entre engranajes = 20

2.- Solución

Lo primero que se hizo fue identificar las ecuaciones diferenciales que permiten nuestro modelado. En este proceso, existen dos subprocesos que son fundamentales, uno en que el motor recibe energía y el otro en el que se usa esa energía para mover el panel, ambos procesos tienen su propia EDO.

- Ecuación del movimiento del panel

Para este apartado, se usó la ecuación del torque angular, el cual está dado por:

$$\sum \tau = J * a \leftrightarrow a = \frac{1}{J} \sum \tau$$

De aquí, sabemos que la aceleración angular es la derivada de la velocidad angular, y está a su vez del ángulo, lo que significa que la aceleración angular es la segunda derivada del ángulo con respecto al tiempo, es decir, nos queda:

$$a = \frac{1}{J} \sum \tau \rightarrow \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \frac{1}{J} \sum \tau$$

Además, debemos agregar nuestra constante de amortiguamiento y que nuestra sumatoria de torque será igual a un torque final, lo cual significa que nuestra primera ecuación será:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \frac{1}{J} (T - Kd \frac{\partial \theta}{\partial t}) \quad (1)$$

- Ecuación del motor

Ahora, usamos la ecuación de OHM para inductores, es decir:

$$v = L \frac{\partial i}{\partial t} \leftrightarrow \frac{\partial i}{\partial t} = \frac{v}{L}$$

Luego, sumando todos los voltajes del sistema, es decir, voltaje inducido por el sol, voltaje consumido por el motor y el voltaje consumido por el circuito.

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{(V - V_{cons1} - V_{cons2})}{L}$$

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{1}{L} \left(V - \left[\frac{V}{\frac{rad}{s}} \right] \left(\frac{rad}{s} \right) - V \right)$$

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{1}{L} (V - K_g K_f \frac{\partial \theta}{\partial t} - Ri) \quad (2)$$

Además, el torque del motor está dado por: $T = K_g * K_t * i$

Por lo tanto, el modelo conceptual de lo que debemos realizar es:

Ingresaremos un valor de voltaje.

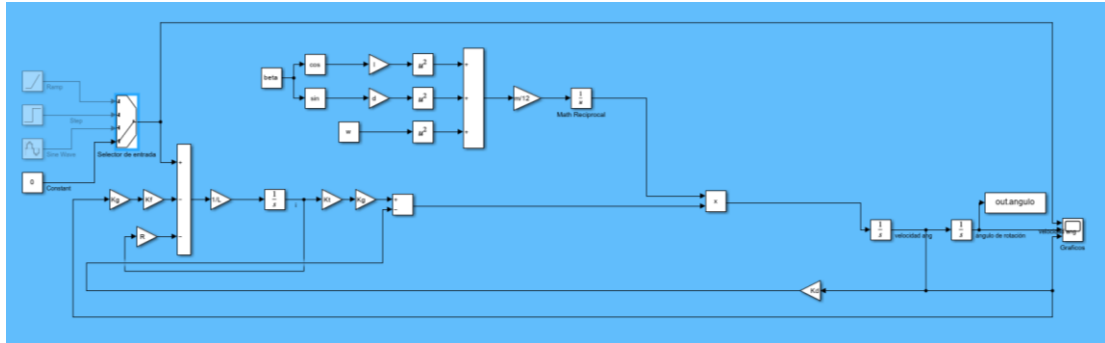
Calculamos la intensidad del motor mediante la fórmula (2).

Este valor de intensidad nos permite calcular el torque, necesario para la ecuación (1).

Ahora, se resuelve la ecuación (1) para calcular ángulo y velocidad angular.

Se obtiene el aumento del ángulo rotacional y la velocidad angular.

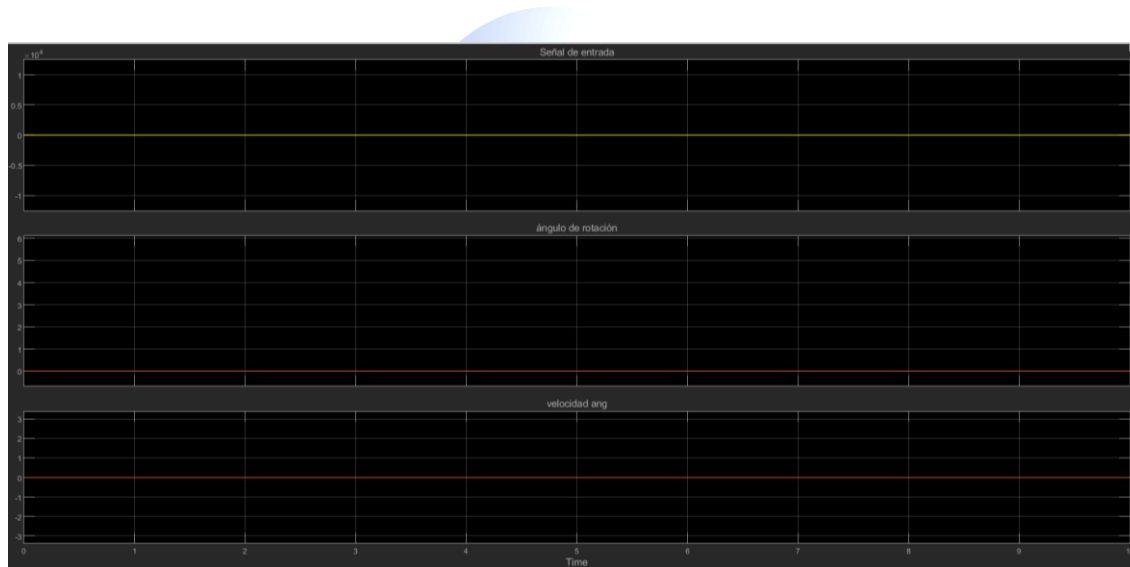
Finalmente, nuestro modelo se realizará por medio de la herramienta Simulink®. Los archivos relacionados a esto serán entregados en una carpeta Zip junto al presente informe.



* Captura de pantalla del programa realizado en Simulink®.

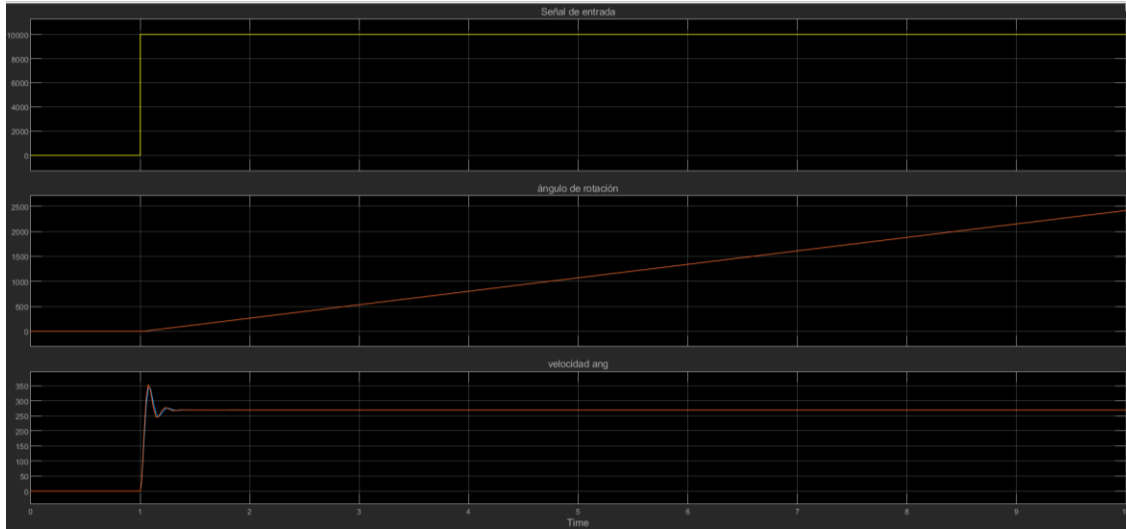
3.- Pruebas del modelo

- Prueba n°1: lo primero, es ver que sucede con un voltaje = 0 [V], lo esperado, es que no se realice movimiento alguno, es decir, tanto el ángulo de rotación como la velocidad deben ser 0. Veamos:



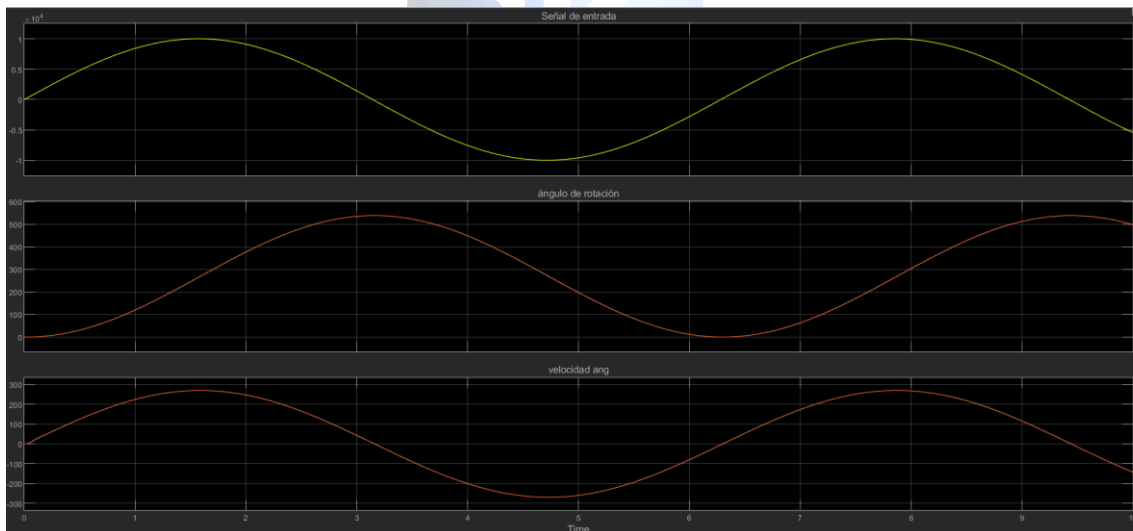
Como podemos apreciar, los valores son 0 [rad] para el ángulo de rotación y 0 [rad/s] para la velocidad angular. Por lo tanto, se cumple lo esperado.

- Prueba n°2: ahora, se usará un escalón.



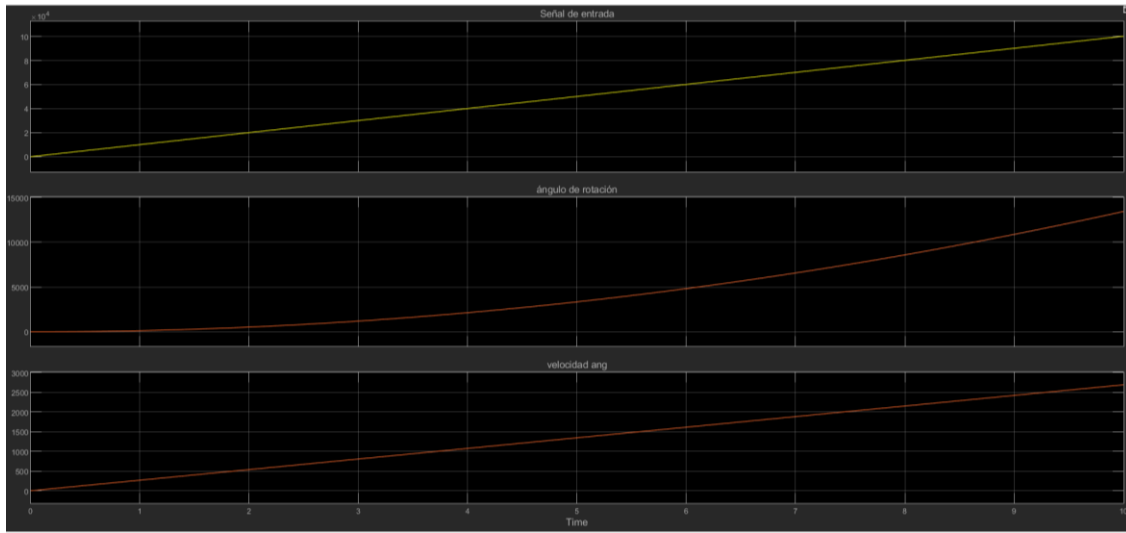
Se puede apreciar el incremento en el ángulo y además la velocidad a unos rangos esperados, esto debido a la naturaleza de la señal “escalón”, notar que la velocidad es una respuesta estable con respecto al tiempo.

- Prueba n°3: usaremos un “Sine Wave”.



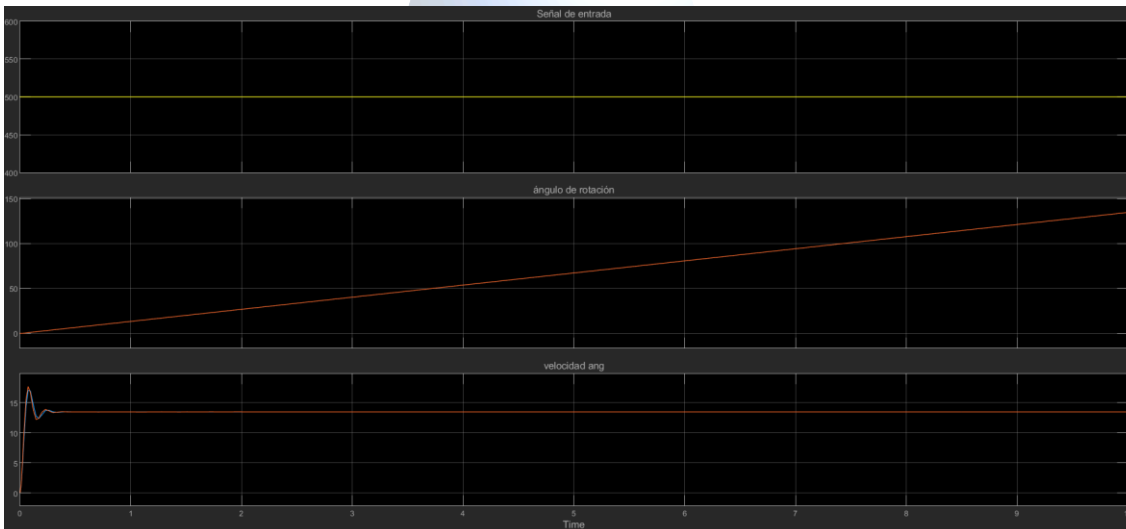
Notamos un que bajo “Sine Wave”, obtenemos una respuesta marginalmente estable tanto para el ángulo de rotación como para la velocidad angular. Esto es totalmente normal, puesto que significa que cuando el voltaje aumenta, el ángulo y velocidad aumenta; y cuando el voltaje disminuye, la velocidad y ángulo también.

- Prueba n°4: usando una “Rampa”.



En este caso, el uso de una señal de rampa, podemos identificar que las señales de respuesta son inestables, esto ya que, por naturaleza, tienden a infinito y no convergen a algún valor entero.

- Prueba n°5: usando un voltaje de 500 [V]



Finalmente, para este voltaje en específico, se genera una respuesta estable para la velocidad e inestable para la posición, pues esta última sigue al infinito.

4.- Conclusión

Finalmente podemos notar que para un voltaje dado, el panel solar comienza a girar y a aumentar su velocidad angular hasta cierto punto. Esto significa que en teoría el panel funciona y puede cumplir nuestro objetivo de seguir al sol. Ahora nuestra finalidad será controlar el voltaje de entrada a partir de la luz recibida por los paneles solares según la posición del sol. Además, en el segundo proyecto, nos apoyaremos de este sistema de control para adicionar un limpiador automático en base a aire.

Bibliografía

- [1] Movimiento aparente del Sol (Norte). (s. f.). Recuperado 30 de octubre de 2022, de <https://www.edumedia-sciences.com/es/media/679-movimiento-aparente-del-sol-norte>
- [2] Summary of parameter estimation results (s. f.). Recuperado 6 de noviembre de 2022, de https://www.researchgate.net/figure/Summary-of-parameter-estimation-results_tbl3_272102820
- [3] Libretexts. (2022, 20 julio). 17.4: Torque, Angular Acceleration, and Moment of Inertia. Physics
LibreTexts. [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Classical_Mechanics/Classical_Mechanics_\(Dourmashkin\)/17:_Two-Dimensional_Rotational_Dynamics/17.04:_Torque_Angular_Acceleration_and_Moment_of_Inertia](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/Classical_Mechanics/Classical_Mechanics_(Dourmashkin)/17:_Two-Dimensional_Rotational_Dynamics/17.04:_Torque_Angular_Acceleration_and_Moment_of_Inertia)
- [4] Torque (article). (s. f.). Khan Academy. Recuperado 2 de noviembre de 2022, de <https://www.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/torque>
- [5] La ecuación de corriente y voltaje de un inductor en acción (artículo). (s. f.). Khan Academy. Recuperado 15 de octubre de 2022, de <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-natural-and-forced-response/a/wmc-inductor-in-action>