



Análisis de variables termodinámicas en un sistema optomecatrónico de control saturado para usos agrícolas.

Analysis of thermodynamic variables in an optomechatronic saturated steam control system for agricultural uses.

Lizbeth Angélica Castañeda-Escobar, Alberto Ortiz-Zavaleta, Isaí Pacheco-Tejeda, Claudia Patricia Fernández de Lara-Arcos^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Sección 5^a, Reserva Territorial, Col. Santa Bárbara, Xalapa, Veracruz

*Autor de correspondencia: lizbeth.ce@xalapa.tecnm.mx

Recibido 02 de junio 2023; recibido en forma revisada 11 de agosto 2023; aceptado 03 de noviembre 2023

RESUMEN

En el presente trabajo, se muestra un sistema opto-mecatrónico llamado Concentrador Cilíndrico parabólico (CCP), el cual tiene la función de producir vapor de trabajo a través de procesos termodinámicos por medio de energía solar, este vapor es utilizado para producir energía eléctrica y diversos procesos agrícolas (Ref), esto a través de la presencia y uso de variables termodinámicas como la presión del vapor y la temperatura. Se utilizan los rayos del sol de manera concentrada sobre el sistema colector para evaporar el agua requerida a una temperatura mayor de 120 °C. Se realizó el análisis matemático del movimiento oscilatorio que se presenta en el giro de la superficie parabólica, por otro lado, se diseñó un panel de control para operar el CCP con distintos

modos de uso con el fin de tener un proceso óptimo de evaporación de agua. Para el proceso de pruebas se tuvo como limitación los cambios drásticos de clima de soleado a nublado, haciendo que el flujo de luz solar no fuera constante ni alto. A pesar de las implicaciones climáticas, realizando las pruebas en los días de radiación directa del sol, se concluye que el CCP mostró un comportamiento adecuado, obteniendo vapor con una presión de 70 psi, lo cual es suficiente para poder llevar a cabo las pruebas agrícolas, así como correcto análisis matemático de control del sistema.

Palabras claves: Mecatrónica, modelo matemático, control difuso.

ABSTRACT

In this article, the opto-mechatronic system called Parabolic Cylindrical Concentrator (CCP) is shown, which has the function of producing working steam through thermodynamic processes using solar energy, this steam is used in various agricultural processes, this through the presence and use of thermodynamic variables such as vapor pressure and temperature. The sun's rays are used in a concentrated manner on the system to evaporate the required water at a temperature greater than 120 oC. The focus of the methodology is to show its electrical and mechanical system of its entire operation. On the other hand, the mathematical analysis of the oscillatory movement that occurs in the rotation of the parabolic surface was carried out. A control panel was designed to operate the CCP with different modes of use in order to have an optimal water evaporation process. The testing process was limited by drastic changes in weather from sunny to cloudy, causing the flow of sunlight to be neither constant nor high. Despite the climatic implications, carrying out the tests on days of direct sunlight, it is concluded that the CCP showed adequate behavior, obtaining steam with a pressure of 70 psi, which is sufficient to carry out the agricultural tests. , as well as correct mathematical analysis of system control.

Keywords: Mechatronics, mathematical model, fuzzy control.

INTRODUCCIÓN

El Concentrador Cilíndrico Parabólico (CCP) forma parte del grupo de los sistemas ópticos no formadores de imagen y de los colectores solares térmicos de mediana temperatura, ya que comparte la característica de usar la energía solar para aumentar la temperatura de un fluido que se mueve a través del sistema. El CCP usa agua como fluido de enfriamiento y producción de vapor de trabajo donde esta eleva su temperatura con la energía solar para obtener su estado gaseoso y liberarlo posteriormente (Factorenergia, 2023).

Un concentrador de cilíndrico parabólico está compuesto por un canal cuyo perfil tiene forma de parábola. Esta geometría permite que la radiación solar que incide paralela al eje focal de la parábola se concentre en el foco de esta. El foco de la parábola se extiende como una línea focal a lo largo de todo el canal. Sobre esta línea se coloca un tubo receptor que contiene un fluido térmico, que se calienta cuando el tubo absorbe la radiación solar (LACYQS, 2016).

El objetivo de este proyecto es construir y probar el sistema electque utiliza el Concentrador Cilíndrico Parabólico, así como hacer el análisis matemático para documentar como es el movimiento oscilatorio de la superficie parabólica.

DESARROLLO

El concentrador cilíndrico parabólico consta de 5 partes fundamentales en su funcionamiento:

Zona reflectora: El reflector consiste en una superficie parabólica donde los rayos del sol se reflejan, haciendo que éstos se concentren en el foco de la superficie. Está hecha de material altamente reflejante, normalmente de aluminio con un acabado espejo, siendo muy importante que se tenga un diseño preciso para tener mayor concentración de energía.

Tubo receptor o absorbedor: Este tubo absorbedor consta de dos partes, el tubo exterior hueco está hecho de vidrio para tener una alta captación de los rayos solares que brinda la superficie reflejante y así generar mayor temperatura. El segundo es el tubo

interno que va colocado dentro del tubo exterior, el cual es por donde pasa el fluido a calentar, el fluido va de un punto a otro en U, solamente teniendo una entrada y una salida, en esta sección es donde se realiza el cambio de estado del agua a vapor, ya que el CCP usa como fluido el agua.

Sistema de seguimiento solar: Es un mecanismo que usualmente es de un solo eje, está colocado a un costado del CCP para que, a través de éste, pueda ser posible generar el movimiento para seguir el sol, para realizar este seguimiento, el sistema se apoya a través de un sensor denominado como fotorresistencia, el cual está adherido a un servo motor que lo hará girar de 0° a 160° , de esta forma, si el sensor detecta mayor incidencia de luz en cierta posición angular, hará que el motor paso a paso se accione y la transmisión mecánica moverá la superficie reflejante a la posición angular correcta.

Fluido o fluido caloportador: Es el fluido que absorbe la energía solar a través del sistema del CCP, en este proyecto el agua actúa como fluido caloportador, aunque es posible encontrar otros tipos de fluidos, por ejemplo, algunos aceites especiales,

pero el proyecto tiene el fin de desinfectar suelos agrícolas a través del cambio de estado de agua a vapor.

Estructura Mecánica del CCP: A través de ella, se monta todo el sistema del CCP, normalmente hecha de metal para que sea altamente resistente, con la capacidad de trasladarse a través de 4 ruedas para poder colocar el CCP en los lugares con mayor incidencia de luz, [en la imagen 01 se muestra como está construido el CCP.](#)

2.2 FUNCIONAMIENTO DEL CCP

El funcionamiento del CCP, en resumen, parte de los rayos del sol, siendo reflejados en la superficie parabólica. Estos rayos se reflejan al receptor, el cual tiene la capacidad de absorber la energía solar y realizar un aumento de temperatura. Este receptor consta de una tubería que está en el interior del receptor. Por esta tubería circula el agua que se utilizará para generar vapor. Para lograr esto, se cuentan con dos electroválvulas, una que permite el paso del agua al sistema y la segunda permite la salida del vapor, la primera electroválvula se abre para permitir la entrada de agua por un tiempo de 10

s, tiempo suficiente para que el agua llegue al tubo interno, mientras que la segunda se mantiene cerrada, después las dos electroválvulas se mantienen cerradas para que los rayos del sol comiencen a calentar el tubo receptor y evaporar el agua, cuando el sensor de presión marca 70 PSI, la segunda electroválvula se abre, permitiendo la salida del vapor (Laenergiasolar, 2019)

2.3 CONSTRUCCIÓN Y CONEXIÓN DEL CIRCUITO

Se utilizó la pantalla LCD, un microcontrolador 328, la fuente de 24v, el Driver para el motor a pasos, los sensores de presión y de temperatura. Además de estos componentes, se propuso la utilización de dos relevadores para la apertura y cierre de válvulas y la utilización de 4 botones, específicamente para el programa manual. Se colocaron dos reductores de voltaje regulables con un potenciómetro, los cuales son conectados directamente a la fuente de 24v, el que alimenta al microcontrolador se reguló el voltaje de 24v de la fuente hasta 6.5v, mientras que el otro que alimenta los ventiladores se reguló el voltaje a

11.5v, ya que los ventiladores requieren 12v para operar.

2.4 FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO CON EL MODO MANUAL

El programa fue realizado en la plataforma de Arduino, la primera parte que se realizó fue la programación del motor a pasos de manera manual, este consiste en que, si se mantiene pulsado cualquiera de los dos botones, ya sea para girar en sentido horario o antihorario, este debe girar hasta que se suelte el botón, de esta manera se logra una mayor precisión a como se requiera acomodar. Por consiguiente, se trabajó con las electroválvulas. El sistema cuenta con dos electroválvulas, se decidió de igual manera, hacer que el usuario abra y cierre las electroválvulas a conveniencia (haciendo la recomendación que se abra la segunda electroválvula cuando la presión alcance un valor de 70 PSI). Se programó el microcontrolador para que detecte cuando uno de los dos botones asignados a las dos electroválvulas sea pulsado, estos abrirán su electroválvula asignada a través de la conmutación de un relevador, y cuando sea pulsado nuevamente

cualquiera de los botones, harán que el relevador corte el suministro de voltaje a la electroválvula, haciendo que esta se cierre. Por último, los sensores de temperatura y de presión mandan lecturas cada segundo, el sensor de presión es análogo donde solamente se asigna a un cierto pin analógico del microcontrolador 328 y comenzará a dar lectura, el sensor de temperatura es un termopar tipo K, el cual, se configuró a través de un módulo digital denominado "MAX6675", este módulo hace que la lectura sea digital, utilizando tres pines y los de alimentación positivo y negativo, cabe mencionar que cada componente tiene su propia forma de ser alimentado, todos los elementos reciben 5v y por supuesto deben de llevar la conexión del GND.

2.7 FUNCIONAMIENTO DEL MODO AUTOMÁTICO

El funcionamiento automático del motor es con una fotorresistencia, esta va adherida en un servo motor que la hará moverse de manera angular, de este modo, hará un barrido desde el ángulo cero hasta el ángulo de 160°, primero partiendo desde cero, luego subirá a 30 grados, después 60, a continuación 90,

después 120 y por último se detiene en 160 grados. En el ángulo donde detectó más incidencia de luz hará que se accione el motor a pasos, moviendo la superficie parabólica a esa posición que determinó la fotorresistencia. Este sistema es un tipo de control difuso, ya que la fotorresistencia hace la función de retroalimentación para que la superficie parabólica se ubique, si esta detecta incidencia de luz en el mismo ángulo anteriormente detectado, la mesa no se moverá puesto que ya reconoció que está justamente en esa posición. Este sistema se activa cada media hora, por lo que el servomotor moverá la fotorresistencia para hacer el barrido después de 30 minutos.

2.8 FUNCIONAMIENTO DEL MODO SEMIAUTOMÁTICO

El modo semiautomático se acciona si se presenta una falla en el modo automático, por ejemplo, que se haya estropeado el servomotor o la fotorresistencia. El modo semiautomático funciona moviendo el motor a pasos por tiempo, no lleva alguna retroalimentación por lo que no se ubica por sí solo, pero el operador tiene la posibilidad de cambiar la

dirección de giro y que se mueva hacia ese lado designado, se mueve cada media hora como en el modo automático. Este modo se activa dejando el sistema en modo automático para después pulsar los botones con los que movemos el motor paso a paso en modo manual, primero se presiona el botón con el que movemos el motor paso a paso a la izquierda para entrar en el modo semiautomático, posteriormente, presionamos el botón con el que se mueve el motor paso a paso a la derecha para cambiar la dirección de giro, cabe mencionar que primero se debe acomodar la mesa parabólica en un extremo para que, a partir de ahí, comience a moverse.

2.9 DISEÑO DE LA PLACA PCB

Esta placa se diseñó a doble vista, es decir, contiene ciertas conexiones tanto por la parte superior como inferior, las conexiones inferiores son para la parte de conexión a tierra de cada uno de los elementos, mientras que las que van en la parte de arriba, son todas las conexiones de 5v con la conexión de cada elemento a su respectivo pin. Cada sección de pines lleva una etiqueta del elemento que va soldado en esa

parte, por último, [tenemos un modelado en 3D de cómo se verían con los elementos soldados en la imagen 02.](#)

2.11 DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL DEL CCP.

El diseño propuesto, se dividió en cuatro módulos, cada uno diseñado individualmente para que sean ensamblados una vez ya hechos. Se optó por hacer uso de la impresión 3D para construir estos módulos.

Como primer lugar, se diseñó la pieza donde fueron alojados los botones de las válvulas, los botones del movimiento del motor, un switch para encender y apagar el sistema y por último la perilla de cambio.

Por consiguiente, se diseñaron los módulos dos y tres, el dos aloja la placa PCB, con los relevadores y ventiladores, tiene ciertas ranuras en la parte de arriba como abajo para permitir la conexión de las electroválvulas y el motor a pasos, al igual que la conexión con la fotorresistencia que se encuentra colocada en el servomotor, también alojan la fuente de alimentación y el driver para controlar el motor a pasos, mientras que el módulo 4 es solo el soporte de la estructura.

2.12 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DINÁMICO DEL CCP

El Concentrador Cilíndrico Parabólico al tener segmentos electrónicos y mecánicos que generan movimiento, tiene en su composición, un sistema dinámico en la ejecución del movimiento de la superficie parabólica. Este movimiento se presenta cuando el motor a pasos acciona una transmisión mecánica y este a su vez hace que la mesa se mueva a cierta posición angular. El movimiento de este sistema lleva un análisis en la que se utilizó la ecuación diferencial del péndulo simple, por la similitud que existe entre el movimiento de la mesa parabólica y la de un péndulo. A la ecuación del péndulo simple se le agregó como variables, el Torque externo que recibe la mesa parabólica, generado por el motor a pasos, al igual que el coeficiente de amortiguamiento que hace que la mesa parabólica se detenga en determinado tiempo, a continuación, [se muestra en la imagen 03 el análisis principal de péndulo simple.](#)

La manera en cómo se obtuvo la ecuación diferencial fue mediante la aplicación del Lagrangiano, el cual

tiene como definición la siguiente ecuación: $L = T - V$.

Donde: T es la energía cinética y la energía potencial es V . Estas variables a su vez tienen la posibilidad de desglosarse en:

Energía cinética: $T = mv^2/2$.

Donde m representa la masa y v representa la velocidad lineal, todo dividido entre, [en la imagen 04 se muestra la velocidad angular \$\theta\$.](#)

La velocidad lineal puede ser representada en términos de la velocidad angular, es decir, la velocidad lineal quede en términos de la velocidad angular: $V = l(\theta')$.

Entonces la ecuación de la energía cinética quedaría como: $T = ml^2 \theta'^2/2$.

El desglose de la variable V que representa la energía potencial, es representada por la ecuación de: $V = mgh$.

Donde: m es la masa, la letra g es la gravedad y por último la letra h representa la altura.

Ahora se procede a hacer el análisis en la ecuación de la energía potencial, [como se observa anteriormente en la imagen 05](#), la altura h , puede ser

escrita en términos de la longitud del péndulo l , puesto que se tiene una relación trigonométrica. Es decir, que para poder obtener la altura h se hará en términos de la longitud por el coseno del ángulo, pero como el sistema está hacia abajo, el valor de la longitud l será negativo, entonces tenemos que: $h = -l \cos(\theta)$.

Remplazando esta ecuación por h en la ecuación de la energía potencial, tendremos como resultado: $V = -mgl \cos(\theta)$.

Una vez hecho este análisis, se puede reemplazar estas dos ecuaciones en la ecuación del Lagrangiano, quedando como resultado la siguiente expresión: $L = ml^2 \theta'^2 / 2 + mgl \cos(\theta)$.

Ahora se puede plantear la ecuación de Euler-Lagrange, la cual queda de la siguiente manera:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i$$

Dice que la derivada con respecto al tiempo de la derivada parcial del Lagrangiano con respecto a q prima sub- i menos la derivada parcial del Lagrangiano con respecto a q sub- i es igual a Q sub- i . La q minúscula hace referencia a los grados de libertad del sistema, en este caso solo tiene un grado

de libertad que es el eje donde rota el sistema, mientras que Q mayúscula hace referencia las fuerzas externas que se presenten en el sistema, en este caso tenemos el torque como una fuerza externa, al igual que el coeficiente de amortiguamiento o de fricción. Sustituyendo valores en la ecuación de Euler-Lagrange quedaría de la siguiente manera:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = T - b\dot{\theta}'$$

Donde T es el torque y b es el coeficiente de fricción que va multiplicado por la primera derivada de θ . Las equivalencias de cada parte de la ecuación de Euler-Lagrange son las siguientes:

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = -mgl \sin \theta$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = ml^2 \dot{\theta}'$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = ml^2 \ddot{\theta}''$$

Al final se obtiene la ecuación del péndulo simple, como una ecuación diferencial de segundo orden no lineal:

$$ml^2 \ddot{\theta}'' - (-mgl \sin \theta) = T - b\dot{\theta}'$$

$$ml^2 \ddot{\theta}'' + mgl \sin \theta = T - b\dot{\theta}'$$

Para poder simular el comportamiento de esta ecuación, procedemos a despejar la variable de θ'' :

$$ml^2\theta'' = T - b\theta' - mgl\sin\theta$$

$$\theta'' = \frac{1}{ml^2(T - b\theta' - mgl\sin\theta)}$$

Una vez despejada la ecuación como se mostró anteriormente, se puede usar para ser simulada, cabe recalcar que, si se trabaja con pequeñas oscilaciones, la función “sin” es omitida, puesto que los valores de “ θ ” son pequeños, por lo tanto, no genera gran cambio, volviéndose como una ecuación diferencial lineal, reescrita de la siguiente manera.

$$\theta'' = \frac{1}{ml^2(T - b\theta' - mgl\theta)}$$

2.13 OBTENCIÓN DE LOS DATOS NECESARIOS PARA SUSTITUIR EN LA ECUACIÓN DEL PÉNDULO SIMPLE

Primero se calculó la masa de la mesa parabólica, este dato no se conocía con anterioridad cuando el instrumento fue construido, así que, para poder conocer este dato, se procedió a hacer mediciones generales de la superficie parabólica para después recrear la superficie en un software de diseño. Al terminar el diseño, se seleccionaron los tipos de

material, en este caso, la estructura es de acero en conjunto con la superficie parabólica de aluminio, a continuación, se seleccionó la opción de propiedades físicas que tiene el software para determinar cuál es la masa total de la superficie parabólica. El software arroja el dato en gramos, haciendo la conversión a kilogramos se obtuvo un valor de: $m = 190\text{kg}$.

Para el cálculo del torque se debe saber la velocidad del motor y potencia. Para saber la potencia se investigó acerca del motor, este es un NEMA 34 que requiere un voltaje mínimo de 3v a una corriente de 4A, multiplicando estos valores se obtiene la potencia en watts, la cual nos arroja 12 watts. A continuación se obtuvo la velocidad del motor, para obtenerla se hizo el experimento de colocar un pequeño segmento de cable y se embonó a uno de los orificios del motor, después se puso en posición vertical para comenzar a girarlo, cada que el segmento de cable llegaba a la posición vertical se contaba una revolución ya que se completaban 360 grados, como el motor no giraba rápido, fue sencillo contar las vueltas a simple vista y cronometrar el número de vueltas que logró dar el motor en un

minuto, se obtuvo un valor de 96 vueltas en un minuto.

Ahora que se obtuvieron los datos necesarios para calcular el torque a partir de esta ecuación:

$$P = \frac{T\pi N}{30}$$

P= potencia, T= torque, N= velocidad angular expresada en RPM.

Despejando T tenemos lo siguiente: $T = 30 P / \pi N$.

Sustituyendo los valores tenemos como resultado: $T = 30(12Watts)/\pi(96RPM)$.

EL resultado dado fue un torque de 1.19 Nm.

Se considera la fuerza de rozamiento “b” que generan los rodamientos que contrarrestan al torque, estos son dos, y se encuentran en cada extremo de la superficie para ayudar a que el movimiento de la superficie parabólica sea suave. De acuerdo con una investigación, se encontró que el rodamiento que se usó son modelos UC- 208, los cuales tienen un coeficiente de fricción de 0.0018. Utilizando el dato anterior, podemos calcular la fuerza de rozamiento que se utilizará en este caso, como b.

$$\mu = \frac{Fr}{W}$$

$\mu = 0,0018$ (coeficiente de fricción como una constante).

Fr = fuerza de rozamiento.

$W = 190 (9,81)$ (peso de la mesa en unidades de Newtons).

Al despejar “ Fr ” obtenemos la fórmula de: $Fr = \mu w$.

Sustituyendo obtenemos: $Fr = 0,0018(1863,9)$.

La fuerza de rozamiento es de: 3.35 N. Pero como en el sistema tenemos dos rodamientos, sumamos dos veces este resultado, obteniendo un valor de 6.70 N de fricción de rozamiento. La longitud del punto donde la mesa es sostenida, hasta el punto de concentración de masa se determinó que tiene una distancia de 140 mm, pasando a metros serían 0.140 metros. Por último, se tiene a la gravedad, que como se sabe esta es una constante con un valor de 9,81 m/s².

Es necesario conocer el torque ideal para cada ángulo con el que se trabaja, por lo tanto, se despejó la

variable T que representa el torque: $T = ml^2 (\theta'') + b (\theta') + mgl(\theta)$.

Se puede utilizar la solución general para la ecuación del movimiento del péndulo simple. La solución general para esta ecuación es: $\theta(t) = A(\cos(\omega t + \phi))$.

Donde A es la amplitud, ω es la frecuencia angular y ϕ es la fase inicial. La frecuencia angular ω se puede calcular como: $\omega = \sqrt{g/l}$.

Donde “ g ” es la aceleración debido a la gravedad y “ l ” es la longitud del péndulo. Para encontrar los valores de $\theta'(t)$ y $\theta''(t)$, podemos derivar la ecuación anterior con respecto al tiempo. Tenemos que:

$$\theta'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \phi).$$

$$\theta''(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi).$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación original y resolviendo para $T(t)$, obtenemos:

$$T(t) = ml^2 \left[-A\omega^2 \cos(\omega t + \phi) - \left(\frac{b}{m}\right) A\omega \sin(\omega t + \phi) - \left(\frac{g}{l}\right) A \cos(\omega t + \phi) \right].$$

Para encontrar el torque ideal necesario para que el péndulo se mueva a un ángulo de 60 grados, por ejemplo, podemos utilizar la relación entre el torque y el momento angular del péndulo simple:

$$T = I\alpha.$$

Donde I es el momento de inercia del péndulo y α es su aceleración angular. Para un péndulo simple, el momento de inercia se puede calcular como: $I = ml^2$.

Y la aceleración angular se puede calcular como: $\alpha = \theta''(t)$.

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, obtenemos: $T = ml^2 \theta''(t)$.

Sustituyendo los valores dados en esta ecuación, obtenemos:

$$T = (190kg)(0,115m)^2 \left[\left(\frac{\pi}{180}\right)^2 \sqrt{\frac{9,81}{0,115}} \right].$$

Se obtiene como resultado del ejemplo anterior: $T = 0,00078 \text{ Nm}$.

En caso de ser necesario conocer, se calculó la función de transferencia de la ecuación del péndulo simple:

$$\mathcal{L}[\theta'' ml^2] = [S^2 \theta(S)] ml^2$$

$$\mathcal{L}[\theta'b] = [S\theta'(S)]b$$

$$\mathcal{L}[\theta mgl] = [\theta(S)]mg$$

$$S^2\theta(S)ml^2 + S\theta(S)b + \theta(S)mgl = T(S)$$

$$\theta(S)[S^2ml^2 + Sb + mgl] = T(S)$$

$$\theta(S) = \frac{T(S)}{S^2ml^2 + Sb + mgl}$$

$$\frac{\theta(S)}{T(S)} = \frac{1}{ml^2 + Sb + mgl}$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez obtenido el modelo matemático del péndulo simple, se procedió a calcular los datos necesarios para asignarle valores a las variables de esta ecuación diferencial. La mesa parabólica tiene una pequeña oscilación en su movimiento, es decir, cuando esta se mueve en su propio eje, al momento en que se detiene existe una oscilación. Esta oscilación busca ser representado en una simulación.

La gráfica demuestra oscilaciones que van desde cero hasta casi topar con ocho en el eje de las ordenadas, al igual que el sistema no se estabiliza en cero, puesto que el torque aplicado es constante y no regresa a su posición original, es decir, una vez que

el motor a pasos mueva la superficie parabólica a cierto ángulo, esta se quedará en esa posición y no regresará a la anterior.

También se puede observar que el sistema se empieza a estabilizar a partir de cuatro segundos, para que después se convierta en una línea totalmente plana, las curvas anteriores a los 4 segundos muestran esa oscilación que existe al momento de que la mesa se mueve, [esta gráfica se demuestra en la siguiente imagen 06.](#)

El CCP logró subir a una presión de 70 PSI, lo que indica que el funcionamiento fue el correcto, logrando un entendimiento con el usuario más intuitivo y fácil de manejar, [en la imagen 07 se puede apreciar el CCP con el panel de control montado y listo para operar.](#)

CONCLUSIONES

Se desarrolló una manera de controlar el CCP similar a la del anterior panel de control, solo que con un sistema más limpio y con una manera más fácil de entender, ahora el sistema está colocado en la estructura del CCP y no existe la necesidad de cargar el panel de control, si se presentan complicaciones,

el panel de control cuenta con sus respectivos manuales para entender su funcionamiento tanto interno como externo. El análisis matemático realizado, tiene una similitud con la oscilación que se presenta al moverse la mesa parabólica, registrando y cronometrando estos tiempos en la tabla 1 presentada anteriormente en el apartado de análisis de resultados. Cabe recalcar que este análisis y modelo matemático aplicados, son propuestas parciales para el estudio de esta oscilación, en donde existe la posibilidad de hacer un análisis matemático más sólido, sin embargo, el realizado a través de la ecuación del método simple, da resultados relativamente correctos.

BIBLIOGRAFIA

- Admin. (2018). La importancia de la desinfección en los suelos agrícolas. Agroliner.
- Admin. (2019). Colector Cilindro Parabólico: ¿qué es y cómo funciona? - La Energía Solar.
- Energética, D. E., & De Factoenergía. (2023). Energía solar: todo lo que tienes que saber - Factorenergia. factorenergia.
- Solar, E. (s. f.). concepto, tipos, usos, ventajas y desventajas.
- LACYQS.(14 de diciembre de 2015). *Canal parabólico y fresnel*. [Canal Parabólico y Fresnel \(concentrationsolar.org.mx\)](http://concentrationsolar.org.mx)
- Laenergiasolar.(2019).*Colector Cilíndrico Parabólico ¿Qué es y cómo funciona?-la energía solar*. [Colector Cilindro Parabólico: ¿qué es y cómo funciona? - La Energía Solar](http://colectorcilindroparabolico.com)
- Factorenergia. (15 de mayo de 2023). *Energía solar: todo lo que tienes que saber*. [Energía solar: todo lo que tienes que saber - factorenergia](http://factorenergia.com)

ANEXOS

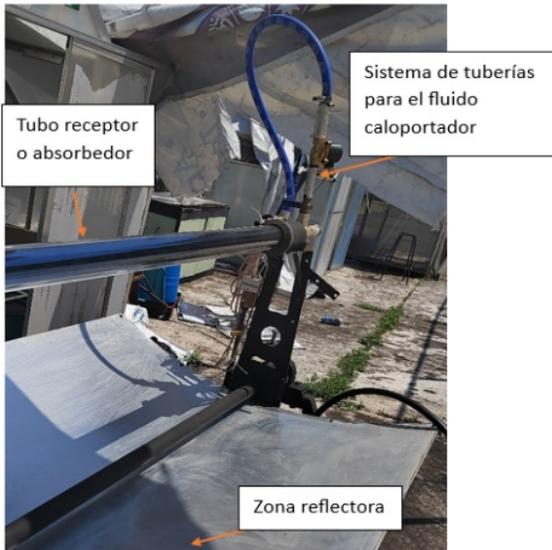


Imagen 01. Partes principales del CCP

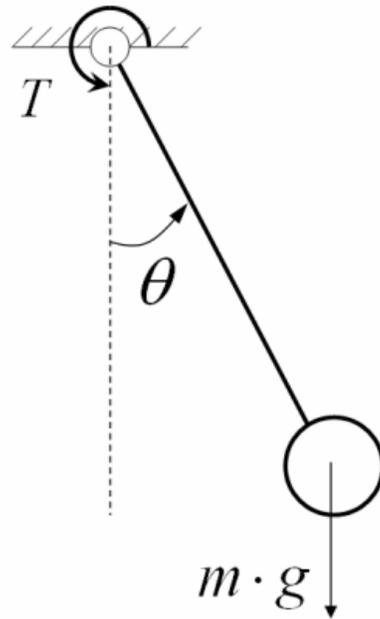


Imagen 03. Sistema dinámico del péndulo simple

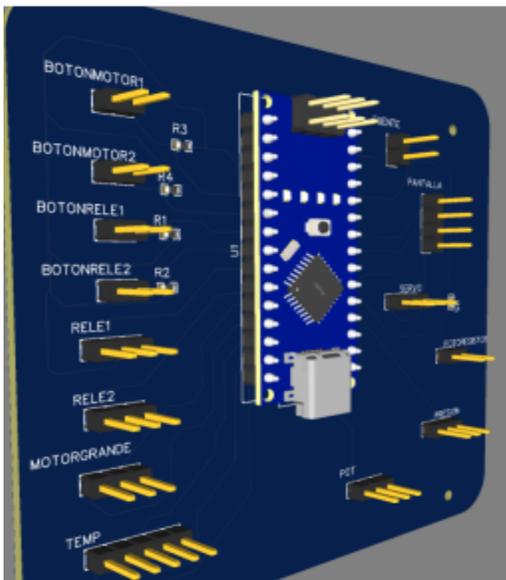


Imagen 02. Modelo en 3D del diseño de la placa PCB

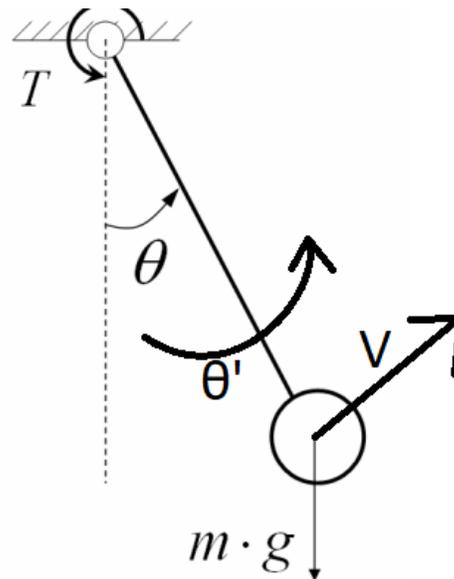


Imagen 04. se muestra la velocidad angular θ' .

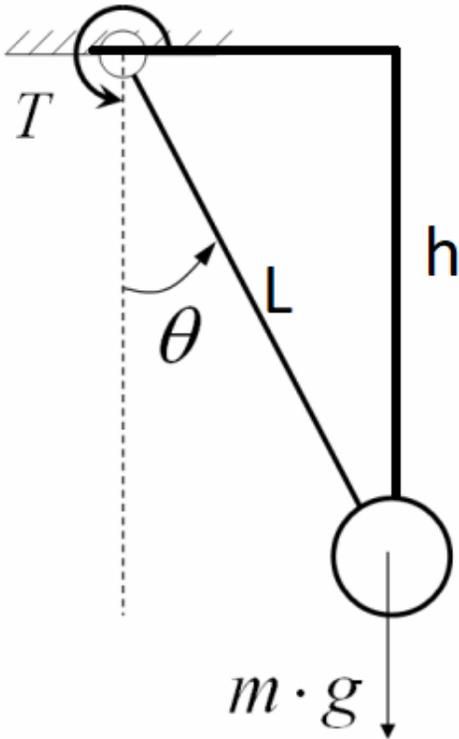


Imagen 05. Sistema dinámico del péndulo simple con las variables de altura y longitud.



Imagen 07. Colocación y resultado final del nuevo panel de control



Imagen 06. Gráfica del diagrama de bloques del péndulo simple