



Control y Automatización de Alta resolución de una Estructura Opto-mecánica Cilíndrico Parabólica con Movimientos Micrométricos.

Lizbeth Angélica Castañeda-Escobar^{1*}, Felipe de Jesús Melchor-Ortega¹, Edwin Alexis

Cruz-Flores¹, Daniel Hernández-Pitalúa¹

¹ Ingeniería en Mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, Sección 5ª Reserva Territorial, col. Santa Barbara, Xalapa 91000, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: lizbeth.cescobar@itsx.edu.mx

Recibido 22 de abril de 2020; aceptado 21 de junio de 2020

RESUMEN.

La creciente demanda de energía a nivel mundial está aumentando significativamente y como consecuencia está provocando a la industria en general a hacer énfasis en el uso de las energías limpias que contribuyan a cubrir dicha demanda.

El aprovechamiento de la energía solar como tecnología ha ganado creciente popularidad debido a que es la fuente de energía más abundante sobre la tierra, así el desarrollo de diversos instrumentos capaces de aprovechar la energía solar como principal fuente de uso se ha desarrollado rápidamente en la última década. Un concentrador cilíndrico parabólico (CCP) es un sistema que permite la recolección de la energía solar a través de una línea sobre un tubo metálico en donde se hace pasar agua que aumenta su temperatura de temperatura ambiente hasta casi 200 °C, a ésta temperatura, el agua en estado gaseoso puede ser utilizado como vapor de trabajo para diversos procesos industriales o tecnológicos. que como objetivo futuro, pretende posibles aplicaciones de producción de hidrógeno a través de procesos fotocatalíticos, usando la energía solar como fuente de alimentación. En éste trabajo presenta la

automatización y control de alta resolución de un sistema CCP de mediana temperatura con seguimiento al sol

PALABRAS CLAVE: Mecatrónica, Energía solar, Automatización.

ABSTRACT

The rising energy demand worldwide is increasing significantly, and, as a consequence, the general industry is making a great emphasis on the use of clean energies to cover this demand. The exploitation of solar energy as technology has gain popularity due to its abundance on Earth, promoting in the last decade a rapid development of multiple instruments capable of utilizing solar energy as their primary source.

A Parabolic Cylindrical Concentrator (PCC) is a system that allows the caption of solar energy through a line over a metallic tube where water passes. The metallic tube increases water's temperature from room temperature to almost 200°C, at this point, vapor water can be use as work vapor for multiple industrial or technological processes. As a future objective, we think possible the production of hydrogen through photocatalytic processes, using solar energy as the power source.

In this project, the Parabolic Cylindrical Concentrator we have designed has a high-resolution solar tracking system that allows the automation of the whole structure.

KEYWORDS: Mechatronic, Solar Energy, Automation.

INTRODUCCIÓN.

Durante siglos el desarrollo industrial ha traído múltiples ventajas en los procesos de producción, por ejemplo, en los productos y servicios, ha optimizado los niveles de calidad, reducido los tiempos y costes de producción, pero también han provocado la explotación de recursos por la creciente demanda energética, que hasta hoy es un tema cada vez más difícil de ignorar. Según la IEA (International Energy Agency), “se espera que la población de México crezca a más de 150 millones hacia 2050 y como resultado la demanda de energía aumentará significativamente, también la generación de energía a partir de fuentes renovables aumentará, gracias al apoyo de la energía limpia principalmente en los recursos eólicos y solares.”

En el tema ambiental, las energías renovables se han considerado como un factor clave para combatir la explotación de recursos antes mencionada, sin embargo, existen limitantes sobre el uso de estas energías, que van desde la captación, transformación y almacenamiento de dicha energía en donde por ejemplo, para la captación solar es necesario un buen seguimiento solar para disminuir las pérdidas en la captación y aumentar la calidad en la transformación.

La energía solar como tecnología ha ganado creciente popularidad debido a que es la fuente de energía más abundante sobre la tierra, y se ha desarrollado a través de concentradores solares que tienen como objetivo general transformar la energía solar en energía térmica, donde el calor generado es usado para calentar un fluido que va en función del proceso que se quiere realizar.

Con hacer uso y aprovechamiento de la energía solar, obtenemos beneficios significativos, debido a que posee una calidad energética elevada y un pequeño o nulo impacto ecológico, es una fuente de energía inagotable y es una herramienta que puede ser aprovechada en casi cualquier parte del planeta, lo cual la posiciona como un tipo de energía de las prometedoras.

Existen sistemas colectores de energía solar los cuales, utilizan la energía contenida en la radiación solar para calentar un fluido (normalmente agua o aceite) que hace posible que el hombre utilice directamente dicha energía para otro fin.

Es por ello que el aprovechamiento energético de cualquier fuente renovable, es un tema que ha tomado fuerte impacto para cualquier sector o estructura industrial, por los beneficios que ofrece en el ahorro de energía, y por el bajo impacto negativo que se produce al

medio ambiente. Esto ha incentivado a múltiples científicos e investigadores a seguir invirtiendo y apostando por alternativas tecnológicas, que no solo buscan contribuir a un ahorro económico, sino también crear una conciencia ambiental sólida para las nuevas generaciones

DESARROLLO.

El concentrador cilíndrico parabólico (CCP) que se trabajó, presenta un desbalance estructural en el eje que sostiene la zona reflectora, donde el eje antes mencionado está por debajo de su centro de masa además de presentar un error geométrico ubicado en los soportes de la zona reflectora. En la imagen 1 y 2 se muestra el sistema CCP con sus principales componentes.



Imagen 1. Concentrador Cilíndrico Parabólico (CCP)

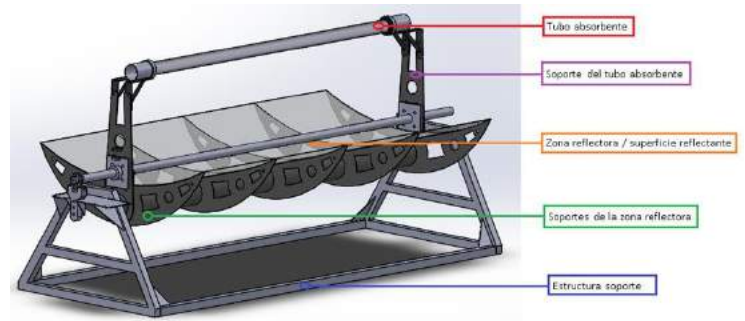


Imagen 2. Parte que forman el CCP.

En la primera etapa se centró la atención en corregir el error geométrico que el sistema presentaba, el cuál era un desfase importante en la alineación, en la zona reflectora. Con esto se comenzó la etapa de alineación para los soportes que sostienen dicha zona.

a) Primera Etapa de Alineación.

Era necesario desmontar todo el sistema concentrador, en las imágenes 3, 4 se esquematiza desmontaje del sistema.

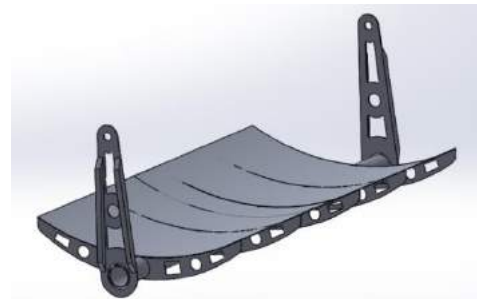


Imagen 3. Simulación del sistema.

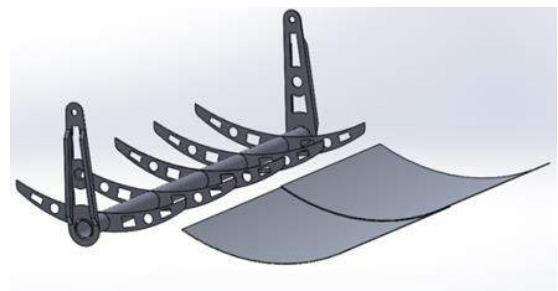


Imagen 4. Simulación del desmontaje del sistema.



Imagen 5. Sistema real desmontado.

Una vez desmontada la zona reflectora se comenzó a trabajar directamente sobre los soportes de la zona, comenzando a medir en los extremos de cada soporte como se muestra en la imagen 6.



Imagen 6. Vista frontal del CCP.

En la primera etapa de alineación, se tomaron medidas desde el punto A y el punto B, hasta el punto C (Imagen

6) encontrando una desviación de 6.5 cm. Con esto, la corrección consistió en que, sin cortar ni modificar, alinear los soportes a la misma distancia del tubo absorbente. Así, se removió la soldadura de los soportes para poder girarlos y dejarlos simétricos.

Después de remover la soldadura de los soportes y alinear, el resultado de la primera etapa de alineación, no fue satisfactoria, debido a que la alineación se realizó al tubo absorbente, el cual presentaba un desfase que hasta el momento se desconocía, aunque los soportes de la zona reflectora estaban alineados al tubo absorbente, los soportes de color azul como se muestra en la imagen 7, no presentaban simetría entre sí, lo que da lugar a una segunda etapa de alineación.



Imagen 8. Soportes de estructura, después de remover la soldadura.

b) Segunda Etapa de Alineación.

Los componentes del tubo absorbente que se muestran en

la imagen 9, son:

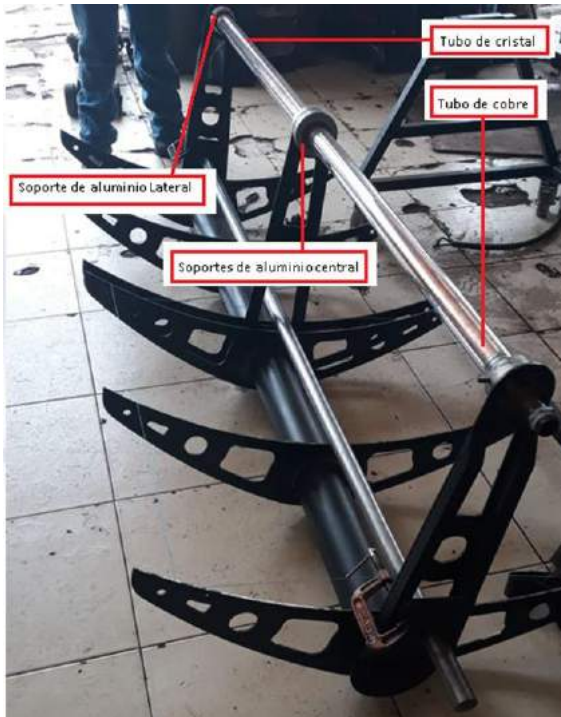


Imagen 9. Componentes del tubo absorbente

1 tubo de cobre.

2 tubos de cristal.

2 soportes laterales de aluminio.

1 soporte central de aluminio.

El tubo absorbente está dividido en dos partes, la división se logra por un soporte de aluminio a la mitad de la estructura, que une ambas partes del tubo absorbente. Al estar en dos piezas dicho tubo también presentaba desalineación que como se menciona anteriormente hasta el momento no se había tomado en cuenta. La segunda etapa de alineación es ahora para el tubo absorbente para la cual se necesita desmontar las

piezas, como se muestra en la imagen 10 y 11.



Imagen 10 y 11. Desmontaje del tubo

Una vez desmontado el tubo de cobre, se tomó una fotografía por el interior del tubo de cristal evidenciando el desfase presente entre los soportes de aluminio. En la imagen 12, los “aros” que se ven por efecto de los soportes de aluminio y las uniones con los tubos de cristal no son concéntricos, se observan por ejemplo, áreas de color negro desproporcionadas.

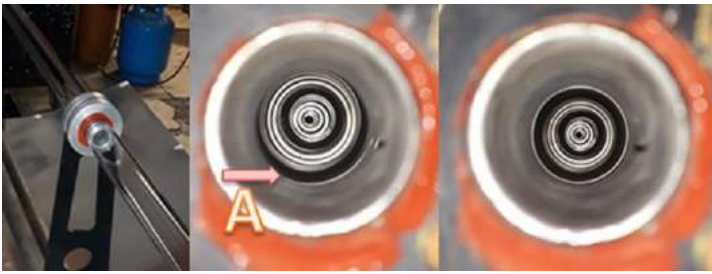


Imagen 12. Fotografía del interior del tubo absorbente con notorio desfase.

Nuevamente con el fin de no cortar ni modificar los soportes, que sostienen el tubo absorbente, se alinean los dos tubos de vidrio de manera que al tomar una segunda fotografía los “aros” se muestran de manera concéntrica como se muestra en la imagen 13, lo cual nos indica que la alineación ha quedado realizada.



Imagen 13. Desensamble del tubo absorbente.

La segunda etapa concluye con abocardar las tres bases que alojan los soportes de aluminio, con el fin de permitir que el tubo de cobre pueda ser colocado nuevamente. La segunda etapa es satisfactoria, es importante notar que la primera alineación se realizó respecto al tubo receptor y el tubo receptor cambió en esta segunda etapa, lo que provocó repetir nuevamente

la etapa número uno.

C) Balance de la estructura CCP.

En ésta etapa, partimos del hecho que conocemos que existe un desbalance estructural presente en el eje donde actúan los soportes que sostiene la zona reflectora, dado como resultado que la estructura no pueda sostenerse con la superficie reflectora a 90 grados.



Imagen 14. Respuesta del sistema por desbalance estructural.

Para determinar una solución consideramos dos características presentes en el sistema:

1. El eje de rotación no estaba unido directamente.
2. La respuesta del sistema se comportaba similar a un “péndulo invertido”.

Utilizando la herramienta “centro de masa” del software Solid Works y para simplificar el análisis, se dibujaron únicamente un soporte de la zona reflectora y un soporte del tubo absorbente sin detalles, para tener una

aproximación de la distancia ideal para la posición del eje de rotación como se muestra en la imagen 15, obteniendo una distancia de 14.46cm, desde el centro del tubo central (donde están soldados los soportes de la zona reflectora), hacia el tubo absorbente.



Imagen 15. Medición de torque en la entrada del eje de rotación. Medido en foot-pounds.

La estructura rotaba de manera dividida por eje colocado en dos chumaceras de 3/4" como se muestra en la imagen 16, a una distancia de 8.5 cm, lo cual estaba muy por debajo de la distancia ideal obtenida por el software Solid Works de. 14.46 cm.

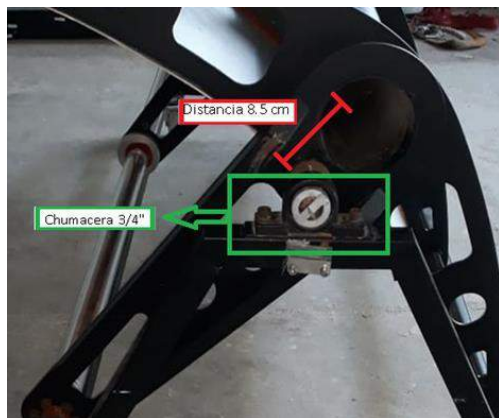


Imagen 16. Distancia del eje de rotación.

La colocación equivocada en la distancia del eje desde la construcción de la estructura tipo CCP, complicaba el movimiento, de manera que para mover la zona reflectora se necesitaba un mínimo de 30 “foot-pounds” de torque, cuando se tenía un motor a pasos, que ofrece un holding torque de 770 Newton centímetros, que es igual a 5.67923 “foot-pounds”. De esta manera se conoce que el motor colocado directamente al eje de rotación no podrá transmitir el movimiento deseado, necesitando un mecanismo externo que aportará la cantidad de torque necesario.

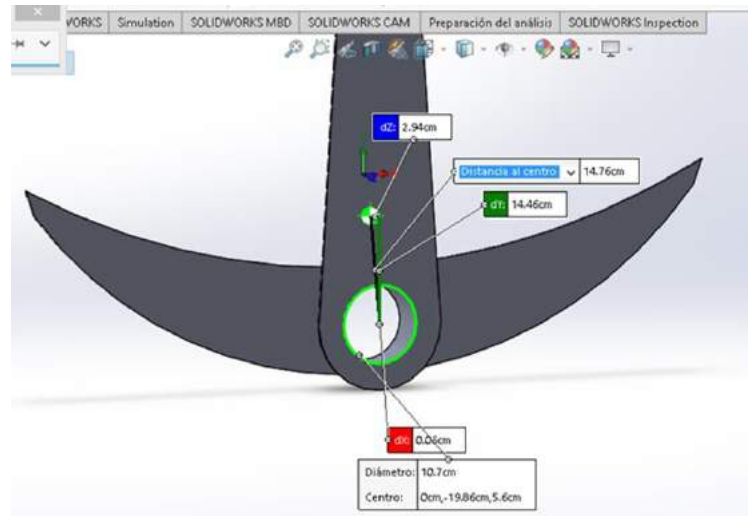


Imagen 17. Aproximación del centro de masa (color verde) para estructura CCP.

El “holding” torque requerido para la estructura tendría que estar por encima de una cierta cantidad de par para desviar el rotor un paso, ya que cuando se aplica un par que excede el par de mantenimiento (holding torque) el

rotor gira continuamente. El par de mantenimiento normalmente es más alto que el par de trabajo y actúa como freno, manteniendo la carga en posición, en este caso mantendría la carga que ejerce la zona reflectante. Con todo lo anterior, se propone para mover el eje de rotación 6cm hacia el tubo absorbente con la finalidad balancear los soportes de la zona reflectora, los siguientes componentes (Imagen 18) y para ello se emplea el siguiente material:

- 1 Barra Cold Rolled de ACERO REDONDO (1045) DE 1 1/2"
- 2 Chumaceras de 1/2" (dos barrenos)
- 4 Placas de ACERO 14x13cm de 1/2".

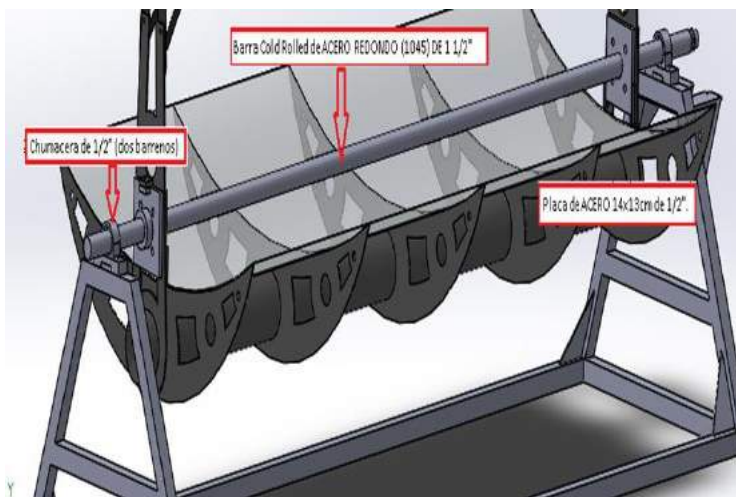


Imagen 18. Representación de los elementos para el nuevo eje de rotación.

D) Selección y adaptación del mecanismo.

Una vez concluida la etapa de alineación y balance,

surge la necesidad de la adaptación de un mecanismo para el control de movimiento en la importancia del seguimiento solar.

El mecanismo elegido, es un mecanismo del tipo “Tornillo sinfín”, se trata de un tornillo que se engrana a una rueda dentada (corona), cuyo eje es perpendicular al eje del tornillo. La utilización de este mecanismo sobre la estructura CCP, tiene los siguientes beneficios:

- La baja relación de transmisión es la característica principal de este tipo de mecanismo, ya que por cada vuelta del tornillo sinfín, la corona acoplada al eje de salida gira sólo un diente, esto permite además de transmitir grandes pares de torque, se tendrá un mejor control del movimiento generado en la salida de la corona, haciendo más preciso el seguimiento solar.
- Mantiene un “efecto de auto retención” lo que implica que no pueda ser accionado para generar movimiento desde la corona. Este efecto impide de manera automática que la carga que se encuentre conectada a la corona, se desplace de manera involuntaria cuando el motor se encuentre apagado. Bloquea la rotación de la corona para ambos lados, cuando el tornillo del mecanismo no

es accionado, evitando el uso de Trinquetes.

E) Adaptación del Mecanismo.

Para hacer efectiva la transmisión de movimiento desde la corona del tensor de ajuste manual, se emplea una cabeza de “gavilán” (Imagen 19), que es el complemento del sistema de freno de base tipo s-cam.



Imagen 19. Cabeza de gavilán.

El “gavilán” es cortado y adaptado a la barra cold rolled, mediante un proceso de soldadura y torno. De esta manera el eje de rotación ya balanceado anteriormente, queda adaptado al mecanismo de transmisión de movimiento (tornillo sinfín –corona), como se muestra en la imagen 20, donde se muestran los elementos del mecanismo que moverá la zona reflectora de la estructura CCP.



Imagen 20. Barra “Cold Rolled” y Tensor de Ajuste Manual adaptados a la estructura CCP.

Una vez, terminada la adaptación del mecanismo a la barra “cold rolled”, se montan los soportes de la zona reflectora como se muestra en la imagen 21.



Imagen 21. Adaptación de componentes y barra Cold Rolled de ACERO REDONDO (1045) DE 1 1/2”.

RESULTADOS.

En la imagen 22 se muestra el tubo absorbente iluminado, como resultado una mejor alineación del sistema, donde se observa un tubo absorbente no iluminado.



Imagen 22. *Resultado de tubo absorbente iluminado sin cristal.*

Con respecto a los resultados obtenidos del balanceo del mecanismo se hicieron dos pruebas de funcionalidad, la primera consistió en llevar la estructura hasta los puntos críticos de 0° a 90° grados como se muestra en la imagen 23



Imagen 23. Resultado de funcionalidad de transmisión de movimiento con el mecanismo tornillo sin fin. Posteriormente se realizó la misma prueba, pero ahora con el motor nema ya programado, como se muestra en la imagen 24.





Imagen 24. Componentes del seguimiento solar.

CONCLUSIONES.

En éste trabajo se realizó la alineación, el balanceo y la adaptación del mecanismo de seguimiento solar de un CCP, se optimizó la respuesta del sistema a los movimientos mecánicos, y se corrigió el efecto de movimiento de péndulo invertido que daba inestabilidad al sistema. Se logró que el movimiento del sistema reflector tenga un menor torque mecánico y el movimiento estructural es más suave y preciso.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que las etapas de corrección estructural impactaron de manera significativa en el instrumento (CCP), dando como resultado un buen mecanismo para el seguimiento solar.

La temperatura y la presión obtenidas durante las pruebas de funcionamiento, Como propuesta de trabajo

a futuro el aumento de temperatura debe ser controladas detalladamente para obtener la calidad de vapor de trabajo adecuado.

BIBLIOGRAFÍA.

- Boylestad, (2011), “Introducción al análisis de circuitos”, Editorial Pearson.
- Joseph Schröck, (1981). Montaje, ajuste y verificación. Editorial Reverte.
- Hans Appold, (1984) TECNOLOGIA DE LOS METALES PARA PROFESIONES TECNICO MECANICAS. Editorial Reverte
- Walter Bartsch (1981). Alrededor del torno. Editorial Reverte. Información de servicio SD-05-1200s - Matraca Bendix tipo 20.
- Jorge Adrián Ortiz Moreno, Omar Raúl Masera Cerutti, Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez (2014), LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO. Editorial IMAGIA.