

SISTEMA DE CONTROL PARA CONCENTRADORES SOLARES TIPO FRESNEL

D. Hoyos, M. Hongn, V. H. Serrano, S. Esteban, T. Moya
Instituto de Energías No Convencionales (CONICET) CIUNSA Consejo de investigación Universidad
Nacional de Salta. C.P 4400-Salta
Tel. 0387-4255578 – Fax 0387-4255578 e-mail: hoyosdani@gmail.com

Recibido: 13/08/12; Aceptado: 27/09/12

RESUMEN:

El presente artículo tiene por objeto presentar un sistema de control utilizado para un campo de espejos del tipo Fresnel, los cuales proyectan sus rayos en un concentrador donde se calienta agua para obtener vapor. Este sistema debe seguir el movimiento relativo del sol con respecto de la tierra, de forma de reflejar los rayos del sol sobre un concentrador que se encuentra en una torre a cinco metros de altura.

Palabras clave: energía solar, concentradores posicionamiento sistema control

INTRODUCCIÓN

La conversión de energía solar es uno de los tópicos más importantes de investigación en energías renovables. Existen diversas formas de realizar esta transformación, una de ellas consiste en convertir la energía solar en energía térmica, utilizando concentradores solares, los mismos necesitan seguir la trayectoria del sol.

El tipo de sistema de concentradores utilizado es concentrador lineal tipo Fresnel (CLF), (Häberle et. al. 2001); (Mills, 2004) las exigencias en lo que respecta a la precisión del mecanismo son muy elevadas dado que la distancia focal de este sistema es de 5,25 metros, por lo cual la precisión en el mecanismo de seguimiento debe ser considerablemente mayor que para otras aplicaciones. Mientras que para un sistema basado en paneles fotovoltaico es aceptable un ángulo de desviación de 5 grados, para sistemas sin concentración y para cocinas solares de hasta 20 grados, en un CLF de 5 metros de altura se requieren desviaciones menores a 0,5°, valor que disminuye a medida que aumenta la distancia focal. (Welford & Winston. 1989).

En los concentradores lineales Fresnel, los reflectores son cilindros parabólicos de baja curvatura. En la figura 1 se muestra un prototipo del mismo. Los espejos se instalan a nivel del piso y siguen la trayectoria aparente del sol girando alrededor de ejes horizontales. El espejo más alejado se debe encontrar a una distancia igual a la altura del absorbedor. Los reflectores concentran la radiación solar directa en un absorbedor que se encuentra fijo a algunos metros de altura. Este último consiste en una torre lineal con la cavidad en su cara inferior como se muestra en la figura 1.

Como el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el espejo es igual al ángulo de reflexión, el espejo debe moverse a la mitad de la velocidad aparente del sol. El sistema debe seguir al sol durante aproximadamente ocho horas. Después del atardecer debe ubicarse en una posición de reposo.

Las características del sistema de control de los espejos son las siguientes:

- Velocidad de rotación 1 vuelta 48 horas.
- Posibilidad de ser orientado manualmente
- Regresar a la posición inicial en la noche



Figura 1: Concentrador lineal tipo Fresnel

El campo de espejos está orientado espacialmente con los mismos ubicados en dirección norte-sur y cubre un área aproximada de 100 m².

DESCRIPCION DEL MOVIMIENTO DE LOS ESPEJOS

El prototipo de CLF está compuesto por un campo de espejos y un absorbedor. El campo de espejo tiene como función reflejar la radiación solar sobre el absorbedor. El absorbedor se encuentra en dirección norte-sur, ubicado a la mitad del campo de espejos, a una altura de cinco metros. Está compuesto por ocho espejos que tienen un ancho cada uno de ochenta centímetros y un largo de seis metros, los cuales están separados entre sí, 1,23 metros. Los espejos tienen una pequeña curvatura para poder concentrar los rayos a una altura de 5,25 metros. En la figura 2 se muestra un esquema del prototipo.

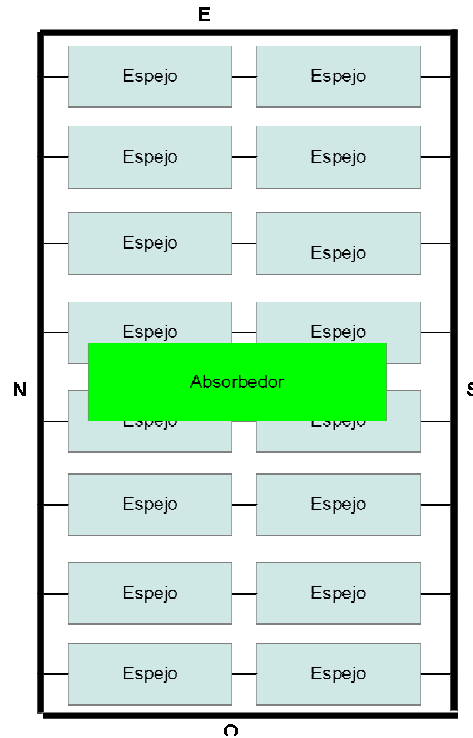


Figura 2: Esquema del prototipo de CLF

Cada espejo debe recibir la radiación directa proveniente del sol y reflejarla sobre el absorbedor. Para simplificar el análisis se supone un espejo situado debajo del absorbedor como se muestra en el esquema de la figura 3. Al amanecer debe tener una inclinación de 45° respecto de la dirección vertical, dado que los rayos del sol son horizontales provenientes del este. Al mediodía solar su ángulo debe ser 90° dado que los rayos del sol tienen dirección vertical y finalmente al atardecer su inclinación debe ser 135° porque los rayos del sol provienen con dirección horizontal del oeste.

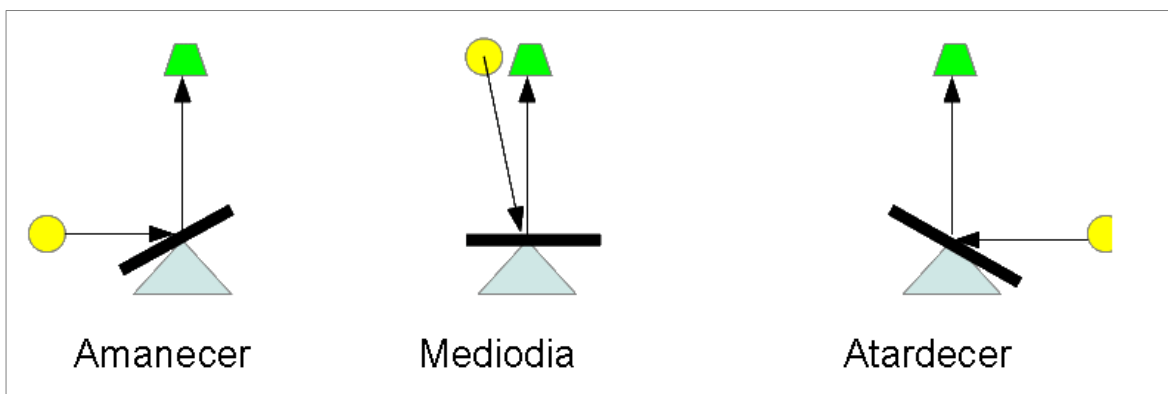


Figura 3: Posición del espejo a lo largo del día

El absorbedor se encuentra a 5,25 m y el espejo tiene que concentrar los rayos del sol sobre un conjunto de caños que tienen un ancho de 15 centímetros. Para el sistema de control el ancho del absorbedor equivale a $2,31^\circ$. El sistema debe reflejar estos rayos dentro de este ángulo. Por lo tanto, la precisión del movimiento debe ser muy alta. Se propuso que al menos sea 25 veces mayor que el ángulo anteriormente propuesto. Entonces la precisión del movimiento será de al menos $0,08^\circ$.

SISTEMA MECANICO

El sistema de control de un espejo para un CLF consiste en un sistema mecánico el cual condiciona el resto del sistema de control. Este dispositivo tiene que cumplir distintas especificaciones que surgieron a partir de lo expuesto en el punto anterior. Las mismas son:

1. El espejo debe tener una velocidad media mínima de una vuelta cada 48 horas.
2. La precisión del movimiento debe ser de al menos $0,08^\circ$.
3. La velocidad debe variar de forma de mantener el espejo siempre proyectando sus rayos en el absorbedor
4. El dispositivo debe disponer de una velocidad alta para reubicar el sistema en caso de algún tipo de inclemencia climática. La misma debe ser de al menos una vuelta en cinco minutos.

Se analizaron distintas alternativas. Motor CA, motor CC. Motor Paso a Paso.

Motor CA y Motor C.C

El motor de C.A puede ser regulado utilizando un variador de velocidad, el cual puede variar su velocidad en un rango de 1:100, aproximadamente. Dado que estos motores giran a una velocidad angular muy alta, requieren una relación de reducción muy grande. A pesar que se pueda variar significativamente la velocidad en los mismos, la relación de reducción sigue siendo grande, lo que encarece el proyecto. Las alinealidades de estas reducciones como ser zonas muertas y defectos de engranaje, determinan que no puedan seguir con precisión el movimiento requerido, a no ser que se realice una inversión muy grande, diseñando una caja de reducción especial. Este tipo de sistema motor reducción no puede reaccionar rápidamente. Por ejemplo ubicarse en una posición de reposo en un lapso de pocos minutos, por lo cual no cumple con la cuarta especificación, para cumplirla se debería utilizar un sistema de embrague mecánico, pero esto nuevamente encarece el proyecto.

Motor Paso a Paso

Este motor permite resolver todos los problemas planteados en el punto anterior. A pesar de su alto costo, la simplicidad del sistema mecánico determina que sea de menor precio que los sistemas motor-reductores con motores de continua o alterna.

El sistema motor-reductor propuesto está formado por una reducción de 1:100 y un motor paso a paso. El paso del motor es de 1,8 grados, esto permite que el movimiento tenga una resolución de $0,018^\circ$, es decir que el sistema tiene 100 pasos dentro de la sección útil del absorbedor. Esta resolución es adecuada para el sistema de seguimiento, figura 6.



Figura 4: Sistema motor-reductor

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA MOTOR-REDUCTOR

El sistema motor-reductor se muestra en la figura 4 y está formado por una reducción y un motor paso a paso y utiliza dos acoples. Uno de los cuales vincula el motor con la reducción y está construido en teflón. El otro acople vincula el eje de los espejos con la reducción. Sobre este sistemas se probaron distintas soluciones.

- a) Acople rígido metálico
- b) Acople elástico
- c) Junta homocinética

Se ensayaron los tres acoples. El acople rígido se destruyó al producirse una desalineación entre el sistema motor-reductor y el eje de los espejos, por esta razón se descartó esta solución. El acople elástico presenta el problema que cuando el motor empieza a moverse, comprime la goma pero no cambia su posición, produciendo un efecto parecido a la histéresis. Cuando cambia la dirección del movimiento la goma debe descomprimirse y luego se debe comprimir en el otro sentido, amplificando este comportamiento. Se probaron diferentes modelos de acople obteniéndose el mismo resultado. Finalmente, la junta homocinética no tiene el problema de histéresis del acople elástico y tampoco se destruye por un cambio de posición relativa de los ejes. Por estas razones es que esta solución fue la adoptada.

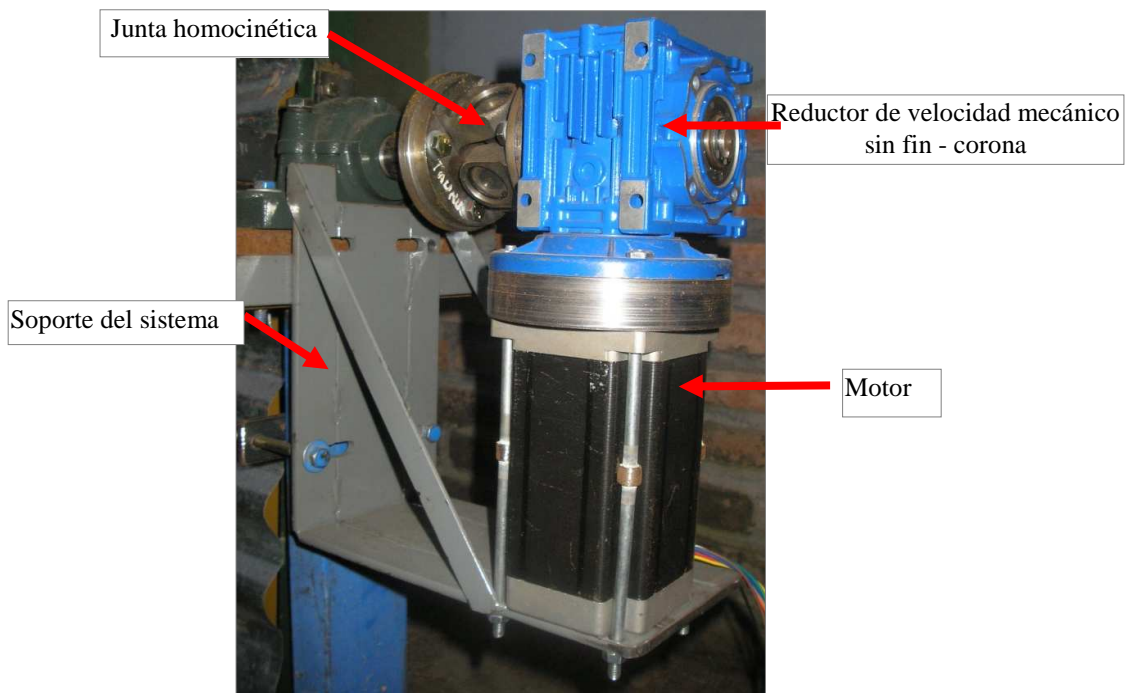


Figura 5: Sistema completo

La pieza (a), figura 7, que une el motor paso a paso con el reductor de velocidad, fue fabricada en acero, a esta pieza se le practicó un orificio a medida del eje del motor y con tornillo prisionero para fijar la pieza (a) al motor. El otro extremo se torneó a medida del reductor y se lo fija por medio de una chaveta. También se procedió al torneado de una pieza suplemento de 30mm de espesor (b), que separa el motor del reductor. El sistema motor-reductor queda unido y fijo al soporte por medio de 4 tornillos (c).

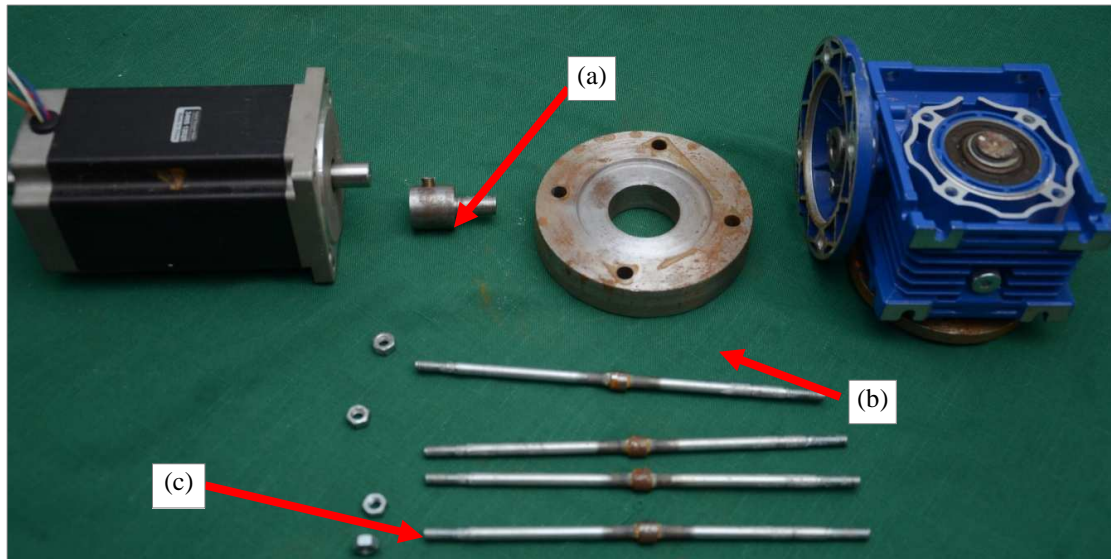


Figura 6:Detalle del sistema motor – reductor – junta homocinética

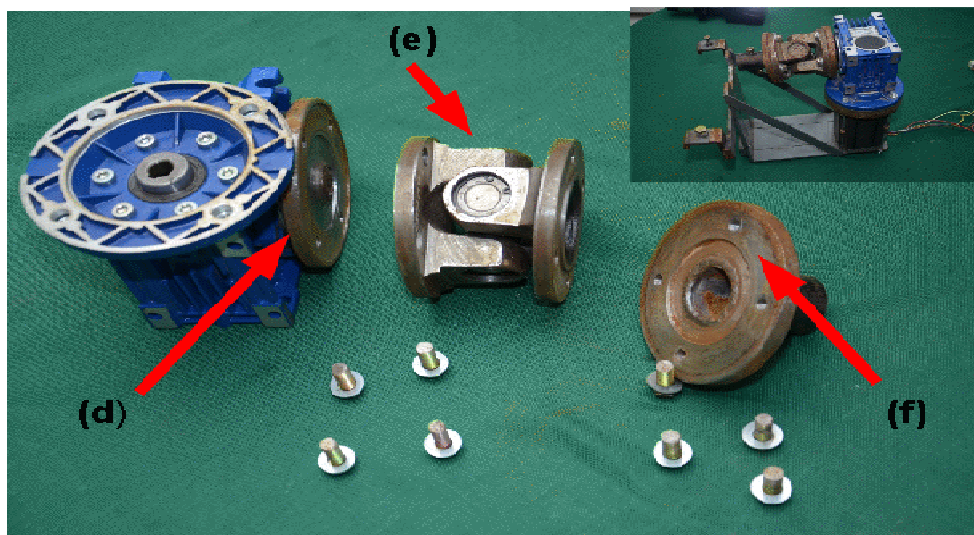


Figura 7: Detalle del sistema motor – reductor – junta homocinética

De la salida del reductor de velocidad (d) se torne un eje que se fija con chaveta y luego se suelda un disco con 4 orificio al que se les realiza un roscado para fijar la junta homocinética (e). Luego se procede a tornearse el disco (f) al que se suelda un eje que conecta al eje de los espejos.

Todas las piezas que se tornearon son de acero 1045 ya que este tipo de acero es muy utilizado en piezas que son sometidas a cargas dinámicas. Estos aceros pueden soldarse pero deben tenerse en cuentas algunos cuidados especiales para evitar fisuras debido al rápido calentamiento y enfriamiento.

Mecánicas	Propiedades química
Densidad $7,87 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$	C entre 0,43 – 0,50%
Modulo de elasticidad 200 GPa	Mn 0,60 -0,90%
Elongación 16% en 50 mm	P max 0,04%
Reducción del 40% del área	S max 0,05%

Tabla 1. Datos técnicos del acero 1045

La reducción utilizada presenta pequeñas alinealidades debidas a los defectos de construcción de los engranajes que determinan que la precisión del movimiento disminuya hasta 0.5° .

COMPENSACIÓN ELECTRÓNICA DEL SISTEMA MECÁNICO

Dado que no se puede mejorar la precisión del movimiento del sistema mecánico, se compensa el mismo mediante un sistema de realimentación que tiene en cuenta la posición de los espejos. Se propusieron dos tipos de sensores.

- a) Potenciómetro de precisión
- b) Encoder digital.

El encoder digital tiene una resolución de $1,41^\circ$, resultado que no es conveniente para las especificaciones dadas anteriormente. El potenciómetro tiene un error característico que depende de la variación de la temperatura y de las alinealidades del material. Por lo tanto, re-calibrando el mismo se puede obtener una mayor precisión en la medida. El sistema de realimentación se realiza utilizando un potenciómetro de precisión y se obtiene un error de $0,02^\circ$, figura 9, este resultado es conveniente para este desarrollo.

Los errores en el desplazamiento se compensan realimentando la variable posición de los espejos utilizando un sensor potenciométrico. Existen encoders digitales de mayor precisión pero su costo es prohibitivo para este desarrollo. El sistema de adquisición de datos del equipo tiene como característica ser de 10 bits, con una tensión de referencia de 3V. Si el potenciómetro se alimentara con una tensión de 3V, la precisión de la medida será de $0,31^\circ$, lo que no resulta suficiente.

Por esta razón teniendo en cuenta las siguientes especificaciones del sistema.

- ▲ La trayectoria seguida por el espejo a lo largo del día, como se describió anteriormente, debe ser de 90° .
- ▲ La posición del amanecer para cada uno de los espejos es distinta

Se implemento el circuito propuesto en la figura 8, donde el potenciómetro 1 se utiliza para medir la posición del espejo mientras que el potenciómetro 2 se utiliza para determinar la posición del amanecer, finalmente la resistencia variable RG permite fijar la ganancia del amplificador de instrumentación. Este circuito aumenta la resolución del sistema hasta $0,078^\circ$ que es razonable para el sistema

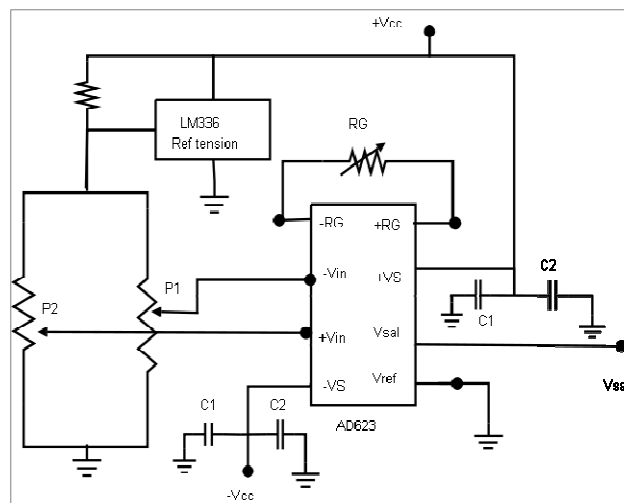


Figura 8: Circuito de aplicación

ANÁLISIS y MEDICIONES REALIZADAS

Al circuito amplificador se le realizó un ensayo preliminar para determinar el ruido intrínseco del sistema. Este circuito tiene un ruido menor 0.3 milivolts. Tiene una ganancia estable en el rango de operación.

El sistema mecánico fue ensayado repetidas veces presentando un pequeño desplazamiento de tres grados cuando se invierte completamente el espejo. Este desplazamiento ocurre debido a los espacios muertos entre los engranajes de la reducción. Esto condiciona que el movimiento se realice en lo posible siempre en el mismo sentido. Los espejos están rígidamente unidos al eje por lo tanto no existe ventaja en colocar el sensor de posición del otro lado del eje del motor. No obstante debe ser colocado al menos sobre el eje de la reducción, dado que sobre el eje del motor paso a paso, las alinealidades de los engranajes impiden una medición correcta del ángulo.

Se probaron distintos motores paso a paso, como se muestra en la tabla 2 los cuales tiene distintos pares. Se deseaba determinar el motor que garantice un movimiento seguro y preciso del espejo.

Motores	Par [Nm]
23HS8808	2.2
34HS2835	8.8
34HS1835	12

Tabla 2: Tipo de motores ensayados

Se construyó un espejo de cincuenta metros de largo y se probaron los distintos motores. Los ensayos que se realizaron fueron:

1. Máxima velocidad de giro
2. Respuesta a un paso del movimiento
3. Inversión de marcha.

Todos los motores pasaron el primer ensayo, en cuanto al segundo ensayo el 23HS8808 perdió pasos. Todos los motores presentaron similares características a la inversión de marcha. El 34HS1835 tuvo la máxima velocidad de giro final, debido a su elevado par. Por lo tanto se selecciono este motor para ser utilizado en el sistema y como segunda opción el 34HS2835.

CONCLUSIONES

Se desarrolló la parte mecánica del sistema de control del movimiento de un espejo con su compensación electrónica. De los distintos ensayos realizados se obtuvo un sistema que trabaja con una resolución de 0.08 grados, la cual es aceptable para este tipo de sistemas. Se ensayaron tres tipos de motores y se seleccionó el que se utilizara: 34HS1835 de 12Nm. Se diseñó, construyó, ensayó el sistema motor-reductor. Finalmente se rediseñó el sistema con el objeto de poder realizar una instalación y mantenimiento sencillo del mismo.

REFERENCIAS

- F. M. Al-Naima y Yaghobian N. A. (1990). Design and construction of a solar tracking system. *Solar & Wind Technology Volume7, Issue 5*, pp.611-617
- F. M.Al-Naima y Yaghobian N. A. (1991). A microprocessor-based control system for a sun tracker. *Renewable Energy Volume 1,Issue 2*, pp.183-198
- Cadena C., Bárcena H. et. al. (2002). Sistema de Seguimiento para Cocinas Solares Alimentado por Módulo Fotovoltaico. *AVERMA Vol 6*, pp. 4.37 ISSN 0329-5184
- Clifford M.J. y D. Eastwood, (2004). Design of a Novel Passive Tracker. *Solar Energy. Vol. 77 (3)*, pp. 269-280.
- A. W. G. Cope y N. Tully (1981). Simple tracking strategies for solar concentrations. *Solar Energy Volume 27, Issue 5*, pp.361-365
- De Lucia A., Holm S., Aguirre J.,González D., Gross H., Marengo J. (1999) Concentrador solar aut DIRIGIDO con intercambiador.(1ra. Etapa : seguimiento) *AVERMA Vol 3*, pp. 3.13 - ISSN 0329-5184
- Dobon F., A. Lugo, and J. Monedero, (2003). First Results of the Tetra-Track System and Control Electronics. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, IEEE & WCPEC-3, Osaka, pp. 2050-2053,.
- Echazú R. y Cadena C.(1998). Mecanismo de Seguimiento para Cocinas Solares. *AVERMA Vol. 2*, pp. 61 - ISSN 0329-5184
- Gea M., Saravia L. et al (2007). Concentrador Lineal Fresnel para la Generación Directa de Vapor de Agua. *AVERMA Vol 11*, pp.3.83 - ISSN 0329-5184
- Hession P.J y Bonwick W.J. (1984). Experience with a sun tracker system. *Solar Energy 32, 1*, 3-11
- Hoyos D., Bárcena H., Echazú R., Cadena C. y Farfán R. (2005). Control Inteligente de Seguidor Solar Utilizando la Técnica de Lógica Difusa o Borrosa. *AVERMA Vol 9*, pp. 8.97 - ISSN 0329-5184
- Häberle A., Zahler C., de Lalaing J., Ven J., Sureda J., Graf W., Lerchenmüller H., Wittwer V. (2001). The Solarmundo Project. Advanced Technology for Solar Thermal Power Generation. Solar World Congress, International Solar Energy Society Conference, Adelaide, Australia.
- K. Karimov, M. Saqib, and P. Akhter, (2005). A Simple Photovoltaic Tracking System. *Solar Energy: Materials and Solar Cells, Vol. 08.76 87 (1-4)*, pp. 49-59
- Mills D., Morrison G., (2000). Compact Linear Fresnel Reflector Solar Thermal Power Plants. *Solar Energy Vol. 68, No.3*, pp. 263 – 283.
- Mills D. (2004). Advances in Solar Thermal Electricity Technology. *Solar Energy Vol. 76*, pp. 19-31.

Welford W. T. & Winston R. (1989). High Collection Nonimaging Optics. Academic Press Inc., USA, ISBN 0-12-742885-2

ABSTRACT

This article is intended to provide a control system used for a field Fresnel mirrors, which projected its rays on a hub where water is heated to produce steam. This system should follow the relative motion of the sun relative to the earth, so as to reflect the sun's rays on a hub that is located in a tower to five meters high.

Keywords: solar energy, concentrators, tracking system