



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

## **Máxima Eficiencia en Mecanismos Colectores de Energía Solar**

<sup>1</sup>Samuel Lara Escamilla, <sup>2</sup>Rojas Tovar Rodolfo

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Industrial  
Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.  
Av. Instituto Tecnológico de Tlalnepantla s/n, col. La Comunidad  
Tlalnepantla, Estado de México, C.P. 54070  
Tel. 52900310 ext. 111

<sup>2</sup> Departamento de Administración.  
Universidad Nacional Autónoma de México.  
FESC. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Tel. 5623 1874

---

<sup>1</sup> Autor para contacto: Samuel Lara-Escamilla, slara@ittla.edu.mx, *Candidato al Grado de Doctor en Ciencias de la Educación, por la Universidad Bancaria de México, Tel. (01 593) 91 405 01.*



# “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

**Resumen:** El uso de energías alternativas es evidentemente una solución para los graves problemas ambientales que enfrenta actualmente la humanidad, y en este sentido, en los últimos años han sido publicados trabajos enfocados al desarrollo de sistemas que permitan el máximo aprovechamiento de la energía solar, un dispositivo que destaca en este artículo es el recolector fotovoltaico de orientación autónoma, el cual es un sistema robótico de dos grados de libertad que permite optimizar la incidencia de la fuente sobre la celda fotovoltaica. Como parte de esta investigación se simuló con PROTEUS® e Inventor® la parte electrónica y mecánica respectivamente del dispositivo, con lo cual, fue posible construir un prototipo automático de posicionamiento y orientación ortogonal al sol que ha mostrado tener mejores resultados que los recolectores fotovoltaicos de orientación estática.

**Palabras Clave:** Sistemas de Energía Alternativa, Mecanismos Colectores de Energía Solar, Sistemas Automáticos, Control Inteligente.

## 1 Introducción

Los problemas ambientales que enfrenta la humanidad debido a la mundialmente desenfrenada contaminación, es cada año más evidente, por esta causa son importantes los esfuerzos y las contribuciones que se realizan a la generación de energía con base en el aprovechamiento de fuentes renovables, esto tiene un especial significado principalmente, en las ciudades donde cotidianamente consumimos una enorme cantidad de energéticos.

En nuestro caso, México es considerado como uno de los países con mejores condiciones de radiación solar y por esta razón se han venido desarrollando en los últimos años estudios para el máximo aprovechamiento de la energía SOLAR.

Se ha demostrado la factibilidad de producir, ensamblar, probar e instalar módulos fotovoltaicos con la finalidad de generar electricidad en las comunidades principalmente rurales, es decir, en México se han instalado luminarias en más de 122 albergues infantiles en el Estado de Chihuahua, específicamente en la Sierra Tarahumara y en seis estados más, así como diferentes tele-secundarias en la Sierra de Puebla, Oaxaca, Veracruz, o la alimentación para los sistemas de comunicación de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Por estas razones, en este trabajo se desarrolló un prototipo automático de posicionamiento y orientación ortogonal al Sol, de tal manera, que optimice la incidencia a lo largo del día en comparación con un sistema de captación de energía estático.

Se dan a conocer los resultados del prototipo en la siguiente manera: en la Sección 2, se mencionan los conceptos básicos de los sistemas de energía solar, la Sección 3 y 4, hacen referencia al modelo propuesto que sirve de base para la simulación mecánica y electrónica del prototipo, con lo que en la Sección 5 de simulaciones se logró obtener una interpretación intermedia del dispositivo final, posteriormente la implementación se muestra en la Sección 6, que se divide en dos etapas, de fabricación y pruebas finales.

## 2 Conceptos Básicos.

Desde 1970, las investigaciones sobre los sistemas de energía solar se extendieron mediante los estudios en diferentes tipos de colectores, técnicas de distribución, conversión y el uso de la energía producida [2]. Así mismo, el análisis económico de estos sistemas muestra las ventajas de usar este tipo de sistema [3].



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
Multidisciplinario  
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
ISBN: 978-607-95635

De tal forma, que los sistemas de energía solares pasivos o activos (dispositivos colectores) tienen una capacidad de ser explotados y dependiendo la configuración se aprovecha en menor o mayor medida [1].

Los colectores fotovoltaicos son utilizados ampliamente en la actualidad debido a la relación costo-beneficio que proporciona, estos a su vez mantienen una producción determinada de electricidad en función de las condiciones del medio, los materiales y tipo de fabricación del colector [4,5], permitiendo considerar nuevas alternativas para optimizar la generación de energía mediante el uso de las variables internas o externas.

Los sistemas fotovoltaicos, photovoltaic (PV, por sus siglas en inglés) típicamente son fabricadas con una forma geométrica plana, tal como se muestra en la Fig. 1.



Figura 1. Forma geométrica convencional de los sistemas PV.

En el presente trabajo se desarrolló un prototipo automático de posicionamiento y orientación ortogonal al Sol, de tal manera, que optimice la incidencia a lo largo del día en comparación con un sistema de captación de energía estático.

## 2 Planteamiento del Problema

Uno de los principales problemas al producir energía eléctrica es que se está utilizando combustibles como son: carbón, diesel y otros tipos de elementos que contaminan el medio ambiente.

Al hacer uso de una hidroeléctrica por ejemplo, los residuos que esta emite a ríos y mares son muy altos, por otro lado si se está haciendo uso de una planta termoeléctrica, el uso de carbón y otros factores básicos para la combustión emiten altos índices de monóxido de carbono, así como, gases que favorecen el efecto invernadero.

No está por demás hacer mención del tipo de contaminación que produce una planta de generación eléctrica al usar reactores nucleares, es claro que esta debe de contar un alto nivel de seguridad para evitar tragedias como la acontecida en la planta eléctrica de Chernóbil, donde al hacer pruebas de funcionamiento hicieron explotar el reactor número cuatro de su planta, dañando al momento y hasta el día de hoy a flora, fauna, países cercanos a la frontera de ucrania y lo más importante las personas[6].



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
**Multidisciplinario**  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

El creciente factor de población en el mundo, ocasiona que día a día se requiera de más energía eléctrica, elevando así los costos en la producción y los niveles de contaminación ambiental.

En este sentido, este trabajo pretende sumarse al gran esfuerzo que se está haciendo en el campo de la investigación para poner en marcha dispositivos que usen efectiva y eficientemente las energías alternas como lo son: la energía solar, eólica, geotérmica, bioenergía, y dispositivos electrónicos.

El Centro de Estudios de la Energía Solar (Censolar) por ejemplo, es uno de los pioneros en el sector del uso de información técnica para aplicaciones de la energía solar [7,8].

Uno de estos referentes es su programa informático CENSOL el cual es concebido inicialmente como una herramienta de cálculo para realizar de forma automática el dimensionado básico de instalaciones, este programa integra herramientas de estudio y análisis del aprovechamiento energético de la radiación solar (Ver Fig. 1a y 1b).

Y estas herramientas permiten analizar el aprovechamiento de la radiación solar (Ver Fig. 2), por un lado, y también llevar a cabo el diseño y dimensionado general de instalaciones fototérmicas y fotovoltaicas.

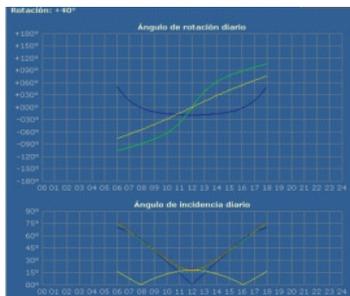


Figura 1a

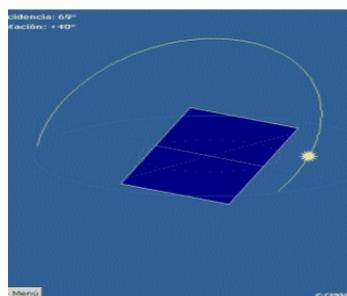


Figura 1b

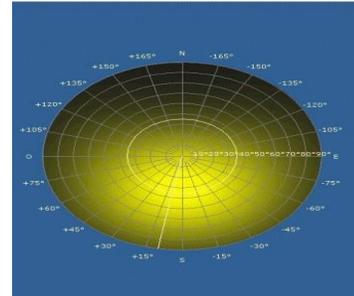


Fig. 2 Radiación Solar Diaria

Figura 1a y 1b Muestran el ángulo de incidencia solar diaria

Consideramos que estas herramientas de simulación son buenas, pero se encuentran aún limitadas ya que a pesar de dar información sobre la radiación solar en función de la latitud, longitud, altitud y orientación del concentrador durante ciertas épocas del año, no aseguran que el concentrador solar aprovechará al máximo esta radiación.

En este sentido nosotros presentamos el desarrolló un prototipo automático de posicionamiento y orientación ortogonal al Sol, de tal manera, que optimice la incidencia a lo largo del día en comparación con un sistema de captación de energía estático, además nuestra propuesta tiene en general las siguientes características:

1. Mejoramiento del sistema de colección solar.
2. Creación de un sistema de control automático de incidencia Solar.
3. Acoplamiento de instrumentos que proporcionan la medición real de la eficiencia del sistema.

### 3 Modelo propuesto



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

Considerando que el sistema PV tiene una latitud, longitud, altitud y orientación ortogonal que es variable por la trayectoria que tiene la tierra respecto del sol, el punto  $p$  representa el centroide del sistema PV; dicho de esta forma se tiene la posición y orientación respecto del sol (1).

$$p = p_0 + p_1i + p_2j + p_3k \tag{1}$$

El arreglo de los sensores permite medir la intensidad luminosa mediante la variación del voltaje  $v_{r_i}$  en (2) en forma indirecta de la orientación descrita de la siguiente relación geométrica, como se muestra en la Fig. 3.

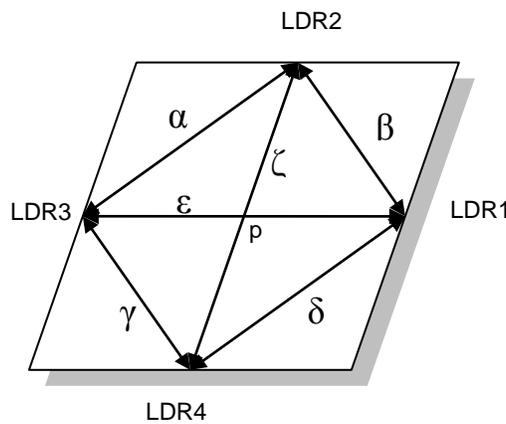


Fig. 3. Arreglo de sensores de resistencias dependientes a la luz LDR sobre la celda PV.

Se han utilizado cuatro sensores distribuidos de tal forma que la relación de distancia entre ellos permite el cálculo del centro  $p$  basados en un sistema relativo a la posición del sol. Dado que relaciones de distancia son

$$\begin{aligned} \zeta &= |\text{LDR2} - \text{LDR4}| \\ \epsilon &= |\text{LDR1} - \text{LDR3}| \\ \dots \\ \beta &= |\text{LDR1} - \text{LDR2}| \end{aligned}$$

Las incertidumbres de la medición nos permiten dar una región llamada de histéresis, la cual esta acotado por la región que comprenden las las intersecciones  $\alpha'\beta'\gamma'\delta'$  solo sí se encuentra dentro de  $\zeta/2$  y  $\epsilon/2$ , como una región de offset, tal como se muestra en la Fig. 4



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

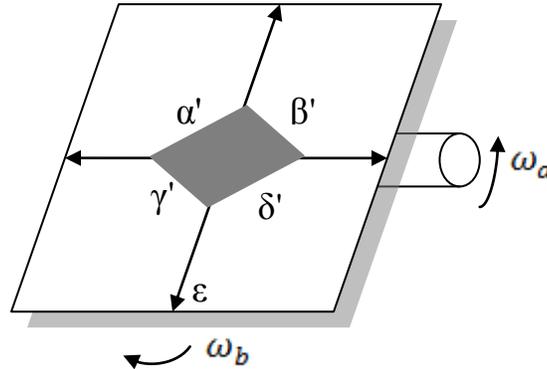


Figura 4. Región de offset para  $p$

El sistema para caracterizar los LDR se encuentran definidos por (2)

$$v_{r_i} = v_{in} \frac{R_0}{R_{LDR_i} + R_0} \quad (2)$$

Donde

- $i$       Número del LDR
- $v_{in}$     Voltaje fijo
- $R_0$      Resistencia fija

Por lo tanto, el sistema de orientación deseable tiene el valor óptimo en (1) cuando se cumple la relación en (3)

$$v_{r_0} = v_{r_i} \quad \forall i = 0 \quad (3)$$

Sin embargo para la descripción real del sistema considerando las incertidumbres, mostrado en la Fig. 4, se tienen la relación para:

$$v_{r_0} = v_{r_i} \quad \forall i < 100 \text{ mV} \quad (4)$$

En el caso de que (3) y (4) no se cumplan, se tiene las siguientes operaciones

$$f(x) \begin{cases} v_n - v_m > 0 - \omega \\ v_n - v_m < 0 + \omega \\ v_n - v_m = 0 \quad \omega = 0 \end{cases} \quad (4.1)$$

Donde

$\omega$  Es la velocidad angular

Aplicando un control proporcional, tal como se muestra en la Fig. 5 con la descripción de (6)

**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

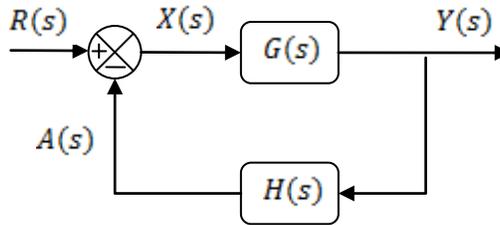


Figura 5. Diagrama a Bloques del control proporcional

$$Y(s) = G(s)X(s) \tag{6}$$

Donde

$X(s) = R(s) - H(s)Y(s)$  Es la entrada  $H(s)$  Es la ganancia dad por la posición  $\omega t$ , Se obtiene el modelo para el sistema.

#### 4 Simulaciones

Las pruebas fueron realizadas con los programa PROTEUS© e Inventor © para la parte electrónica y mecánica respectivamente.

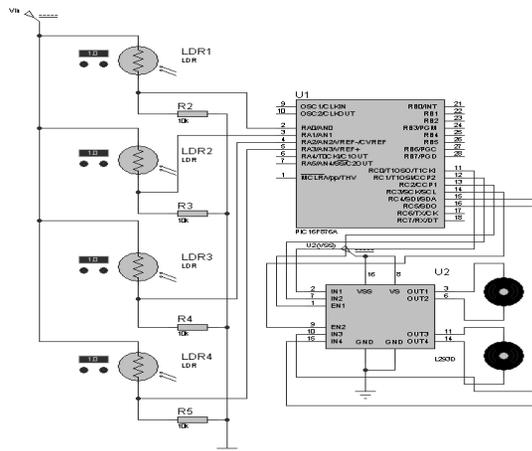


Figura 6. Diagrama electrónico de comparación y activación del sistema

En la parte electrónica se tiene un comparador analógico basado en un microcontrolador que permite realizar las operaciones de diferencia, tal como se muestra en la Fig. 6.

En la etapa de potencia se trabajo con un arreglo de puente H para la inversión de giro con un motoreductor de 12 volts y 1A.

**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
 Multidisciplinario  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

En lo referente al diseño del sistema mecánico, decidimos que se trabajaría con un sistema de dos ejes acoplados mediante un soporte y base resistente a perturbaciones del medio, como son factores de viento y lluvia, tal como se muestra en la Fig. 7, con este diseño se logro obtener dos grados de libertad.

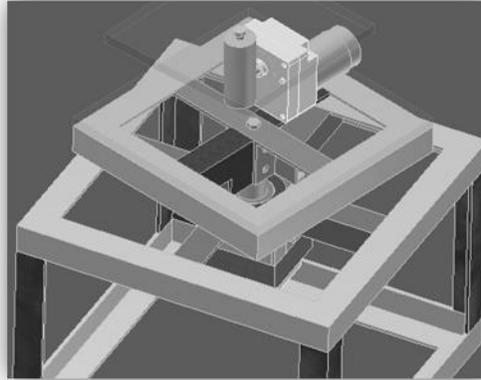


Figura 7. Simulación del Mecanismo de soporte y movimiento.

Para el sistema de los actuadores, se han utilizados dos moto-reductores de 35 rpm y 25 Kg/cm.

### 5 Experimentación.

Los valores utilizados para obtener el voltaje respecto de la distancia ortogonal  $d_{\perp}$  de la fuente de acuerdo a (2) son  $i = 4$ ,  $v_{in} = 5v$  y  $R_0 = 10 k\Omega$

$$\begin{aligned}
 v_{r_1} &= 4.89 - 1.75 d_{\perp} + .15 d_{\perp}^2 \\
 v_{r_2} &= 5.09 - 2.74 d_{\perp} + .45 d_{\perp}^2 \\
 v_{r_3} &= 4.89 - 1.97 d_{\perp} + .12 d_{\perp}^2 \\
 v_{r_4} &= 4.93 - 2.32 d_{\perp} + .92 d_{\perp}^2
 \end{aligned}$$

Las funciones dan como resultado las gráficas de la Fig. 6.



**“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”**  
**Multidisciplinario**  
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México  
 ISBN: 978-607-95635

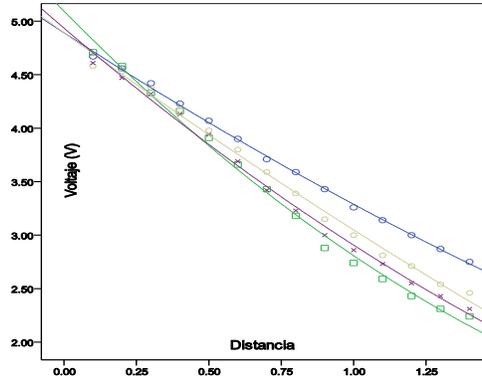


Figura 6. Curvas características de los LDR

El mecanismo de dos grados de libertad se orienta en forma ortogonal a la posición de la fuente de luz en forma autónoma, cuando las resistencias variables son calibradas.

El prototipo de un orientador automático para sistemas de energía solar se ha validado con parámetros controlados.

## 6 CONCLUSIONES.

El prototipo realizado tiene la capacidad de orientarse de forma autónoma a la fuente de luz.

El sistema puede ser optimizado en materiales, para el diseño pretendemos que el prototipo sea lo más ligero posible, pero estable a perturbaciones como el viento o lluvia con mecanismos de fácil mantenimiento y limpieza de los reflectores.

Para implementaciones, se pretende ocupar materiales como el aluminio para soporte, pero se tiene contemplado también ocupar fibra de vidrio, termo-plástico u otros materiales sintéticos.

Para trabajos futuros pretendemos probar el sistema con distintas técnicas de control y dispositivos electrónicos, así mismo, pretendemos evaluar el desempeño del mecanismo.

Sin embargo este primer prototipo nos comprueba que es factible captar la mayor energía si el componente activo PV recibe una incidencia mayor a lo largo del día.

El sistema es un prototipo que puede ser utilizado en otras aplicaciones que requieran referirse a fuentes luminosas.



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### 8 REFERENCIAS

- [1] E. A. Alsema, E. Nieuwlaar, **Energy viability of photovoltaic systems**, Energy Policy, Volume 28, Issue 14, November 2000.
- [2] Jesse C. Denton **Solar power systems** Energy Conversion, Volume 16, Issue 4, 1977.
- [3] Jesse C. Denton **Economic analysis of solar total energy systems**, Energy Conversion, Volume 16, Issue 4, 1977.
- [4] Nelson A. Kelly, Thomas L. Gibson, **Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system** Solar Energy, Volume 83, Issue 11, November 2009.
- [5] Duffie J. Et Al, 1991, **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2a. Edición, John Wiley & Sons, Estado Unidos de Norteamérica 1991
- [6] Aftim Acra - Zeina Raffoul - Yester Karahagopian, **Solar Energy, World Distribution**, Department of Environmental Health Faculty of Health Science American University of Beirut Beirut, 1984
- [7] Sandia National Laboratories, **Guía para el desarrollo de proyectos con energía solar**, Vol. 1, España 2004.
- [8] Hernández, M *et al.*: **Propuesta para el Concurso de 25 Viviendas Bioclimáticas en Tenerife**, <http://editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/>