



Revista Difusiones, ISSN 2314-1662, Num. 14, Septiembre 2018, p63-70

Heliostatos y el control automático de orientación: Una opción de mejora para las plantas de Energía solar de la provincia de Jujuy

Autores: Luis Ernesto Ituarte¹, Sergio Luis Martínez^{1,2} y Enrique Eduardo Tarifa^{1,3}

(1) Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ingeniería, Ítalo Palanca N°10 - 4600 San Salvador de Jujuy, Argentina.

(2) Universidad Católica de Santiago del Estero, Departamento Académico San Salvador, Lavalle N°333 - 4600 San Salvador de Jujuy, Argentina.

(3) CONICET.

*autor de contacto (e-mail: luisituarte@hotmail.com)

Luis Ernesto Ituarte
Ingeniero Eléctrico - Electrónico (UC Córdoba). Master of Science (UNIVERSITY OF LONDON). Profesor Adjunto en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Docente Investigador cat. IV.

Sergio L. Martínez
Ingeniero Electrónico (UTN). Especialista en Enseñanza de la Educación Superior (Universidad Católica de Cuyo). Magister en Ingeniería Electrónica (UNT). Profesor Adjunto en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Profesor Titular en el Departamento Académico San Salvador (UCSE). Docente Investigador cat. III.



Enrique E. Tarifa

Ingeniero Químico (UNJu). Doctor en Ingeniería Química (UNL). Profesor Titular en la Facultad de Ingeniería de la UNJu. Investigador Independiente de CONICET.

Resumen

Los proyectos de plantas de generación fotovoltaica de grandes dimensiones en la provincia de Jujuy han contribuido a cambiar el paradigma energético de la región. Sin embargo, una de las restricciones de este tipo de planta es la generación de energía eléctrica en el horario diurno en contraposición al periodo de mayor demanda eléctrica (horario nocturno). Debido a ello, este trabajo se focaliza en explorar aquellas plantas de generación de energía solar térmica como los concentradores de Torre Central con campo de heliostatos. Específicamente, este trabajo examina los sistemas de control de orientación de los heliostatos y sus características. De acuerdo a los trabajos de numerosos investigadores, estos sistemas podrían proveer una mejora significativa en la eficiencia de las plantas de generación de energía solar en circunstancias determinadas.

Abstract

The projects of large-scale photovoltaic generation plants in the province of Jujuy have contributed to changing the energy paradigm of the region. However, one of the restrictions of this type of plant is the generation of electricity during the daytime as opposed to the period of greatest electrical demand (night time). Due to this, this work focuses on exploring those plants that generate solar thermal energy, such as the Central Tower concentrators with a heliostat field. Specifically, this work examines the guidance control systems of heliostats and their characteristics. According to the work of numerous researchers, these systems could provide a significant improvement in the efficiency of solar power generation plants under certain circumstances.

Introducción

El gobierno de Jujuy, en asociación con un conjunto de empresas privadas, ha iniciado la construcción de una planta fotovoltaica de 300 Megavatios en la localidad de Cauchari, departamento de Susques, provincia de Jujuy. Dicha planta fotovoltaica es considerada uno de los emprendimientos tecnológicos más significativos en Sudamérica en la actualidad [1].



Asimismo, las condiciones favorables de irradiación solar en la región geográfica de Cauchari (Puna jujeña) posibilitan un excelente recurso solar para la generación eléctrica durante todo el año. Sin embargo, la futura búsqueda de mejoras en la eficiencia de instalaciones fotovoltaicas de paneles fijos podría estar dirigida al control automático de la orientación de los paneles fotovoltaicos a través de sistemas de seguimiento de la trayectoria solar. Para tal fin, este trabajo introducirá los conceptos básicos de centrales térmicas solares.

Centrales de energía termosolar

Actualmente la conversión de energía solar térmica en energía eléctrica se efectúa utilizando colectores de alta temperatura constituidos por un esquema de espejos instalados en una disposición semicircular. De hecho, dicha conversión es denominada conversión por centrales eléctricas termosolares de potencia.

Específicamente, una central eléctrica termosolar utiliza el sistema de espejos para calentar un fluido a alta temperatura. Después, dicho fluido transporta el calor hacia un sistema de calderas que generan vapor. Seguidamente, dicho vapor impulsa una turbina y finalmente esta última mueve un generador eléctrico.

Usualmente, estas tecnologías de energía termosolar concentrada presentan cuatro componentes: un concentrador óptico, un receptor solar, un sistema de transporte y un sistema de generación eléctrica.

Seguidamente, en este trabajo se describe uno de los ejemplos de centrales termosolares más significativos: el sistema de concentración de Torre Central por campo de heliostatos.

Concentradores de torre central por campo de heliostatos

En la actualidad, los heliostatos han sido utilizados en las plantas de generación de energía termosolar con sistema concentrador de torre central y con campo semicircular de heliostatos. La Fig. 1 describe una moderna planta de generación térmica solar de 24 horas de periodo de trabajo, construida en España.

Chaib et al. [5] señala que un heliostato utiliza un conjunto de punteros solares basados en dos ejes para reflejar la energía del sol hacia un punto específico, localizado en la torre de concentración. Los sensores del heliostato siguen el movimiento del sol durante todo el día y el año [3] (Ver Figura 2). Asimismo, un sistema de control mantiene los espejos de los heliostatos alineados para reflejar los rayos del sol hacia el receptor [4].



Figura 1 – Planta termosolar “Gemasolar” de 24 horas, Fuentes de Andalucía, España (National Geographic España [2]).

Yanpavlis et al. [6] afirma que la inclusión de heliostatos para la mejora de la generación eléctrica de paneles fotovoltaicos estáticos podría producir sombreados parciales en los mismos. El efecto de dichos sombreados se expresa en una disminución significativa de la potencia eléctrica de salida en dichos paneles fotovoltaicos. Esta disminución puede ser morigerada por la selección óptima del tamaño de los espejos del heliostato utilizado. Adicionalmente, la instalación de heliostatos para los sistemas de generación de energía solar origina el problema de diseño denominado “selección óptima de la altitud del receptor” de energía solar.

Posteriormente, el trabajo describe el sistema de orientación de los heliostatos efectuado por un robot manipulador.

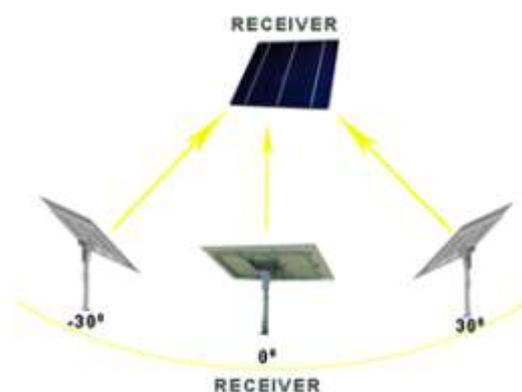


Figura 2 - Visualización de Heliostatos a diferentes ángulos (Yanpavlis et al [6]).



Robot manipulador para heliostatos

Una de las posibles soluciones para incorporar un sistema de orientación automático destinado a los heliostatos es utilizar un robot manipulador de dos grados de libertad. Chaib et al. [5] argumenta que cada heliostato posee su propio sistema de navegación, el cual consiste de un sistema robótico de dos grados de libertad. Dichos grados de libertad están constituidos por dos articulaciones rotacionales (Fig. 3). La primera articulación sigue el ángulo azimuth del sol durante todo el día y durante todo el año. La segunda articulación solamente sigue la altitud del sol.

El modelo de cinemática directa aplicado a los robots con dos grados de libertad para controlar la orientación de los heliostatos está representado en la Figura 3.

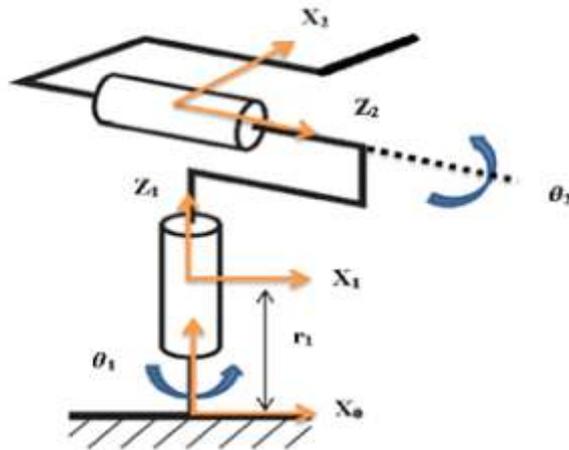


Figura 3 - Modelo de robot manipulador con 2 grados de libertad (Chaib et al [5])

Para tal fin, este modelo utiliza una transformación homogénea que se describe por una matriz numérica. Específicamente, la transformación homogénea es una herramienta matemática para describir operaciones de rotación y de traslación respecto a un modelo de cinemática directa. El procedimiento para encontrar la cinemática directa del modelo de robot manipulador es realizado utilizando la convención de Denavit-Hartenberg (Fig. 4).

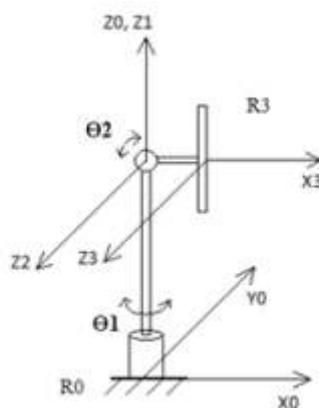


Fig. 4 - Cinemática directa del robot manipulador de dos ejes (Chaib et al. [5])



A continuación, la transformación homogénea en su forma matricial para el manipulador de dos ejes del heliostato es la siguiente:

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} C1.C2 & -C1.S2 & S1 & d2.C1.C2 \\ S1.C2 & -S1.S2 & -C1 & d2.C2 \\ S2 & C2 & 0 & d2.S2 + r1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde los símbolos C y S siguientes significan:

$$C_i = \cos \theta_i$$

$$S_i = \sin \theta_i$$

Es necesario puntualizar que el propósito del sistema de control descrito es alinear el eje X3 (Eje normal del heliostato) con la radiación solar.

A la postre, el trabajo enumera algunos trabajos de investigación sobre los sistemas de control lazo cerrado para orientación de los heliostatos.

Investigaciones sobre los sistemas de control de lazo cerrado de heliostatos

Brevemente, los sistemas de seguimiento solar de lazo cerrado utilizan los principios de control por realimentación. Las entradas (sensores) de este sistema de seguimiento son transferidas a un sistema de control que manipula las salidas (actuadores) del sistema de orientación de los heliostatos.

El sistema de control de lazo cerrado de la orientación de un heliostato involucra la determinación de la posición del sol, la posición y la altura del receptor y las variaciones causadas por los fenómenos naturales en la inclinación. Por ello, existen diversos trabajos de investigación que han explorado aspectos variados.

Maish [7] desarrollo un sistema de seguimiento solar para uno y dos grados de libertad en una aplicación de bajo costo. Los resultados experimentales muestran que este sistema de control alcanzo una precisión de +/-0,1°.

Enslin [8] aplico los principios de seguimiento del punto máximo de potencia (MPPT). Estos sistemas de seguimiento (MPPT) consisten de dos componentes: a) un inversor, b) un sector dedicado al control.

Brown y Stone [9] desarrollaron un sistema MPPT para concentración de energía con un sistema de redes neuronales para controlar el error de seguimiento por compensación.

Abdallah et al [10] muestra una mejora máxima del 44% en potencia eléctrica generada cuando compara este sistema con seguimiento solar con otro que no lo posee.



Resultados experimentales

Chaib et al [5] sostiene que un sistema compuesto por un heliostato y un robot manipulador de dos grados de libertad constituye una alternativa válida para la mejora de la eficiencia de los sistemas de concentración solar. De hecho, la evidencia experimental hallada por este investigador sugiere que el consumo de energía de este sistema mixto solamente representaría el 3,5% de la energía total producida por la planta de generación solar concentrada con campo de heliostatos.

Yanpavlis et al [6] argumenta que el uso de heliostatos puede fácilmente generar sombreados parciales en los paneles fotovoltaicos si no se tiene especial atención en el dimensionamiento de los espejos del heliostato. Asimismo, los investigadores muestran que la utilización de los mismos, para aplicaciones de consumo eléctrico de una vivienda, puede incrementar la energía anual generada entre un 20% a un 30%.

En resumen, la performance de los algoritmos de los sistemas de seguimiento solar muestra que el error existente en la orientación fue disminuyendo desde un grado hasta valores de 0,01 grados. Adicionalmente, la ganancia en la producción de energía fue incrementándose desde 10% hasta alcanzar el 44% cuando la comparación fue efectuada con un sistema sin seguimiento solar. La Tabla 1 detalla los algoritmos utilizados y sus referencias con los errores obtenidos y las ganancias de producción de energía.

Tabla 1 - Performance de los Algoritmos de Control de Sistemas de Seguimiento Solar ([7][8][9][10])

Referencias de Algoritmos de Control para Seguimiento Solar		Error	Ganancia en Producción de Energía comparada con un Sistema sin Seguimiento Solar
Control de Lazo Cerrado	Maish (1990)	1°	-
	Enslin (1992)	-	10 – 15%
	Brown <i>et al.</i> (1993)	<0,01°	-
	Abdallah (2004)	-	15 – 44%

Conclusiones

Los sistemas de control de orientación de los heliostatos poseen un rol central en la búsqueda de eficiencia de los concentradores de Torre Central. Uno de los dispositivos utilizados para orientar un heliostato son los robots con un sistema de control de dos ejes. De hecho, la utilización de un robot manipulador para la orientación del heliostato es una experiencia ya comprobada.

Asimismo, los heliostatos se han utilizado también en otro tipo de plantas como las de naturaleza fotovoltaica. Sin embargo, el diseño de los espejos debe ser cuidadoso para no generar sombras parciales en los paneles receptores hijos.



Finalmente, el sistema de control de orientación para los heliostatos ha sido estudiado por numerosos investigadores y sus resultados muestran una precisión en la orientación de los espejos del orden de 1º respecto al sol. Debido a ello, este trabajo sugiere continuar investigando la tecnología de control de los heliostatos con el objetivo experimental de implantar un prototipo en la puna jujeña.

Referencias

- [1] Jujuy al Momento. (2017). “Comenzó el Camino hacia la Producción de Energía Solar”. descargado de <http://www.jujuyalmomento.com/post/67908/comenzo-el-camino-hacia-la-produccion-de-energia-solar>
- [2] National Geographic España. Gemasolar, energía non stop. http://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/gemasolar-energia-non-stop_5047
- [3] Ferriere, A.; Flamant, G. Captation, Transformation et Conversion de l'energie Solaire par la technologie a concentrarion. Tjeme 7. Solaore Technique. 2002.
- [4] Abdellah, K. Les centrales solaires a tour: perspectives en Algerie. Bulletin des energies renouvelables N° 20. 2011. Pp. 22.
- [5] Chaib, A.; Kesraoui, M.; Kechadi, E. Heliostat Orientation System using a PLC based Robot Manipulator. Eight International Conference and Exhibition on Ecooogical Vehicles and Renewable Energies (EVER). IEEE. 2013.
- [6] Yanpavlis, V.; Suzdalenko, A.; Stepanov, A. Dzelzkaleja, L. Analysis of Using a Heliostat with Non-Rotating Solar Energy Receivers. 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). IEEE. 2014.
- [7] Maish, A.B. Perfomance of a self-aligning solar array tracking controller. In Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Kissmimiee, FL, USA, May 21-25, 1990.
- [8] Enslin, J.H.R. Maximum power point tracking: a cost saving necessity in solar systems. Renewable Energy. 1992, 2, pp. 543-549
- [9] Brown, D.G.; Stone, K.W. High accuracy/ low cost tracking system for solar concentrators using a neural network. In Proceedings of the 28th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Atlanta, GA, USA, Aug. 8-13, 1993.
- [10] Abdallah, S. The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. Energ. Convers. Manage. 2004, 45, pp. 1671-1679.