

Diseño de una Interfaz Hombre – Máquina para un Sistema Disco Stirling

Daniel Monferrán^{1,2}, Daniel Zambrano¹, Gustavo Jiménez Placer^{1,3}, Gustavo Real¹

¹Universidad Nacional de General Sarmiento - Instituto de Industria

¹Juan María Gutiérrez 1150, (1613) Los Polvorines, Buenos Aires, Argentina

²Universidad Tecnológica Nacional-FRD

³Universidad Abierta Interamericana

{dmonferr, dzambrano, gplacer, greal}@campus.ungs.edu.ar

Abstract

The development of the unconventional energy sources application that can reduce the dependence on oil, is one of the driving forces of applied research in this century. Within these energy sources it is possible to highlight the advances made in the energy area that involves the use of solar energy. In this sense, a particular option is the use of this source in a thermal machine, specifically an external combustion engine as such as the case of the Stirling cycle engine. Given the need to improve the energy efficiency of this system, Disco-Stirling type solar concentrators have been successfully applied, obtaining very good results.

The objective of this work is the development of a monitoring software and its graphical user interface with didactic purposes to control the movement of a Disco-Stirling with solar tracker that makes use of a single C.C. for its displacement. The rotation of the solar tracker with equatorial mount is given by an inclined axis. The interface has developed an algorithm designed to reduce the electrical energy consumed by the C.C. in a day of solar tracking.

The development of this monitoring software and its interface is implemented within the framework of a research process, with precise objectives regarding the development of hardware and free software. For this reason, applications with microcontrollers have been developed on a data acquisition board developed at the university as well as open programming languages. The monitoring software communicates with the board to take data and control the solar tracker, in such a way to become independent of commercial systems type PLC (programmable logic controller).

Resumen

El desarrollo de la aplicación de fuentes energéticas no convencionales que puedan disminuir la dependencia del petróleo, es uno de los motores de la investigación

aplicada en este siglo. Dentro de estas fuentes energéticas es posible destacar los adelantos realizados en el área energética que implica el aprovechamiento de la energía solar. En este sentido, una opción particular es la utilización de esta fuente en una máquina térmica, específicamente un motor de combustión externa como en el caso del motor de ciclo Stirling. Dada la necesidad de mejorar la eficiencia energética de este sistema, se han aplicado con éxito, los concentradores solares de tipo Disco- Stirling, obteniendo muy buenos resultados.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un software de monitoreo y su interfaz gráfica de usuario con fines didácticos para controlar el movimiento de un Disco-Stirling con seguidor solar que hace uso de un único motor de C.C. para su desplazamiento. El giro del seguidor solar con montura ecuatorial está dado por un eje inclinado. La interfaz tiene desarrollado un algoritmo destinado a reducir la energía eléctrica consumida por el motor de C.C. en un día de seguimiento solar.

El desarrollo de este software de monitoreo y su interfaz se implementa en el marco de un proceso de investigación, con objetivos precisos en cuanto al desarrollo de hardware y software libre. Por este motivo, se han desarrollado aplicaciones con microcontroladores sobre una placa de adquisición de datos desarrollada en la universidad así como los lenguajes de programación abiertos. El software de monitoreo se comunica con la placa para tomar datos y controlar el seguidor solar, de tal modo de independizarnos de sistemas comerciales tipo PLC (Controlador lógico programable).

1. Introducción

Existe una extensa producción de publicaciones vinculadas a los sistemas de concentradores solares de tipo parabólicos [1] [2] [3].

Se han desarrollado diferentes sistemas que permiten el control de seguidores solares; en [4] se diseña un

seguidor solar a dos ejes por punto luminoso, en [5] se desarrolla un seguidor de “Punto de Máxima Potencia, (PMP)”, en [6] se presenta un algoritmo que controla un seguidor de dos ejes.

En la universidad se diseñó y se implementó, un concentrador solar tipo *DS*.

En principio es un seguidor solar con montura ecuatorial, el giro del seguidor está dado por un eje inclinado. En la estructura soporte del seguidor solar está montado un paraboloide espejado destinado a concentrar la energía solar y un motor térmico de ciclo cerrado regenerativo con un fluido gaseoso permanente denominado motor Stirling, en este montaje el intercambiador de calor del motor Stirling recibe energía del concentrador parabólico. Al conjunto ‘paraboloide concentrador - motor Stirling’ se lo denomina “Disco Stirling, (*DS*)”

Para la realización del giro ecuatorial se utiliza un motor de C.C., que es controlado por el sistema denominado “Sistema de Monitoreo Disco Stirling, (*SMDS*)” desarrollado específicamente para este propósito. *SMDS* envía órdenes a una unidad conformada por una “Placa Adquisidora de Datos y Actuador, (ACQ)”, la placa ejecuta las órdenes del *SMDS* mediante la conmutación de los contactos de sus relés de salida, y modifica el estado de movimiento del motor de C.C. que conecta con una fuente de tensión por medio de esos contactos. El sistema *SMDS* cuenta con una interfaz gráfica que permite el control manual o automático del movimiento del *DS*. El motor Stirling montado en la estructura es el encargado de transformar la energía solar térmica en energía mecánica y mediante su movimiento acoplado a un generador, permite obtener energía eléctrica. El *DS* tiene un movimiento de rotación en eje ecuatorial y realiza el seguimiento del movimiento solar mediante el giro de su eje en un sentido u otro en el plano ecuatorial. La orientación del disco está determinada por la cantidad de energía solar detectada por dos sensores foto resistivos “Light Dependent Resistors, (LDR)” montados en la estructura y que acompañan el movimiento del disco.

Para el *DS* el objetivo del seguidor solar no es mantener al dispositivo en la posición de enfoque solar sino garantizar la continuidad del movimiento del motor Stirling. Con este concepto surge la idea de desarrollar un algoritmo particular para este tipo de dispositivo a los efectos de reducir la energía eléctrica consumida en un día de seguimiento solar por el motor de C.C. que da movimiento al seguidor solar.

1.1. Justificación

Esta línea de investigación se inserta en el proyecto titulado ‘Desarrollo de Laboratorios Experimentales y

Didácticos para la Investigación y Enseñanza de Energías Renovables’ de la Universidad.

1.2. Desarrollo

Para un mejor entendimiento del proceso que ha llevada al desarrollo de una interfaz hombre – máquina (HDMI) que permite el control del conjunto *DS*, se ha dividido el desarrollo en secciones. En la Sección II se describen los componentes que intervienen en el control del *DS*. En la Sección III se describe la metodología. En la Sección IV se describen las etapas del seguimiento solar. En la Sección VI se detallan las conclusiones.

2. Componentes

El “Sensor Solar, (*SS*)” es una unidad modular construida con los dos LDR. El *SS* se encarga de transformar la radiación que se proyecta sobre la superficie de la parábola en valores de tensión.

La “ACQ” lee periódicamente el estado del *SS* conectado a sus canales de entrada y envía esos datos al *SMDS* por comunicación USB cuando el *SMDS* lo solicita.

Modifica el estado de movimiento del motor de C.C. mediante la conmutación de relés con contactos que conectan al motor con la fuente de alimentación de acuerdo a lo solicitado por el *SMDS*

Escucha periódicamente la entrada de órdenes del *SMDS* por comunicación USB

El *SMDS* permite que el usuario controle remotamente los movimientos del *DS* y monitoree el estado del motor de C.C. y del *SS*.

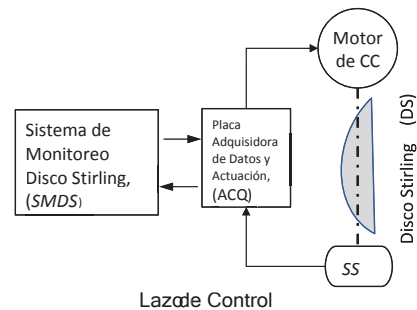


Fig. 1. Diagrama en bloques del lazo de control para el sistema *DS*

El *SMDS* recibe información de la ACQ, interpreta los estados de tensión del *SS* y decide si se corrige la posición del concentrador mediante rotación en el plano

ecuatorial hacia la posición de enfoque o “Punto de Máxima Potencia, (PMP)”. Es decir que de acuerdo al estado de tensión del *SS* el *SMDS* toma las decisiones programadas de ir hacia el oriente u occidente y envía las órdenes a la *ACQ*. Fig. 1

El *SMDS* ha sido desarrollado en Python, software bajo licencia de código abierto.

Los sistemas *SMDS* y *ACQ* son desarrollos propios de la universidad. De esta forma, se mantiene cada uno de los dos componentes en su área de especialización y con el objetivo de futuros desarrollo de tipo colaborativo, ya que se trata de sistemas “abiertos”. El *SMDS* realiza el análisis de los datos, su interpretación y la consecuente toma de decisiones, mientras que la *ACQ* traduce en tiempo real los parámetros y ejecuta las acciones solicitadas por el *SMDS*. Por medio de un puerto de conexión USB, el *SMDS* se comunica con la *ACQ* y constituyen la unidad de control del sistema. Fig. 2

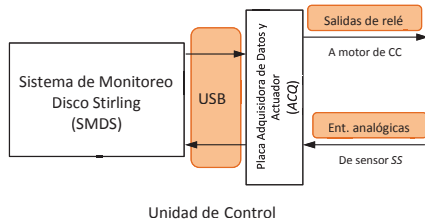


Fig. 2. Diagrama en bloques de la unidad de control

3. Paneles de la Interfaz

En la Fig. 3 se muestra el panel “Setting Panel” desde el que se puede asignar valores a algunos de los parámetros mencionados. En “Solar parameters” se puede asignar la hora de inicio y la hora de finalización del ciclo de seguimiento solar. En “Disc Parameters” recalcula la velocidad angular del *DS*.

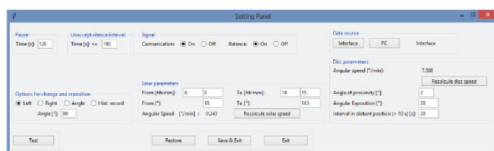


Fig. 3. *SMDS*: Panel de configuración de parámetros

En la Fig. 4 se muestra el panel “Communication PC - Control Loop” desde donde se inicia el ciclo de

seguimiento solar. Se puede decidir el sentido de giro del *DS* para alcanzar la posición de inicio, el sentido de giro para el seguimiento solar será el opuesto. En “Solar parameters” se puede observar la hora de inicio y la hora de finalización del ciclo de seguimiento solar fijadas en el panel “Setting Panel”.

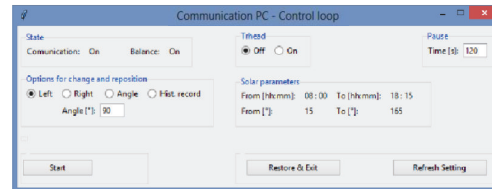


Fig. 4. *SMDS*: Panel de inicio del seguimiento solar

En la Fig. 5 se muestra el estado de los sensores y el motor de C.C. a intervalos regulares fijados en el panel “Setting Panel”. Se pueden observar también los valores estimados de los ángulos de desplazamiento del sol y del *DS*; Motor 1 (sentido 1) y Motor 2 (sentido 2) hace referencia al sentido de giro asignado al motor de C.C. en cada instante.

En la Fig. 6 se muestra el desplazamiento del *SS* en un día de seguimiento solar

4. Metodología

Con el objetivo de reducir el consumo de energía consumida por el motor de C.C., se reduce el número de veces que el motor arranca y se detiene durante el seguimiento solar. Para ello se determina empíricamente un “Tiempo de exposición solar con motor detenido (TED)”, de modo tal que no se interrumpa el movimiento del motor Stirling mientras es sol se desplaza de la posición de enfoque.

El *SMDS* consulta periódicamente la hora del sistema operativo (SO) y compara con la hora de inicio configurada y grabada en archivo. Si la hora del SO coinciden con la hora de inicio, el *SMDS* envía a la *ACQ* la orden de encendido y sentido de giro del motor de C.C. hacia la posición de inicio, POS_01. Cuando el *DS* se ubica en su posición de inicio, el *SMDS* ordena la parada del motor de C.C.

Detalle									
Data list Source: PC									
Start: 30-03-2018 03:44:27									
30-03-2018 03:44:42	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 16,79	Ang sol : 30,70					
30-03-2018 03:44:42	Motor 1 : 1	Motor 2 : 0							
30-03-2018 03:44:40	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 16,38	Ang sol : 30,60					
30-03-2018 03:44:40	Motor 1 : 1	Motor 2 : 0							
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 1	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 15,98	Ang sol : 30,50					
30-03-2018 03:44:38	Motor 1 : 1	Motor 2 : 0							
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 1	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 15,98	Ang sol : 30,50					
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 1	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 15,98	Ang sol : 30,50					
Encuentro en enfoguePasado									
Encuentro la posición stop 1 - 30-03-2018 03:44:38									
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 1	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 15,98	Ang sol : 30,50					
30-03-2018 03:44:38	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 16,38	Ang sol : 30,60					
30-03-2018 03:44:38	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
30-03-2018 03:44:38	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 16,79	Ang sol : 30,70					
30-03-2018 03:44:38	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
30-03-2018 03:44:35	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 17,19	Ang sol : 30,20					
30-03-2018 03:44:35	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
30-03-2018 03:44:29	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 17,59	Ang sol : 30,10					
30-03-2018 03:44:29	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
30-03-2018 03:44:27	Sensor pos1 : 0	Sensor pos2 : 0	Ang diaz : 18,0	Ang sol : 30,0					
30-03-2018 03:44:27	Motor 1 : 0	Motor 2 : 1							
Encuentro en enfoguePasado									
Init									

Fig. 5. SMDS: Detalle de estados durante el seguimiento solar

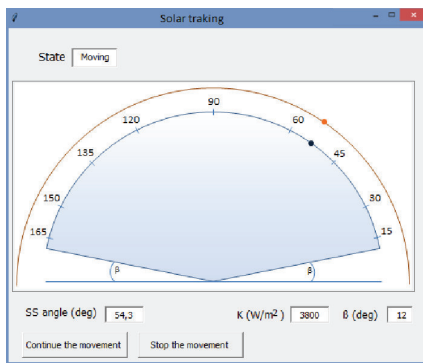


Fig. 6. SMDS: Detalle de la posición del SS

El SMDS espera un tiempo TED mientras el sol se desplaza superando el PMP, luego envía a la ACQ la orden que inicia el giro del DS hacia el PMP, alcanzada la posición PMP el SMDS envía a la ACQ la orden que detiene nuevamente el giro del DS.

Cuando el DS alcanza la posición extrema POS 02. El SMDS envía a la ACQ la orden que detiene al DS.

El SMDS controla periódicamente que el seguimiento solar se realice dentro del período establecido, Fig. 7.

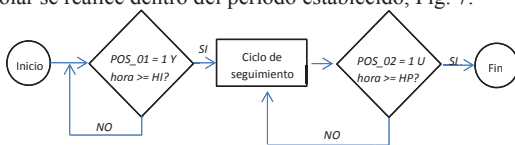


Fig. 7.

Parábola en movimiento: El SMDS solicita periódicamente información a la ACQ del estado de todos los sensores y aplicando el concepto de primera

derivada sobre los valores de intensidad detectados por el SS, determina el momento en que el DS enfoca al sol, es decir, se alcanza el PMP.

Parábola detenida: El período de espera finaliza cuando se determina que el tiempo transcurrido desde el PMP coincide con el tiempo TED.

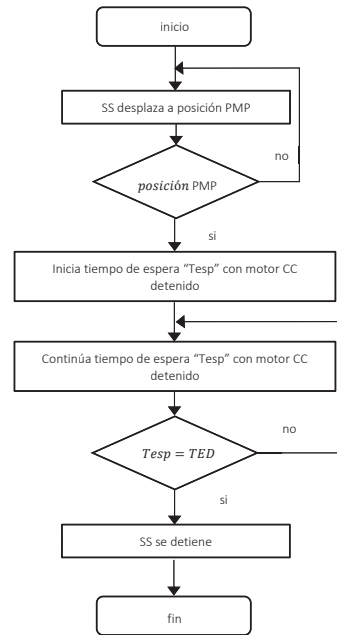


Fig. 8. Ciclo de seguimiento

5. Resultados

En una primera etapa se realizaron ensayos en modo simulación. Desde el panel "Setting Panel" por cada grupo de ensayos se modificaron los valores de los parámetros que configuran y condicionan el comportamiento del SMDS. Se corrigieron errores y finalmente el SMDS realizó correctamente los ciclos de seguimiento solar independientemente de la configuración adoptada. En una segunda etapa en modo real se conectó la SMDS con la ACQ y se repitieron los ensayos. Pudo observarse la correcta respuesta de la ACQ a lo solicitado por la SMDS, estado de los sensores y modificación del estado del motor de C.C. Siendo que el módulo SS está en proceso de construcción, se utilizó un circuito divisor de tensión para simular la SS.

6. Conclusiones

Con los recursos disponibles en la universidad, fue posible el desarrollo de los sistemas de seguimiento solar mediante software y hardware libre lo que favorece los futuros desenvolvimientos tanto en esta área específica como en la aplicación de sistemas de control genéricos, de modo abierto y colaborativo, lo que reduce considerablemente los costos de implementación. Este dará comienzo a la aplicación de sistemas de control dentro de las PyMes que no cuentan con los recursos técnicos y económicos que serían necesarios para las mismas implementaciones con soluciones comerciales.

Por otra parte, una vez construida la *SS* y con la realización de ensayos del sistema de control con la unidad *SS* montada en la estructura soporte, permitirán nuevos ajustes para la determinación del valor del *ALES* y el análisis de la influencia del nivel medio de radiación con ese valor. Del mismo modo se realizarán ajustes en la determinación del *PMP* en relación con la sensibilidad que presente el *SS* a las variaciones de los niveles de radiación solar que reciba. Se prevé como trabajo futuro la lectura y el análisis de los niveles de radiación solar y la determinación de la eficiencia del sistema.

7. Referencias

- [1] A.R. El Ouederni, M. Ben Salah , F. Askri , M. Ben Nasrallah4 and F. Aloui, Experimental study of a parabolic solar concentrator, *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 12, pp. 395–404, 2009.
- [2] B. Chaouchi, A. Zrelli and S. Gabsi, Desalination of brackish water by means of a parabolic solar concentrator, *Desalination Elsevier*, vol. 217, pp. 118–126, 2007.
- [3] Q. Mao, Y. Shuai and Y. Yuani, Study on radiation flux of the receiver with a parabolic solar concentrator system, *Energy conversion and management - Elsevier*, vol. 84, pp. 1–6, 2014.
- [4] N.M. Toranzo, A.L. Cervantes, L.L.O. Carralero, J.B. Henríquez and O.E. Costa, Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar, *Revista Científica de Ingeniería Energetica* , vol. 26, nro. 2, pp. 190–199, Ago. 2015.
- [5] S. Kim, B. Kim and M.J. Youn, New Maximum Power Point, Tracker Using Sliding-Mode Observer for Estimation of Solar Array Current in the Grid-Connected Photovoltaic System, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, Jun. 2006.
- [6] G. C.Bakos, Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement, *Renewable Energy*, vol. 31, nro. 15, pp. 2411–2421, , Dec. 2006