

---

## CONTROL DE POSICIÓN DE UNA CELDA SOLAR VÍA UNA FPGA

*C. Márquez-Sánchez<sup>1</sup>, M. Antonio Cruz<sup>1</sup>, R. Silva-Ortigoza<sup>1</sup>, Juan Carlos Herrera-Lozada<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> Instituto Politécnico Nacional, CIDETEC. Área de Mecánica. Unidad Profesional  
Adolfo López Mateos. C.P. 07700, México, D. F., MÉXICO.*

### Resumen

Este trabajo presenta el control de la posición de una celda solar por medio de una FPGA Spartan 3-E. A través de la tarjeta FPGA se controla el ángulo de giro en el plano vertical de un servomotor, con el propósito de orientar una celda solar en una posición deseada durante el transcurso del día, lo cual hace posible que dicha celda solar capte la mayor cantidad de energía. También, con la FPGA se controla la posición de un motor a pasos, que permite un desplazamiento angular de 360°, para ajustar la orientación de la celda solar en el plano horizontal.

### I. Introducción

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como celdas solares o fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica [1]. La energía producida por las celdas solares es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los problemas que afronta la Humanidad.

Actualmente, gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante, lo cual ha ayudado a que su uso sea cada vez más común en la industria y el hogar, aunque de menor manera en este último.

Las celdas solares deben orientarse en dirección al sol, conforme este último va cambiando su posición durante el día, para poder obtener la mayor energía. Ésto se puede lograr automatizando el movimiento de las celdas solares. Para tal propósito se diseñó un sistema digital con una FPGA Spartan 3-E [2].

Este trabajo está organizado de la siguiente forma, en la sección II se describe el problema de la orientación de una celda solar; mientras que, en la Sección III se presenta la descripción del sistema para controlar la posición de una celda solar y, finalmente, en la Sección IV se presentan las conclusiones.

### II. Orientación de la celda solar

En esta sección, en primera instancia, se presenta una breve descripción de una celda solar. Subsecuentemente, se plantea el problema relacionado con el control del posicionamiento de una celda solar de acuerdo al desplazamiento angular del sol durante el transcurso del día.

Una celda solar es un dispositivo que produce electricidad mediante un principio foto-electroquímico. La estructura de la celda consiste de dos electrodos planos (electrodo compuesto y simple) y un tinte que genera electrones al contacto con la luz. El electrodo compuesto está construido de nanocristales de dióxido de titanio depositado en vidrio conductor y el simple es básicamente un vidrio eléctricamente conductor.

La orientación de celdas solares debe ser preferentemente hacia el sur, esto es debido a que nos encontramos en el hemisferio Norte y al ángulo de inclinación que posee la tierra hacia el sol, la radiación solar máxima que se puede alcanzar es hacia la línea de Ecuador, que se encuentra en el hemisferio Sur, todo lo contrario a lo que sucede con el hemisferio Sur [1]. Se deben tener en cuenta dos factores determinantes: como se sabe, el sol se mueve de Este hacia Oeste y debido a ello, los paneles deberán estar orientados en la forma más conveniente, es decir, de manera perpendicular al sol. Actualmente, la mayoría de las celdas solares que son instaladas se colocan de forma fija, es decir que no cambian su posición en el transcurso del día, lo cual no permite captar una mayor cantidad de energía. Con el objeto de aprovechar al máximo la energía solar, es deseable seguir el movimiento del sol en todo momento. Para ello se diseñó el sistema descrito en el siguiente apartado.

### III. Descripción del sistema

En esta sección se describe el prototipo desarrollado para la solución del problema presentado en la Sección II. Además, se describen algunos de los componentes más significantes del prototipo.

El prototipo desarrollado está compuesto por un servomotor que puede mover una celda solar a cinco posiciones deseadas y distribuidas equidistantemente en un ángulo de 180°. Para desplazar la celda solar se emplea un sistema digital básico que está constituido por 5 fotorresistencias (LDR) convencionales colocadas a lo largo de una base curva. Las fotorresistencias están etiquetadas como s1, s2, s3, s4 y s5 (ver Figura 1) y dependiendo de cuál de éstas reciba la mayor incidencia de luz (natural o artificial, para las pruebas experimentales), el servomotor svm1 posicionará la celda solar (con ayuda de un brazo empotrado a su rotor) en el ángulo correspondiente (A, B, C, D y E). En este diseño, las 5 fotorresistencias se utilizan sólo como interruptores lógicos (0, 1). Acorde a la Figura 1, la posición inicial de la celda solar es la marcada con la letra "A", ya sea con presencia de luz y sin ella, así como con una mayor incidencia en s1. Si la luz incide con mayor intensidad en s2 entonces el servomotor svm1 deberá ir a la posición B. Si la mayor cantidad de luz incide en s3, svm1 debe asumir la posición

C y así sucesivamente. Si ya no incidiera luz en ningún sensor, el motor svm1 regresará a la posición A. En cualquier momento, la posición de svm1 estará supeditada por el sensor que esté activo. En la base del prototipo, se tiene un motor a pasos mtr2, que permite girar libre y horizontalmente la posición del servomotor del brazo (svm1), (izquierda o derecha), según el deseo de un operador humano, con la intención de un ajuste plano.

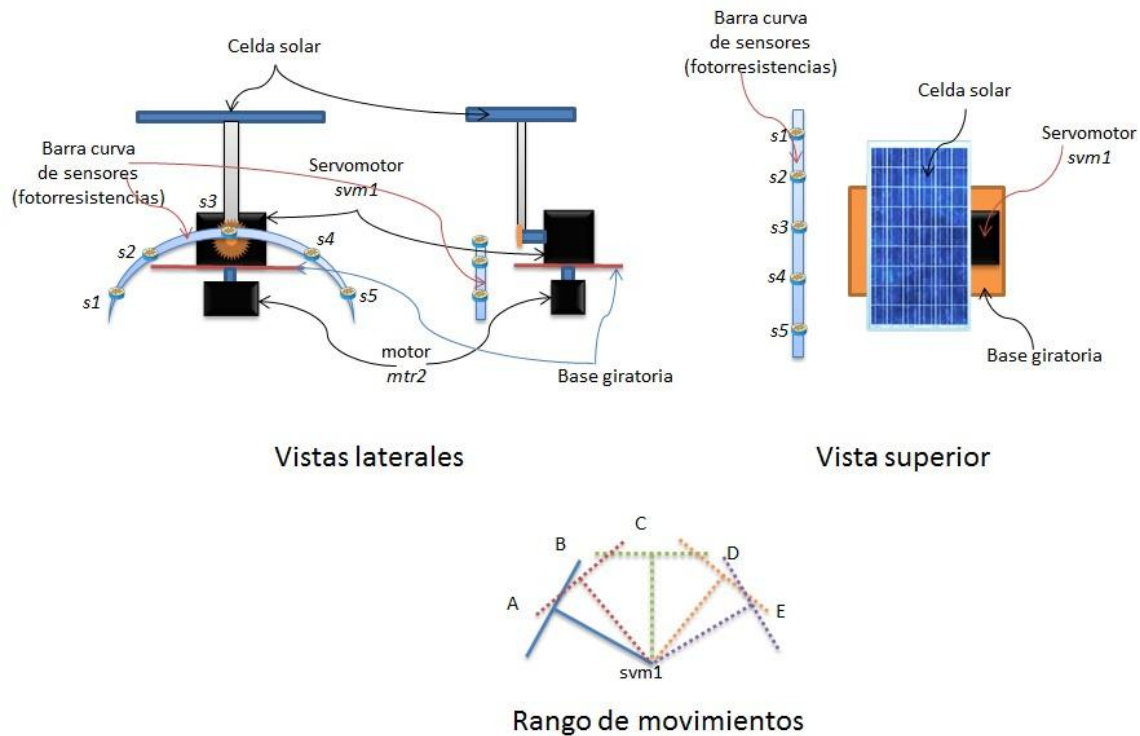


Figura 1. Diagrama del Sistema.

A continuación se describe el funcionamiento de manera general de cada uno de los componentes.

**Motor a pasos.** Los motores a pasos son muy utilizados para el desarrollo de mecanismos que requieren de una alta precisión. Este tipo de motores poseen la característica de permanecer fijos en una posición si una o más de sus bobinas están energizadas o bien totalmente libres si no existe corriente alguna circulando por éstas [3]. Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente, los cuales son los más utilizados en robótica: unipolares y bipolares. Para este proyecto se utilizó un motor unipolar de 0.9° por paso, marca VEXTA y modelo PK244M-03<sup>a</sup>, que se puede apreciar en la Figura 2.

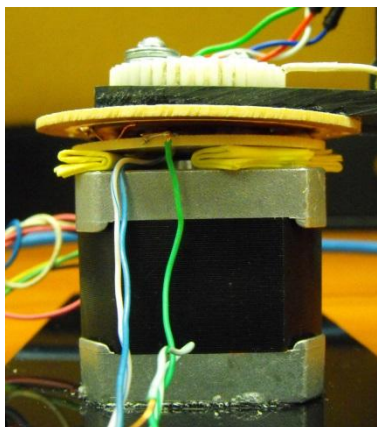


Figura 2. Motor a pasos.

**Servomotor.** Los servomotores son un tipo especial de motor que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación, entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ , [4]. Para ello, el servomotor espera un tren de pulsos que se corresponde con el movimiento a realizar. Para este trabajo se utilizó un servomotor de la marca Tower Pro, modelo SG-5010, el cual se muestra en la Figura 3.

**Fotorresistencia.** La fotorresistencia o LDR (Light-Dependent-Resistor), es una resistencia cuyo valor dependen de la energía luminosa incidente en ella. Así, cuando está en oscuridad su resistencia es alta y cuando recibe luz su resistencia disminuye considerablemente. Los valores de fotorresistencias utilizados fueron de  $2\text{ M}\Omega$  en la oscuridad y  $50\text{ K}\Omega$  máximos bajo influencia de la luz. En la Figura 4 se observa el arreglo de las fotorresistencias en su base. En cuanto a la celda solar que se ocupó tiene como características  $3\text{ Vcc}$  y  $120\text{ mA}$ .

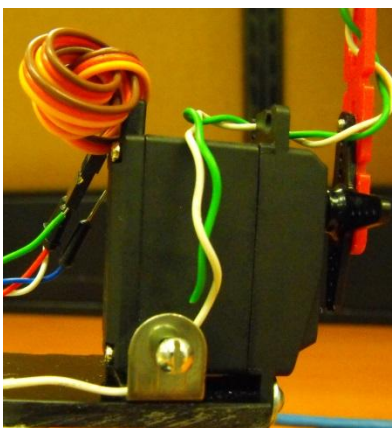


Figura 3. Servo motor.

Otros materiales que se ocuparon fueron una placa fenólica cuya aplicación es la de lograr giros de  $360^\circ$  en la base del servomotor sin que se enreden los cables que unen al servomotor con la tarjeta FPGA; esta última es el componente más importante, ya que se encarga del control del servomotor y el motor a pasos.



Figura 4. Fotorresistencias.

Por ultimo en la Figura 5 se muestra el sistema completo, en donde se aprecia en la parte izquierda la tarjeta Spartan 3-E, en el centro el servomotor unido a la celda solar, el motor a pasos sirve como base giratoria del servomotor y al extremo derecho las fotorresistencias en su base. Además un video del sistema en funcionamiento puede ser visto en:

<http://youtu.be/Mmt9T08xPMs>

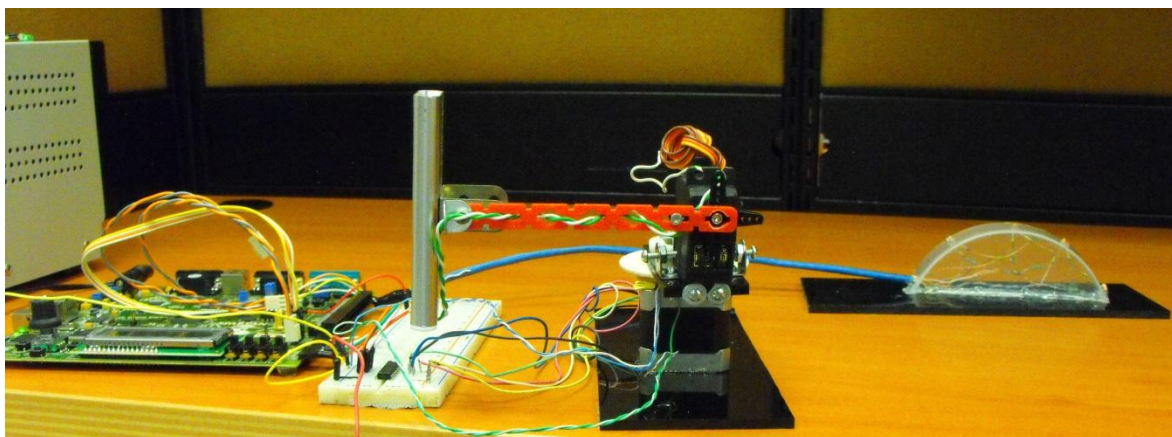


Figura 5. Sistema Final.

#### IV. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un sistema para controlar la posición de una celda. El sistema se puede dividir en tres partes: servomotor, motor a pasos y fotorresistencias. El servomotor es la parte que sirve para dar movimiento a la fotocelda y tiene un rango de movimiento de  $180^\circ$ , dicho movimiento dependerá de las fotorresistencias que se activen. El motor a pasos tiene como función dar el giro de  $360^\circ$  a la base del servomotor. En cuanto a las fotorresistencias, su conexión se configuró de tal forma que funcionaran como un interruptor (en presencia de luz equivale al estado de encendido y en ausencia de luz al estado de apagado). Todo esto fue controlado por medio de una tarjeta Spartan 3-E, mostrando que además de servir como herramienta didáctica tiene importantes aplicaciones en la vida cotidiana.

---

### Referencias

- [1] OECD/IEA. (2011). Solar Energy Perspectives. Recuperado el 28 de Octubre del 2013, de: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar\\_Energy\\_Perspectives2011.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf)
- [2] Xilinx Inc. (2013, July). Spartan-3E FPGA Family Data Sheet. Recuperado el 28 de Octubre del 2013, de: [http://www.xilinx.com/support/documentation/data\\_sheets/ds312.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds312.pdf)
- [3] Herrera-Lozada, J. C. (2007). Inversores de giro para motores a pasos en dispositivos de lógica programable. POLIBITS, México.
- [4] Voss, W. (2007). A Comprehensible Guide to Servo Motor Sizing. United States: Copperhill Technologies Corporation.