

## Control PID de seguidor solar híbrido

**Ing. Juan Pedro Cervantes De La Rosa**

Universidad Tecnológica de Puebla

[pedrocerv@yahoo.com.mx](mailto:pedrocerv@yahoo.com.mx)

**Dra. Hilda Esperanza Esparza Ponce**

Centro de Investigación en Materiales Avanzados

### Resumen

Se presenta el diseño y fabricación de un seguidor solar híbrido de dos ejes (rotación-elevación) didáctico, adecuado para mover un generador solar que aprovechará la concentración solar obtenida por refracción a través de una celda solar. Este generador debe ser capaz de calentar agua y producir electricidad a la vez. El sistema trabaja con motores controlados por medio de un controlador PIC. El algoritmo para el seguidor solar se desarrolló por medio de un control PID, calcula los ángulos de seguimiento primario y secundario del helióstato y los despliega en una pantalla. El microcontrolador está programado para controlar el funcionamiento de los motores de CD, los cuales mueven la celda solar. El seguimiento primario y secundario es el mismo para los equinoccios, mientras que para los solsticios son diferentes debido a que durante el verano en el hemisferio norte existe mayor altura solar que en invierno. El seguidor solar permite una captación más eficiente de la radiación solar debido a que sigue minuto a minuto el movimiento aparente del Sol.

**Palabras claves:** seguidor solar, control PID.

---

## Introducción

1. Muchos de los grandes problemas de actualidad tienen que ver con el medio ambiente, realmente tanto los países desarrollados como los países en vías de desarrollo han abusado de los recursos fósiles, alterando los ciclos ecológicos, produciendo lluvias ácidas y calentamiento global. Si se continúa por este camino, es seguro que terminaremos por destruir el medio ambiente, por ello, las investigaciones a la búsqueda de fuentes de energía alterna que pueden minimizar dichos problemas.

El potencial de energía solar en México es uno de los más altos del mundo, alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de  $5 \text{ KWh}/\text{m}^3$  al día

La generación de electricidad a partir de energía solar comúnmente se realiza mediante la utilización de dos tipos de sistemas fotovoltaicos (conversión directa) y termosolares (calentamiento de fluidos con ayuda de concentradores). Dado que los sistemas de conversión fotovoltaica, mediante celdas solares requieren de fuertes inversiones económicas, entonces, es de esperarse que su utilización sea lenta una alternativa para efectuar la conversión de energía solar a eléctrica, son los generadores termoiónicos. La operación de este tipo de generadores se basa en el efecto termoiónico los generadores termoiónicos, es que, estos sistemas requieren que el foco de concentración sea de precisión, y además que el sistema se mantenga enfocado durante todo el día.

De lo anterior se deduce que, un generador termoiónico solar requiere que se puedan conseguir altas densidades de radiación solar concentrada para alcanzar en un metal de área determinada las altas temperaturas necesarias para obtener la emisión de electrones. Esto a su vez requiere como consecuencia de un sistema de seguimiento solar de alta precisión.

## 2. METODOLOGÍA

Se utilizó el microcontrolador PIC 18F4620DE para controlar el movimiento del seguidor. Además se necesitará también un reloj en tiempo real (para la cuenta perfecta de horas, minutos y segundos), un potenciómetro angular (para medir el ángulo exacto de inclinación del panel en cada momento) y otros componentes para el diseño y correcto funcionamiento de la placa.

Se calculará la posición solar en cada minuto del día para cualquier día del año. Con esta información se podrá definir la posición del panel solar óptima para cada momento: el vector nominal al panel será lo más paralelo posible a los rayos del Sol.



Figura No. 1 Seguidor solar

Se tiene un sensor de posición angular este elemento es un traductor de posición angular, de tipo absoluto y con salida de tipo analógico. El potenciómetro angular es una resistencia fabricada con hilo metálico, el cual se encuentra bobinado sobre una pista de material aislante, en forma de arco, con un cursor fijo al eje de salida. De esta forma para determinar la posición angular para cada uno de los movimientos que realiza el seguidor solar y presentan un incremento lineal hasta alcanzar un valor máximo de  $1k\Omega$ ; cada uno

de los potenciómetros se fijo al eje correspondiente de elevación y azimut del sistema mecánico de seguimiento solar.

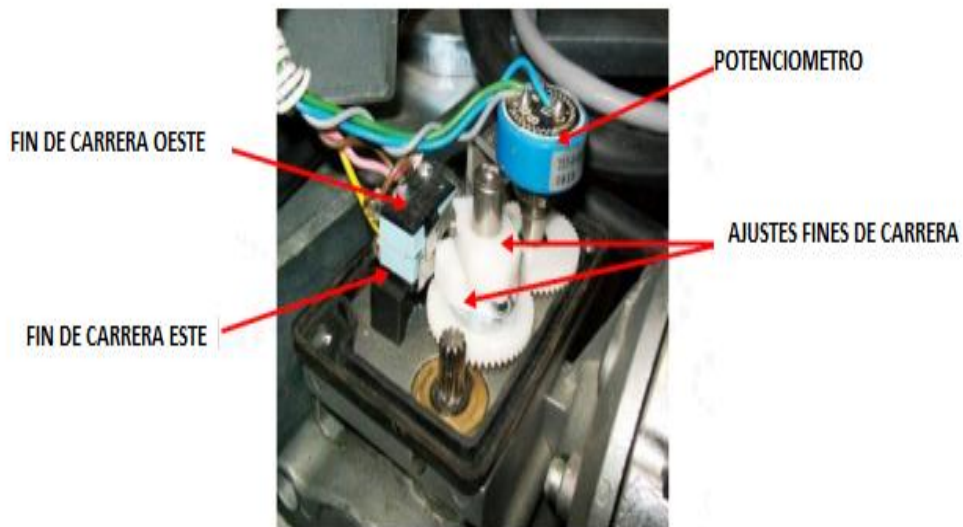


Figura No.2 Potenciómetros analógicos.

El sol está restringido a moverse con dos grados de libertad en la esfera celeste. En consecuencia, su posición en el firmamento queda descrita mediante dos variables angulares: la altura solar  $\alpha$  y azimut  $\gamma$  y a continuación se describe el diagrama de flujo de la posición como se describe en la figura 3

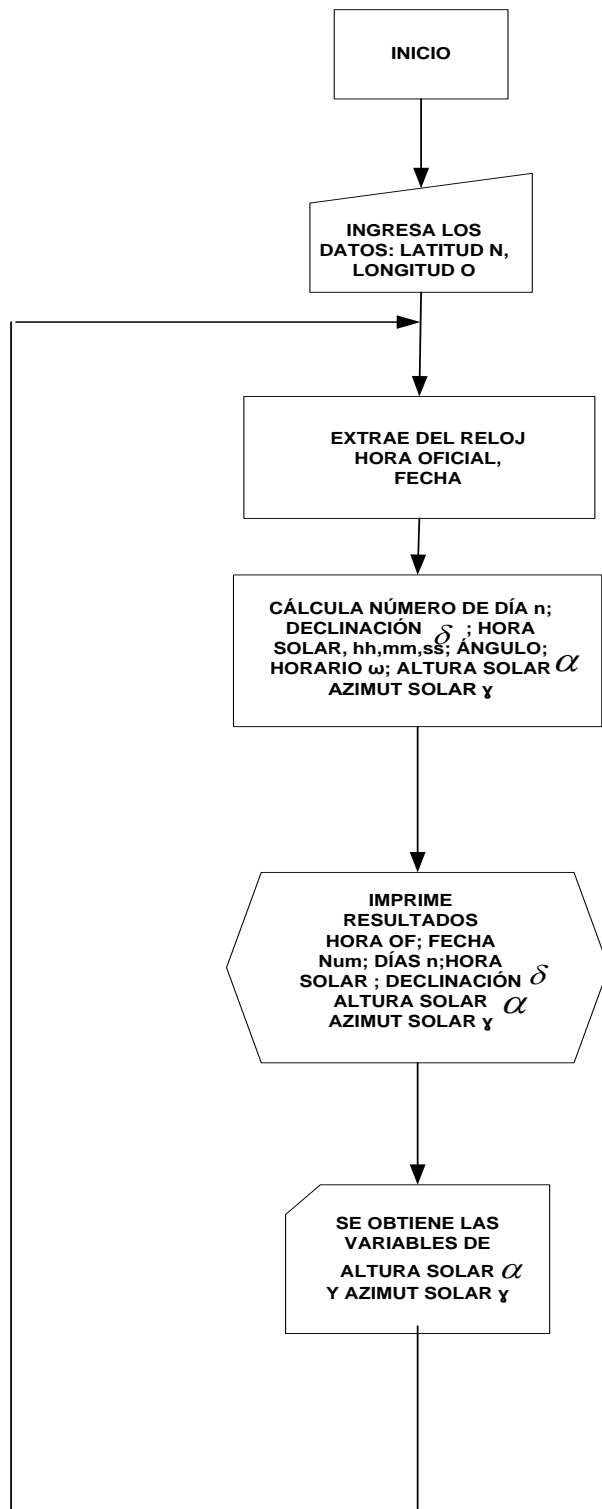


Figura No. 4 Diagrama de flujo de la posición solar en forma continua

En la figura 4 muestra el diagrama de flujo para la posición en forma continua la cual interviene el reloj de la computadora.

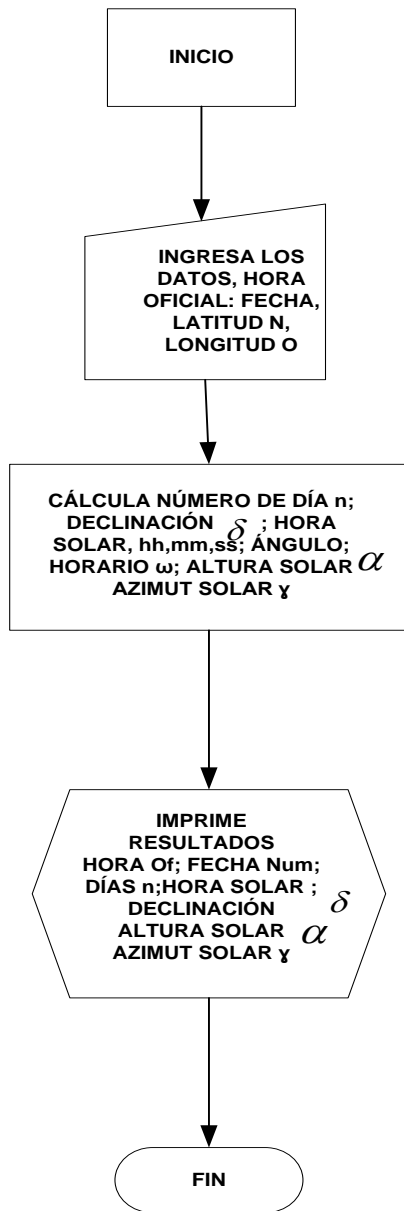


Figura No. 3 Diagrama de flujo de la posición solar

La implementación del algoritmo de control PID se emplea para llevar el sistema de seguimiento solar a la posición deseada; el algoritmo se emplea tanto para el movimiento de azimut como para el de elevación.

La técnica de implementación en el microcontrolador se realizó mediante una ecuación de diferencias donde aparecen involucradas los valores de  $e(k)$  en diferentes instantes.

El microcontrolador calcula los términos proporcional, integral y derivativo así como la suma algebraica de ellos. El valor de la respuesta de salida es enviada a un ciclo de trabajo (PWM) y dependiendo del signo de este valor, será el sentido de giro del motor de CD, esto permitirá obtener la posición deseada en el sistema mecánico de seguimiento solar. La implementación del algoritmo PID se muestra en el algoritmo de la figura No. 5.

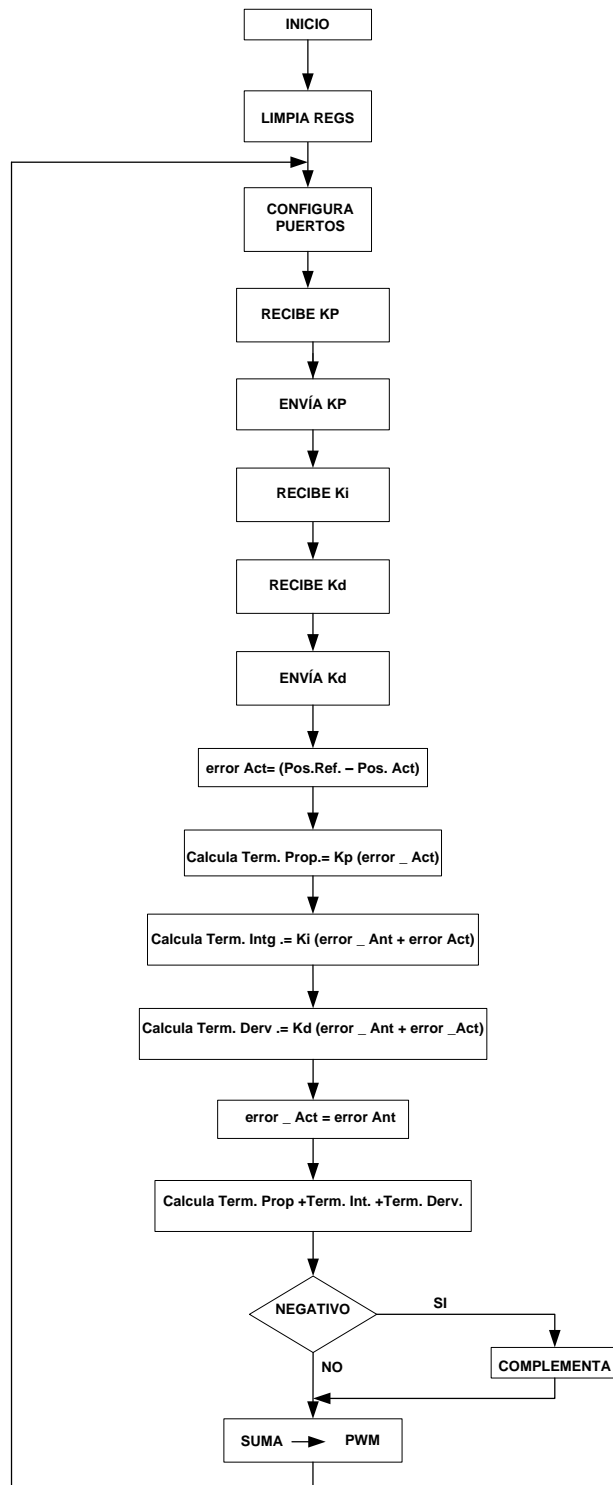


Figura No.5 Diagrama de flujo para el Algoritmo de control PID para el control de un motor de CD.



**RESULTADOS**

En esta prueba experimental se fueron tomando las lecturas de los valores para el posicionamiento del sistema mecánico correspondiente al el movimiento de Azimut ó giro

<b>RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MOVIMIENTO DE AZIMUT</b>			
<b>HORA OFICIAL</b>	<b>POSICIÓN EN ° CALCULADA PC</b>	<b>POSICIÓN EN ° DEFINIDA POR EL POTENCIOMETRO</b>	<b>POSICIÓN EN ° LEIDA EN EL MECANISMO</b>
11:00	152.80	152:00	152:00
11:06	154.40	153.20	155.00
11:17	158.33	156.09	159.00
11:27	161.25	160.31	162.00
11:37	164.91	163.12	165.00
11:47	172.11	165.94	171.00
11:58	175.65	170.16	174.00
12:07	179.03	174.37	178.50
12:17	181.29	178.00	180.50
12:27	182.70	180.00	182.00
12:32	184.49	182.00	184.00
12:37	186.60	183.50	186.00
12:47	190.00	186.00	187.00
12:57	193.57	189.00	193.00
13:05	196.00	192.00	197.00
13:15	199.40	194.66	200.00
13:27	203.60	198.28	204.00

13:35	206.20	202.09	207.00
13:45	208.90	205.31	210.00
13:55	211.96	208.00	213.00
14:05	214.18	210.94	215.00
14:15	217.06	212.34	218.00
14:25	219.42	215.00	220.00
14:35	221.71	217.97	223.00
14:45	223.96	220.78	225.00
14:55	226.28	222.19	227.00
15:05	228.00	225.00	228.00
15:15	229.59	226.00	230.00
15:25	231.26	227.00	231.00
15:35	232.71	234.03	233.00
15:45	234.39	236.25	234.00
15:55	235.90	239.00	237.00
16:05	237.37	236.25	239.00
16:15	238.45	236.25	238.50
16:30	240.40	239.00	240.00
16:45	242.11	241.00	241.00
17:00	243.75	243.00	242.00

Tabla No. 1 Resultados obtenidos para el movimiento Azimut

En esta prueba experimental se fueron tomando las lecturas de los valores para el posicionamiento del sistema mecánico correspondiente al el movimiento de Elevación

<b>RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MOVIMIENTO DE ELEVACIÓN</b>			
<b>HORA OFICIAL</b>	<b>POSICIÓN EN ° CALCULADA PC</b>	<b>POSICIÓN EN ° DEFINIDA POR EL POTENCIOMETRO</b>	<b>POSICIÓN EN ° LEIDA EN EL MECANISMO</b>
11:00	45.90	44.00	43.00
11:06	46.60	43.60	44.00
11:17	47.69	47.81	47.00
11:27	48.39	46.41	47.00
11:37	49.13	46.41	47.00
11:47	49.66	49.22	48.00
11:58	50.06	50.62	50.00
12:07	50.31	50.03	51.00
12:17	50.41	50.62	51.00
12:23	50.40	49.22	51.00
12.27	50.37	49.22	51.00
12:32	50.29	49.22	50.00
12:37	50.18	49.22	50.00
12:47	49.83	49.22	50.00
12:57	49.35	49.22	50.00
13:05	48.87	52.03	49.00
13:15	48.18	52.00	49.00
13:27	47.05	52.00	49.00

13:35	46.18	52.00	47.00
13:45	45.18	50.62	47.00
13:55	43.96	44.00	45.00
14:05	42.78	46.41	42.00
14:15	41.29	43.00	43.00
14:25	39.77	42.19	41.00
14:35	38.28	40.78	40.00
14:45	36.61	40.78	38.00
14:55	34.70	40.78	35.00
15:05	33.12	33.75	34.00
15:15	31.52	30.94	32.00
15:25	29.73	29.53	31.00
15:35	28.08	28.12	29.00
15:45	25.97	25.31	27.00
15:55	23.98	23.91	24.00
16:05	21.84	22.50	24.00
16:15	20.14	19.19	21.00
16:30	17.00	18.00	19.00
16:45	13.85	15.00	15.00
17:00	10.73	12.00	12.00

Tabla No. 2 Resultados obtenidos para el movimiento Elevación

## Conclusión

Se desarrollo un algoritmo para definir los parámetros más importantes que determinan la posición solar, los cuales constituyen por si mismos, un resumen de toda la geometría solar, los cuales constituyen por si mismos, un resumen de toda la geometría solar en relación con la posición del Sol referida a un punto sobre la superficie terrestre.

Se desarrollo en lenguaje ensamblador del PIC, el algoritmo correspondiente a la función de control PID, el cual permite manejar la interfaz de potencia que alimenta los motores de CD del sistema mecánico del seguimiento solar.

Se esta construyendo un colector solar térmico para anexarlo a la celda solar y constituya un seguidor solar híbrido para mayor aprovechamiento de la energía.

## Bibliografía

Bakos, G.C., Design and Construction of a Two-Axis Sun Tracking System for Parabolic Trough

Collector (PTC) Efficiency Improvement, Renewable Energy: 31(15), 2411-2421 (2006).

Duffie, J.A. y W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, 2aedición, 11-12. John Wiley

& Sons, Wisconsin, USA (1991).

Feina S.L. Manual de la instalación del seguidor Solar.

Microchip. [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

