

SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL CONTROL DE MOVIMIENTO DE UN SEGUIDOR SOLAR

ELECTRONIC SYSTEM FOR CONTROL POSITION OF A SOLAR TRACKER

Benjamín Valera Orozco

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México
benjamín.valera@icat.unam.mx

Gerardo Antonio Ruíz Botello

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México
gerardo.ruiz@icat.unam.mx

Rigoberto Nava Sandoval

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México
rigoberto.nava@icat.unam.mx

Oscar Gerardo Palomares Martínez

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México
gerardo.palomares@icat.unam.mx

Recepción: 28/octubre/2020

Aceptación: 2/diciembre/2020

Resumen

Un tipo particular de seguidor solar es el de dos grados de libertad en donde el dispositivo de captación, el concentrado solar, se posiciona activamente sobre la trayectoria solar conforme dos ángulos conocidos como altitud y azimut. En este trabajo se presenta el sistema electrónico desarrollado para un seguidor solar activo de dos grados de libertad para mover un concentrado solar con peso aproximado de 1000 kg. El sistema electrónico está construido con herramientas básicas de desarrollo con el objetivo de no depender de licenciamientos. El sistema electrónico controla dos motores a paso de alta corriente que generan los ángulos de altitud y azimut mediante el cálculo de las ecuaciones solares. Además, el sistema electrónico cuenta con conectividad al internet de las cosas. Se incluye un microcontrolador Arduino con algoritmos específicos para el control y comunicaciones. El sistema electrónico se encuentra en la etapa de depuración y posteriormente se integrará a los prototipos de concertadores solares finales.

Palabras Clave: Arduino, Internet de las cosas, Seguidor solar activo.

Abstract

A particular type of solar tracker is the two degrees of freedom where the capture device is actively positioned on the solar path according to two angles known as altitude and azimuth. This paper presents the electronic system developed for an active solar tracker of two degrees of freedom for moving a solar concentrator with a weight of approximately one ton. The electronic system is built with basic development tools in order not to depend on licensing. The electronic system controls two high-current stepping motors that generate the altitude and azimuth angles by calculating the solar equations. In addition, the electronic system has connectivity to the Internet of Things. An Arduino microcontroller with specific algorithms for control and communications is included. The electronic system is in the debugging stage and will later be integrated into the final prototypes of solar concentrators.

Keywords: *Arduino microcontroller, Internet of Things, Solar tracker.*

1. Introducción

En el aprovechamiento de la energía solar es común encontrar dispositivos concentradores de la irradiación natural del sol. Un ejemplo son los concentradores solares que producen energía eléctrica con base en celdas solares u hornos solares. Está comprobado que estos dispositivos incrementan su eficiencia al ser orientados hacia la máxima intensidad de irradiación solar determinada por el giro aparente del sol alrededor de la tierra.

Para los seres humanos es obvio que el sol sale en el amanecer por el este y describe una trayectoria circular durante el día hasta ocultarse por el oeste. La posición exacta del sol con referencia a una posición fija en la tierra esta descrita por las ecuaciones solares [Kalogirou, 2009] y comúnmente se utilizan los ángulos de altitud y azimut para apuntar desde esa posición fija en la tierra directamente hacia la trayectoria solar de máxima irradiación, como se muestra en la figura 1. Un mecanismo de ingeniería diseñado para apuntar a la dirección de máxima

irradiación solar entonces debe por lo menos poseer dos grados de libertad como se muestra en la figura 2.

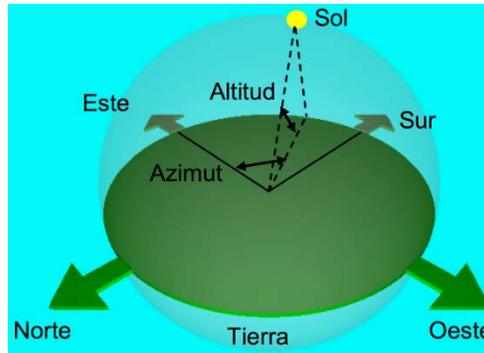


Figura 1 Posición aparente del sol.

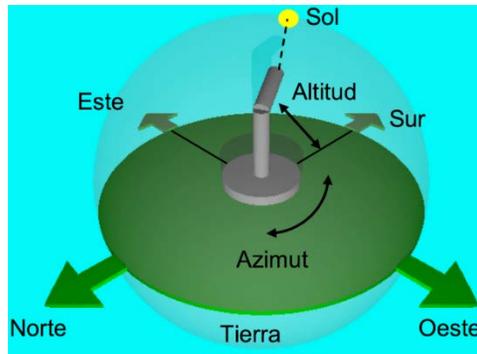


Figura 2 Seguidor solar.

Los esfuerzos a nivel mundial en el desarrollo de seguidores solares son increíblemente bastos. Sin embargo, como parte de la revisión de trabajos previos dirigidos a desarrollar sistemas electrónicos para el control de posición de seguidores solares, se realizó el siguiente estudio de 4 trabajos publicados en revistas. En primer lugar, una técnica simple para habilitar mecanismos en el seguimiento solar es el empleo de detectores de irradiación solar que son utilizados para cerrar un lazo de control de posición con motores eléctricos para posicionar al mecanismo hacia el sol [Kassem, 2011]. No obstante, este enfoque simple de seguimiento solar tiene problemas de desempeño en días nublados cuando la máxima irradiación solar es ambigua. En segundo lugar, otra estrategia de mayor exactitud consiste en combinar detectores con modelos matemáticos para

determinar precisamente la posición del sol [Jerin, 2017]. Con relación a este enfoque, los problemas de ambigüedad en la detección de la dirección de máxima irradiación solar son resueltos a expensas de introducir sistemas electrónicos con mayor capacidad de procesamiento de variables. En tercer lugar, comparativamente los seguidores solares de dos ejes o dos grados de libertad incrementan la eficiencia con respecto a los seguidores solares estacionarios o de un solo grado de libertad [Ceyda, 2015]. Se estima que la eficiencia puede incrementarse en más del 40%. En cuarto lugar y con el objeto de disminuir costos, uno de los enfoques en el desarrollo de sistemas electrónicos es incorporar componentes de bajo costo como microcontroladores de 8 bits [Muhammad, 2019]. Este enfoque permite el cálculo matemático de diversos parámetros de control incluyendo el cálculo de las ecuaciones solares.

Con base en la revisión bibliográfica descrita en el párrafo anterior, en el presente trabajo se describe el desarrollo de un sistema electrónico que implemente los principales beneficios descritos por los autores y que sintetizamos en las siguientes características del sistema electrónico descrito en este trabajo:

- Algoritmo de seguimiento solar con base en las ecuaciones solares para resolver los problemas de ambigüedad en la detección de la máxima irradiación solar.
- Dos grados de libertad con el objeto de incrementar la eficiencia en la captación de energía solar.
- Microcontrolador de 8 bits y bajo costo para el cálculo de las ecuaciones solares.

En el presente trabajo, las ecuaciones solares que permiten calcular los ángulos de altitud y azimut desde una posición fija en la tierra para una hora determinada son suficientes, pues las condiciones climatológicas privilegiadas de México lo permiten.

2. Métodos

La figura 3 muestra el esquema general del sistema electrónico para el control de posición de un seguidor solar con peso aproximado de 1000 kg.

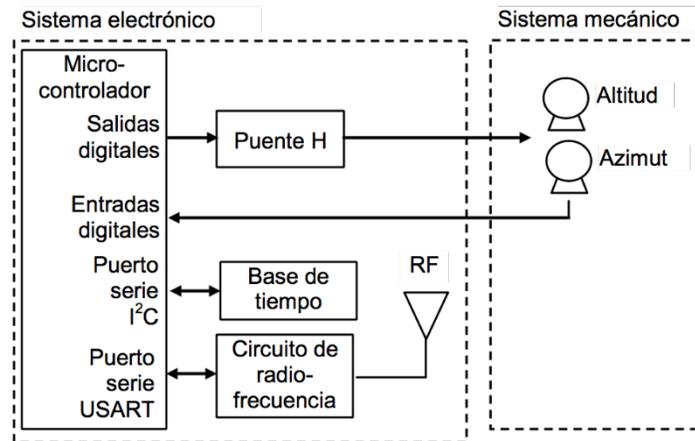


Figura 3 Sistema electrónico para un seguidor solar.

Con referencia a la figura 3, la componente fundamental es un microcontrolador Arduino Pro Mini [Atmel, 2016] en donde se manipulan las señales de control para mover los dos motores a paso que a su vez posicionan en altitud y azimut al mecanismo de captación solar. Los ángulos de altitud y azimut se calculan en función de la fecha y hora proporcionadas por la base de tiempo conectada al puerto serie I²C. Las salidas digitales del microcontrolador son adecuadas en potencia mediante un puente H discreto con base en transistores de unión bipolar conocidos como TBJ. El puerto de comunicaciones seriales del microcontrolador, USART, se utiliza para enviar información a la nube del internet de las cosas mediante un módulo de radiofrecuencia comercial con el objeto de monitorear y registrar a distancia el seguidor solar. Las dos entradas digitales del microcontrolador son utilizadas como referencias de posición inicial en los ángulos de altitud y azimut en el mecanismo de posicionamiento.

Control de motores

Para mover un mecanismo con peso aproximado de 1000 kg se consideraron los motores a paso STP-MTR-34066 que son catalogados por el fabricante como de más alto torque [SureStep, 2020]. Debido a que el motor opera con bajo voltaje y alta corriente y que un puente H con transistores discretos normalmente suministra aproximadamente 36 V, la técnica empleada consiste en dosificar el suministro de alto voltaje a la carga de bajo voltaje mediante modulación por ancho del pulso,

técnica conocida por sus siglas del inglés Pulse Width Modulation, PWM. La figura 4 muestra la técnica empleada para impulsar uno de los motores a paso. El microcontrolador genera una señal de PWM de alta frecuencia la cual es suministrada a la carga conforme a la secuencia de pasos A-B-C-D preestablecida en el microcontrolador para hacer los giros horario y anti-horario.

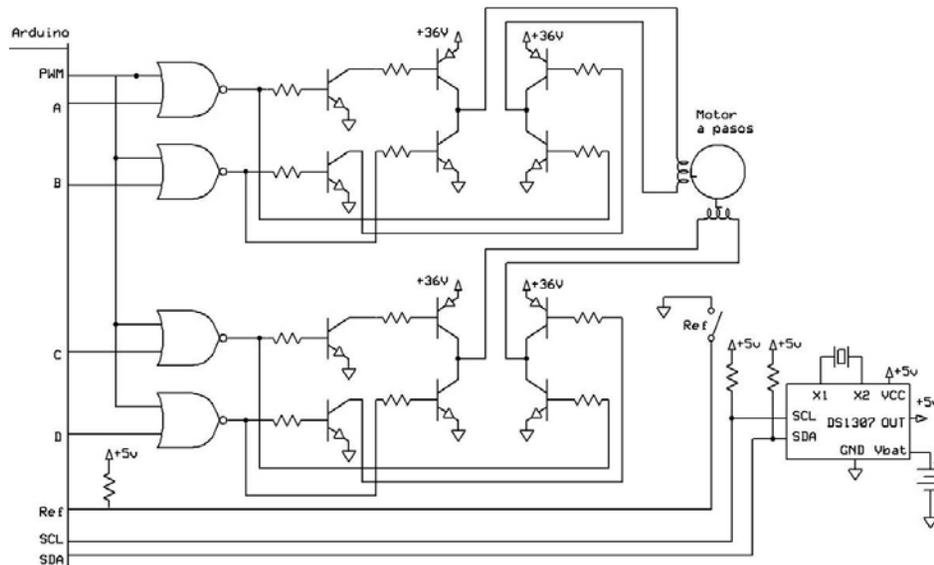


Figura 4 Circuito impulsor de motor a paso.

En el microcontrolador se calculan los ángulos de altitud y azimut de acuerdo con las ecuaciones solares y los motores son posicionados mediante un procedimiento simple de calibración en donde se correlacionan el número de pasos con el ángulo de giro además de la posición de referencia a 0° proporcionada por las entradas digitales, Ref. Para el cálculo de los ángulos de altitud y azimut se requieren conocer la latitud y longitud de la posición fija en la tierra, la cual es preestablecida en el algoritmo del microcontrolador. Además, se requiere la hora actual, la cual es suministrada por el reloj de tiempo real DS1307 [Maxim, 2015] de la figura 4.

Comunicación con el internet de las cosas

La figura 5 muestra el módulo de radiofrecuencia para el internet de las cosas Wisol de IoT Robotix [IoT Robotix, 2020] conectado al puerto serie del microcontrolador Arduino y el enlace con la nube.

Con relación a la figura 5, el microcontrolador calcula los ángulos de altitud y azimut a los cuales debe posicionarse. Estos ángulos son descompuestos en grados y minutos y son almacenados en variables enteras para su transmisión hacia la nube.

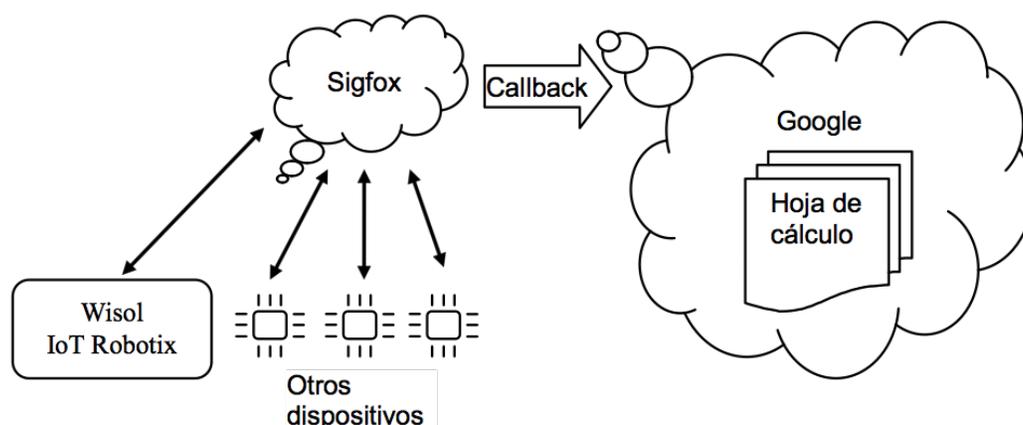


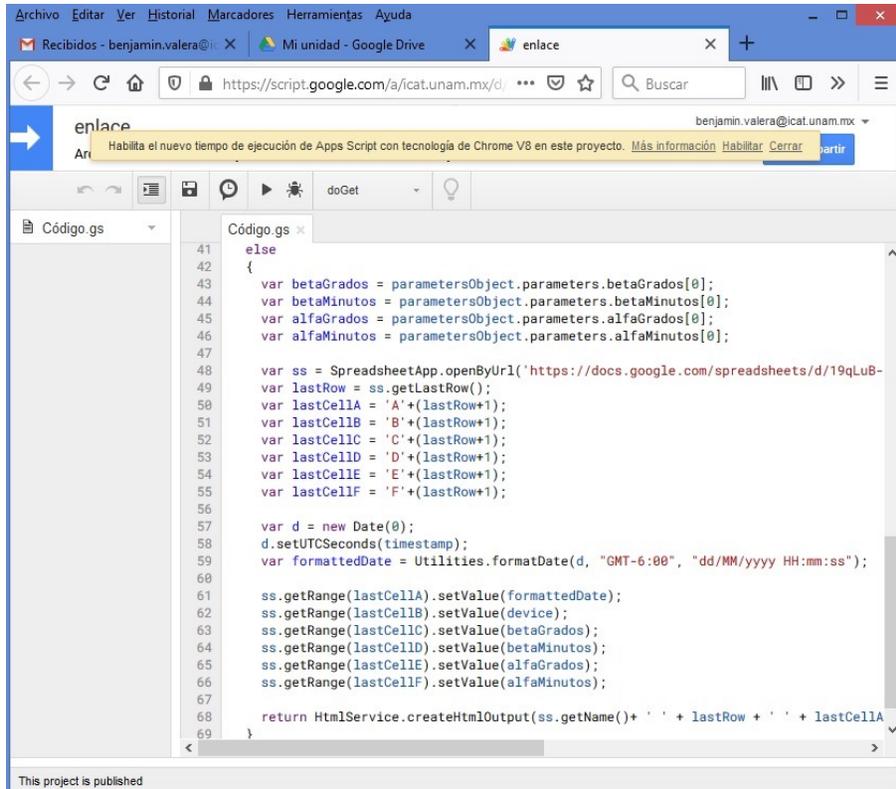
Figura 5 Comunicaciones con la nube del internet de las cosas.

En la nube el primer servidor en recibir los datos es el proveedor de conectividad de servicios en la nube, Sigfox [Sigfox, 2020], en el cual se configura un método llamado callback que permite la transferencia de la información al proveedor de servicios de datos en la nube, Google. El método callback contiene los siguientes datos del enlace entre servidores:

- Tipo para la entrega del mensaje.
- Medio de comunicación.
- Si la información se envía por cada radio-base que la recibió.
- Definición del paquete de información.
- Dirección electrónica para la entrega del paquete de información.
- Tipo de método para la entrega.
- Si el envío contiene el Nombre de Identificación del Servidor.
- El encabezado que acompaña a la información.

Una vez que los datos en Google se han recibido, Google puede transferirlos a una hoja de cálculo en la plataforma Drive mediante un programa de procesamiento de datos llamado Script [Google, 2020]. La figura 6 muestra el segmento del Script en

la nube que inserta el valor de los ángulos en la hoja de cálculo. El segmento de código de la figura 6 forma parte de un caso de la estructura de programación if-then-else ya que éste mismo Script puede atender a otros casos que corresponden con otros dispositivos Wisol. Finalmente, el usuario de la cuenta de Google puede visualizar la información de altitud y azimut en una hoja de cálculo en el Drive.



```
41 else
42 {
43   var betaGrados = parametersObject.parameters.betaGrados[0];
44   var betaMinutos = parametersObject.parameters.betaMinutos[0];
45   var alfaGrados = parametersObject.parameters.alfaGrados[0];
46   var alfaMinutos = parametersObject.parameters.alfaMinutos[0];
47
48   var ss = SpreadsheetApp.openByUrl('https://docs.google.com/spreadsheets/d/19qLuB-
49   var lastRow = ss.getLastRow();
50   var lastCellA = 'A'+(lastRow+1);
51   var lastCellB = 'B'+(lastRow+1);
52   var lastCellC = 'C'+(lastRow+1);
53   var lastCellD = 'D'+(lastRow+1);
54   var lastCellE = 'E'+(lastRow+1);
55   var lastCellF = 'F'+(lastRow+1);
56
57   var d = new Date(0);
58   d.setUTCSeconds(timestamp);
59   var formattedDate = Utilities.formatDate(d, "GMT-6:00", "dd/MM/yyyy HH:mm:ss");
60
61   ss.getRange(lastCellA).setValue(formattedDate);
62   ss.getRange(lastCellB).setValue(device);
63   ss.getRange(lastCellC).setValue(betaGrados);
64   ss.getRange(lastCellD).setValue(betaMinutos);
65   ss.getRange(lastCellE).setValue(alfaGrados);
66   ss.getRange(lastCellF).setValue(alfaMinutos);
67
68   return HtmlService.createHtmlOutput(ss.getName()+ ' ' + lastRow + ' ' + lastCellA
69 }
```

Figura 6 Script en la nube.

Algoritmo de control

En la figura 7 se muestra esquemáticamente el algoritmo que se ejecuta en el microcontrolador para el control de la posición de la altitud y el azimut así como para las comunicaciones con la nube del internet de las cosas.

Para que el algoritmo de la figura 7 funcione adecuadamente, inicialmente el mecanismo debe ser posicionado manualmente en la posición inicial determinada por las entradas digitales Ref. La técnica para operar el sistema electrónico en estado de hibernación consiste en ingresar al modo de bajo consumo y posteriormente salir de él mediante una interrupción generada por el temporizador

del perro guardián, watchdog timer. El temporizador entonces determina el tiempo de muestreo para actualizar tanto la posición del mecanismo como el envío de datos a la nube. Este tiempo de muestreo está en función de la resolución del mecanismo de posicionamiento y la cantidad de datos que pueden enviarse a la nube. De manera experimental se ha determinado que el tiempo adecuado para el temporizador es de 11 min.

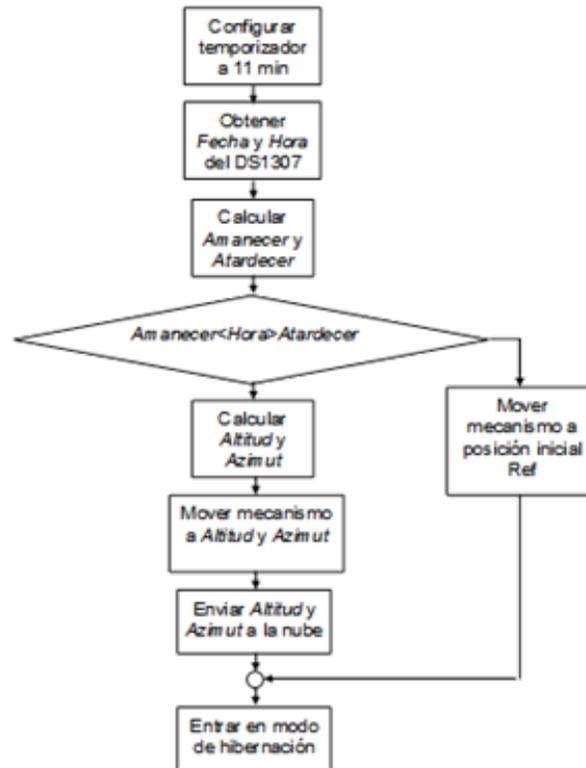


Figura 7 Diagrama de flujo del algoritmo para el control y comunicación.

La parte fundamental del algoritmo de la figura 7 es el cálculo de las horas de *Amanecer* y *Atardecer*, así como el cálculo de los ángulos de *Altitud* y *Azimut* que se realizan en el microcontrolador. En forma resumida, lo descrito en [Kalorigrou, 2009] es como se describe a continuación.

Para un día del año en particular y posición geográfica definida sobre la tierra, se comienza por definir los siguientes parámetros:

- N = Número de día del año, $1 < N < 365$, que se obtiene a partir de *Fecha*.
- L = *Latitud de la posición geográfica*. $L = 19.4978^\circ$ para CDMX.

- $Long =$ Longitud de la posición geográfica. $Long = -99.1269^\circ$ para CDMX.

Posteriormente se pueden calcular los siguientes parámetros estándar:

- $D =$ Parámetro de la ecuación de tiempo:

$$D = 360^\circ \left(\frac{N-81}{365} \right)$$

- $LSTM =$ Longitud local del tiempo estándar:

$$LSTM = 15^\circ \left(\frac{Long}{15^\circ} \right) \text{ redondeado a entero}$$

- $\delta =$ Ángulo de declinación:

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(360^\circ \frac{N + 284}{365} \right)$$

- $H_s =$ Ángulo horario al atardecer o amanecer, $H_s = -\cos^{-1}(-\tan(L)\tan(\delta))$
- $ET =$ Ecuación del tiempo, $ET = 9.87 \sin(2D) - 7.53 \cos(D) - 1.5 \sin(D)$

Calculando la hora del amanecer en tiempo solar AST:

$$Amanecer_{AST} = -H_s \left(4 \frac{\text{min}}{\text{deg}} \right) + 720 \text{min}$$

Y su correspondiente hora en tiempo local estándar, ecuación 1.

$$Amanecer = Amanecer_{AST} - 4 \frac{\text{min}}{\text{deg}} (LSTM - Long) - ET \quad (1)$$

Calculando la hora del atardecer en tiempo solar AST:

$$Atardecer_{AST} = H_s \left(4 \frac{\text{min}}{\text{deg}} \right) + 720 \text{min}$$

Y su correspondiente hora en tiempo local estándar, ecuación 2.

$$Atardecer = Atardecer_{AST} - 4 \frac{\text{min}}{\text{deg}} (LSTM - Long) - ET \quad (2)$$

Por otra parte, para una *Hora* en tiempo local estándar, se calcula primero su correspondiente hora en tiempo solar AST:

$$Hora_{AST} = Hora + 4 \frac{\text{min}}{\text{deg}} (LSTM - Long) + ET$$

Y su correspondiente hora angular, H :

$$H = \frac{\text{Hora}_{\text{AST}} \text{ en minutos} - 720 \text{ minutos}}{4 \frac{\text{min}}{\text{deg}}}$$

Para finalmente calcular la posición del sol en *Altitud* y *Azimut* para esa *Hora*, ecuaciones 3 y 4.

$$\text{Altitud} = \text{sen}^{-1}(\cos(L) \cos(\delta) \cos(H) + \text{sen}(L) \text{sen}(\delta)) \quad (3)$$

$$\text{Azimut} = \cos^{-1}\left(\frac{\text{sen}(\text{Altitud}) \text{sen}(L) - \text{sen}(\delta)}{\cos(\text{Altitud}) \cos(L)}\right) \quad (4)$$

Una vez calculados los ángulos de *Altitud* y *Azimut*, el algoritmo en el microcontrolador genera un cierto número de pasos, x , con referencia a la posición inicial indicada por el sensor Ref para apuntar hacia la máxima intensidad de radiación solar mediante la siguiente regla de tres: $\frac{360^\circ}{y}$ es a 200 pasos, como ángulo es a x pasos. En donde y es la relación de reducción que generalmente se introduce al motor para incrementar el par de torsión y poder mover cargas pesadas. Adicionalmente se sabe que, para el motor utilizado en esta aplicación, 1 rev = 200 pasos. Despejando x de la anterior regla de tres, tenemos ecuación 5.

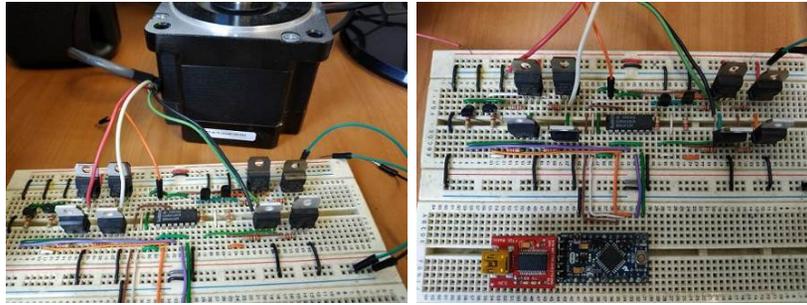
$$x = \frac{200(y)(\text{ángulo})}{360} \text{ en número de pasos} \quad (5)$$

3. Resultados

Hasta el momento se han obtenido resultados independientes para las siguientes etapas en que se puede dividir el sistema electrónico.

Etapas impulsoras de motores a pasos

La figura 8 muestra dos fotografías del puente H discreto armado en una tableta de laboratorio. Con este circuito es posible analizar el desempeño del circuito para diferentes valores del PWM que se generan en el microcontrolador. Principalmente se desea observar la capacidad de torque y consumo de corriente al variar el PWM. Actualmente el voltaje de polarización del puente H es de 36 V y el voltaje de alimentación para el microcontrolador y lógica CMOS es de 5 V.



a) Circuito y motor

b) Circuito y microcontrolador

Figura 8 Puente H discreto.

Etapa de comunicación con la nube

La figura 9 muestra la hoja de cálculo en donde se depositan los ángulos de altitud y azimut, en tiempo real, los cuales son calculados como parte del algoritmo en el microcontrolador. La hoja de cálculo reside en el drive de la cuenta Google del administrador y puede ser compartida entre usuarios de Google.

| dd/mm/aa hh:mm:ss | ID | Altitud (grados) | Altitud (minutos) | Azimuth (grados) | Azimuth (minutos) |
|---------------------|--------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 15/10/2018 13:14:18 | 405BE5 | 58 | 14 | 25 | 5 |
| 15/10/2018 13:25:55 | 405BE5 | 57 | 2 | 29 | 38 |
| 15/10/2018 13:37:31 | 405BE5 | 55 | 32 | 34 | 14 |
| 15/10/2018 13:49:07 | 405BE5 | 54 | 0 | 38 | 7 |
| 15/10/2018 14:00:45 | 405BE5 | 52 | 11 | 42 | 0 |
| 15/10/2018 14:12:21 | 405BE5 | 50 | 14 | 45 | 33 |
| 15/10/2018 14:23:58 | 405BE5 | 48 | 20 | 48 | 31 |
| 15/10/2018 14:35:35 | 405BE5 | 46 | 10 | 51 | 29 |
| 15/10/2018 14:47:12 | 405BE5 | 43 | 54 | 54 | 11 |
| 15/10/2018 14:58:49 | 405BE5 | 41 | 46 | 56 | 28 |
| 15/10/2018 15:10:25 | 405BE5 | 39 | 23 | 58 | 46 |
| 15/10/2018 15:22:02 | 405BE5 | 37 | 9 | 60 | 43 |
| 15/10/2018 15:33:39 | 405BE5 | 34 | 39 | 62 | 41 |

Figura 9 Hoja de cálculo en la nube.

La hoja de cálculo se actualiza automáticamente en cualquier cuenta donde haya sido compartida e incluye la siguiente información:

- Fecha y hora del envío y recepción de información.
- Número de identificación del dispositivo de radio frecuencia, ID.
- Altitud en grados.

- Altitud en minutos.
- Azimut en grados.
- Azimut en minutos.

Etapa de control

Para evaluar la etapa de control se presentan los resultados del cálculo para los ángulos de *Altitud* y *Azimut* utilizando las ecuaciones 3 y 4 comparados contra el cálculo utilizando una herramienta disponible en Internet [Cornwall, 2020]. La tabla 1 muestra el cálculo comparativo para el 15 de octubre del 2018 para diferentes *Horas*. La tabla 1 incluye la conversión de decimal a sexagesimal y la compensación de 180° ya que el azimut de la calculadora en línea se define a partir del norte geográfico y para la ecuación 4 se define a partir del sur geográfico. Adicionalmente, la calculadora en línea requiere definir el desplazamiento horario de la zona local hacia el estándar UTC, que en el caso de CDMX es de 6 horas, así como la invalidación del horario de verano. La comparación entre los ángulos calculados mediante las ecuaciones y la calculadora en línea resultan ser similares y las pequeñas diferencias se pueden deber a las múltiples conversiones de unidades que involucran los cálculos.

Tabla 1 Comparación para el cálculo de Altitud y Azimut.

| Horas | Altitud ecuación 3 | Azimut ecuación 4 | Altitud calculadora en línea | Azimut calculadora en línea |
|----------|--------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 13:14:18 | 58°14' | 25°5' | 59.02=59°1' | 205.63-180=25.63=25°37' |
| 15:33:39 | 34°39' | 62°41' | 35.07=35°4' | 243.54-180=63.54=63°32' |

4. Discusión

Los resultados se han obtenido de manera independiente para cada una de las etapas descritas en la sección 3. En el momento de integrar ambas etapas en un solo circuito impreso puede haber interferencias o ruido eléctrico. Principalmente porque la etapa impulsora de motores a paso demanda una gran cantidad de corriente y pueden existir rutas de descarga de la carga inductiva del motor hacia los circuitos electrónicos. Este será un reto por enfrentar como parte de la etapa posterior de integración del proyecto descrito aquí.

Otro aspecto importante por considerar es la técnica para utilizar para la energización del sistema electrónico descrito en este artículo. Lo anterior dependerá del tipo de seguidor solar a utilizar. A la fecha se consideran dos opciones:

- Seguidor solar para precalentamiento de fluidos de trabajo. La figura 10 muestra un concentrado solar con peso aproximado de 1000 kg que se usa con el objetivo de precalentar fluidos de trabajo en la industria. Este seguidor por ser de un tipo particular de aplicación que no podemos detallar en este trabajo requiere de suministro de energía de la red comercial. Por lo tanto, el sistema electrónico descrito aquí podría ser alimentado directamente de la línea comercial de 127 VAC.
- Seguidor solar experimental. La figura 11 muestra un helióstato con peso aproximado de 500 kg desarrollado para realizar diversos experimentos de investigación. Este tipo de dispositivo permitiría desarrollar una técnica de suministro de energía con base en celdas solares.



Figura 10 Seguidor solar para precalentamiento de fluidos de trabajo.



Figura 11 Helióstato experimental.

5. Conclusiones

Se presentó el diseño de un sistema electrónico para controlar un concentrador solar con peso aproximado de 1000 kg. Los resultados obtenidos independientemente para cada etapa del sistema electrónico demuestran la confiabilidad para su implementación en un tipo específico de seguidor solar no sin antes enfrentar algunos retos que se presentaron en la sección 4. La idea fundamental en el diseño del sistema electrónico es utilizar exclusivamente componentes y herramientas básicas de desarrollo con el objetivo de no depender de licencias o permisos de terceros desarrolladores.

No obstante que el sistema electrónico está desarrollado sobre la base de componentes básicos, éste posee características avanzadas y actuales en el ámbito tecnológico, como lo es la conectividad con la nube del internet de las cosas. Esta característica habilita a los posibles operadores de un seguidor solar para mantener monitoreado el mecanismo y evita la presencia física de las personas.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Atmel, 8-bit AVR Microcontrollers ATmega328/P, Hoja de datos, San José, USA, 2016.
- [2] Ceyda A. T. & Cenk Y, Comparison of Solar Trackers and Application of a Sensor Less Dual Axis Solar Tracker. *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 9, pp. 556-561, 2015.
- [3] Cornwall C, Horiuchi A & Lehman C, NOAA ESRL Solar Position Calculator: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html>.
- [4] Google, Build web apps and automate tasks with Google Apps Script: <https://www.google.com/script/start/> (Accessed on July 3, 2020).
- [5] IoT Robotix, Connecting things: <https://www.iot-robotix.mx/>.
- [6] Kalogirou S. A, *Solar Energy Engineering*. Academic Press, USA, pp. 755, 2009.
- [7] Kassem A. & Hamad M, A microcontroller-based multi-function solar tracking system. *Systems Conference (SysCon)*, IEEE International Digital Object Identifier, pp. 13–16, 2011.

- [8] Jerin Kuriakose Tharamuttama, Andrew Keong Ng, Design and Development of an Automatic Solar Tracker, World Engineers Summit – Applied Energy Symposium & Forum: Low Carbon Cities & Urban Energy Joint Conference, WES-CUE 2017, pp. 629 634, Singapore, July 2017.
- [9] Maxim Integrated Products, DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock, USA, pp. 14, 2015.
- [10] Muhammad E. H, Chowdhury A. K, Belayat H & Rayaan A, A Low-Cost Closed-Loop Solar Tracking System Based on the Sun Position Algorithm. Journal of Sensors, pp. 11, 2019.
- [11] Sigfox, The world's leading IoT services provider: <https://www.sigfox.com/en>.
- [12] SureStep, Stepping Motors: <https://cdn.automationdirect.com/static/specs/surestepmotors.pdf>.