



UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MEC305-INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

PROYECTO FINAL:

“Diseño, cálculo y control de un sistema de
seguimiento solar”

CATEDRÁTICO:

PRESENTADORES:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

- 5802074 | KATHIA PAOLA BUSTAMANTE CLIMACO
- 5801988 | DENNIS IVÁN PÉREZ MONTIEL
- 5802023 | AXEL ARRIOLA FONSECA

OTOÑO 2020

Diseño, cálculo y control de un sistema de seguimiento solar

Kathia Bustamante, Dennis Pérez, Axel Arriola Fonseca

Universidad Popular Autónoma del estado de Puebla

Decanato de Ingenierías, Licenciatura en Ing. Mecatrónica

Puebla, México

kathiapaola.bustamante@upaep.edu.mx,

dennisivan.perez@upaep.edu.mx, axel.arriola@upaep.edu.mx

Abstract— This document contains the design of a solar panel on an electronic scale. Starting with mathematical calculations for obtaining values associated with movement. Including programming in Labview software and prototype CAD in SolidWorks software.

actualmente se están desarrollando mecanismos de aprovechamiento de energía solar; tales como, celdas solares, celdas fotovoltaicas, calentadores solares, etc. Normalmente estos sistemas operan fijos en relación con el plano de la superficie, razón por la cual se obtiene desaprovechamiento de la energía solar, de aquí nace el interés por el desarrollo de sistemas de seguimiento solar para maximizar la recepción de la energía solar.

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el diseño de un panel solar a escala electrónica. Comenzando con los cálculos matemáticos para la obtención de valores asociados al movimiento. Incluyendo la programación en el software Labview y el CAD del prototipo en el software SolidWorks.

Hoy en día, como resultado del acelerado desarrollo industrial y socioeconómico, uno de los problemas de mayor trascendencia, y que ha afectado a las economías nacionales, es la problemática que presentan los energéticos. La limitación de los recursos petrolíferos - principal fuente de hidrocarburos - y su encarecimiento, permiten prever la posibilidad de que países en vías de desarrollo y con reservas de hidrocarburos, puedan ascender a niveles de vida más altos. Lamentablemente, ni siquiera la estimación más optimista de reservas adicionales de combustibles puede o debe justificar su consumo acelerado. También es importante destacar que

II. MARCO TEÓRICO

1. Geometría solar

Para abordar el estudio del movimiento solar en relación con la posición de la tierra, se revisarán algunos conceptos y cálculos relacionados con la geometría solar, esto proporcionará una idea más clara en cuanto a la trayectoria que sigue el sol a lo largo de cada día del año. Cada día, el sol, para un observador situado en la Tierra, sigue una trayectoria circular a través del firmamento alcanzando su punto más alto al mediodía. Por otra parte, esta

trayectoria circular aparente se mueve hacia puntos más altos en el firmamento a medida que el invierno se acaba y llega el verano; estos desplazamientos se pueden observar en el esquema de la Fig. I. En este esquema, durante el verano, el amanecer acontece más temprano, y el atardecer, más tarde.

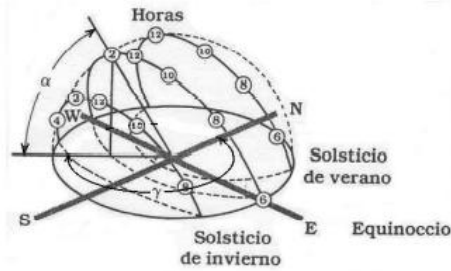


Fig. I. Movimiento aparente del Sol

1.1 Latitud φ y Longitud L

De la misma manera que, para determinar la posición de un punto cualquiera sobre un plano se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas; para localizar con exactitud cualquier punto de la superficie terrestre, se emplea el sistema de coordenadas geométricas expresadas mediante una pareja de números denominados latitud y longitud, los cuales expresan mediciones angulares sobre la superficie de una esfera.

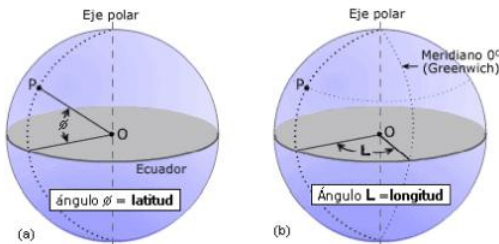


Fig. II. Latitud φ y Longitud L

1.2 Ángulo de declinación δ

La declinación define la posición angular del Sol al mediodía solar, es decir, en el momento en que el Sol está más alto en el firmamento con respecto al plano ecuatorial; en la Fig. III se muestra un ejemplo de ángulo de declinación solar hacia el norte. En otras palabras, la declinación es un índice del alejamiento que experimenta el Sol hacia el Norte o hacia el Sur del Ecuador. Este parámetro, depende del día del año y puede calcularse con la siguiente expresión donde n es el día del año.

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

1.3 Ecuación del tiempo E

Un parámetro importante que tiene que ser considerado en este análisis es la hora solar la cual difiere de la hora oficial que indica un reloj exacto. Ambos están relacionados entre sí por la expresión:

$$\text{Hora solar} = \text{Hora oficial} + E + 4(L_{\text{ref}} - L_{\text{loc}})$$

Donde E es la ecuación del tiempo mostrada en la Fig. IV, en minutos; L_{ref} es la longitud del meridiano de referencia horaria oficial para la zona en cuestión, y L_{loc} es la longitud del meridiano del lugar, en grados oeste.

$$\text{Ecuación del tiempo} = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

$$B = \frac{360}{364} (n - 81)$$

$$n = (1 \leq n \leq 365)$$

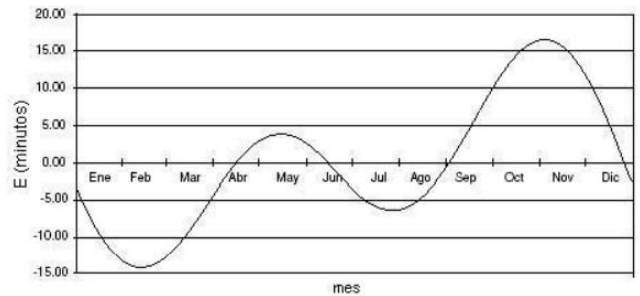


Fig. IV. Ecuación del tiempo

1.4 Ángulo horario ω

Por otra parte, el ángulo horario es igual a cero al mediodía solar y adquiere un valor de 15° de longitud por cada hora, siendo positivo en las mañanas y negativo por las tardes. Así, $\omega = +30^\circ$ a las 10:00, y $\omega = -15^\circ$ a las 13:00. Una forma de calcular el ángulo horario ω , considerando que a las 6:00 h, 12:00 h y 18:00 h se tiene 90° , 0° y -90° respectivamente, es por medio de la ecuación inferior; el ángulo horario ω se puede calcular entonces por medio de la expresión:

$$\omega = - (15^\circ/\text{hr})(\text{hora solar}) - 180^\circ$$

1.4 Altura α y Azimut solar γ

Estos dos parámetros son muy importantes ya que estos definen los movimientos que realizará el seguidor solar de dos grados de libertad. El cálculo preciso de estas variables depende fundamentalmente de tres parámetros: La latitud del lugar φ , la declinación δ y el ángulo horario ω . Una vez determinada la latitud del lugar φ , la declinación δ y el ángulo horario ω ; la altura solar α y el azimut solar γ , pueden calcularse fácilmente por medio de las siguientes relaciones trigonométricas:

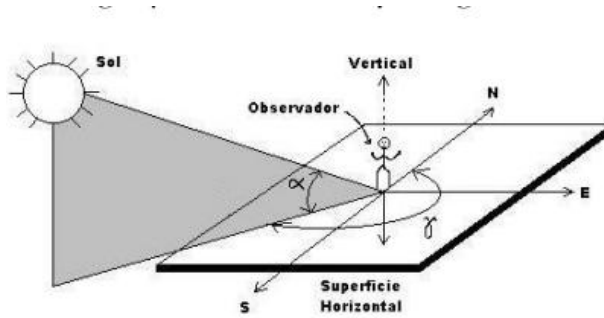


Fig. V Ángulos de posición solar

$$\text{sen}\alpha = \cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \text{sen}\varphi\text{sen}\delta$$

si $\cos\omega < \tan\delta/\tan\varphi$, entonces $\gamma = \text{sen}^{-1} \frac{\cos\delta\text{sen}\omega}{\cos\alpha}$
 si $\cos\omega > \tan\delta/\tan\varphi$, entonces $\gamma = 180 - \text{sen}^{-1} \frac{\cos\delta\text{sen}\omega}{\cos\alpha}$
 Por otro lado, si $\gamma < 0$ entonces $\gamma = 360 + \gamma$

2. Fritzing

Fritzing es el programa por excelencia para la realización de esquemas eléctricos en proyectos con Arduino y es open source. Dispone de bibliotecas con la mayoría de componentes, incluido los propios Arduinos, placas de conexiones, led, motores, displays, etc. Además permite hacer esquemas eléctricos, diseñar nuestro PCB final y un sinfín de opciones que convierten a este programa en una herramienta muy útil.

También nos permitirá obtener el esquema eléctrico, listado de componentes usados y el diagrama para poder fabricar la PCB.

3. Arduino

Es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. En Arduino se tienen placas basadas en un microcontrolador ATMEL, en los cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa. Arduino es un proyecto y no un modelo concreto de placa, lo que quiere decir que compartiendo su diseño básico te puedes encontrar con diferentes

tipos de placas. Las hay de varias formas, tamaños y colores para a las necesidades del proyecto en el que estás trabajando, las hay sencillas o con características mejoradas, Arduinos orientados al Internet de las Cosas o la impresión 3D y, por supuesto, dependiendo de estas características te encontrarás con todo tipo de precios.

4. Servomotor MG996R

Este servo es esencialmente una versión mejorada del famoso servo MG995. Ahora tiene un sistema de control de PCB e IC rediseñado que lo hace mucho más preciso. Su engranaje y motor internos también se actualizan para mejorar el centrado. Gracias a su versatilidad es compatible con la mayoría de los conectores como Futaba, Hitec, Sanwa, GWS, etc. Es ideal para proyectos RC (como camiones, barcos, autos de carreras, helicópteros y aviones) donde se requieren movimientos de servo precisos y centrado perfecto.

Especificaciones:

- Voltaje de operación: 4.8 V a 7.2 V
- Velocidad de operación: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Torque detenido: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Con rodillo doble
- Ángulo de rotación: 120° aprox.
- Banda muerta: 5 μs
- Peso: 55 g
- Dimensiones: Largo 40.7 mm, ancho 19.7 mm, altura 42.9 mm aprox.
- Largo del cable: 31 cm aprox.

5. Motor a pasos Nema 17

Este motor paso a paso NEMA 17 es bipolar, tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 1.2 A a 4 V, capaz de cargar con 3.2 kg/cm (44 oz-in).

Es un motor muy robusto ampliamente utilizado en impresoras 3D caseras como las Prusa, aunque este es ligeramente más potente del recomendado para garantizar la mejor fiabilidad

Características:

- Tamaño: 42.3×48 mm, sin incluir el eje (NEMA 17)
- Peso: 350 gramos (13 oz)
- Diámetro del eje: 5 mm "D"

- Longitud del eje: 25 mm
- Pasos por vuelta: 200 (1,8°/paso)
- Corriente: 1.2 Amperios por bobinado
- Tensión: 4 V
- Resistencia: 3.3 Ohm por bobina
- Torque: 3.2 kg/cm (44 oz-in)
- Inductancia: 2.8 mH por bobina

6. Panel solar - Beeggle

Se seleccionó el modelo 5V2W de celda solar de la marca Beeggle, por su disponibilidad y accesibilidad, con las siguientes características:

- Celda Policristalina - PET
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Corriente de funcionamiento: 0 ~ 400 mA (la corriente de funcionamiento depende de la radiación solar)
- Potencia máxima: 2 W
- Tamaño: 169,9mm * 86mm



Fig. V. Panel solar 2V5W- Beeggle

III. DESARROLLO DE CONTENIDOS

A. Diagrama electronico

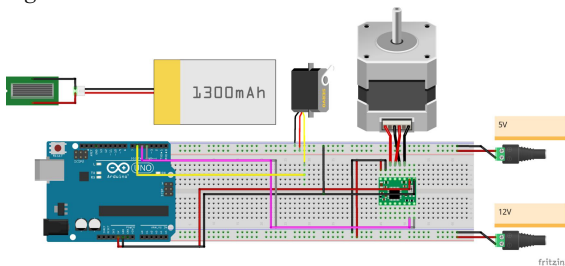


Fig. 1.1 Diagrama Fritzing usando una tarjeta arduino Uno

Para el diseño electrónico de nuestro proyecto utilizamos un servomotor MG996R que nos permite mover el ángulo de

inclinación del panel solar y un motor a pasos para poder rotar la estructura, ambos motores trabajan en conjunto para poder seguir la trayectoria del sol a lo largo del día y tener una mejor eficiencia del panel respecto a los modelos fijos; para la alimentación es necesario el uso de fuentes externas, una de 12V y otra de 5V, con este sistema se puede rotar todo el mecanismo de hasta 3.2 KG; por lo que es posible añadir más paneles solares para obtener mas energia

ya que el panel propuesto tiene una salida de 5V- 2W- 400mA en su valor máximo que es un panel decente para cargar una pequeña batería portátil, añadiendo más es posible obtener mayor voltaje o corriente, según las necesidades. En la figura X es posible apreciar las conexiones propuestas para dicho sistema.

B. Cálculos

Una vez que se tienen las ecuaciones de cálculo de la posición solar, se procede a determinar la latitud y longitud del lugar en cuestión y, a partir de la fecha se calcula el número del día del año; en el siguiente ejemplo se describe el procedimiento.

Ejemplo: Especificar la posición del sol el día 22 de mayo a las 11:00 h (hora oficial) en la ciudad de Puebla, México (19°02' 36" N, 98°11'50" O).

Con este fin, primero se determina la declinación del Sol el día 22 de mayo por medio de la ecuación 1.1, donde $n = 142$, entonces:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + 142}{365}\right) = 20.3419$$

Segundo, se procede a calcular E a partir de la ecuación (1.3), donde:

$$B = \frac{360}{364} (142 - 81) = 60.329$$

$$E = 9.87 \sin(2(60.33)) - 7.53 \cos(60.33) - 1.5 \sin(60.22) \\ E = 3.4596 \text{ min } \text{ ó } 3 \text{ min } 27 \text{ seg}$$

Por lo tanto, para calcular la hora solar que difiere de la hora oficial dependiendo del lugar, donde $L_{ref} = 90^\circ$ y $L_{loc} = 98.19722^\circ$, de la ecuación se tiene:

$$\text{Hora Solar} = 11:00h + 3.4596min + 4(90 - 98.1972) \\ \text{Hora Solar} = 11h - 29.3293min = 11h - 0.4888h \\ \text{Hora Solar} = 10.5112 \text{ ó } 10h 30min 40seg$$

Tercero, calculando el ángulo horario mediante la ecuación anterior; donde, Hora Solar = 10.5112 h se tiene:

$$\omega = -15(10.5112h) + 180 = 22.332$$

Cuarto, para calcular la altura solar se hace uso de la ecuación 1.5; donde, la latitud del lugar es $\phi=19.043^\circ$, la declinación $\delta=20.34^\circ$ y el ángulo horario $\omega=22.332^\circ$, entonces:

$$\begin{aligned} \text{sen}\alpha &= \cos(19.043^\circ)\cos(20.34^\circ)\cos(22.332^\circ) \\ &\quad + \sin(19.043^\circ)\sin(20.34^\circ) \\ \text{sen}\alpha &= 0.9332 \therefore \alpha=68.9428 \end{aligned}$$

Quinto, de la ecuación del cálculo azimutal se calcula: γ .

$$\begin{aligned} \text{sen}\gamma &= \frac{\cos(20.34^\circ)\sin(22.332^\circ)}{\cos(68.9418^\circ)} \\ \text{sen}\gamma &= 0.9916 \therefore \gamma=82.5760 \end{aligned}$$

Sexto, finalmente, se verifica por el razonamiento de la función inversa:

$$\cos(22.332^\circ) < \frac{\tan(20.3419^\circ)}{\tan(19.0433^\circ)}$$

Por lo tanto, el resultado para γ es correcto.

Esto significa que, para un observador situado en el lugar de referencia (Puebla, México.), la posición del Sol se ubica en 82.5760 (azimut solar γ) con respecto al Norte y además con una elevación o altura solar α de 68.9428 con respecto a la superficie; en la Figura 1.8 se muestra una representación de los ángulos calculados para este ejemplo.

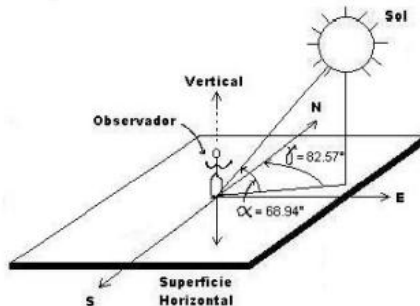


Fig. 1.8 “Ángulos de la posición solar para las 11:00 en la ciudad de Puebla, México (19°02' 36" N, 98°11'50" O).”

C. Diseño mecánico

El diseño se desarrolló tomando en cuenta los parámetros físicos del modelo elegido de Panel Solar de la Fig. V. El diseño consta de

3 elementos ensamblables. Todos están diseñados para ser impresos en material ABS:

- Soporte para panel solar

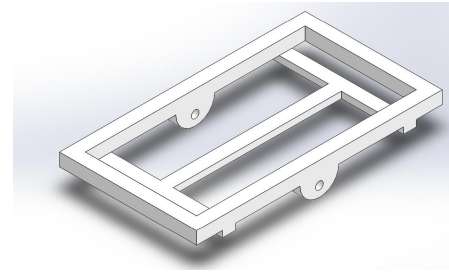


Fig. 3.1 Soporte para Panel Solar

El soporte de la Fig. 3.1 se diseñó como un marco para el panel solar seleccionado. Este soporte no permitirá que el panel resbale o se deslice cuando los motores ejecutan algún movimiento vertical o sobre su eje. En los bordes largos se encuentran unos barrenos en uno de los cuales se ensambla por ajuste el eje del servomotor y del otro un eje para unir la base del siguiente punto.

- Base para movimiento en distintos ángulos

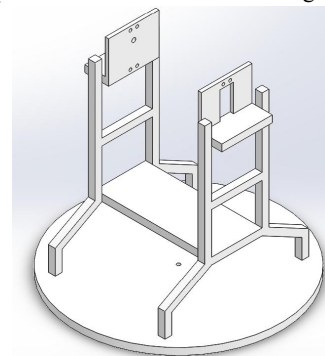


Fig. 3.2 Base giratoria para Panel Solar

La base de la Fig. 3.2 permite que el motor Nema se inserte en la parte inferior para lograr una rotación de 360° . El área rectangular funciona como espacio de almacenamiento de la tarjeta programable. En la parte superior se encuentra una zona donde se sujetará el servomotor, el cual producirá el movimiento de 180° .

- Eje de unión

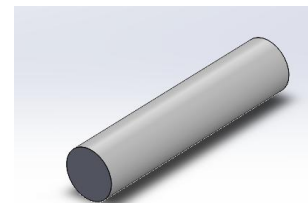


Fig. 3.3 Eje de unión

El último elemento, Fig. 3.3, del ensamble diseñado es un eje, también impreso, unirá los elementos de los dos puntos anteriores. Este se inserta en un balero que permitirá el giro del eje.

Ensamble de componentes

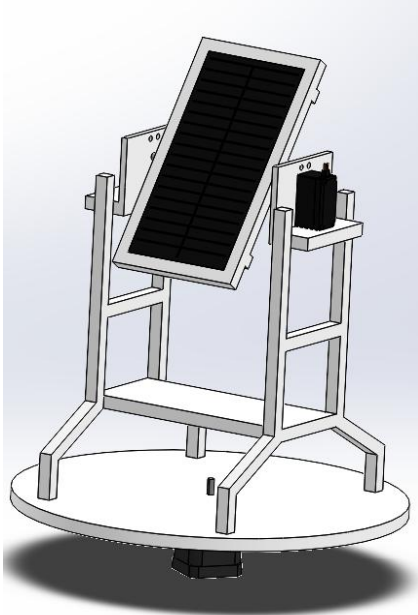


Fig. 3.4 Prototipo para modelo de Sistema de seguimiento solar - Vista Isométrica

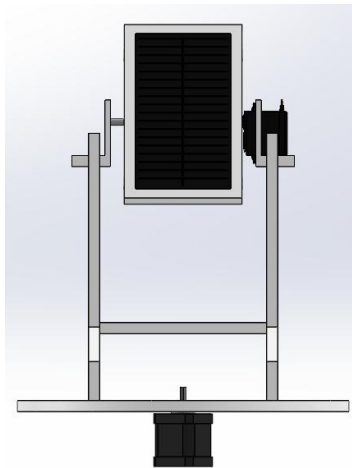


Fig. 3.5 Prototipo para modelo de Sistema de seguimiento solar - Vista Frontal

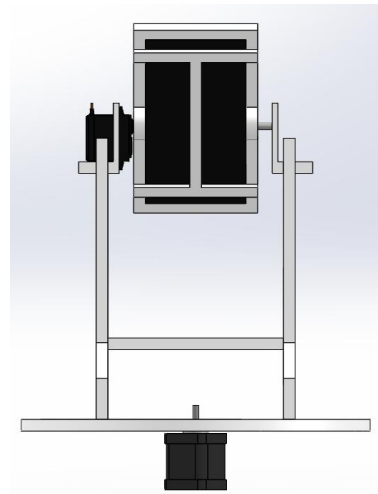


Fig. 3.6 Prototipo para modelo de Sistema de seguimiento solar - Vista Posterior

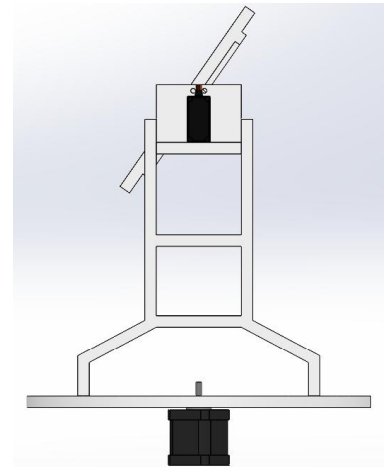


Fig. 3.7 Prototipo para modelo de Sistema de seguimiento solar - Vista Lateral

D. Programa en LabView

El programa de LabView se hizo con los cálculos correspondientes del marco teórico.

Primero se realizaron los programas para convertir unidades; grados a radianes, radianes a grados, grados minutos y segundos a decimal, decimal a grados minutos y segundos.

1. Programa no. 1 Grados a Radianes

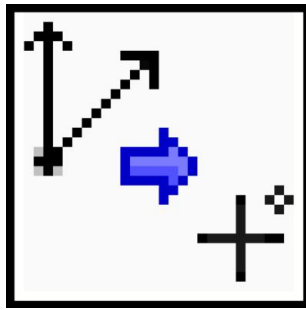


Fig. 4.1 Icono del programa 1

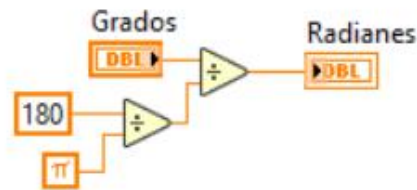


Fig 4.11 Block Diagram del programa 1



Fig 4.12 Front Panel del programa 1

2. Programa no.2 Radianes a Grados

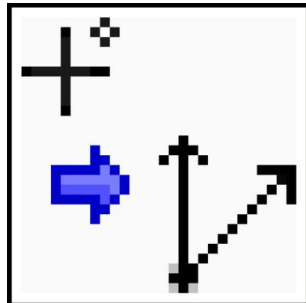


Fig 4.2 Icono del programa 2

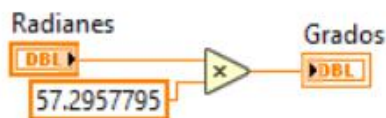


Fig 4.21 Block Diagram del programa 2

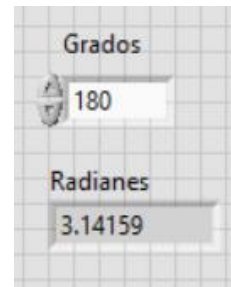


Fig 4.22 Front Panel del programa 2

3. Programa no.3 Grados Minutos y Segundos a Decimal

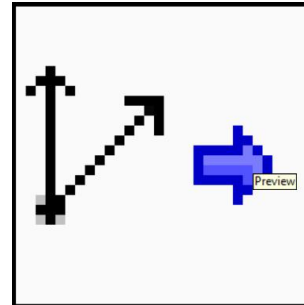


Fig. 4.31 Icono del programa 3

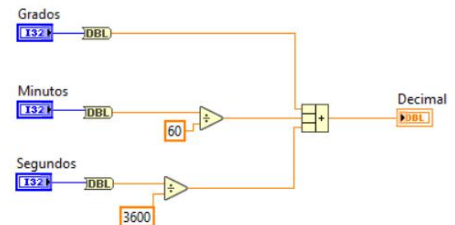


Fig. 4.32 Block Diagram del programa 3

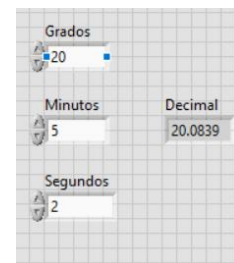


Fig 4.33 Front Panel del programa 3

4. Programa no.4 Decimal a Grados Minutos y Segundos

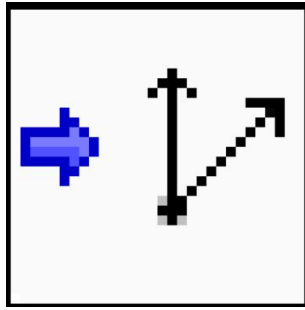


Fig 4.41 Icono del programa 2 radianes a grados

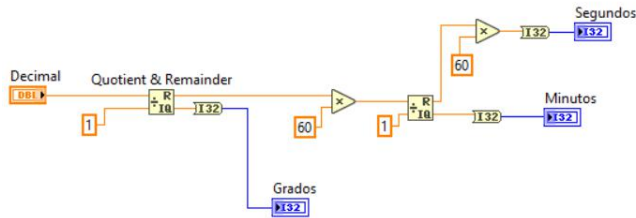


Fig 4.42 Block Diagram del programa 4

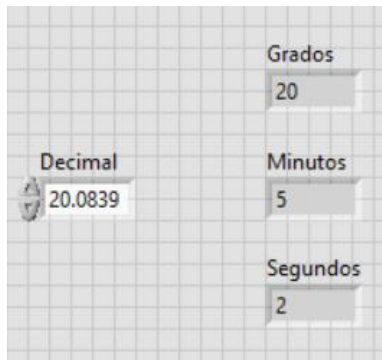


Fig 4.43 Front Panel del programa 4

5. Programa no. 5 Ángulo de Declinación

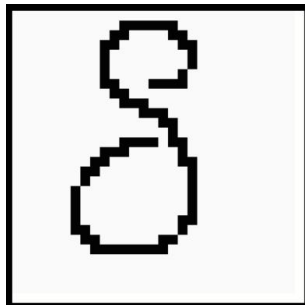


Fig 4.51 Icono del programa Ángulo de Declinación

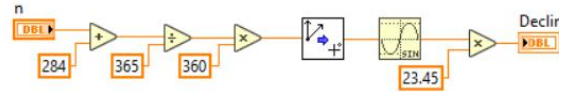


Fig 4.52 Block Diagram del programa 5

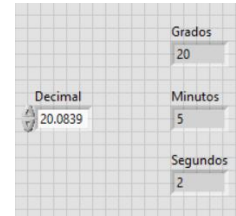


Fig 4.52 Front Panel del programa 5

6. Programa no. 6 B

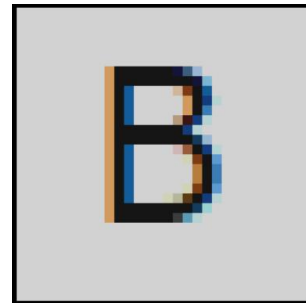


Fig 4.61 Icono del programa B

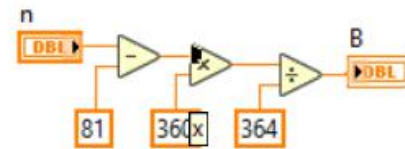


Fig 4.62 Block Diagram del programa 6

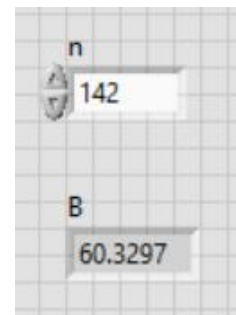


Fig 4.63 Front Panel del programa 6

7. Programa no. 7 Hora Solar

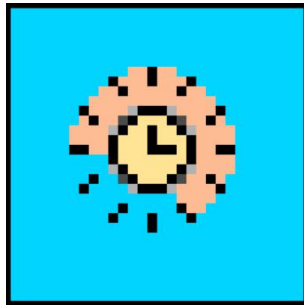


Fig 4.71 Icono del programa Hora Solar

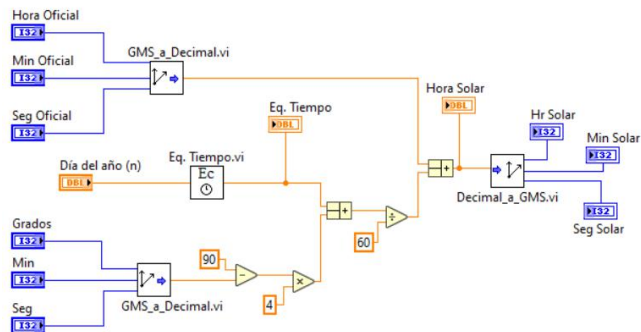


Fig 4.72 Block Diagram del programa 7



Fig 4.73 Front Panel del programa 7

8. Programa no. 8 Ecuación del Tiempo

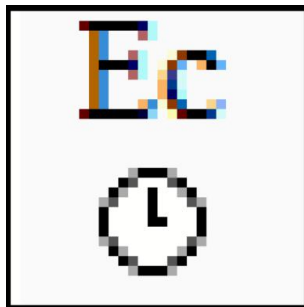


Fig 4.81 Icono del programa Ecuación del tiempo

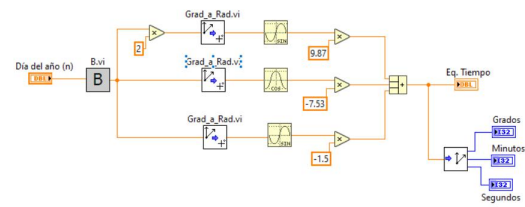


Fig 4.82 Block Diagram del programa 8

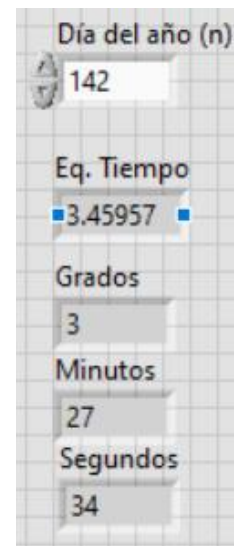


Fig 4.83 Front Panel del programa 8

9. Programa no. 9 Ángulo Horario

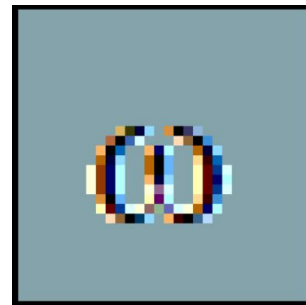


Fig 4.91 Icono del programa Ángulo horario

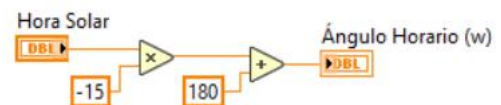


Fig 4.92 Block Diagram del programa 9

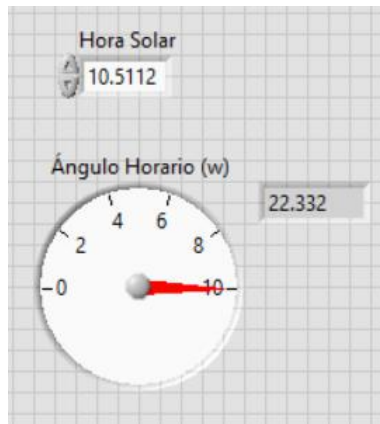


Fig 4.93 Front Panel del programa 9

10. Programa no. 10 Fecha y Hora actual

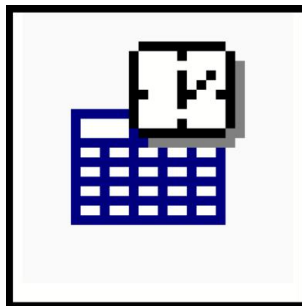


Fig 4.101 Icono del programa Fecha y Hora actual

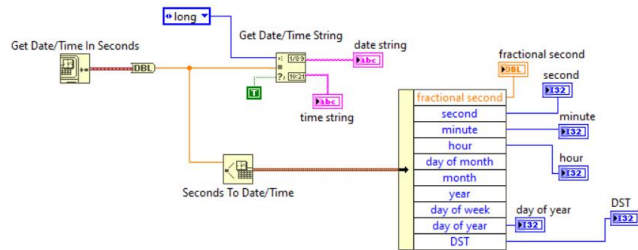


Fig 4.102 Block Diagram del programa 10

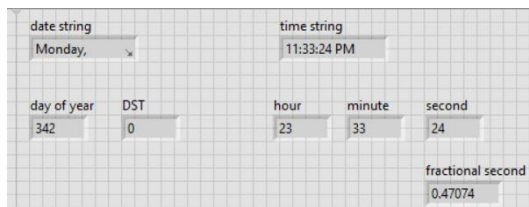


Fig 4.103 Front Panel del programa 10

11. Programa no. 11 Altura Solar

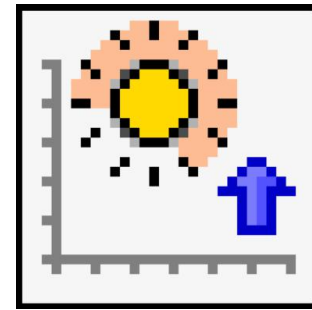


Fig 4.111 Icono del programa Altura Solar

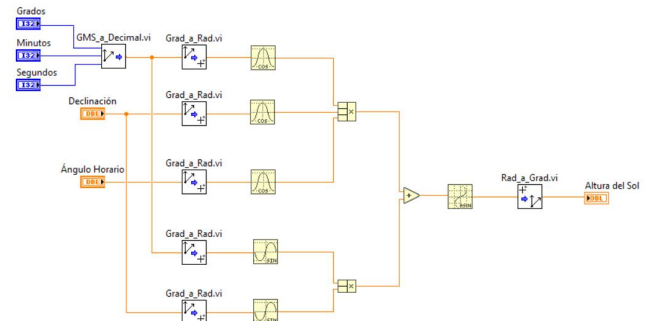


Fig 4.112 Block Diagram del programa 11

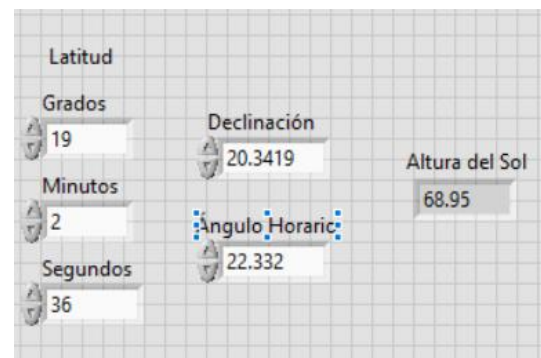


Fig 4.113 Block Diagram del programa 11

12. Programa no. 12 Azimut Solar

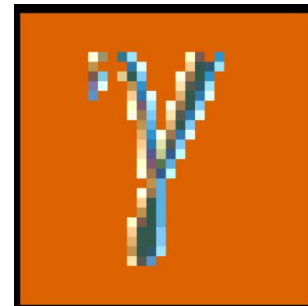


Fig 4.121 Icono del programa Azimut Solar

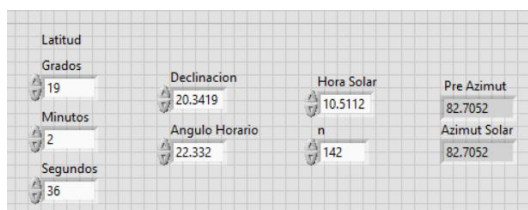


Fig 4.123 Front Panel del programa 12

13. Programa no. 13 Principal

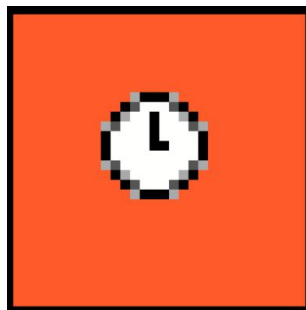


Fig 4.131 Icono del programa Principal

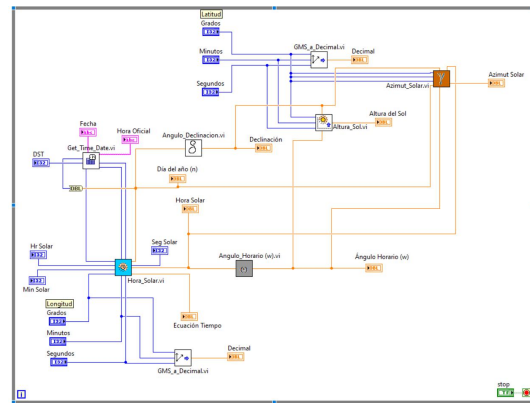


Fig 4.131 Block Diagram del programa 13

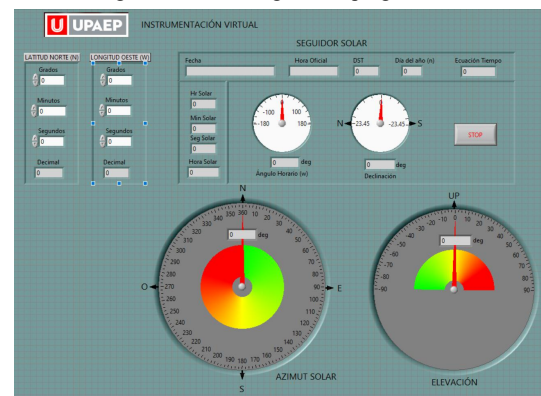


Fig 4.133 Front Panel del programa 13

14. Comprobacion de valores con la pagina: [Sonnenverlauf-](#)
[Sonnenaufgang,](#) [Sonnenuntergang,](#) [Schattenlaenge,](#)
[Sonnenfinsternis,](#) [Sonnenposition,](#) [Sonnenphase,](#)
[Sonnenhoehe,](#) [Sonnenrechner,](#) [Elevation,](#) [PV-Anlage,](#)
[Photovoltaik](#)

La simulación se realizó el 12/7/2020 aproximadamente a las 23:45 horas. Con los siguientes valores aproximados. Latitud N(19 2' 36'') Altitud W(98 11' 50'')



Fig. 4.141 Datos de Latitud y Longitud (pagina web)

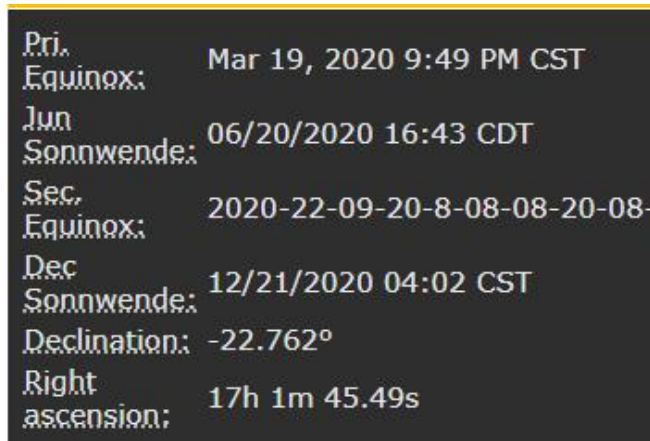


Fig. 4.142 Datos de Declinación (página web)

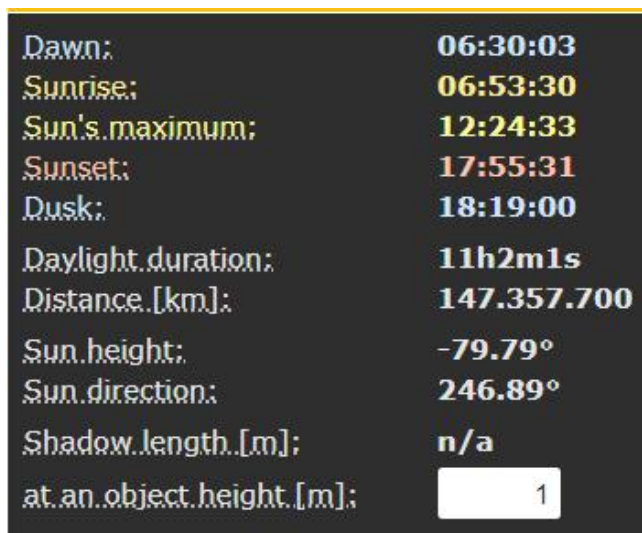


Fig. 4.143 Datos Azimut y Elevación (página web)

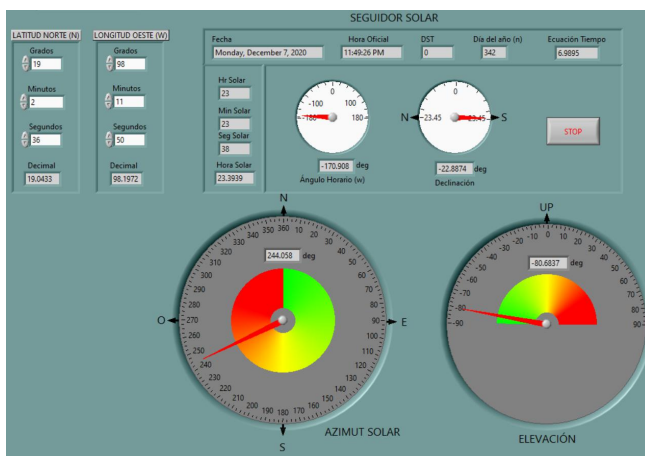


Fig. 4.144 Cálculo con programa principal LabView

IV.CONCLUSIONES

El desarrollo de tecnologías renovables es uno de los temas más sobresalientes hoy en día en nuestro entorno como estudiantes de ingeniería. Una de las partes esenciales es el control de sistemas. Para este proyecto, reunimos todos los elementos estudiados durante el curso referentes a la codificación gráfica en el software Labview para lograr el objetivo de un sistema de seguimiento solar. Se tomaron en cuenta muchas variables y se eligió el método de integrar diversos subprogramas en uno principal. Una de las limitantes de este proyecto fue la realización física. Debido a las condiciones de salud de la actualidad, el proyecto quedará documentado en tres específicas ramas: electrónica, donde se integran todos los componentes, control, donde se calculan todas las variables y el diseño, el cual contempla material y estructura. Para futuros proyectos, esta metodología de codificación gráfica será una excelente opción. - KB

El diseño para fuentes de energías limpias es cada vez más común, debido a las preocupaciones ambientales que se tienen hoy en día, es por ello que esta práctica resultó muy fructífera para poder realizar este sistema de manera gráfica, sin la necesidad de pasar horas escribiendo código y tener más control sobre cómo va la lógica -DP

La implementación de este tema para nuestra carrera (Ingeniería Mecatrónica) fue perfecta para el proyecto final. El seguidor solar fue una perfecta forma de perfeccionar nuestras habilidades de programación en LabView, simultáneamente comprender a fondo los fenómenos astrológicos del Sol. Al realizar un programa para calcular la posición exacta del Sol con el paso del tiempo sin utilizar sensores fue idea para cerrar la materia de instrumentación virtual, además se agregaron conocimientos del circuito a implementar con los motores necesarios y el diseño mecánico adecuado. -AA

RECONOCIMIENTOS

Hacemos notar el trabajo de todos los integrantes que conforman este equipo ya que en colaboración con el Prof. Marco Barrientos ha podido desarrollar habilidades notorias en el uso y desarrollo del software Labview, ampliando el panorama a nuevas aplicaciones controladas mediante el mismo.

REFERENCIAS

- [1] Arduino. (2018, 5 febrero). *What is Arduino?* <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>
- [2] Components101. (2019a, abril 3). *MG996R Servo Motor*. <https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
- [3] Components101. (2019b, agosto 19). *NEMA 17 Stepper Motor*. <https://components101.com/motors/nema17-stepper-motor>
- [4] Fritzing. (s. f.). *Fritzing*. <https://fritzing.org/>