

Proyecto: Automatización de panel solar a escala

Vargas, Nahuel
Departamento de ingeniería
electrónica
Universidad Tecnológica Nacional
Haedo, Argentina
nvargas117@alumnos.frh.utn.edu.ar

Kyanka, Santiago Iván
Departamento de ingeniería
electrónica
Universidad Tecnológica Nacional
Haedo, Argentina
skyanka737@alumnos.frh.utn.edu.ar

Lopez, Ignacio
Departamento de ingeniería
electrónica
Universidad Tecnológica Nacional
Haedo, Argentina

Resumen—En el escenario global actual, la creciente necesidad del uso de energía, así como el calentamiento global, juegan un papel fundamental en el desarrollo humano. Por eso, decidimos presentar como proyecto para la cátedra de Técnicas Digitales II en la UTN Facultad Regional Haedo, un dispositivo cuyo desarrollo e implementación promueve el conocimiento de energías renovables, en este caso, la energía solar. Sin embargo, en este tipo de energía es menester que el Sol se encuentre visible y así aprovechar lo máximo de su energía. El presente documento instruye en el desarrollo de un panel solar a escala cuyo seguimiento solar se encuentra automatizado y controlado por un microcontrolador.

Palabras clave—Automatización; energía solar; fotosensor; microcontrolador; panel fotovoltaico; servomotor.

I. INTRODUCCIÓN

Las acciones para combatir el cambio climático y las situaciones adversas que nos presenta, han crecido últimamente. Sin embargo, teniendo en cuenta el excesivo consumo de energía por parte de la humanidad, la diferencia entre las energías limpias (o renovables) y las derivadas de hidrocarburos aún es bastante notoria. Por ende, el uso de energías tales como la eólica, la solar y la hidráulica, son una buena y económica alternativa.

El aprovechamiento de la energía solar, cuya fuente es ilimitada hablando en tiempo humano, es un recurso bastante accesible en regiones de escasez de energía eléctrica donde los recursos son necesarios y la economía es limitada. Lugares donde el avance tecnológico y ecológico pueden ayudar no solo a realizar, sino también a fomentar la actividad en dichos sectores.

En base a lo anterior, planteamos en este trabajo cómo implementar un sistema de panel solar móvil y automatizado que aproveche la energía solar la mayor parte del día siguiendo el movimiento del sol respecto al posicionamiento del dispositivo. Además, el usuario podrá comunicarse con el dispositivo de forma inalámbrica para obtener los datos que este registre y controlar su funcionamiento. La aplicación dará lugar a un rápido acceso al recurso eléctrico y el beneficio de obtenerlo a través de una energía limpia.

II. TIPOS DE SEGUIDORES SOLARES

A. Pasivos

Este tipo de sistemas utiliza la idea de expansión térmica de los materiales como método de seguimiento. Generalmente se utiliza un clorofluorocarbono (CFC) o alguna aleación con memoria de forma, que se coloca en cada lado del panel solar. Cuando el panel se encuentra perpendicular a la incidencia de los rayos del Sol, ambos lados se encuentran en equilibrio. Una vez que el Sol se mueve, un lado se comienza a calentar

más causando que el material se expanda y el otro se contraiga, lo cual genera el movimiento del panel solar.

B. Activos

Astronómicos: Se basan en un sistema electrónico que a través de cálculos se dirige hacia la posición del Sol y activa los motores del equipo para mantener al panel solar en dirección perpendicular a los rayos solares, para lo que necesita manejar localización e intervalos de tiempos seteados con el manejo de coordenadas (latitud y longitud).

Controlados por sensores: En lugar de alinear los módulos usando la posición astronómica del Sol, se coloca un sistema de seguimiento utilizando sensores de luz puntuales en los paneles solares apuntando a los puntos más brillantes del firmamento. Ante un cielo completamente nublado, los módulos se colocan en posición horizontal.

III. SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR PROPUESTO

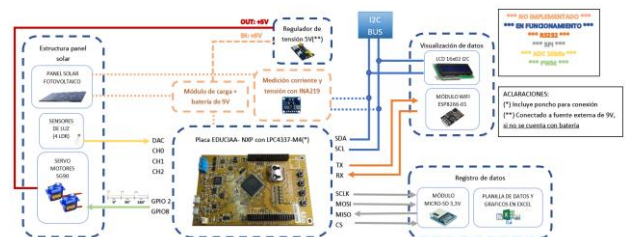


Fig. 1 muestra el diagrama en bloques propuesto para realizar el proyecto. Es evidente que se optó por un dispositivo de seguimiento activo controlado por sensores.

A continuación, se describen las partes presentadas en Fig. 1:

- **Sensores:** Se utilizan Light Dependent Resistors (LDR) para sensar la intensidad de luz incidente en ellos. Basado en la configuración de estos resistores, el código del software y la dirección de la máxima intensidad de luz proporcionarán las señales generadas para los servomotores
- **Convertor A/D:** Utilizado para convertir la señal de tensión analógica proveniente de los sensores, en una señal digital procesada por la ALU. Se encuentra presente en el microcontrolador.
- **ALU:** También presente en el microcontrolador, se encarga de procesar los niveles de la señal de entrada y provee las señales de control resultantes a los servomotores.
- **Motores:** Se utilizan dos servomotores. El servomotor inferior se encarga de rotar al panel solar sobre el plano azimutal, mientras que el superior, se encarga del plano

cenital. El movimiento de los servomotores se controla a través de las señales generadas por el microprocesador y el código.

- *Display LCD*: Se dispone del mismo para presentar el estado de la batería, así como la posición actual.
- *Módulo WIFI*: Se utiliza un módulo ESP8266-01 permitiendo la comunicación inalámbrica entre el dispositivo y el usuario.
- *Microcontrolador*: EDU-CIAA con chip NXP 4337-M4
- *Panel solar*: Debido a costos operativos, se excluye la instalación de este en la presentación actual.
- *Batería*: Ídem al anterior.
- *Fuente de alimentación*: Se utiliza una fuente de tensión constante de 5V para toda la electrónica implicada en el proyecto.

IV. ESTRUCTURA

Para la estructura que soporta y traslada al panel solar, se optó utilizar un modelo prediseñado en formato STL [1]. Se puede observar al mismo en Fig. 2.

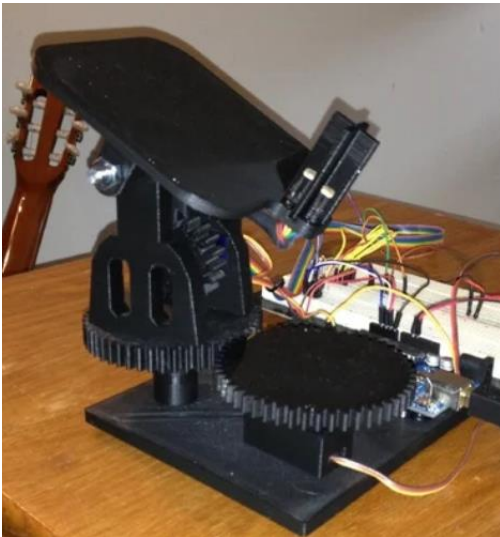


Fig. 2 Estructura sin panel montado

A. Material

Se utilizó un PLA negro de 1,75 mm de sección. El PLA es un material biodegradable y medianamente resistente, por lo que resultó una mejor y rentable opción en comparativa con ABS. Este último emana partículas tóxicas en el ambiente cuando se imprime y no es biodegradable, aunque su resistencia al calor y a los golpes es mejor.

B. Software

El software utilizado durante la impresión fue CURA3D. En este programa, se establecieron las condiciones de impresión, como la altura de capa de 1mm, la temperatura de impresión, el relleno de la estructura, etc.

C. Piezas

La estructura está construida sobre un total de 9 (nueve) piezas, enumeradas a continuación:

1) *Base de la estructura*: Base rectangular de 148mm x 119mm. Contiene sobre sí misma un espacio para colocar el servomotor que controla el movimiento del eje horizontal y un pilar para colocar el eje que soporta el movimiento cenital. Se lo puede identificar en Fig. 3.

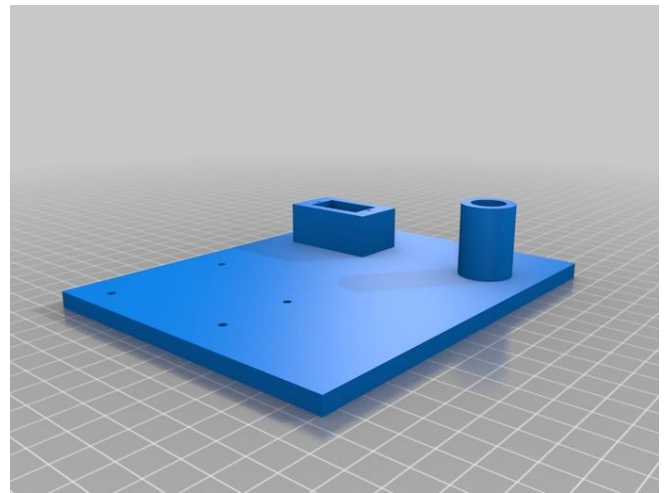


Fig. 3 Base de la estructura

2) *Base con engranaje y montaje para el panel*: Contiene en su parte posterior un engranaje para rotar en base al servomotor colocado en la *base de la estructura*. A su vez, contiene un orificio para colocar el servomotor que controla el movimiento en el plano cenital. En la parte superior, se encuentran 2 orificios circulares para colocar el eje que permite la rotación vertical del panel. Se observa en Fig. 4.

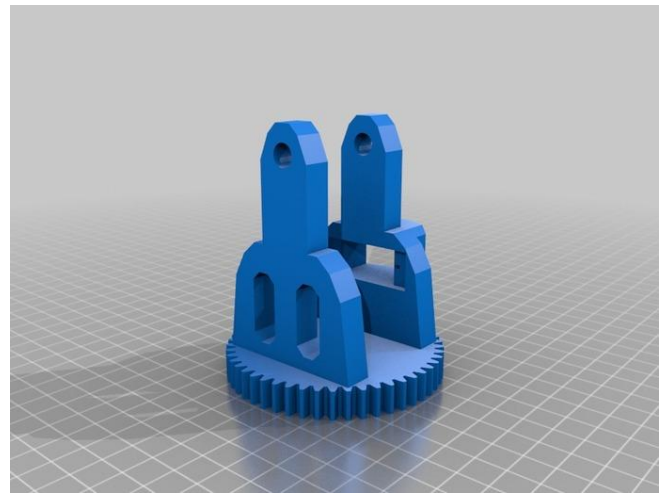


Fig. 4 Base con engranaje y montaje para el panel

3) *Soporte del panel*: Como su nombre lo indica, esta parte de la estructura se encarga de soportar al panel solar, así como a los LDR. Contiene un engranaje para rotar en el plano vertical. Ver Fig. 5.

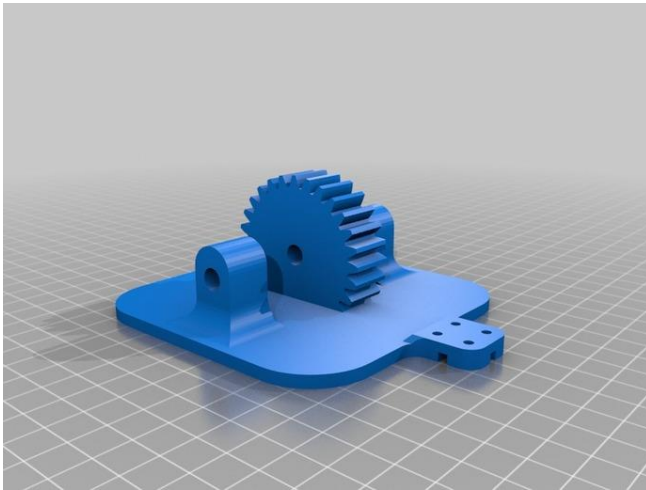


Fig. 5 Soporte del panel

4) *Divisor de LDR*: Un simple divisor en forma de cruz para separar las 4 LDR. Se puede observar esta pieza en Fig. 6.

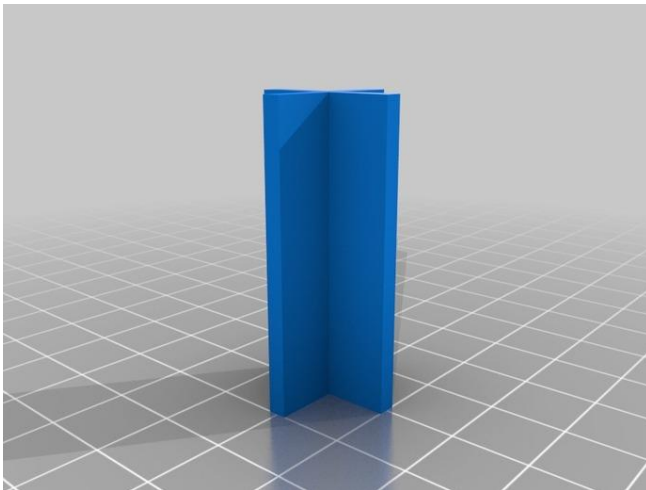


Fig. 6 Divisor de LDR

5) *Engranaje del servomotor horizontal*: Engranaje para coincidir y hacer rotar a la *base con engranaje y montaje para el panel*. Esta pieza contiene los orificios necesarios para atornillar el servomotor. Ver Fig. 7.

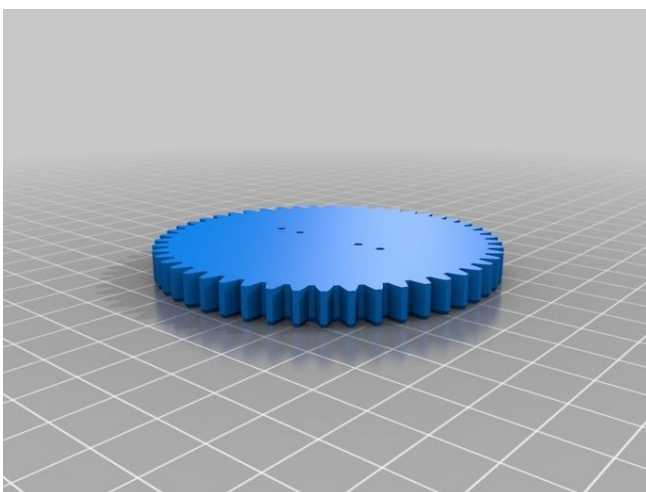


Fig. 7 Engranaje del servomotor horizontal

6) *Engranaje del servo azimuthal*: De un diámetro mucho menor al anterior, pero de mayor espesor, cumple la función de coincidir y hacer rotar al soporte del panel. Se observa esta pieza en Fig. 8.

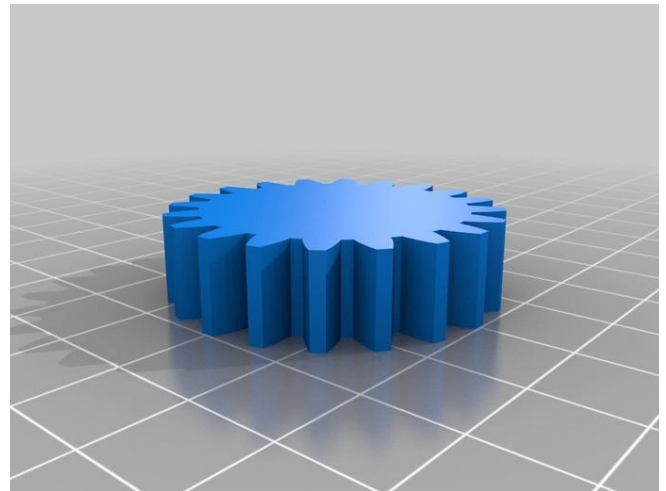


Fig. 8 Engranaje del servo azimuthal

7) *Eje del engranaje de la base*: Un simple cilindro que se debe pegar en centro del engranaje inferior de la *base con engranaje y montaje para el panel*. Se la observa en Fig. 9.

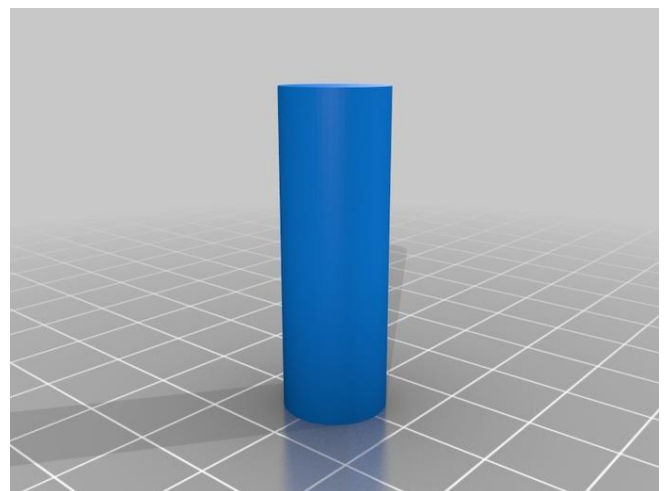


Fig. 9 Eje del engranaje de la base

V. MECÁNICA

El movimiento mecánico del dispositivo se realiza a través de 2 servomotores SG90 cuyo movimiento depende de la señal PWM controlada por la EDUCIAA. La misma cuenta con 11 salidas PWM dedicadas, de las cuales el grupo optó por utilizar GPIO2 y GPIO8. El diagrama de estas puede observarse desde la página oficial de EDU CIAA [2].

VI. FLUJO DE TRABAJO Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Todo el software se desarrolló en una PC con sistema operativo Linux. Para la programación en lenguaje C se utilizó el programa Eclipse IDE, configurado para

compilar y cargar el programa a la placa EDUCIAA -NXP. Para la comunicación Wifi (UART) se utilizó el programa SocketTest, una herramienta sencilla para recibir/ enviar datos por una red UDP. Para el control de versiones del proyecto, además del uso de firmware del proyecto CIAA, se utilizó git (con repositorio remoto en GitLab).

A su vez utilizo FreeRTOS, el port para la placa de desarrollo EDU-CIAA se encuentra dentro del firmware, por lo tanto, no fue necesario descargarlo desde ningún sitio externo al proyecto CIAA.

VII. ELECTRÓNICA

A. Alimentación

Se espera que el equipo, a futuro, funcione con un pack de baterías propias que se alimenten a través del panel solar. Sin embargo, como se comentó anteriormente, por temas logísticos y económicos, se optó por hacer las pruebas alimentando con un transformador de 9V 600mA. A su vez, se utiliza una placa estilo “protoboard” (Mb102) que entrega 5V y 3,3V con el fin de alimentar los dispositivos que ameriten tales valores de tensión. Ver Fig.10.



Fig. 10 Placa de alimentación Mb102

Para evitar picos de tensión y malas lecturas por parte del ADC, se agregó una masa analógica y una tensión de referencia analógica (3.3V). Se realizó de manera similar a la EDU CIAA con dos núcleos de ferrita.

B. PCB

El PCB se realizó teniendo en cuenta las indicaciones y recomendaciones otorgadas por la cátedra de la materia. Algunas de ellas son: separar en módulos de alimentación, comunicación, periféricos, etc. El PCB final, desarrollado en KiCAD puede observarse en la Fig. 11.



Fig. 11 Diseño de PCB final

C. Placa de desarrollo EDU CIAA NXP

Se trata de una versión de bajo costo de la CIAA-NXP, con fines educativos, y que fue utilizada para el desarrollo del proyecto. Se la puede observar en Fig. 12



Fig. 12 Placa de desarrollo EDU CIAA-NXP

Su microcontrolador es el LPC4337 (dual core ARM Cortex-M4F y Cortex-M0).

D. Sensores

Como se comentó anteriormente, el equipo utiliza cuatro LDR para realizar el sensado lumínico. Los cuatro sensores se colocan en forma de cruz de la siguiente manera

1	3
2	4

En base a esta disposición, se realiza una comparación de (1-2) y (3-4) para posicionarse en el eje cenital. Para el eje azimutal, se realiza la comparación entre (1-3) y (2-4).

Electrónicamente, los cuatro LDR se encuentran conectados directamente a la EDU-CIAA, donde el conversor analógico digital (ADC) integrado a la misma, se encarga de discretizar los valores y así, realizar la comparación señalada en el párrafo anterior.

En Fig. 13 se puede observar el gráfico que devuelven los valores de los LDR tras volcarlos a una tabla de Excel. Se puede observar en el mismo como coinciden siempre al menos dos sensores en cuanto a los valores, lo cual indica que predomina la luz de un lado sobre otro.

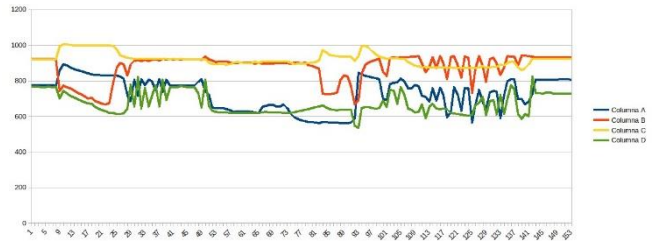


Fig. 13 Variación de los valores recibidos por los LDR en el tiempo

E. Coneccionado

En la Fig.14 se observa el esquema eléctrico del proyecto.

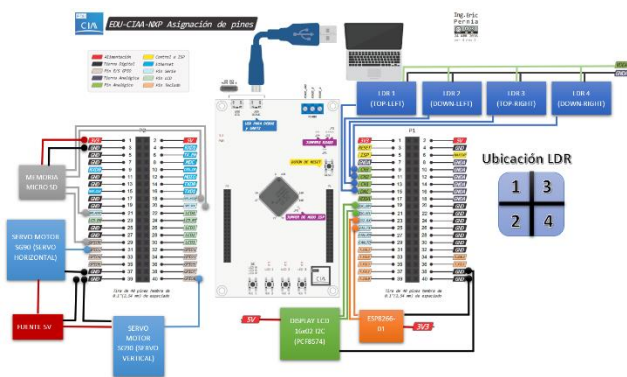


Fig. 14 Diagrama de conexión física de los diferentes componentes a la placa de desarrollo EDU-CIAA-NXP.

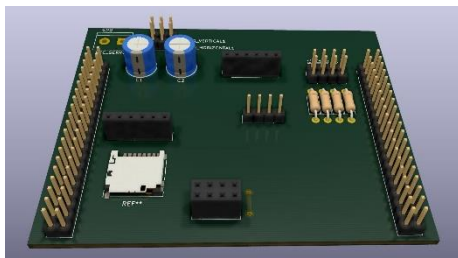


Fig. 14-A Poncho para placa EDU CIAA -NXP

VIII.COMUNICACIÓN EXTERIOR

Se desarrolló el proyecto teniendo en cuenta la necesidad del usuario para controlar el correcto posicionamiento y poder llevar un registro de los datos es caso de que los necesite.

En base a esto, se optó por colocar una pantalla LCD (Fig.14) descrita anteriormente, con el fin de visualizar los datos de forma inmediata y si ahondar en otros dispositivos ajenos al seguidor solar. La pantalla, se coloca sobre el gabinete para que el usuario logre visualizar a simple vista los datos. La misma se comunica por protocolo I2C con la EDUCIAA.

Es posible que la pantalla se dañe al estar expuesta al exterior, o que por otras causas el usuario no pueda observar la misma. Por esto, se utiliza un módulo wifi ESP8266-01 que permite conectar el dispositivo a una red WiFi cercana y poder observar los datos de esta manera.

Por último, el dispositivo cuenta con un guardado automático en una tarjeta SD. En la misma se almacenan lecturas de cada LDR ADC (10 bits) y la intensidad de luz en porcentaje que puede registrar como máximo el sensor, así también como el ángulo de los motores. Para el uso de almacenamiento en SD, se implementó el correspondiente protocolo.

IX. INCIDENCIAS

A. Oscilaciones en los servomotores

Los servomotores en un principio respondían con ruido a la hora de estabilizarse en la posición que correspondía. Esto se presentaba como oscilaciones en los movimientos de la estructura.

La solución principal a esto derivó en la forma de realizar los testeos de movimiento, donde se utilizaba la luz emitida

por la linterna de un smartphone y con movimientos rápidos. El objetivo de este proyecto consiste en seguir un astro con cierta longitud de onda distinta a la del smartphone y un movimiento mucho más lento que el que realizaba el operador. Al probarlo a la intemperie se notó un resultado mucho mejor, pero aún prevalecía la falla. Se pueden observar (Fig.15) los “dientes de sierra” en las rectas pertenecientes a los servos cuando respondían a los valores de la Fig. 13.

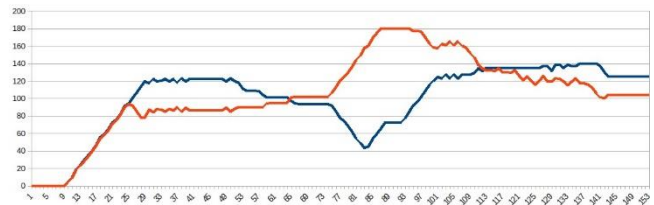


Fig. 15 Variación de los valores de posición de los servomotores en el tiempo

Buscando mejores resultados, se optó por realizar las mismas pruebas utilizando ahora la placa del PCB mostrado con anterioridad. El ruido se redujo notablemente, demostrando que el generado por los cables era una de las causas.

Para mejorar, se colocaron 2 capacitores de $470\ \mu\text{F} \times 10\ \text{V}$. Finalmente se editó el código para mejorar los tiempos de cola, ya que, al recibir los datos de los LDR, se debe esperar cierto tiempo hasta llenar la cola y que se envíen los datos necesarios.

B. Deformación de la estructura

Tras probar el dispositivo en pleno día de verano (30°C aproximadamente), se observó una curvatura en la base de la estructura. Se dedujo que se debe a la sensibilidad del PLA a las altas temperaturas y la humedad.

X. CONCLUSIONES

En principio, el proyecto permitió fomentar el uso de los conocimientos adquiridos en las clases de la cátedra, así como reforzar los adquiridos tanto en la materia como en las demás de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Los problemas presentes en el desarrollo concretaron lo anunciado en el párrafo anterior, ya que debimos buscar soluciones y hacer uso de los conocimientos para poder solucionarlos.

En cuanto al proyecto, nuestro deseo de realizarlo con el panel y las baterías se vio afectado por la pandemia y las distancias entre los participantes del grupo. Sin embargo, pudimos orientarlo hacia donde queríamos y formar un proyecto prácticamente similar al planteado en un principio, cumpliendo con los objetivos que se tenían. Esto gracias a las nuevas tecnologías y los medios de comunicación presentes en nuestra vida cotidiana, que afloraron su utilidad en el transcurso de la pandemia.

Para la documentación del código se siguieron los lineamientos del proyecto Doxygen. Tanto esto como también el correcto uso de los estándares para C [3], hizo que el desarrollo del proyecto a medida que se iba complejizando fuera más sencillo de seguir.

La automatización del movimiento del panel solar es algo necesario y completamente útil tanto en el uso de las energías

renovables como en el aprovechamiento máximo de las mismas. Sin embargo, concluimos que resulta más útil complementar el uso del seguimiento con sensores con una rutina preseleccionada del movimiento solar, pero que varía de acuerdo con la latitud, longitud y fecha del lugar donde se encuentre el dispositivo. Esto se debe a que los sensores pueden llegar a fallar y, en el caso de no tener esta rutina, podría fallar el seguimiento del astro. De este modo, el uso de los sensores sería perfecto para el posicionamiento y la corrección del ángulo de apuntamiento, pero que el movimiento esté controlado principalmente por la rutina.

En cuanto al material de la estructura, se sugiere utilizar un material más resistente, ya que se pretende utilizar el dispositivo en plena intemperie, sea cual sea el tiempo y el clima de la zona donde se emplee.

Por último, hay que destacar que los dispositivos de comunicación fueron útiles para el desarrollo del proyecto pues permitían seguir el funcionamiento y la adquisición de datos. Estos dispositivos con el fin de comunicación serían útiles aún para el usuario en el caso planteado en el párrafo anterior, cumpliendo con las mismas tareas que las actuales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores de la cátedra de Técnicas Digitales II de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Haedo, por la tarea de realizar este proyecto incentivándonos a interactuar con la materia, así como acompañarnos, apoyarnos, y enseñarnos con todas las dificultades que plantea la situación actual.

REFERENCIAS

- [1] OpenSourceClassroom. <https://www.thingiverse.com/thing:53321>
- [2] Proyecto CIAA. Framework para desarrollo de Firmware de Sistemas Embebidos en C/C++. URL: <https://github.com/epernia/firmware-v3/blob/master/documentation/firmware/readme/readme-es.md>.
- [3] C and C++ Coding Standards, European Space Agency, 8-10, rue Mario-Nikis, 75738 PARIS CEDEX, France

