

## Diseño y desarrollo de sistema embebido para el control de seguidor solar fotovoltaico con dos grados de movimiento y una fuerza motriz.

## Design and development of an embedded system for the control of a photovoltaic solar tracker with two degrees of movement and one driving force.

Juan P. Marcon

UTN - Facultad Regional Reconquista

[jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

Iván Talijancic

UTN - Facultad Regional Reconquista

[italijancic@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:italijancic@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

### Resumen:

Este proyecto surge a partir de la necesidad de controlar el movimiento de paneles solares, los cuales cuentan con el agregado de un sistema mecánico que permite dicha característica mediante la implementación de un solo motor que acciona dos ejes de rotación. Para lograr este objetivo se hace uso de un sistema embebido que tiene la capacidad de, en función de la geo posición del equipo, la fecha y hora, ajustar la trayectoria del movimiento para obtener la mayor eficiencia posible de la luz solar captada. El desarrollo de este dispositivo es la fundamentación del presente trabajo.

### Palabras clave:

Control, energía, eficiencia, automatización, sistema embebido.

### Abstract:

This project arises from the need to control the movement of solar panels, which have the addition of a mechanical system, it allows this feature through the implementation of a single motor that drives two rotation axes. To achieve this objective, an embedded system is used that has the capacity to adjust the movement path to obtain the highest possible efficiency of the captured sunlight, depending on the geo-position of the equipment, the date and time. The development of this device is the foundation of this work.

### Keywords:

Control, energy, efficiency, automation, embedded system.

### Introducción:

La situación actual del planeta demanda que las sociedades apunten sus esfuerzos a ajustar el consumo energético y buscar soluciones eficientes e innovadoras para suplir las demandas que presentan sus necesidades. Es inevitable, al tratar estos asuntos, pensar como una de las herramientas fundamentales para el desarrollo de estas buenas prácticas a las energías

renovables, principalmente por el exponencial avance tecnológico que permitió en los últimos años reducir sus costos y mejorar los resultados obtenidos en su aplicación. Afortunadamente la ambición y curiosidad del ser humano motivan a seguir innovando para lograr sacar más provecho de los recursos disponibles. Este es el caso donde se implementa el presente proyecto: la necesidad de aumentar el rendimiento de la energía solar mediante la captación por paneles solares, donde se descubrió que es altamente efectivo orientarlos continuamente de forma perpendicular al sol. Actualmente, los sistemas que se pueden ver desarrollados por las distintas comunidades investigadoras y empresas afines basan la solución en la implementación de sistemas de control que accionan dos motores (entre muchos otros componentes) para lograr la orientación. Sin embargo, como se mencionó con anterioridad, la curiosidad motivó a que se investigue y desarrolle un sistema que permita realizar el mismo proceso, pero esta vez con un único elemento motriz. Estos presentan las siguientes ventajas: disminución de los costos de aplicación de esta tecnología, menor cantidad de elementos que puedan presentar fallas, simplificación de mantenimiento y disminución en la energía consumida para animar de movimiento al panel.

Dicha solución demanda de dos partes fundamentales, que son la mecánica y electrónica de control. Actualmente, la parte de diseño mecánico se encuentra totalmente resuelta y en etapa de construcción experimental. Sin embargo, la electrónica de control, que aplica la lógica funcional para accionar el sistema mecánico se encuentra en sus comienzos, siendo el fundamento de este proyecto.

Además de cumplir con la finalidad específica de crear la solución de control para el sistema, el proyecto es utilizado como herramienta para la introducción a sistemas embebidos, para quien lo desarrolla, con orientación a metodologías de trabajo que se asemejan a las implementadas a nivel profesional, guiado por un especialista del tema.

### **Desarrollo:**

Si bien el presente proyecto se enfoca directamente en el desarrollo del hardware y software necesario para el accionamiento del sistema mecánico se considera necesario realizar una breve introducción a este último. Actualmente casi la totalidad de equipos de transformación de energía solar a eléctrica que se consiguen en el mercado son estáticos, es decir, los mismos son instalados sobre soportes fijos sin la capacidad de movimiento alguno. Si bien las buenas prácticas de instalación de estos equipos establecen criterios técnicos previamente estudiados y comprobados que ayudan a lograr buenos resultados en cuanto a la captación de energía solar, existe una alternativa que permite aumentar el rendimiento de los mismos, la cual consiste en dotar al sistema de soporte de los paneles de ejes y sistemas de accionamiento que permitan un movimiento controlado de la orientación con la finalidad de lograr la mayor perpendicularidad posible a lo largo del ciclo de luz solar.

En la actualidad los avances que se lograron en las distintas comunidades investigadoras e industrias afines consisten, en su gran mayoría, de soluciones que presentan dos grados de libertad de movimiento para los cuales tienen su propio elemento de accionamiento individual.

Como se menciona en la introducción de este trabajo, gracias a la ambición y curiosidad del ser humano surge el proyecto GIRASOL, creado por el Ingeniero Mario Ross. Este desarrollo tiene como característica fundamental que el movimiento del panel solar sigue ejecutándose sobre la rotación de dos ejes del sistema, pero esta vez con el accionamiento de un solo elemento

motriz. Esto es posible gracias al desarrollo de un ingenioso mecanismo que permite relacionar ambos ejes de rotación. El accionamiento del mismo se basa en parámetros de geolocalización y tiempo, que en forma coordinada generan una trayectoria muy próxima a la que ofrece la máxima eficiencia de captación de energía solar.

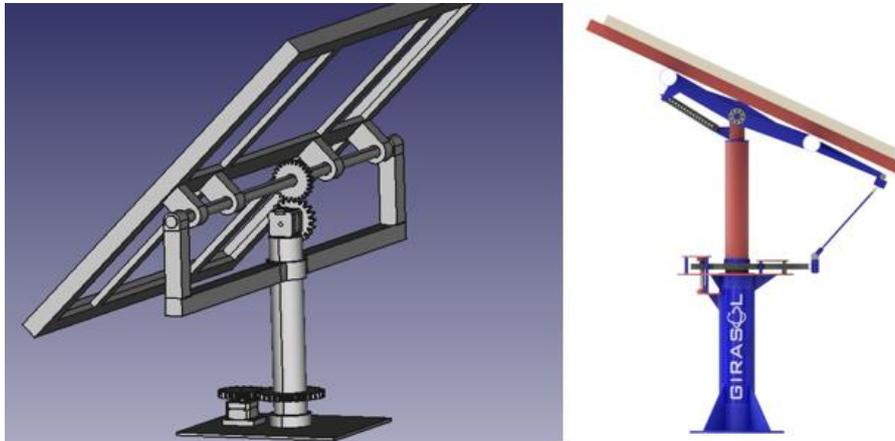


Figura 1: Sistema de accionamiento actual (izquierda) y propuesto (derecha).

### Diseño de la solución:

Las partes fundamentales para cumplir con la materialización de la solución demandada por el proyecto son las siguientes:

- Hardware: microcontrolador y periféricos.
- Software: lógica de funcionamiento y sistema embebido.

A continuación, se procede a desarrollar cada uno de estos aspectos.

#### - Hardware embebido

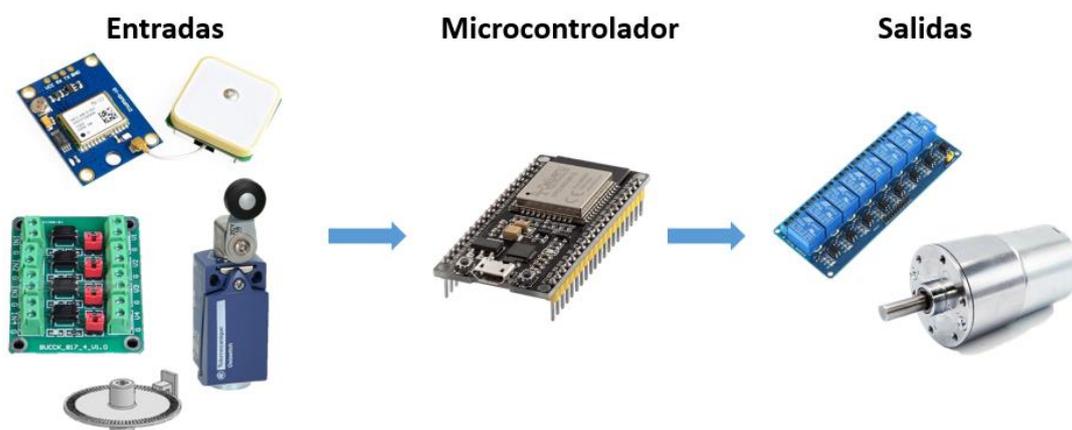


Figura 2: Hardware del proyecto

En el esquema anterior se presentan a grandes rasgos los diferentes bloques funcionales, a nivel de hardware embebido, que componen la solución en general, se describen a continuación cada uno de ellos:

#### Microcontrolador

El microcontrolador es el elemento fundamental de este proyecto, ya que el mismo es el encargado de leer las señales de entrada, procesarlas según la lógica con la que se programó y en función de los distintos parámetros accionar las distintas salidas del sistema.

Para este proyecto se decidió trabajar con el microcontrolador ESP 32, cuyo fabricante es Espressif. Este es un dispositivo de nueva generación, cuenta con procesador dual core de 32 bits y capacidad de funcionar a 240 MHz, lo cual le confiere una excelente capacidad de computo para la tarea a realizar. Otro aspecto importante a mencionar de este microcontrolador es que posee conectividad Wi-Fi y Bluetooth, lo cual resultará de gran utilidad en etapas posteriores donde se planea agregar conectividad para introducir el sistema desarrollado al mundo del IoT.

### **Salidas digitales**

El conjunto de salidas digitales se comanda mediante un modulo con ocho salidas relé opto acopladas, donde dos de ellas se destinan al accionamiento de un motor de corriente continua encargado de la rotación del sistema mecánico (una para cada sentido de giro), quedando disponibles las salidas restantes para otras funciones auxiliares que se deseen integrar a futuro, tales como indicaciones sonoras y/o lumínicas para señalización de estados.

### **Entradas digitales**

Para la lectura de las distintas entradas digitales que posee el sistema se decidió implementar entradas opto acopladas, ya que las mismas nos permiten aislar eléctricamente el microprocesador y así evitar que el mismo sufra desperfectos por posibles fallas eléctricas provenientes de los periféricos. Este mismo criterio se utilizó para el accionamiento de salidas del sistema.

Para este fin, se implementaron dos módulos de cuatro entradas digitales opto acopladas cada uno, a los cuales se conectan los siguientes elementos:

- Sensor de pulsos: es el encargado de mantener la referencia de avance del motor de accionamiento del mecanismo. De esta manera es posible determinar la posición del sistema mecánico en todo momento.
- Sensores de final de carrera: este cumple dos funciones principales, las cuales son, en primer lugar, como elemento de seguridad para evitar la colisión mecánica por exceder el rango de desplazamiento y por otro lado generar la referencia inicial de posición.
- Otras señales digitales: se deja a disposición entradas para implementación de nuevas funcionalidades del equipo.

Por otra parte, como entrada del sistema, se tiene la señal proveniente del modulo GPS, el cual cumple las siguiente funciones:

- Obtener información de fecha y hora.
- Geo posicionar el equipo.

Estos datos son fundamentales para el sistema de control diseñado, ya que son básicamente los parámetros de entrada o argumentos en la función que indica como mover el panel.

En función de dichos argumentos el sistema determina la función de accionamiento del mecanismo, resultando en un cierto desplazamiento angular del mecanismo por cada hora.

## - **Software Embebido**

Para el desarrollo del software del sistema embebido se optó por trabajar en el entorno de desarrollo oficial del fabricante del microcontrolador. Este es un framework de desarrollo para sistemas embebidos en lenguaje C que se basa en FreeRTOS (Free Real Time Operation System), denominado ESP-IDF. El principal motivo para elegir esta plataforma de trabajo se debe a que el presente proyecto se utiliza como introducción a la programación de microcontroladores a nivel industrial y comercial, siendo este uno de los estándares más actuales y versátiles que se implementan en este tipo de proyectos, además del perfil profesional que presenta frente a otras propuestas similares.

Con esta proyección se trabajó en el desarrollo de librerías, que consisten en códigos pre producidos con la finalidad de evitar sobrecargar el archivo principal del proyecto y se utilizan para ejecutar tareas repetitivas y cumplen un objetivo específico. A grandes rasgos, se mencionan las principales de este proyecto:

- **GPS:** se implementó un driver que analiza y convierte las tramas de NMEA (estándar de comunicación electrónica) recibidas a través del modulo GPS, que son enviadas al microcontrolador mediante comunicación serie, para poner a disposición los datos que nos resultan de interés de dicho paquete. Esta es la información que fundamenta el funcionamiento del sistema. Como se explicó anteriormente, éstos son los datos de entrada o argumentos, de la función que gobierna la lógica de movimiento.
- **Entradas digitales:** Se implementó una librería que hace uso de los drivers de manejo de hardware que el ESP-IDF nos provee y sobre estos se desarrolló una capa de aplicación que es la que interactúa con el resto de la aplicación embebida.
- **Salidas digitales:** Al igual que con las entradas digitales, se utilizó la librería provista por el IDF y se desarrolló una capa de aplicación, sobre esta para interactuar con el resto de nuestra aplicación.

Por otro lado, se considera importante hacer breve referencia a uno de los motivos fundamentales de la elección del mencionado entorno de trabajo para llevar a cabo el desarrollo del software, el cual es FreeRTOS.

La implementación de este sistema permite dotar a los microcontroladores de funcionalidades que posee un sistema operativo (tal como lo hacen los microprocesadores en computadoras, lo cual confiere una ventaja de funcionamiento exponencial frente al desempeño de tareas en microcontroladores que ejecutan tareas bajo el funcionamiento tradicional.

La estructura que demanda la implementación de este sistema se compone de un archivo principal (main el cual se encarga de crear las distintas tareas que utilizara el sistema operativo. Cada una de estas tareas consiste en un bucle infinito (while true, que ejecuta una serie de líneas de código con una finalidad específica, por ejemplo, leer o escribir una variable del sistema.

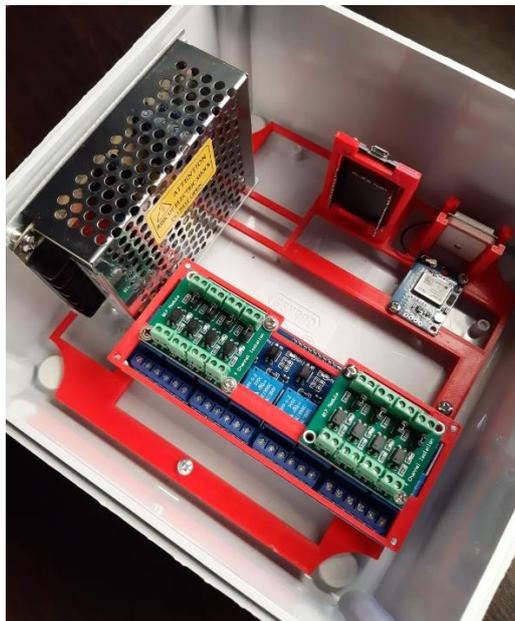
Como se mencionó, cada una de estas tareas es un bucle infinito, es decir, se ejecutan repetitivamente sin fin y su funcionamiento se condiciona por las distintas variables de interés. Aquí es donde se destaca la importancia de la implementación de un sistema operativo: en cada uno de estos ciclos infinitos se colocan macros del sistema operativo que detienen brevemente el proceso para consultar si existe alguna otra tarea que tiene prioridad de funcionamiento sobre esta y si esta es la condición procede a su ejecución. Esta característica se dificulta en la implementación de procesos tradicionales en microcontroladores.

A modo de conclusión, FreeRTOS permite al microcontrolador llevar en paralelo varias tareas importantes para el funcionamiento del sistema. Por ejemplo, gracias a este principio es posible que el sistema realice tareas de comunicación mediante Wi-Fi y al mismo tiempo lea y escriba variables, las cuales condicionan el funcionamiento de las salidas.

### **Conclusiones:**

Actualmente el proyecto se encuentra en su etapa inicial. Como se ha visto en el desarrollo de este trabajo, se han definido todos los elementos necesarios para lograr cumplir con la demanda planteada, los datos de entrada y salida del sistema y la metodología de trabajo.

Dado que durante el desarrollo del equipo es necesario realizar pruebas se desarrollará un simulador para poder interactuar con las distintas variables que intervendrán en el funcionamiento cotidiano del equipo.



*Figura 3: Prototipo del sistema en etapa de montaje*

A futuro, una vez logrado un conjunto mecánico y electrónico funcional, se planea avanzar sobre mejoras y estandarizaciones pertinentes, lo cual ayudaría a adaptar la aplicación del equipo a nivel comercial. Esto demandará de la puesta en campo, observación y análisis del comportamiento.

Por último, se considera agregar al equipo la posibilidad de medir parámetros eléctricos del panel, con la finalidad de, en primer lugar, poder informar a los usuarios acerca del funcionamiento del equipo y por otra parte realizar comparaciones con equipos estáticos para demostrar el potencial que genera este cambio. Para esta finalidad se planea desarrollar una interfaz de usuario, para que este pueda consultar datos y establecer configuraciones necesarias.

### **Agradecimientos:**

Se agradece el apoyo y colaboración del ingeniero Iván Talijancic para poder llevar a cabo el presente proyecto. También se agradece al Ingeniero Mario Ross por la oportunidad de colaborar en su proyecto.

## Referencias:

Espressif (2022). “ESP32 Series Datasheet v3.8”. Disponible en <[https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)>

Espressif (2022). “ESP-IDF Programming Guide”. Disponible en <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32>>

FreeRTOS (2016). “The FreeRTOS™ Reference Manual”. Disponible en <[https://www.freertos.org/Documentation/FreeRTOS\\_Reference\\_Manual\\_V9.0.0.pdf](https://www.freertos.org/Documentation/FreeRTOS_Reference_Manual_V9.0.0.pdf)>

Nam Nguyen (2016). “Solar Tracking System”. Helsinki Metropolia University of Applied Sciences. Disponible en <<https://core.ac.uk/download/pdf/38140448.pdf>>

Klaus Betke (2000). “The NMEA 0183 Protocol”. Disponible en <<https://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf>>