



**Departamento de Ingeniería
Eléctrica, Electrónica y Automática**
Universidad de Extremadura



Estudio del rendimiento de un seguidor solar integrado en IoT

A. García Blanco, C. J. García Orellana, E. Abengózar García-Moreno

Teruel, Junio de 2022

TAAE 2022

**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional**

“Una manera de hacer Europa”

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea

Contenidos

- ▶ **Introducción.**
- ▶ **Desarrollo del TFG.**
 - ▶ Plan de trabajo.
 - ▶ Carga activa.
 - ▶ Resultados actuales.
- ▶ **Conclusiones.**



Contenidos

- ▶ **Introducción.**
- ▶ **Desarrollo del TFG.**
 - ▶ Plan de trabajo.
 - ▶ Carga activa.
 - ▶ Resultados actuales.
- ▶ **Conclusiones.**



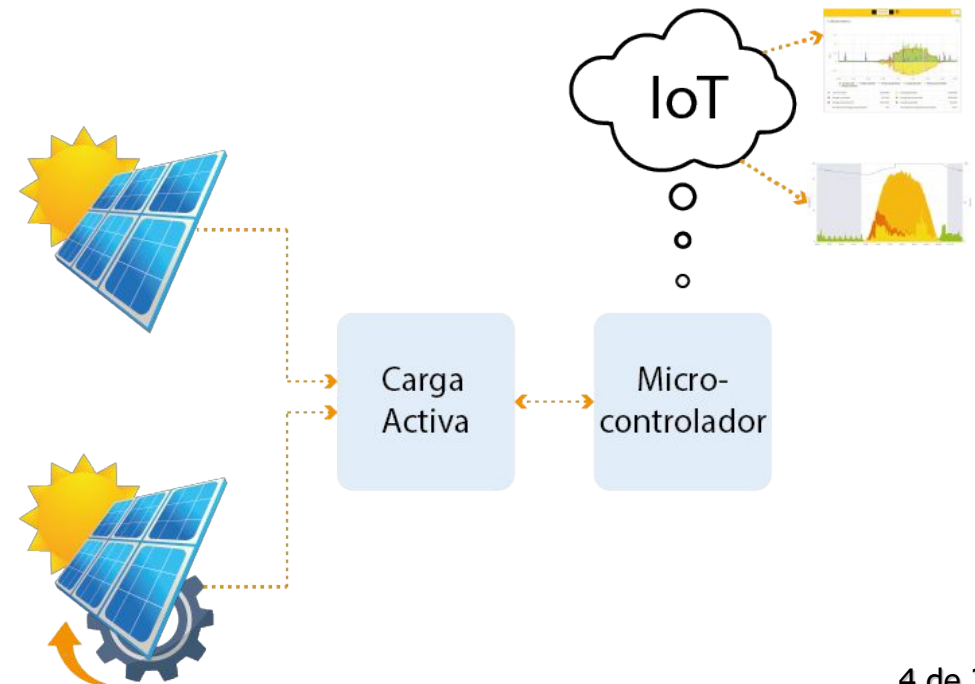
Introducción

► ¿Qué se pretende hacer?

- ♦ Estudiar la mejora en la producción fotovoltaica con un seguidor solar.
- ♦ Comparar la producción de dos paneles (fijo y montado en un seguidor).

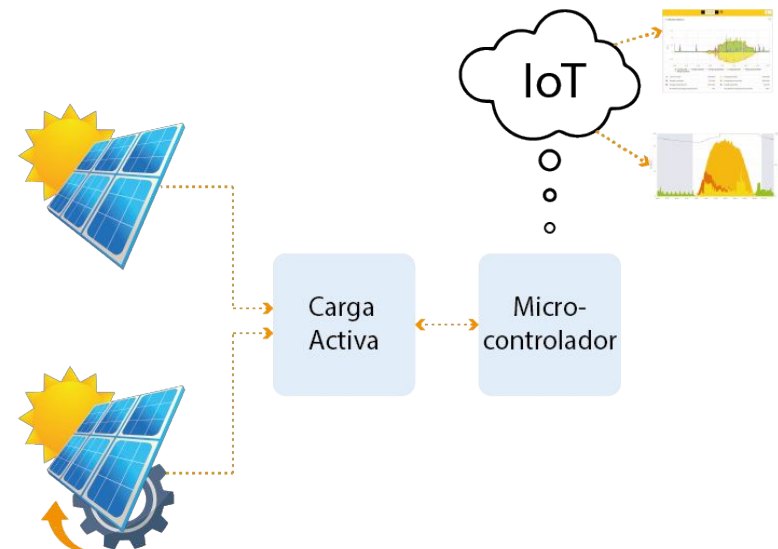
► ¿Cómo se aborda?

- ♦ Se estudia la energía producida con una carga activa diseñada en este trabajo.
- ♦ Los datos obtenidos se subirán a una **plataforma IoT** para su análisis.



Objetivos

- ▶ Reforzar las competencias del ámbito académico.
- ▶ Abordar los siguientes objetivos **específicos**:
 - ❖ Diseñar y fabricar el sistema mecánico y de control del **seguidor**.
 - ❖ Medir de forma precisa la capacidad de producción de energía de cada uno de los dos paneles solares mediante una **carga activa**.
 - ❖ Subir datos a una plataforma **IoT**.
 - ❖ Comparar los **rendimientos** obtenidos.



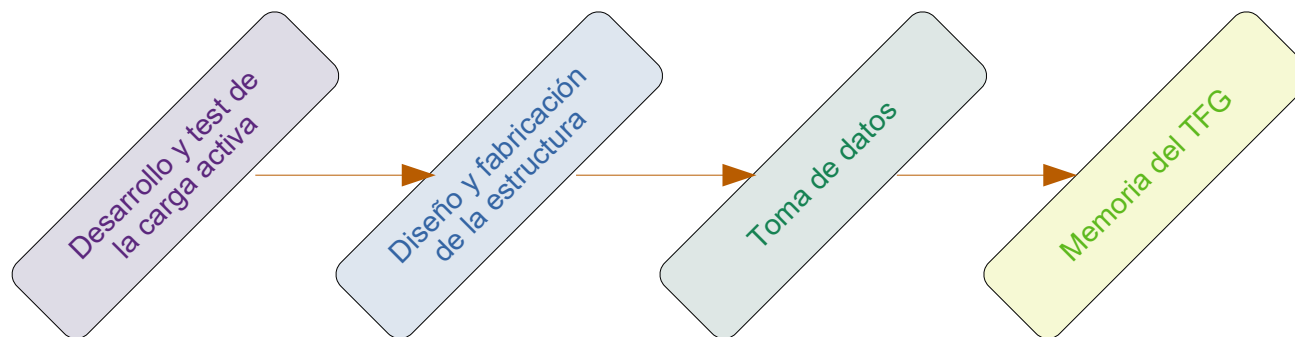
Contenidos

- ▶ Introducción.
- ▶ **Desarrollo del TFG.**
 - ▶ Plan de trabajo.
 - ▶ Carga activa.
 - ▶ Resultados actuales.
- ▶ Conclusiones.



Plan de Trabajo

- ▶ Desarrollo y test de la **carga activa**.
- ▶ Diseño y fabricación de la estructura y sistema de control del **seguidor**.
- ▶ Toma y análisis de **datos**.
- ▶ **Memoria** del TFG.



Microcontrolador ESP32 (Espressif)

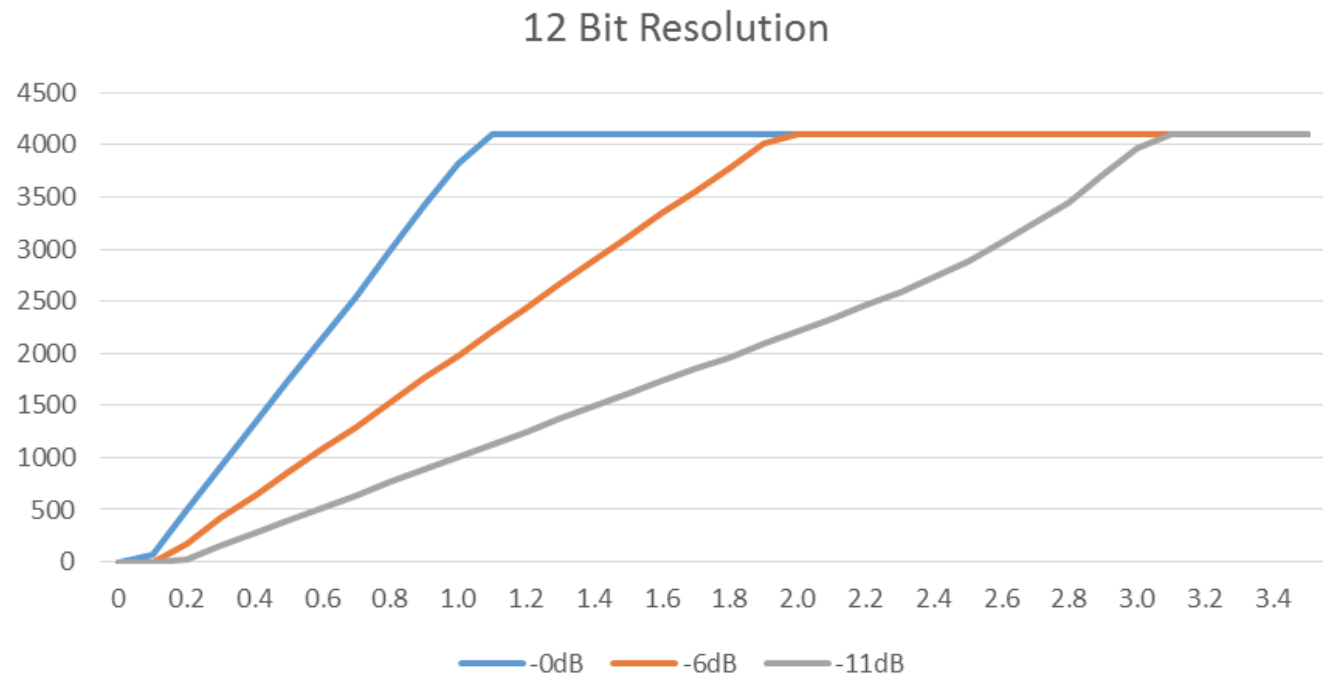
- ▶ Encargado de controlar la **carga activa** y los **servomotores** del seguidor.
- ▶ Algunas especificaciones:
 - ♦ 520 KBytes de memoria SRAM y 448 Kbytes de ROM.
 - ♦ Hasta 16 MBytes de memoria Flash externa por SPI.
 - ♦ Tensión de trabajo entre 3.0 y 3.6 V.
 - ♦ Frecuencia de operación de hasta 240 MHz.
 - ♦ Varios periféricos integrados en el chip: contadores, generadores PWM, buses I2C y SPI, etc.
 - ♦ Varios ADC de hasta 12 bits y dos salidas DAC de 8 bits.
 - ♦ Comunicaciones WiFi y Bluetooth.



Microcontrolador ESP32. ADC y DAC

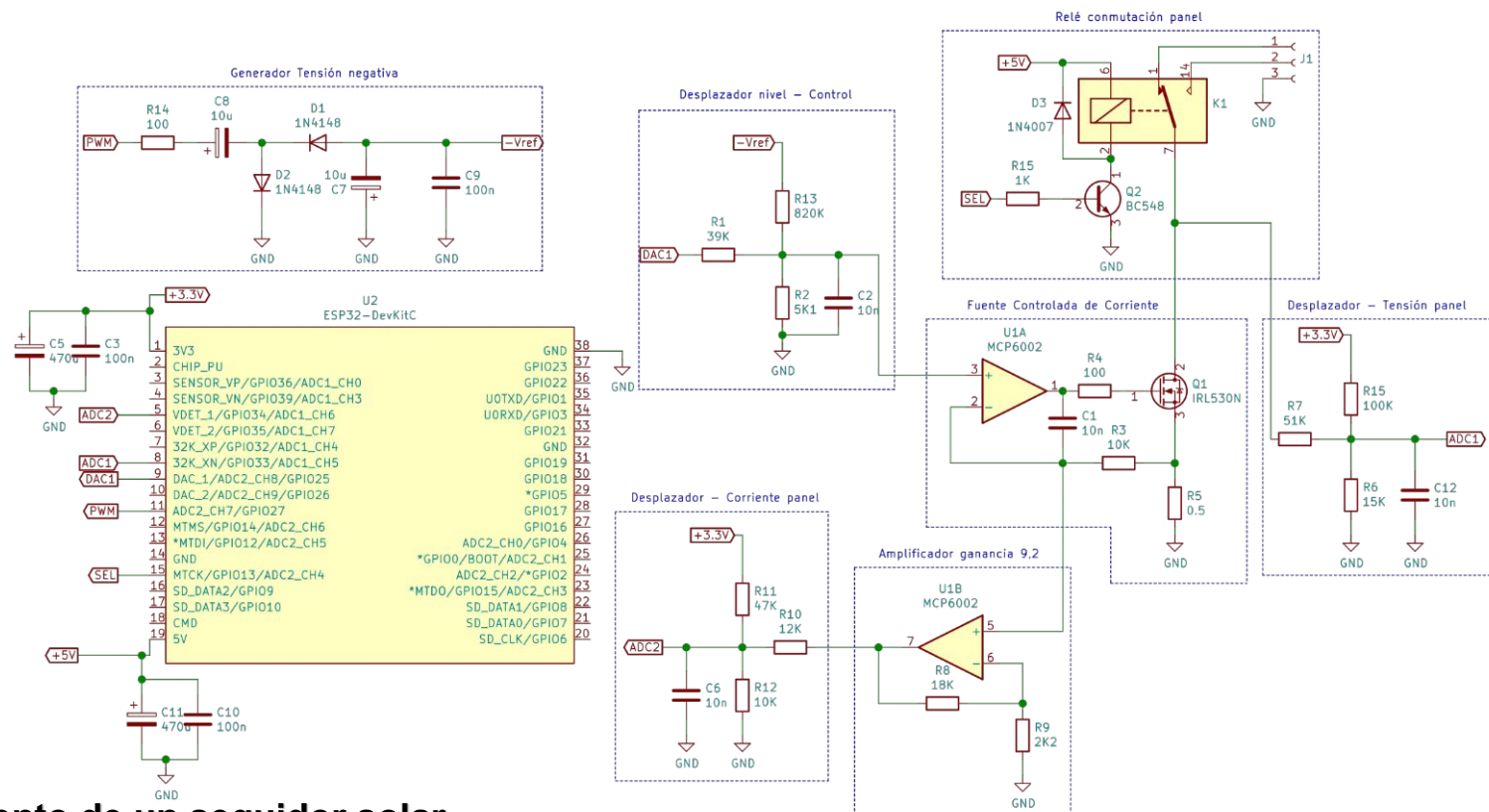
- ▶ **ADC:** $V_{ref} \sim 1.1 \text{ V}$, pero con atenuador 6dB, obtenemos un rango lineal de 150 mV - 1.75 V → Necesidad de desplazamiento de la señal.
- ▶ **DAC:** Rango de salida 150 mV - 3.2 V → Necesidad de desplazamiento de la señal.

Ciertamente, los
ADC y DAC del
ESP32, tienen
sus pegas.



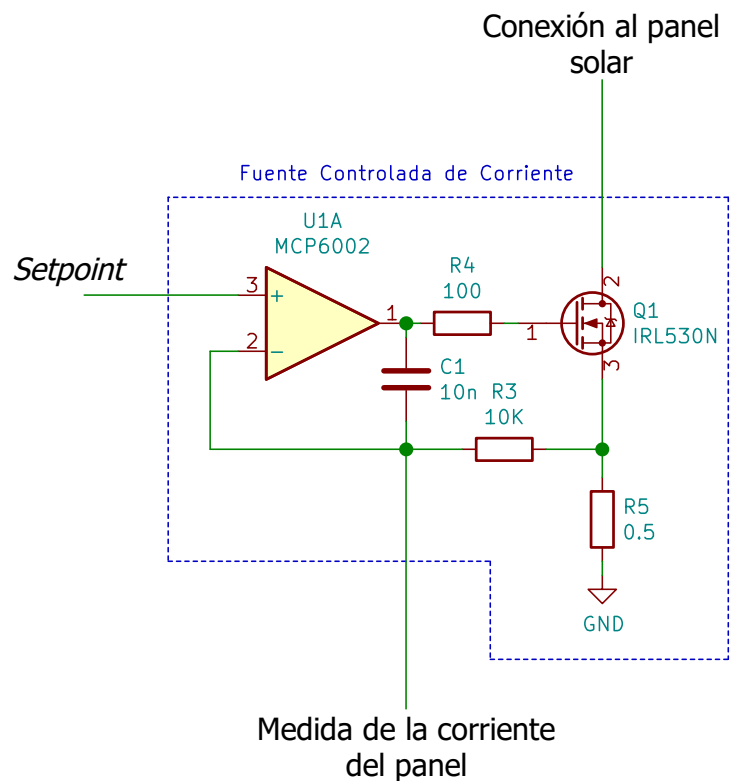
Carga activa

- **MOSFET** controlado mediante muestreo de corriente, formando una fuente de corriente, con el *setpoint* dado por una tensión de control.
- El microcontrolador varía la corriente que demanda la carga activa, mide la tensión y corriente del panel, y obtiene la **potencia** máxima.



Carga activa. Fuente controlada de corriente.

► Esquema de realimentación de *corriente en serie*.



R_5 muestrea la corriente y el amplificador operacional realimentado U_{1A} controla el MOSFET Q_1 para llevar la corriente al valor del *setpoint* fijado por la tensión en la entrada no inversora de U_{1A}

$$I_{setpoint} = \frac{V_{setpoint}}{R_5}$$

Carga activa. Desplazadores y adaptadores de nivel.

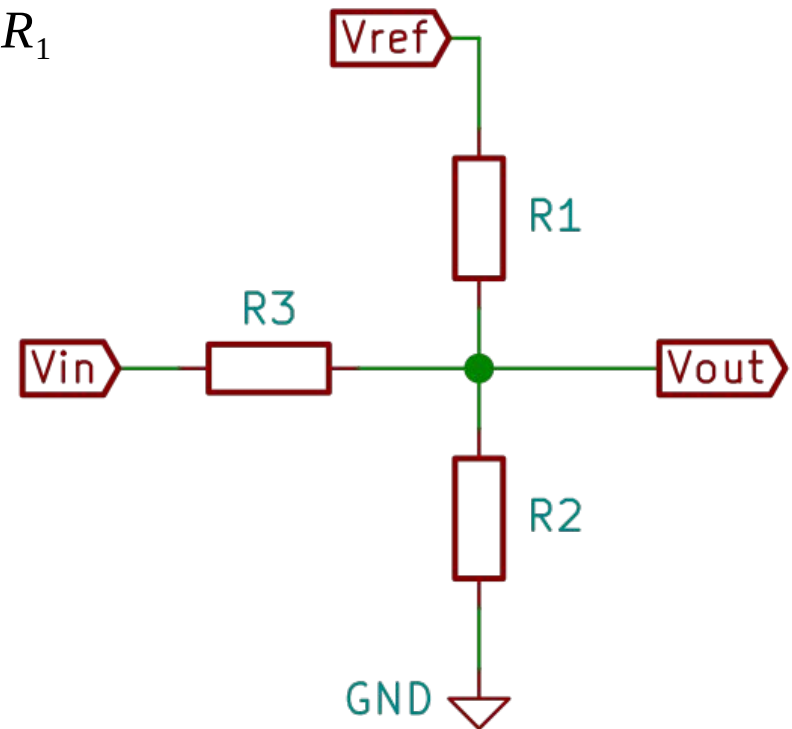
- Para solucionar los problemas con rango inferior de los ADC y DAC del ESP32 usamos **desplazadores / adaptadores**.

$$V_{out} = \frac{R_2 R_1}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_2 R_1} \cdot V_{in} + \frac{R_2 R_3 V_{ref}}{R_1 R_3 + R_2 R_3 + R_2 R_1}$$

- Si $R_1 \gg R_2$ y $R_1 \gg R_3$ entonces

$$V_{out} \approx \frac{R_2}{R_3 + R_2} \cdot V_{in} + \frac{R_2 R_3 V_{ref}}{R_1 (R_3 + R_2)}$$

Necesitamos tres desplazadores.



Carga activa. Desplazadores y adaptadores de nivel.

► Adaptador corriente panel (ADC2)

♦ $V_{in} \rightarrow 0 \dots 3.3 \text{ V}$ y $V_{out} \rightarrow 0.3 \dots 1.7 \text{ V}$

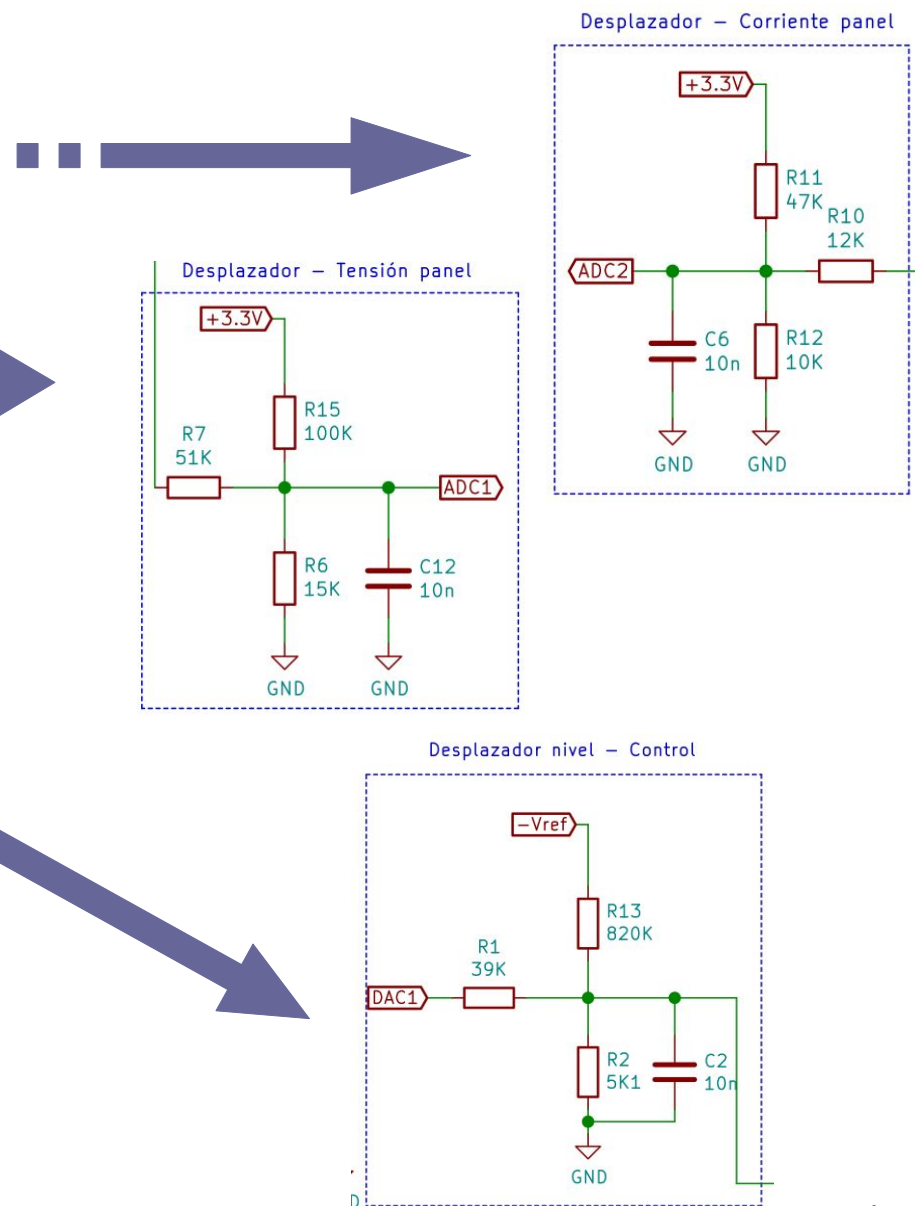
► Adaptador tensión panel (ADC1)

♦ $V_{in} \rightarrow 0 \dots 7 \text{ V}$ y $V_{out} \rightarrow 0.3 \dots 1.8 \text{ V}$

► Adaptador de control (DAC)

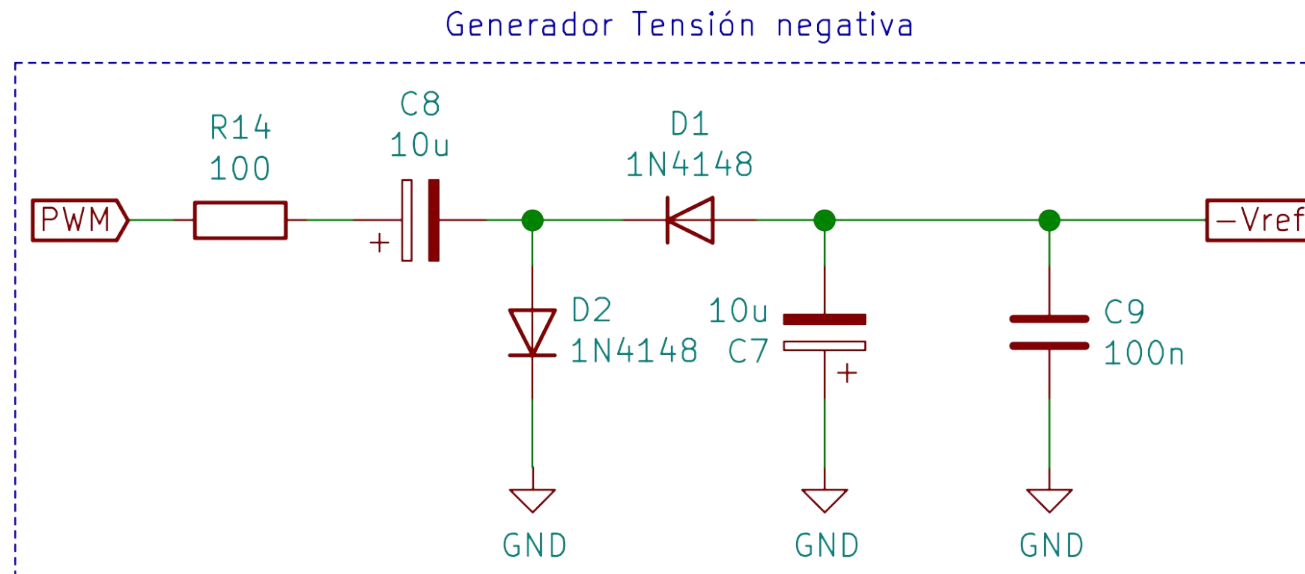
♦ $V_{in} \rightarrow 0.15 \dots 3.3 \text{ V}$ y $V_{out} \rightarrow 0 \dots 0.35 \text{ V}$

Necesita una
tensión de referencia
negativa.



Carga activa. Generador de tensión negativa

- Necesitamos una tensión negativa para poder ajustar el desplazamiento de la tensión del DAC. Consideraciones:
 - ♦ **Valor exacto** no es importante.
 - ♦ Corriente del orden de **microamperios**.
- Solución: Oscilador + restaurador + rectificador de media onda.

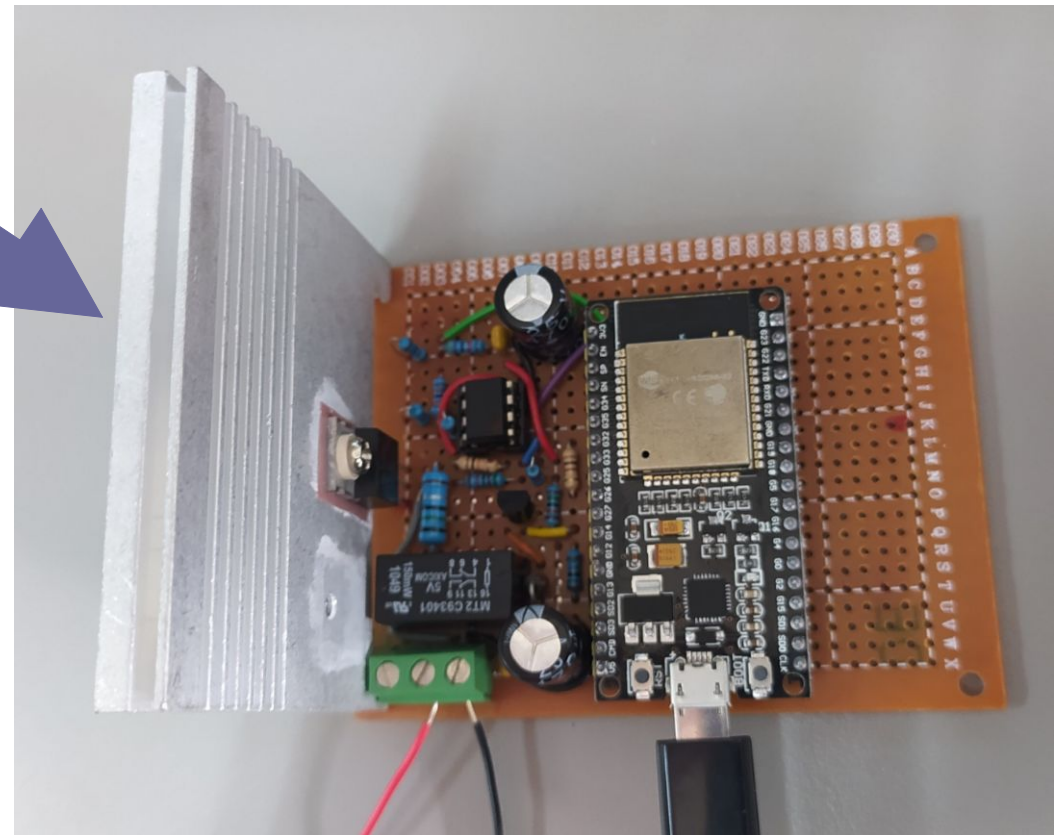
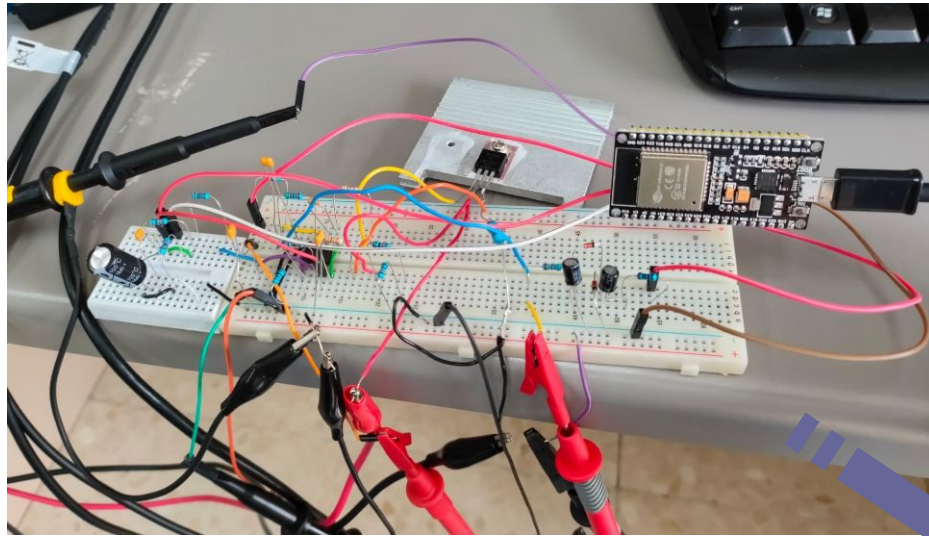


Carga activa. Software de control.

- ▶ En la medida de los ADC se utilizar un filtro de **mediana**.
- ▶ Una parte se encarga de controlar la salida del DAC para mantener el *setpoint* seleccionado para la corriente.
 - ♦ Se implementa mediante un lazo de **control PI**.
- ▶ Búsqueda de punto de **máxima potencia** mediante muestreo por aproximaciones sucesivas.
- ▶ El proceso se repite para el otro panel.
- ▶ Los datos se suben a **ThingSpeak**.

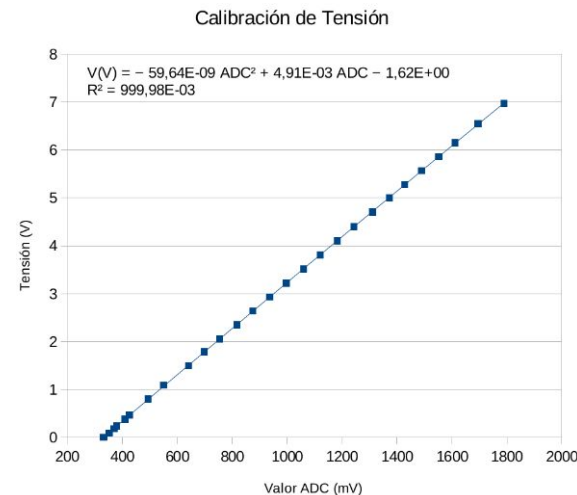
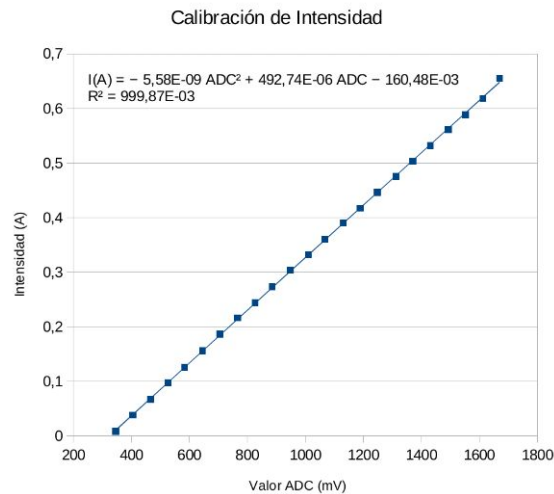


Carga activa. Montaje.



Resultados actuales

- Calibración de las dos entradas ADC (tensión y corriente). Las regresiones cuadráticas se ajustan mejor (error correlación < 1%).



- Evaluación de la carga activa y el software con una fuente de laboratorio en lugar del panel solar.
- Se espera obtener mayor producción en el panel del seguidor, aunque habría que considerar el consumo de los actuadores para ver el rendimiento global.

Contenidos

- ▶ **Introducción.**
- ▶ **Desarrollo del TFG.**
 - ▶ Plan de trabajo.
 - ▶ Carga activa.
 - ▶ Resultados actuales.
- ▶ **Conclusiones.**



Conclusiones

- ▶ Se ha diseñado e implementado un circuito de **carga activa** controlado por microcontrolador para la medición de la producción de los paneles solares.
- ▶ El uso de los ADC y DAC del ESP32 ha **complicado** el circuito final
- ▶ Se han realizados pruebas de **laboratorio** de la carga activa mediante una fuente controlada.
- ▶ Se han conseguido realizar las **calibraciones** de los ADC y DAC correctamente.
- ▶ El trabajo continúa con el desarrollo de la **plataforma** del seguidor.

Preguntas y Agradecimientos

► ¿Preguntas, dudas?

► Agradecimientos

- ◆ Este trabajo ha sido financiado por la Junta de Extremadura a través de la Ayuda GR21087, parcialmente financiada por FEDER.

**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional**
“Una manera de hacer Europa”

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea