



Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática Universidad de Extremadura



Desarrollo y estudio del rendimiento de un seguidor Solar astronómico integrado en IoT

Aitor García Blanco

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Física

Tutor: Carlos Javier García Orellana

14 de febrero de 2023



1. Introducción
2. Antecedentes
3. Materiales y desarrollo
4. Resultados
 - Carga activa
 - Seguidor Solar
5. Conclusiones

Introducción

Con el objeto de mejorar la producción fotovoltaica, se estudia el rendimiento de un seguidor Solar astronómico de dos ejes frente a una posición fija.

- Desarrollo de una carga activa.
- Diseñar y fabricar la estructura mecánica del seguidor.
- Subir periódicamente los datos a la plataforma de “*Internet of Things*” (IoT).
- Analizar y estudiar los resultados obtenidos.

Antecedentes

Seguidor Solar



Estructuras móviles que pretenden maximizar la producción de electricidad en instalaciones fotovoltaicas.

- Seguidores Solares de un único eje móvil
- Seguidor de dos ejes móviles:
 - Control manual
 - Control automático:
 - Emplean sensores fotosensibles
 - Se fundamentan en ecuaciones astronómicas

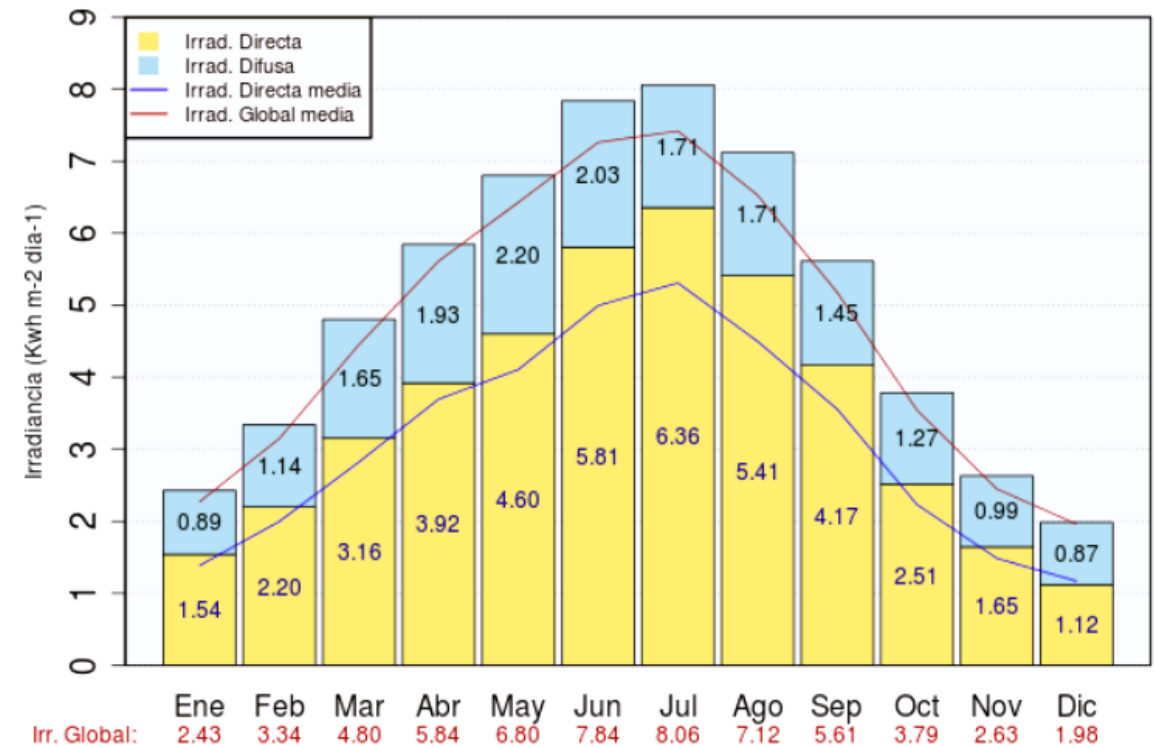
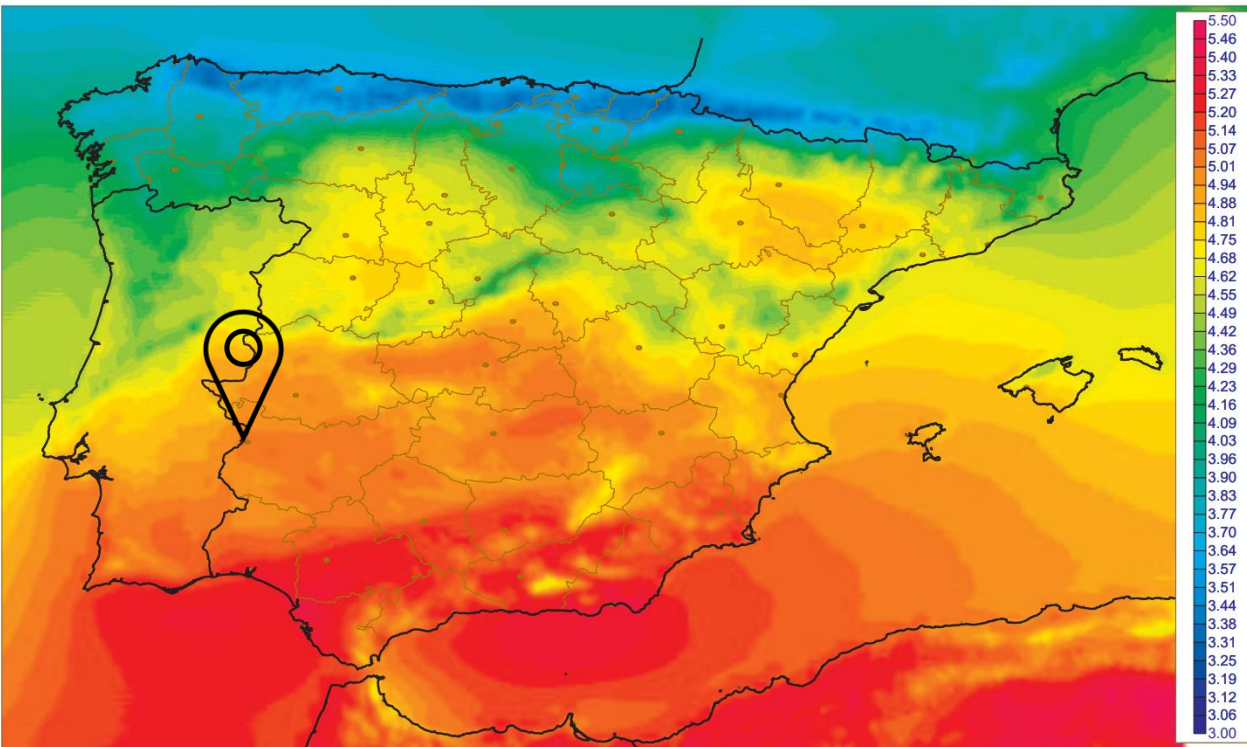
Astrofísica – Radiación Solar



Irradiación promedio anual en España

Irradiación promedio mensual en España

Badajoz



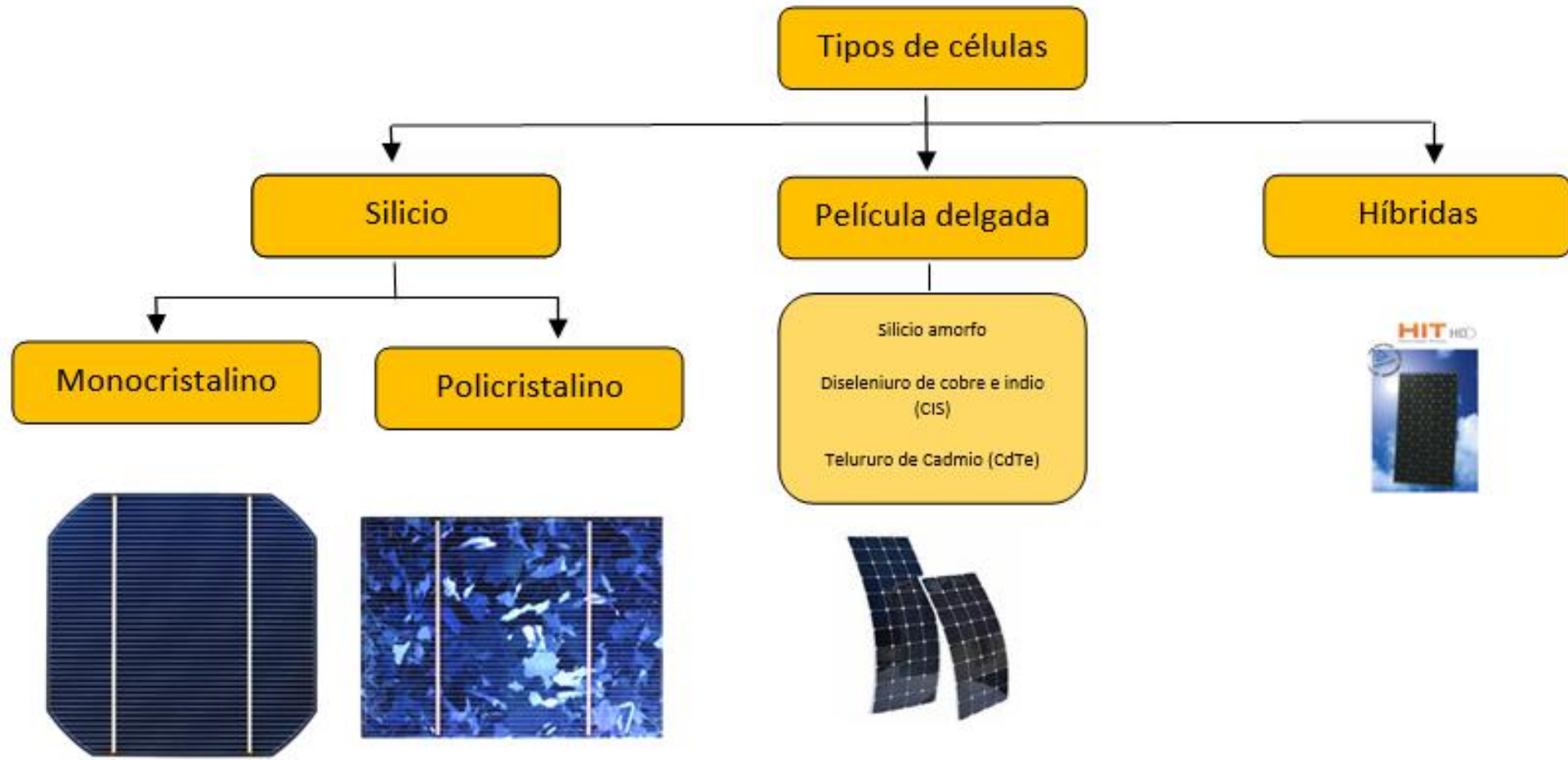


ω (-)mañana

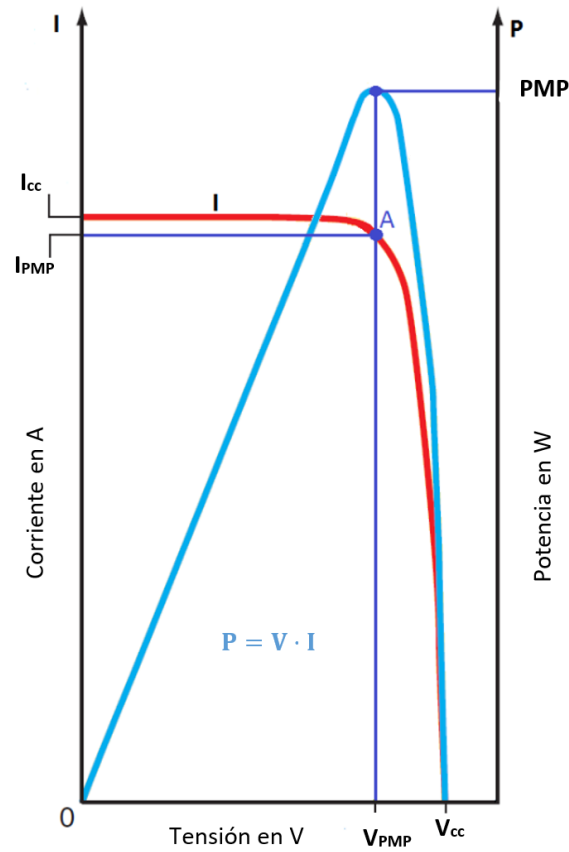
$\psi(-)$ este

Proyección del recorrido del Sol

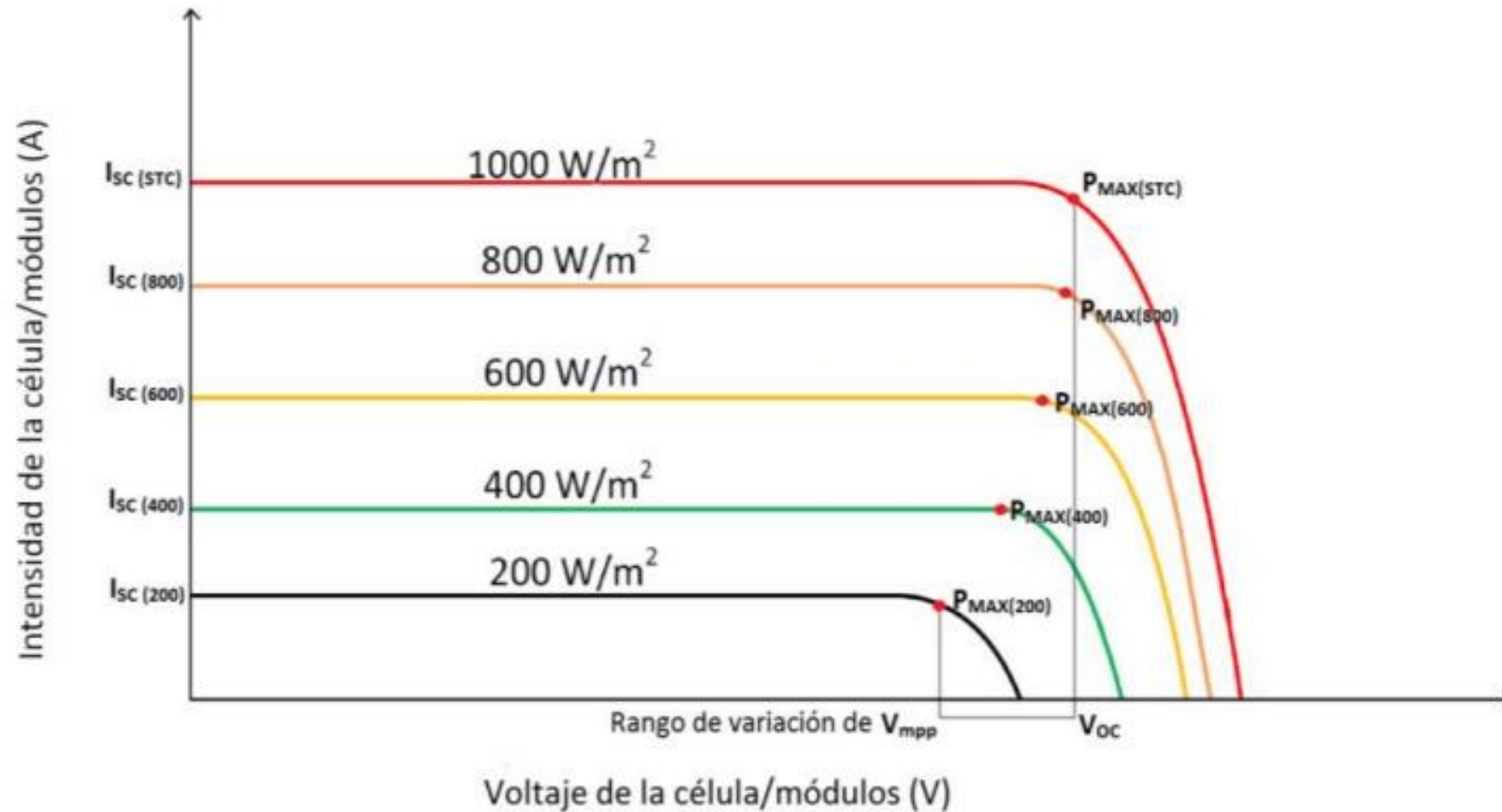
Energía Solar fotovoltaica



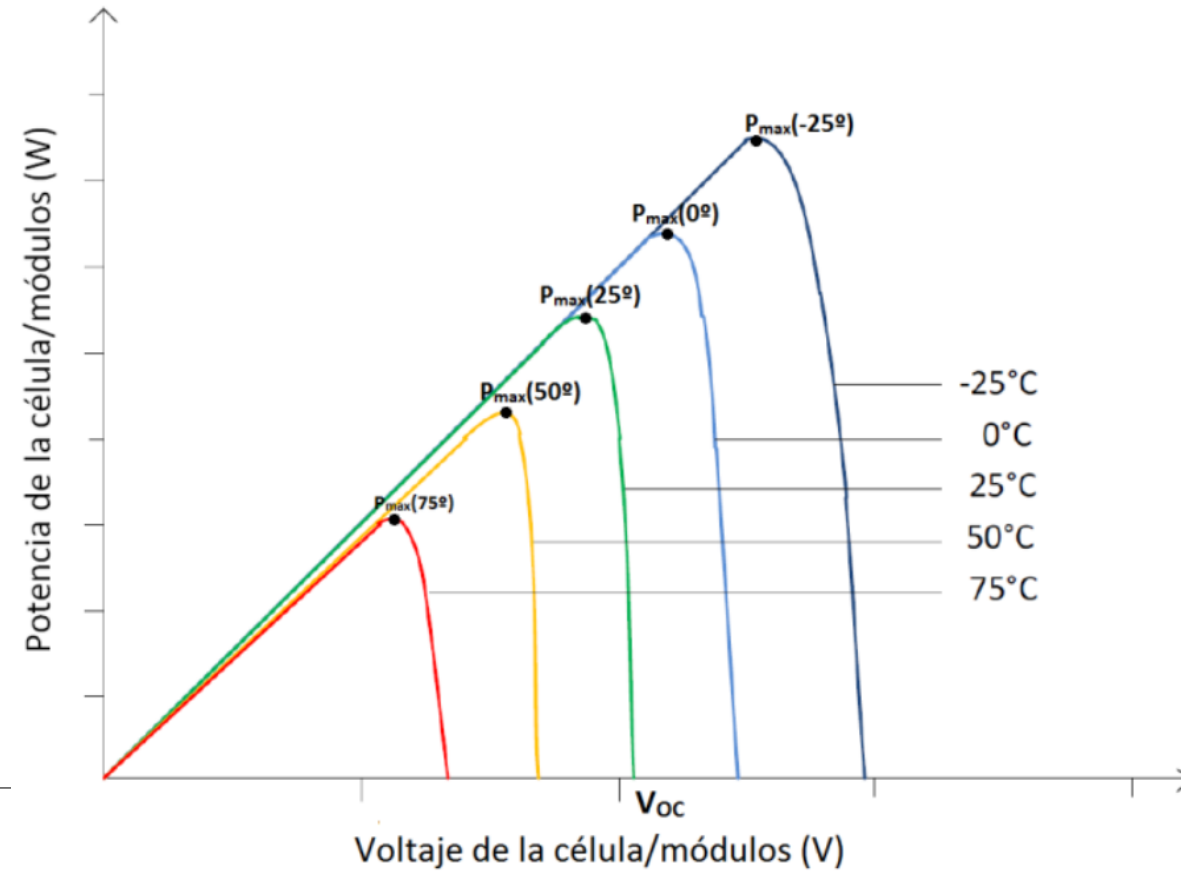
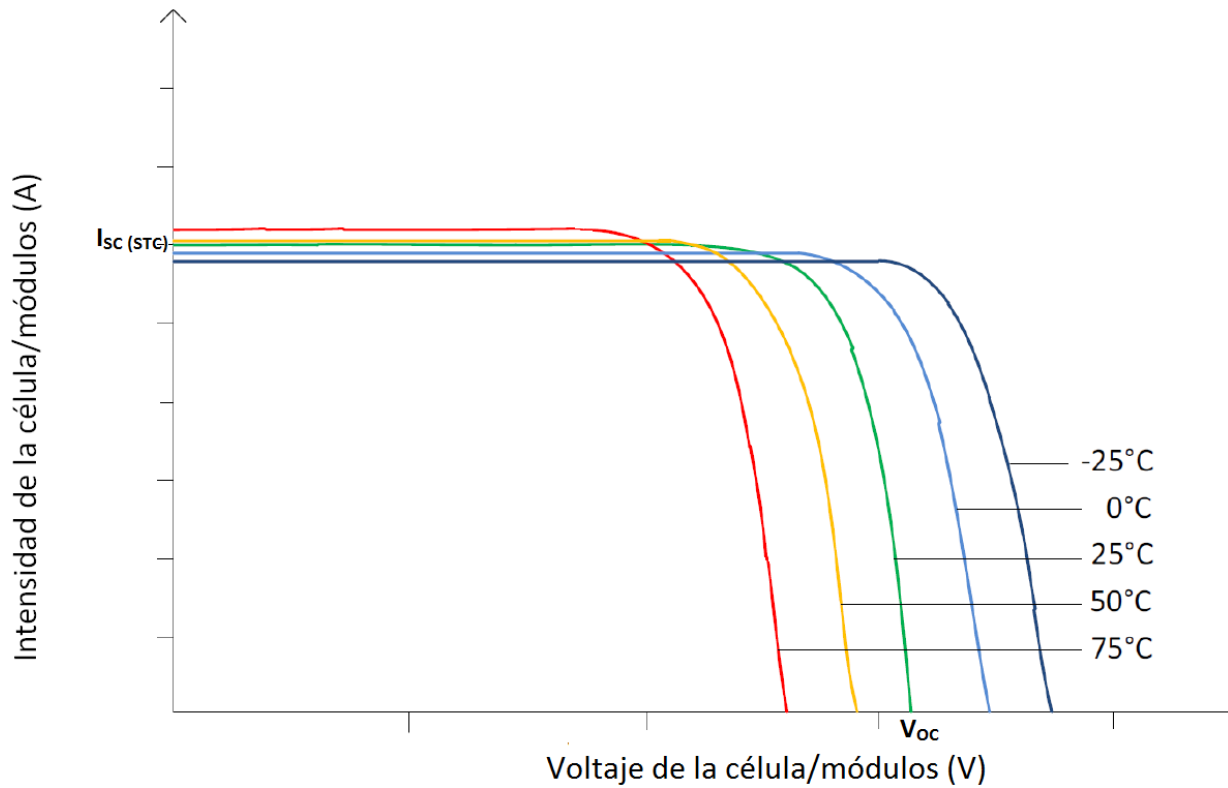
Energía Solar fotovoltaica



Energía Solar fotovoltaica



Energía Solar fotovoltaica



Materiales y desarrollo

Materiales



☐ Microcontrolador ESP32



☐ Células fotovoltaicas



☐ Componentes activos y pasivos

☐ Conversor DC-DC



☐ ThingSpeak

☐ Arduino IDE

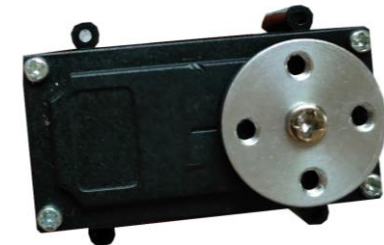
☐ OpenSCAD



☐ MOSFET



☐ Servomotores

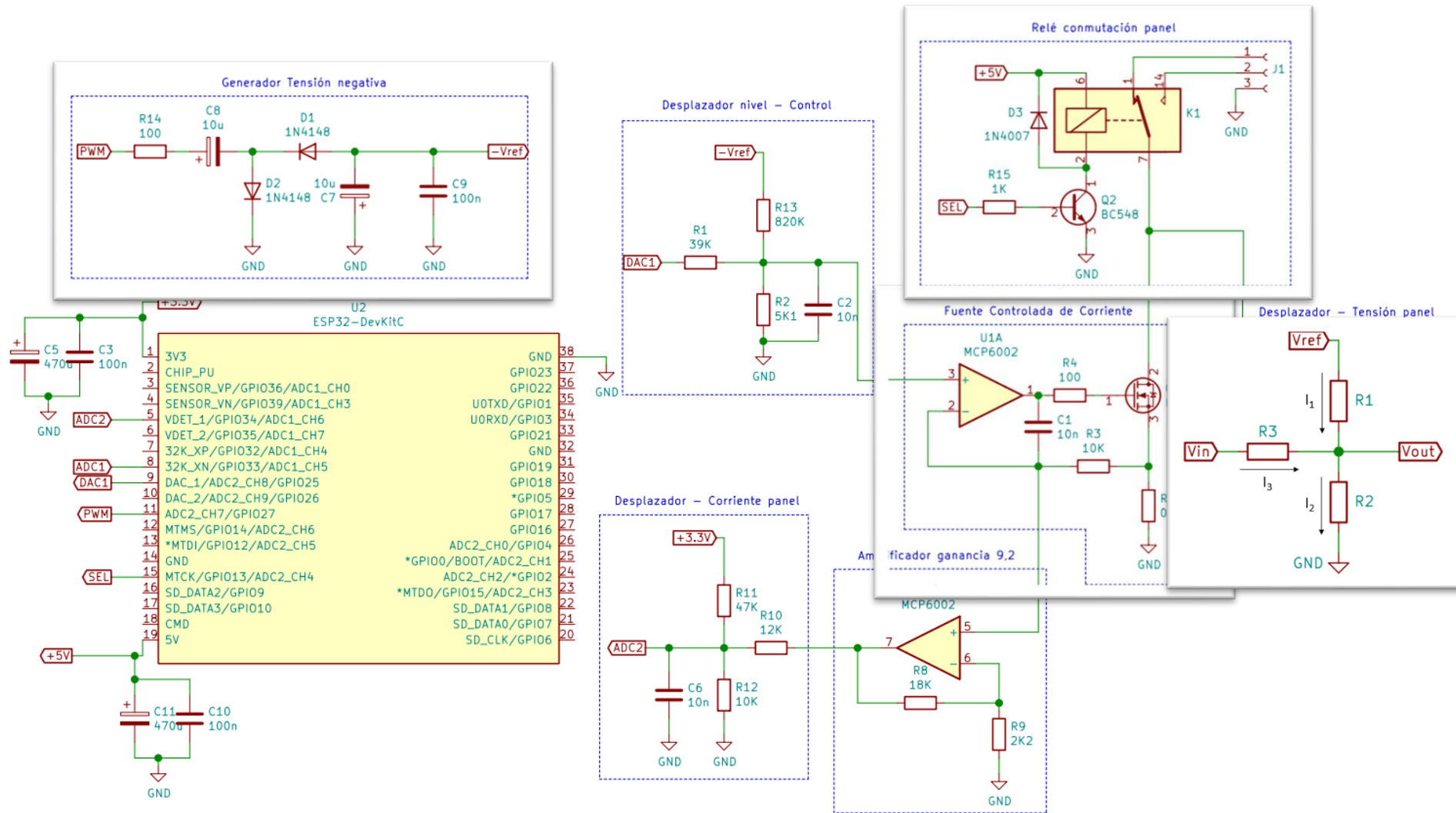


Carga Activa - *Hardware*

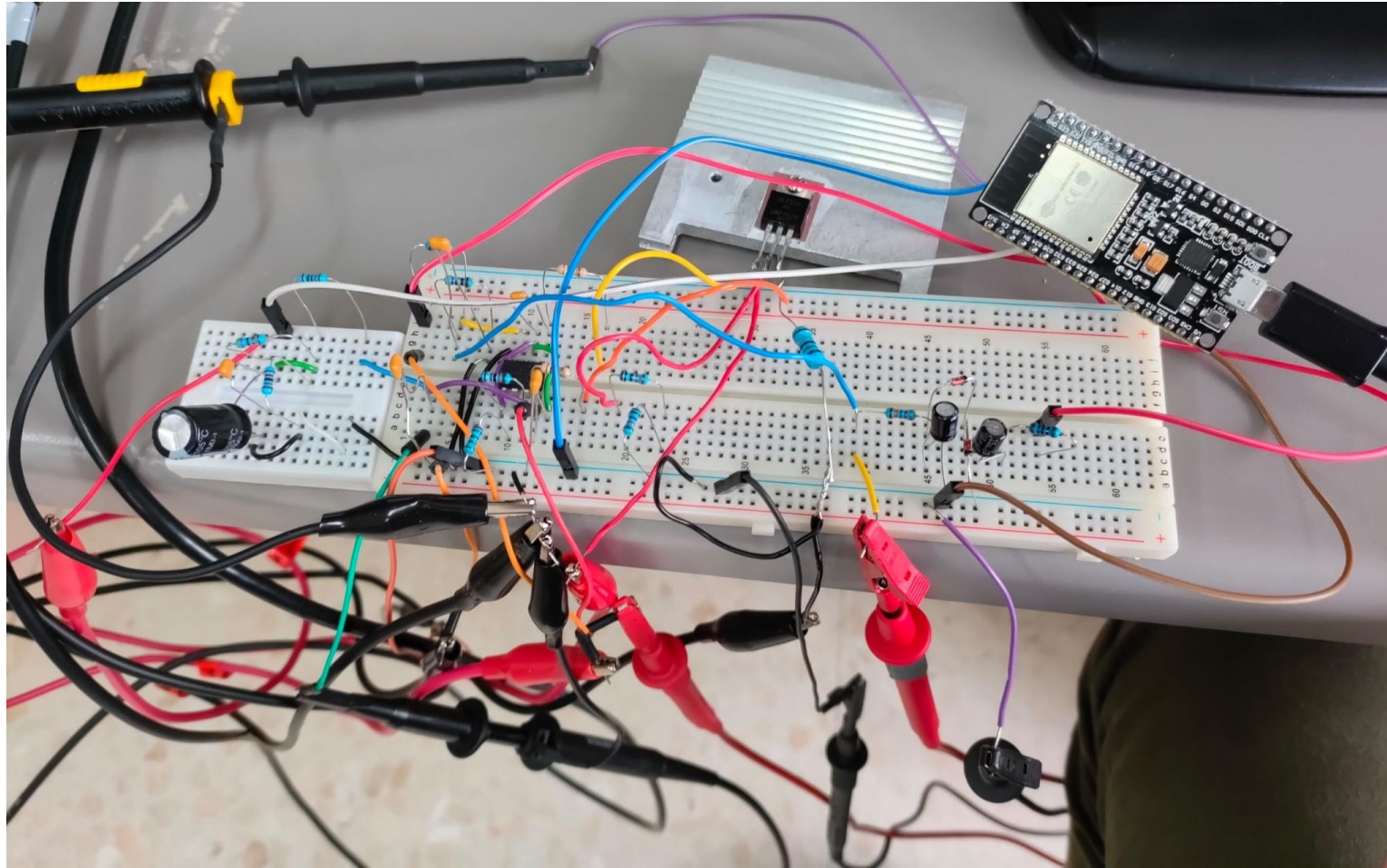


- Es un dispositivo electrónico que nos permite variar la corriente que se demanda a una fuente de tensión o batería
- En este trabajo se emplea para obtener el punto de máxima potencia de la célula Solar controlando el *setpoint* de la corriente; siendo así, un elemento fundamental del proyecto.
- Se ha diseñado explícitamente para este trabajo

Carga Activa - Hardware



Carga activa - *Hardware*



Carga Activa - *Software*

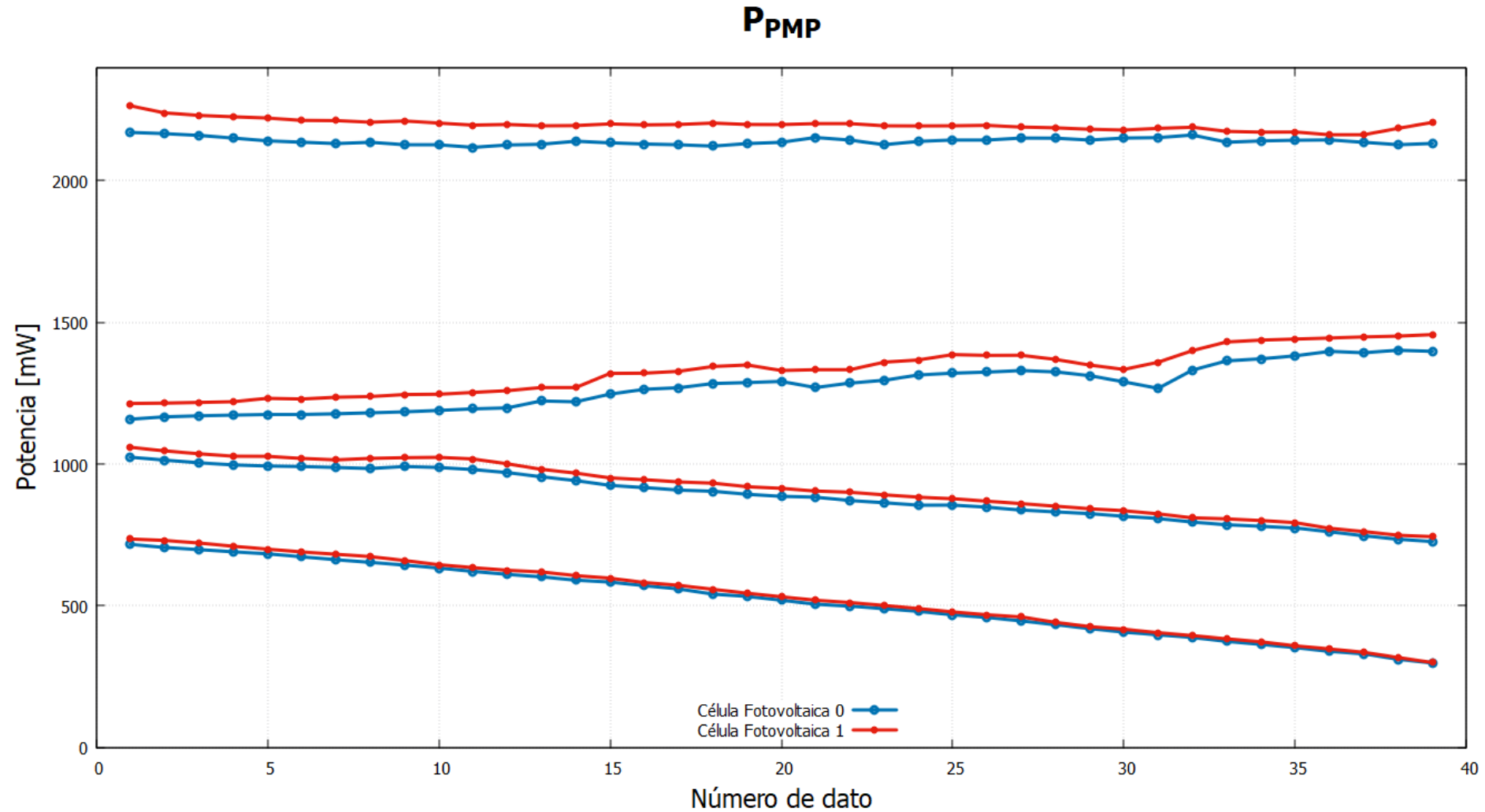


- Regula la salida del DAC para mantener el *setpoint* para la corriente
- Incluye un lazo de control PI y un filtro de mediana para las entradas del ADC
- Para encontrar el punto de máxima potencia, el software hace un muestreo por aproximaciones sucesivas variando el *setpoint* de la corriente
- Una vez se encuentra el punto máximo, se repite para la otra célula fotovoltaica

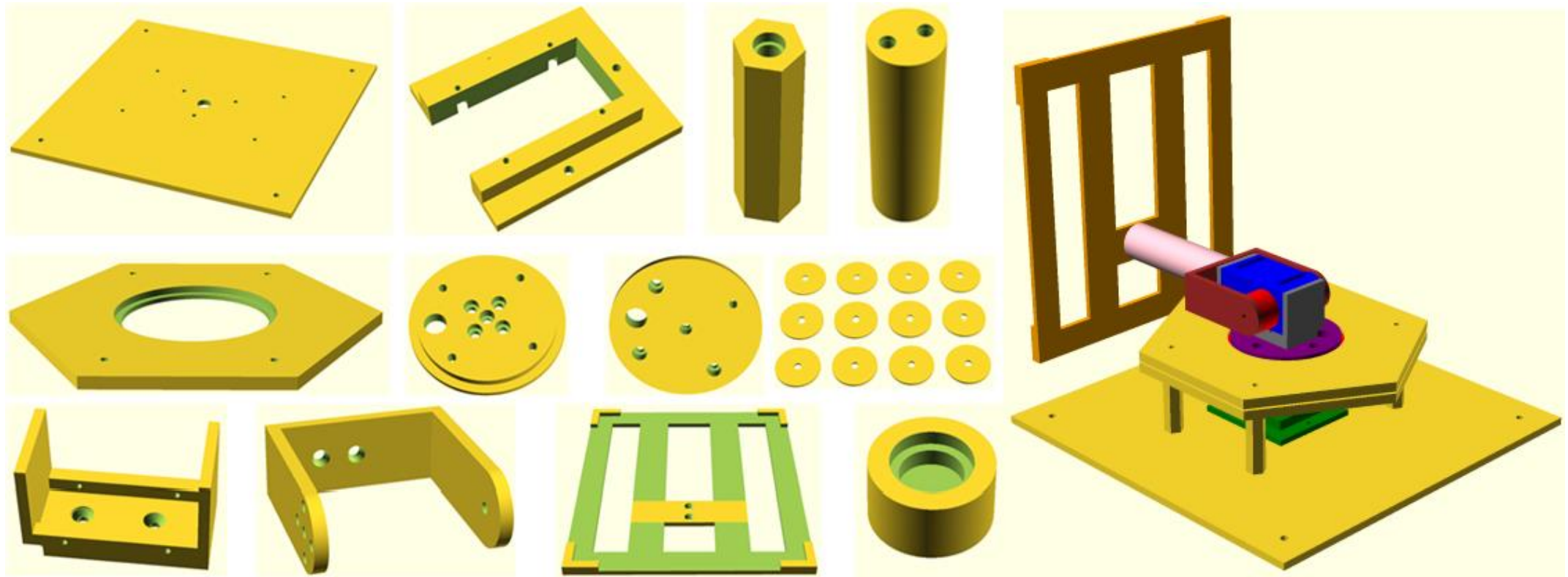
Comparación rendimiento células solares



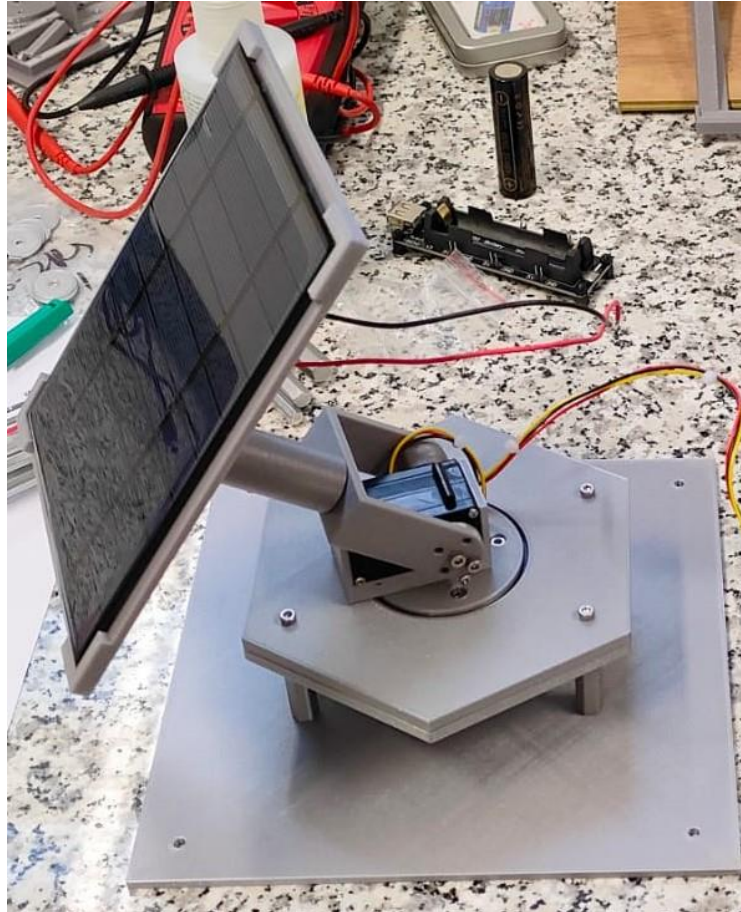
Comparación rendimiento células solares



Seguidor – Impresión 3D



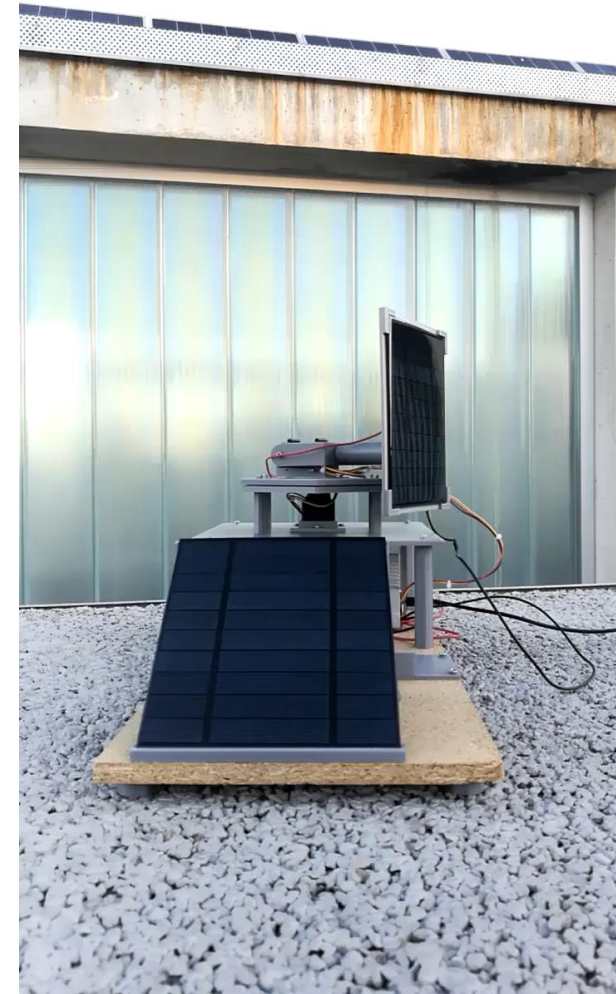
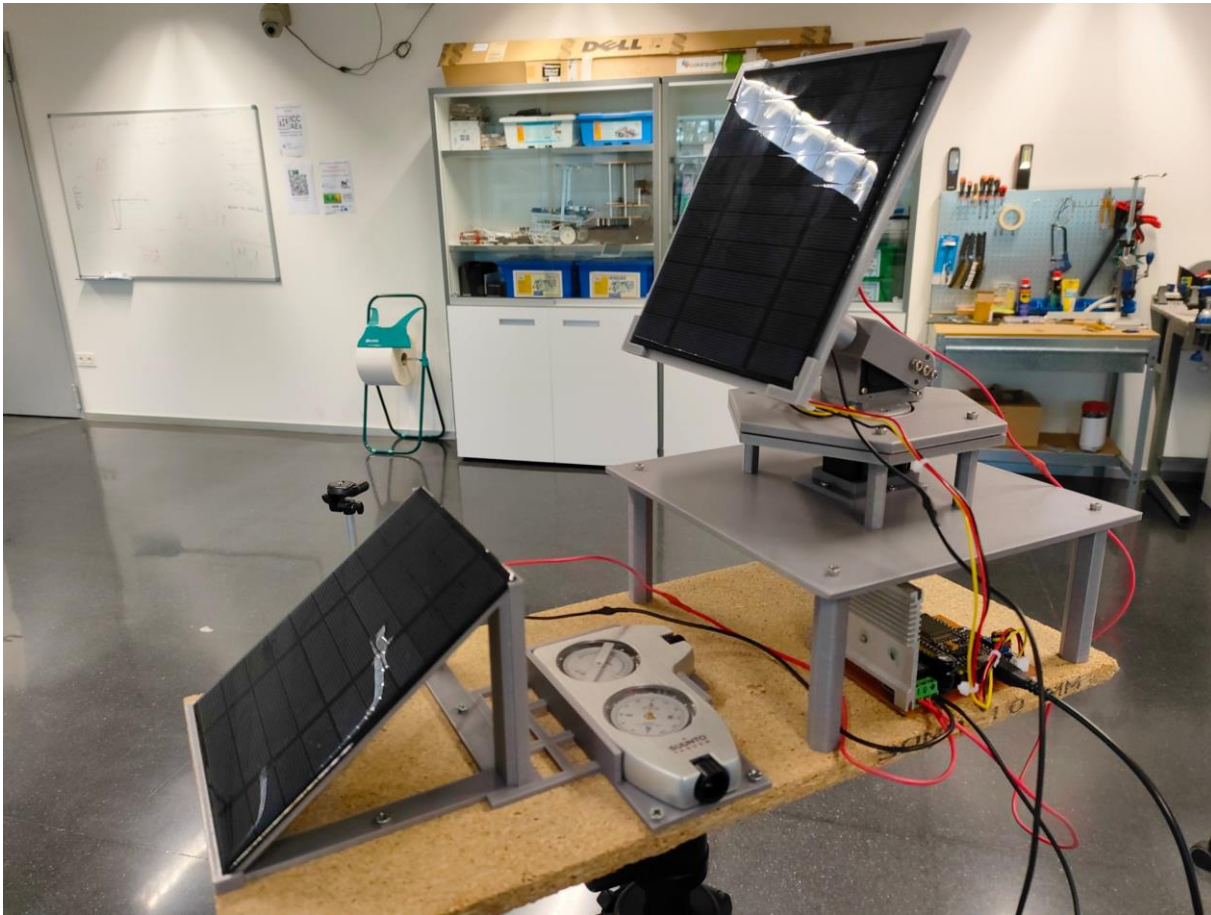
Seguidor – Impresión 3D





- Biblioteca de tiempos (ESP32Time) sincroniza con el servidor NTP (*Network Time Protocol*) , para proporciona información de tiempo en España
- Con la finalidad de obtener α y ψ , se emplean los Cálculos Generales de Posición Solar publicados por NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)
- El cero del servomotor es 120 y el rango de movimiento [0-240]
- El movimiento del servo de dos ejes, tan solo tiene lugar cuando $\alpha \geq 0$

Integración

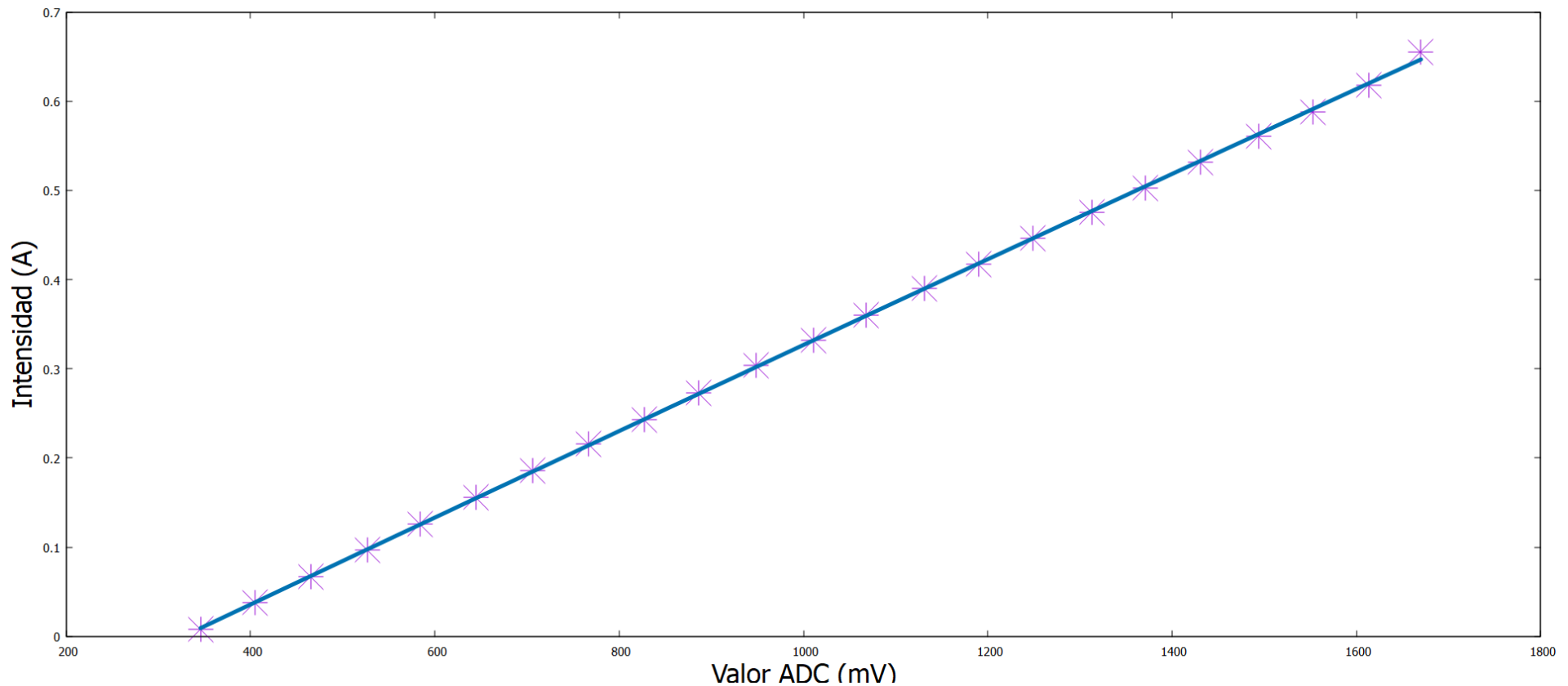


Integración

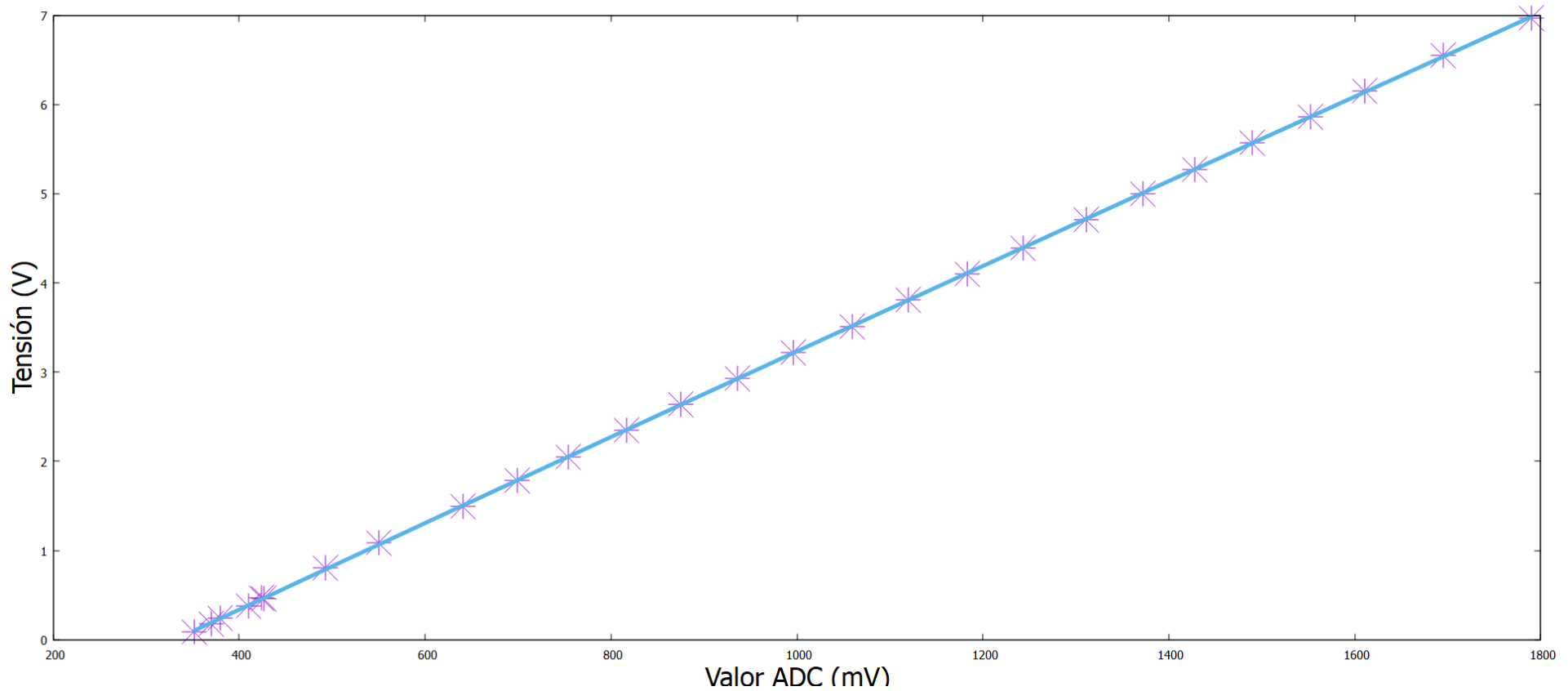


Resultados

Calibración de Intensidad



Calibración de Tensión



$$f(x) = ax^2 + bx + c$$

Calibración de la intensidad	Calibración de la tensión
$a = (-5,581 \pm 3,426)10^{-9}$	$a = (-5,793 \pm 1,153)10^{-8}$
$b = (4,933 \pm 0,070)10^{-4}$	$b = (-5,581 \pm 3,430)10^{-3}$
$c = -0,160 \pm 0,003$	$c = -1,622 \pm 0,010$
$R^2 = 0,999$	$R^2 = 0,999$

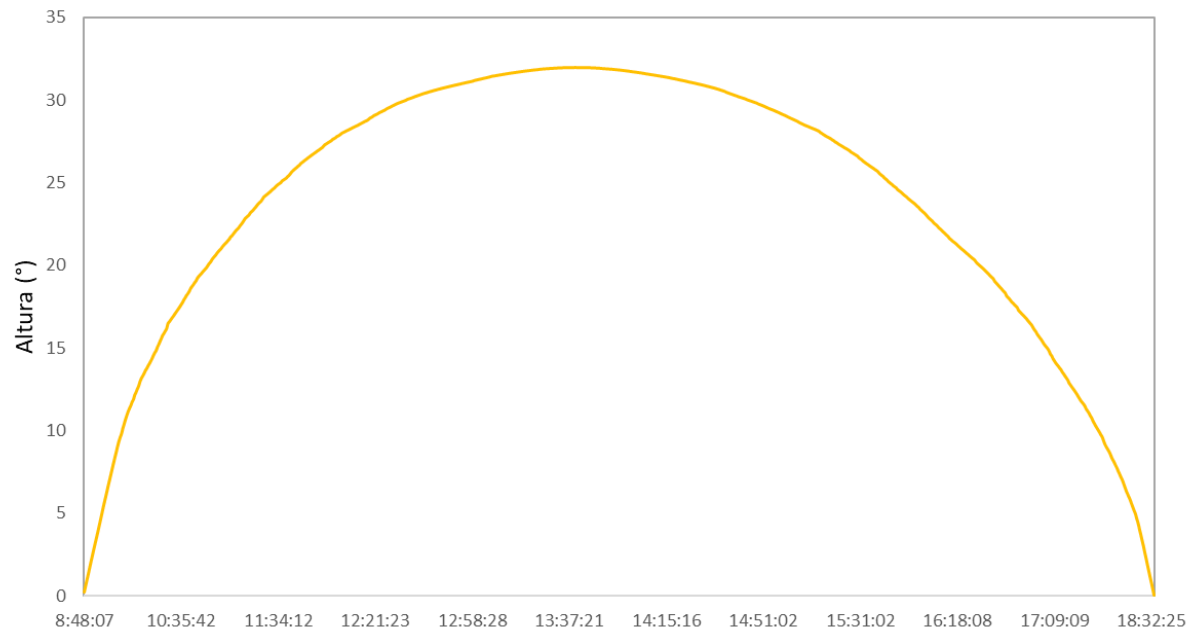
Seguidor Solar



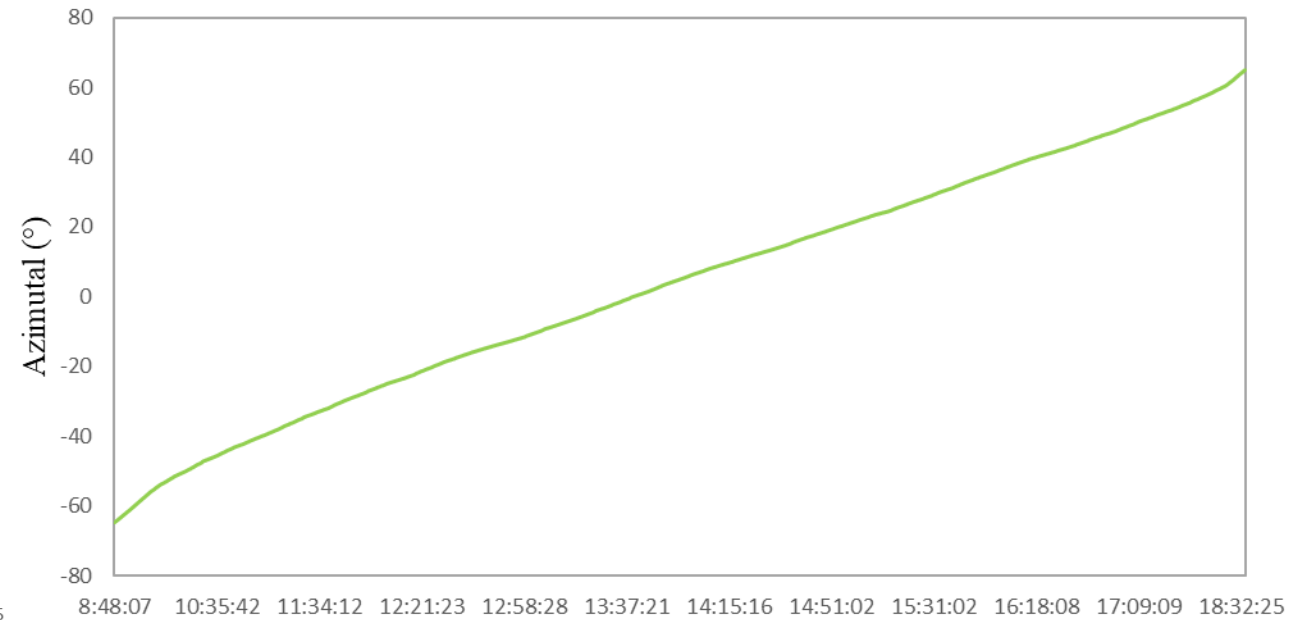
Eje vertical móvil



Altura solar



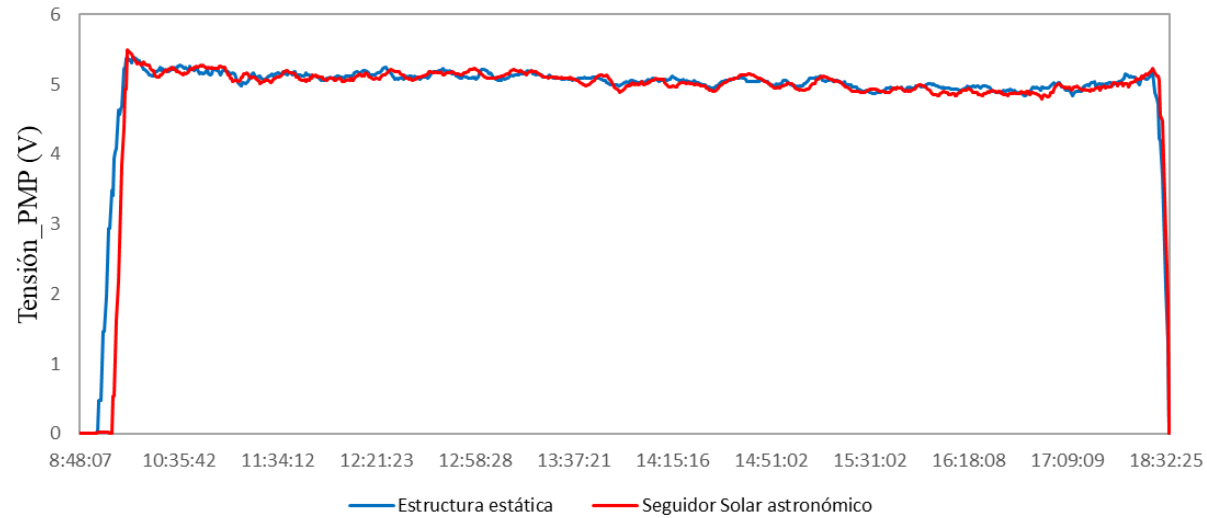
Azimutal



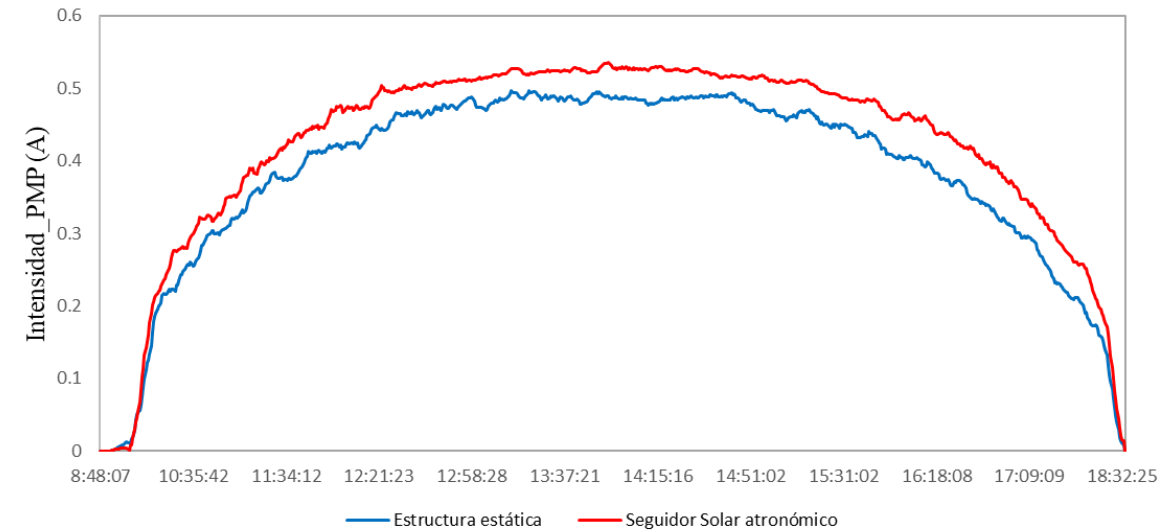
Eje vertical móvil



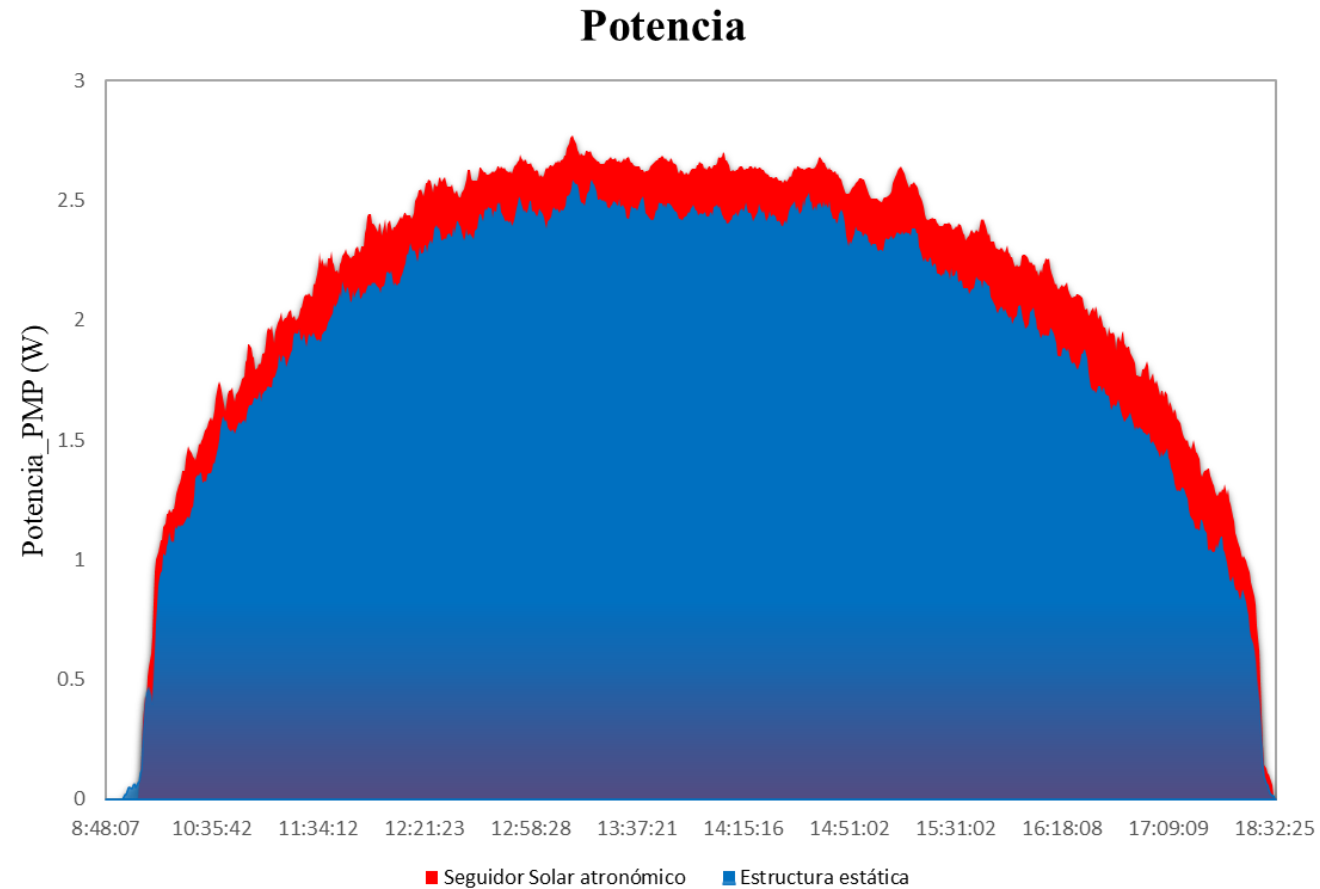
Tensión



Intensidad

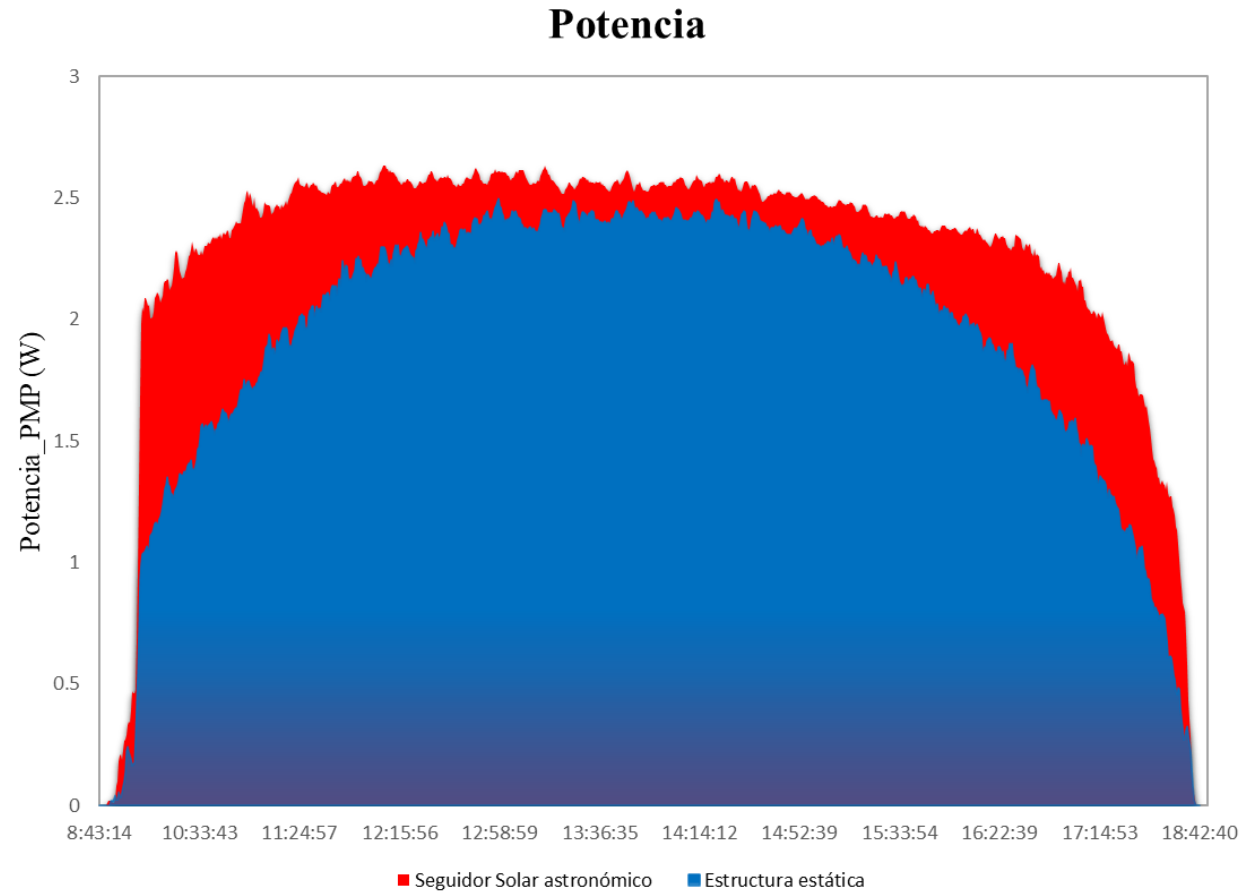


Eje vertical móvil



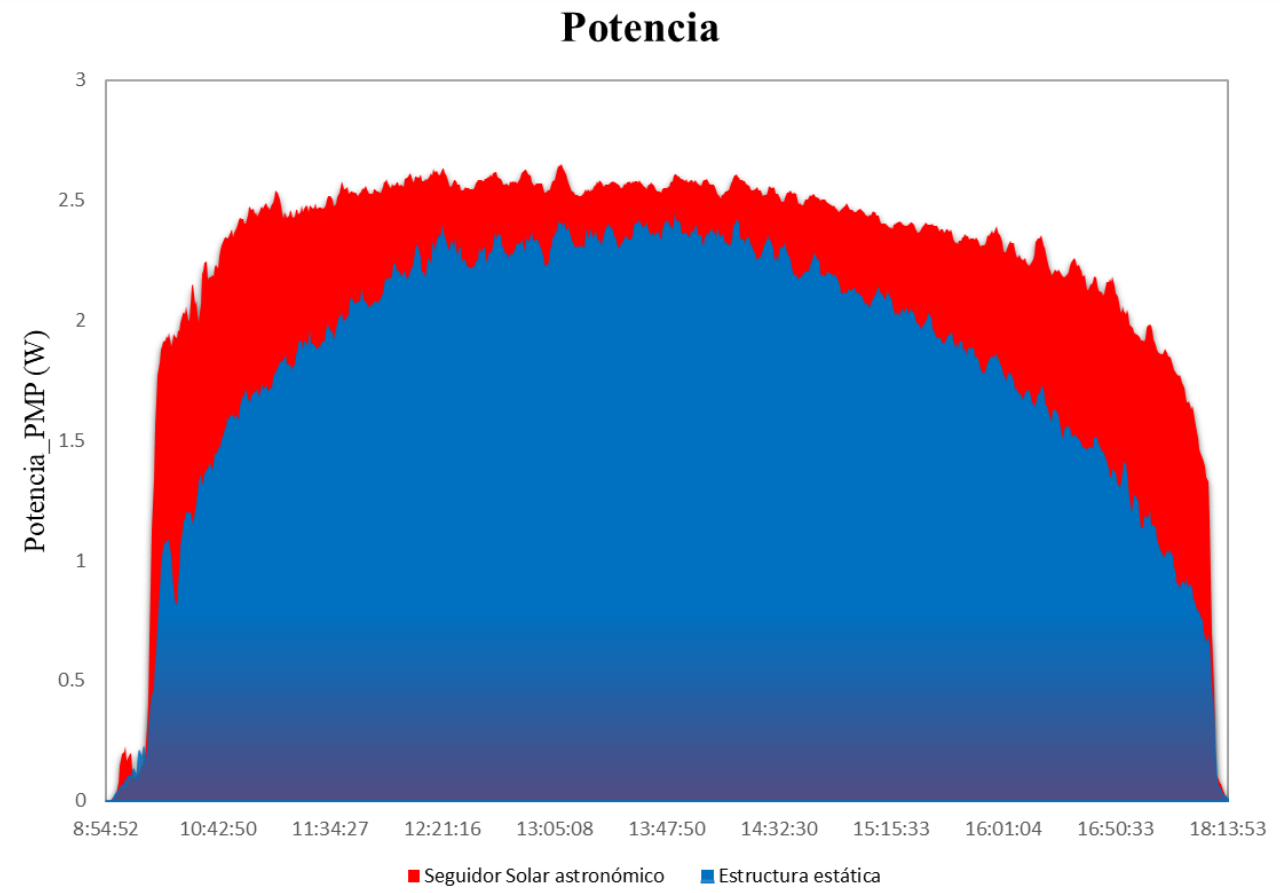
Energía fijo	Energía seguidor	Mejora del rendimiento
15,95 Wh	17,71 Wh	11,03 %

Eje horizontal móvil



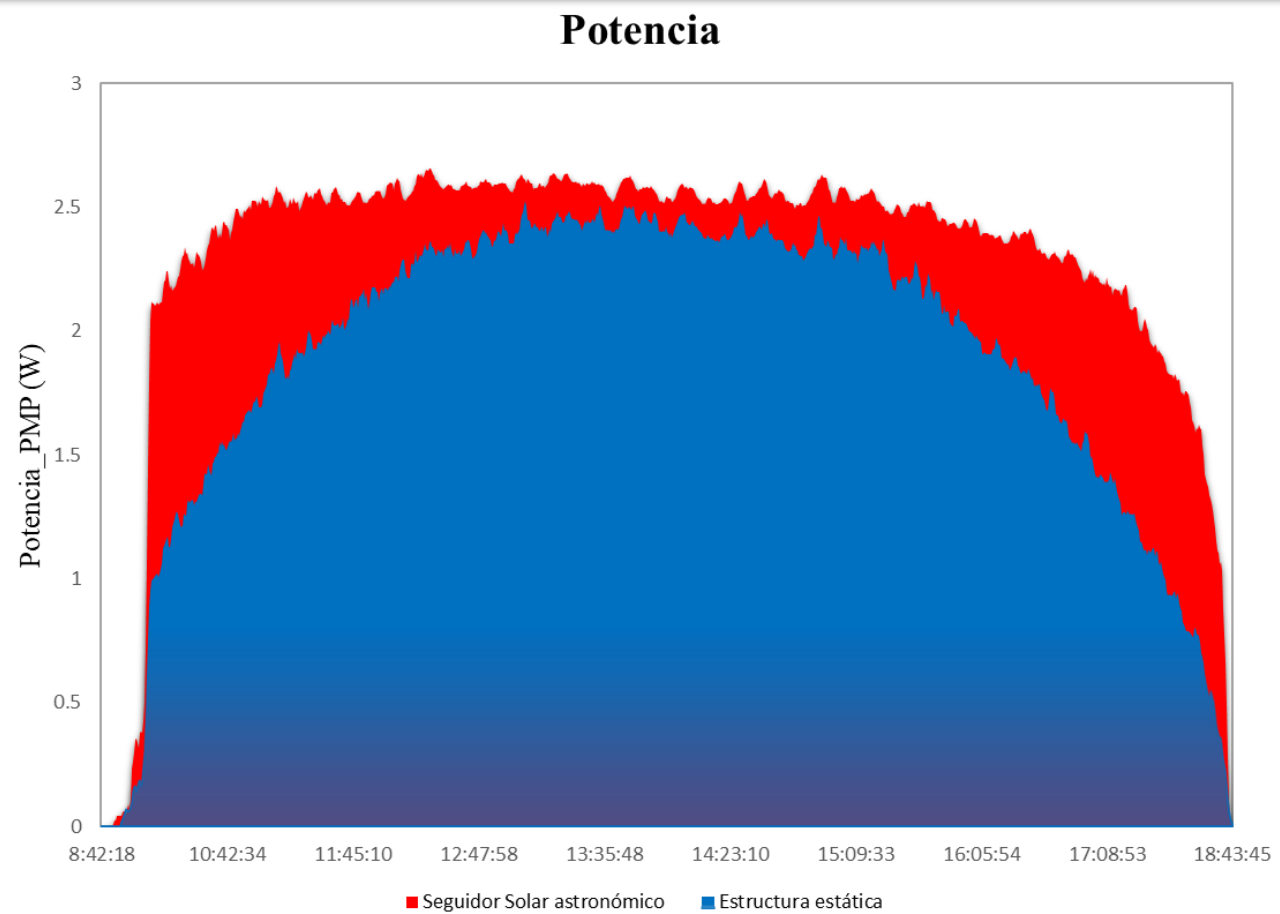
Energía fijo	Energía seguidor	Mejora del rendimiento
16,20 Wh	19,90 Wh	22,84 %

Ambos ejes móviles



Energía fijo	Energía seguidor	Mejora del rendimiento
14,54 Wh	18,46 Wh	26,96 %

Ambos ejes móviles



Energía fijo	Energía seguidor	Mejora del rendimiento
16,13 Wh	20,48 Wh	26,97 %



Ambos ejes móviles

Fecha	Configuración del seguidor	Mejora del rendimiento (%)
25/01/2023	Eje vertical móvil	8,03
30/01/2023	Eje horizontal móvil	19,84
05/01/2023	Ambos ejes móviles	23,96
31/01/2023	Ambos ejes móviles	23,97

Conclusiones

- Se ha diseñado y construido una carga activa para obtener el PMP de las células Solares
- Se ha diseñado y construido un seguidor Solar de dos ejes mediante impresión 3D y servomotores
- El seguidor Solar de doble eje es la configuración con mejor rendimiento
- El seguidor Solar es muy útil para espacios reducidos
- Se espera que los resultados mejoren significativamente para los meses de verano

Desarrollo y estudio del rendimiento de un seguidor Solar astronómico integrado en IoT

Aitor García Blanco

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Física

Tutor: Carlos Javier García Orellana

14 de febrero de 2023