UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAITIE)

"CONVOCATORIA 2023"

VIII PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

SMPS7 – Sensor que Maximiza la Producción Solar

AUTOR/ES:

Raquel De Ángel, Erika Jiménez, Valeria Villamor

BLOQUE TEMÁTICO: Energías Renovables

NIVEL EDUCATIVO: 4º de ESO

COORDINADOR: Carlos Lorente Rubio

FECHA: Marzo de 2023

Resumen

El presente proyecto trata del diseño y creación de un prototipo de sensor solar que maximiza la producción en todo tipo de climatologías. Los sistemas de seguimiento solar se basan en modelos matemáticos que no tienen en cuenta los factores climáticos externos, nubes, niebla, polvo en suspensión,… que afectan reduciendo considerablemente la producción de las placas solares. Con el sensor SMPS-7 se consigue maximizar la producción solar, ya que los sistemas de seguimiento pasan de basarse en modelos matemáticos de posicionamiento solar a guiarse a través de un sensor instalado en la propia instalación fotovoltaica que indica el ángulo óptimo en el que tienen que posicionarse todas las placas de una instalación instantáneamente. El sensor cuenta con 7 células calibradas dispuestas cada 15º abarcando los ángulos de 0º, 15º, 30º, 45º, 60º, 75º y 90º que indican instantáneamente cual de ellas obtiene una mayor producción solar, lo que determina un ángulo óptimo para orientar la instalación de producción. Para el desarrollo del proyecto se han creado dos prototipos funcionales, uno demostrativo y otro de toma de datos. Los resultados obtenidos a través de este prototipo de toma de datos han sido satisfactorios y comparados con una producción real, se puede concluir indicando que en días soleados mantiene la posición óptima y en días nublados maximiza la producción. A partir de este proyecto, se puede extraer una mejora para crear un prototipo comercial que pueda ser instalado en huertas solares con el objetivo de obtener un mayor rendimiento energético y económico en las instalaciones solares que constan de sistemas de seguimiento.

Palabras Clave

Energía solar, sensor solar, maximización, producción solar.

ÍNDICE

1. Introducción 5
2. Objetivos 6
2.1. Objetivo principal: 6
2.2. Objetivos específicos: 6
3. Metodología 6
3.1. Temporalización del proyecto 6
3.2. Estudios previos 7
3.2.1. Energías renovables. 7
3.2.2. Funcionamiento de las placas fotovoltaicas 8
3.2.3. Diseño preliminar del prototipo 8
3.2.4. Ensayos de las placas 9
3.3. Diseño y creación de la carcasa. 12
3.3.1. Diseño 3D de la carcasa 12
3.3.2. Impresión 3D de la carcasa 12
3.3.3. Montaje del sensor 12
3.4. Construcción del prototipo demostrativo 13
3.4.1. Materiales utilizados 13
3.4.2. Diseño del esquema de conexiones 13
3.4.3. Programación de ambos prototipos 14
3.4.4. Prototipo demostrativo terminado 17
3.5. Construcción e instalación del prototipo de toma de datos 18
4. Resultados 19
5. Conclusiones 19
6. Limitaciones y prospectiva 20
7. Referencias 20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cronograma con la temporalización del proyecto..... 6
Figura 2: Resultados de la encuesta..... 7
Figura 3: Gráficas de irradiancia y radiación sol..... 8
Figura 4: Esquema de la colocación de las placas 9
Figura 5: Esquema de la colocación de las placas..... 9
Figura 6: Células numeradas listas para ensayar..... 10
Figura 7: Bastidor en el que se han ensayado las células..... 10
Figura 8: Gráfica de dispersión de la célula..... 11
Figura 9: Diseño de la carcasa en SketchUp..... 12
Figura 10: Impresión 3D de la carcasa..... 12
Figura 11: Construcción del sensor..... 13
Figura 12: Esquema de conexiones 14
Figura 13: Código de toma de valores de las 7 células..... 14
Figura 14: Código que identifica el mejor ángulo 15
Figura 15: Código de impresión en pantalla..... 15
Figura 16: Código de impresión en pantalla 16
Figura 17: Pantalla de visualización de datos “grafana”..... 17
Figura 18: Prototipo demostrativo 18
Figura 19: Esquema del prototipo de toma de datos..... 18
Figura 20: Instalación del prototipo de toma de datos..... 18
Figura 21: Ejemplo de datos de Grafana para una semana 19
Figura 22: Ejemplo de datos de producción real para un día..... 19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla ejemplo de la Célula 1. Tensión de la placa según la resistencia en paralelo en el que se han ensayado las células calibradas..... 10
Tabla 2: Tabla ejemplo de la Célula 1. Tensión de la placa según la resistencia en paralelo en el que se han ensayado las células calibradas..... 11

1. Introducción

En la actualidad, la energía es un bien de primera necesidad fundamental para el desarrollo de todas las sociedades. El mundo demanda cada vez una mayor cantidad de energía, por lo que tiene crucial importancia hacer un uso responsable de la misma, buscar nuevas fuentes de aprovechamiento renovables u optimizar y maximizar la producción de las energías existentes.

Numerosos artículos como el de (Piotr Bórawski et all. 2019) tratan del desarrollo del mercado eléctrico y las fuentes de energía renovables, centrando su importancia en este último tipo de energías.

En esta línea se trabajan varios ODS como el 7 Energía asequible y no contaminante, 11 Ciudades y comunidades sostenibles y 12 Producción y consumo responsables.

En los países mediterráneos, como España, el uso de energías renovables está creciendo en las últimas décadas. En estos lugares, que reciben una gran cantidad de horas de luz al año, es de vital importancia la energía solar fotovoltaica. Es por todo ello, que esta tecnología está sumamente avanzada, pero siempre puede ser susceptible de mejorar su rendimiento.

Este desarrollo de la energía solar fotovoltaica tiene un gran hándicap en los días nublados puesto que la producción de energía solar disminuye en gran cantidad por la presencia de las nubes y los fenómenos de difracción de los rayos solares.

El presente proyecto pretende optimizar el rendimiento de las placas solares que se orientan en altitud con la implantación de un novedoso sistema de seguimiento solar que permite la orientación perpendicular de las placas incluso en los días nublados, teniendo en cuenta la refracción de los rayos solares.

El presente proyecto parte de la patente titulada “SENSOR FOTOVOLTAICO MULTICELULAR Y PROCEDIMIENTO DE ORIENTACIÓN” cuyo número de publicación es 2.398.545 y desarrolla toda la electrónica necesaria para llevarla a cabo, así como el desarrollo de un prototipo demostrativo y uno de toma de datos para investigar el correcto funcionamiento de la misma. En este sentido, se cuenta con el consentimiento de los autores para realizar el presente proyecto científico.

2. Objetivos

2.1. Objetivo principal:

- Crear un sistema de orientación en un eje que optimice al máximo la producción solar durante todos los días del año, independientemente del tiempo atmosférico (día soleado, nublado, lluvioso…).

2.2. Objetivos específicos:

- Estudiar a cerca del funcionamiento de la producción solar fotovoltaica, los fenómenos de difusión y refracción de la luz y la influencia de las nubes en la producción solar.
- Crear un prototipo demostrativo de sensor solar que capte en todo momento la orientación optima de las placas a un eje.
- Ensayar los materiales necesarios para la creación de los prototipos.
- Crear un sensor de toma de datos y colocarlo en la cubierta de nuestro colegio.
- Obtener y tratar los datos del sensor.
- Valorar los resultados obtenidos.

3. Metodología

3.1. Temporalización del proyecto

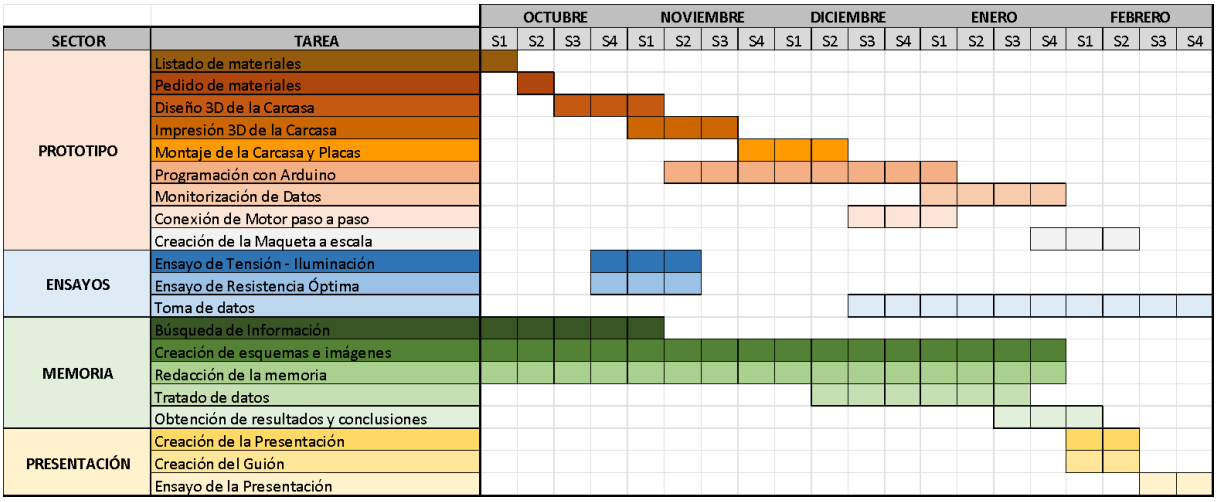

Figura 1: *Cronograma con la temporalización del proyecto*. Elaboración propia.

3.2. Estudios previos

En este apartado se va a mostrar la búsqueda y análisis de información referente a los distintos aspectos técnicos que atienden al presente proyecto.

3.2.1. Energías renovables.

En la actualidad, todos los países intentan tener una transición ecológica hacia energías renovables.

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España, el desarrollo de las fuentes renovables de energía es uno de los aspectos claves de la política energética nacional, por las siguientes razones:

- Contribuyen eficientemente a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular del CO2.
- La mayor participación de las energías renovables en el balance energético disminuye nuestra dependencia de los productos petrolíferos y diversificación nuestras fuentes de suministros al promover recursos autóctonos.

Además, durante el desarrollo del proyecto hemos realizado una encuesta a través de Google Forms con distintas preguntas acerca de la concienciación con el uso de las Energías Renovables. Los resultados obtenidos de la encuesta se muestran en la imagen "**Figura 2:** Resultados de la encuesta sobre Energías Renovables."

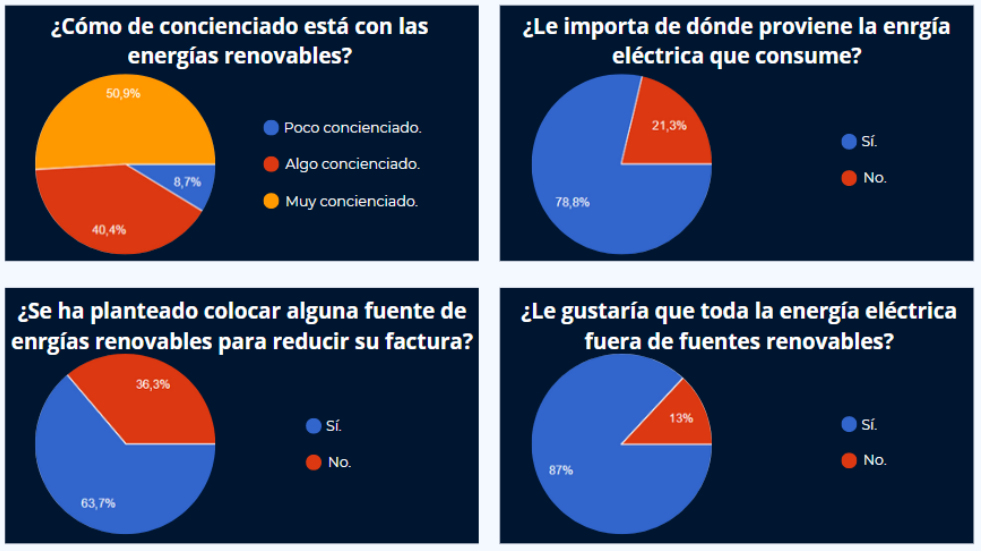

Figura 2: *Resultados de la encuesta.* Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, la mayor parte de la población está concienciada con el uso de Energías Renovables, les importa de dónde proviene la energía que consumen, se han planteado el uso de energía solar alguna vez y les gustaría que toda la energía necesaria para desarrollo de la sociedad fuera renovable.

3.2.2. Funcionamiento de las placas fotovoltaicas

Las células solares son fabricadas a partir de ciertos materiales que cuentan con propiedades especiales como el silicio, que al doparse (con fósforo y boro) es capaz de transformar la energía de los fotones provenientes de la radiación solar en una fuente de energía de corriente continua (CC).

La parte de caracterización de las placas solares fotovoltaicas está muy estudiada y optimizada desde hace más de una década como muestran artículos científicos como el de Huan-Liang, T. et all (2008) [1] o el de Nema, S. et all (2010) [2]. Este tipo de tecnología está muy desarrollada en cuanto a condiciones climatológicas despejadas, ya que numerosos estudios como el de Salmi, T. et all (2012) [3] caracterizan las gráficas de intensidad y potencia en función de la tensión para distintos valores de irradiancia solar. Las gráficas que aparecen a continuación son las características obtenidas en numerosos artículos para las células solares.

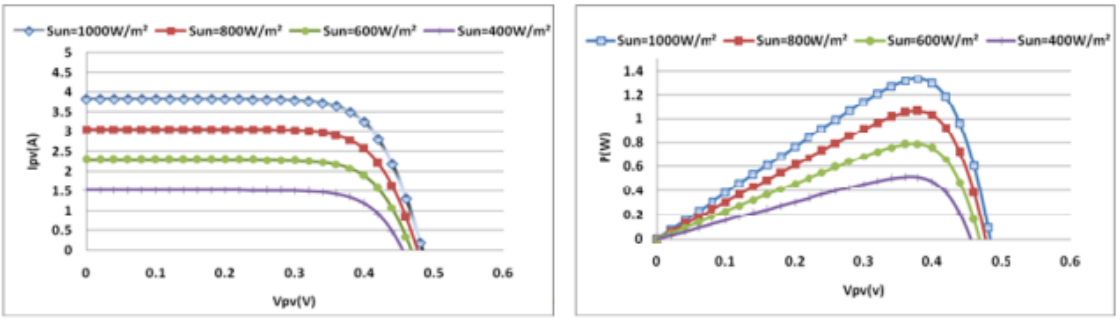

Figura 3: *Gráficas de irradiancia y radiación solar.* Fuente: MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell, Salmi, T. et all (2012).

3.2.3. Diseño preliminar del prototipo

Partiendo de la patente citada anteriormente, “SENSOR FOTOVOLTAICO MULTICELULAR Y PROCEDIMIENTO DE ORIENTACIÓN” cuyo número de publicación es 2.398.545, se ha diseñado un primer prototipo de sensor y esbozado la electrónica necesaria para poder llevar a cabo un prototipo demostrativo.

Para ello, previamente a los diseños finales, se han buscado y ensayado los materiales necesarios para la construcción del sensor. La patente inicial únicamente trata la disposición que deben tener las células calibradas, abarcando los ángulos desde 0º hasta 90º cada 15º. Es decir, las células deben estar colocadas a 0º, 15º, 30º, 45º, 60º, 75º y 90º, pero no indica la composición y el tamaño de estas, ni la electrónica necesaria para su correcto funcionamiento, por ello.

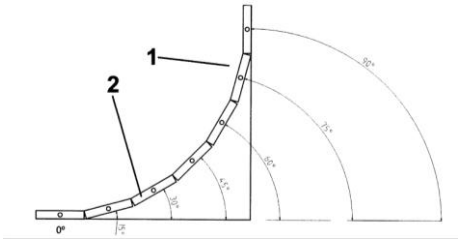

Figura 4: *Esquema de la colocación de las placas.* Fuente: Patente ES 2 398 545 B2

A partir de este modelo se ha diseñado y estudiado todo lo necesario para llevar a cabo un prototipo funcional y uno de toma de datos.

3.2.4.Ensayos de las placas

Para la creación del sensor solar, se requieren 7 células solares pequeñas. Con fin de comprobar el correcto funcionamiento de cada una de estas células solares hay que buscar una correlación entre la energía que captan y la tensión que emiten. Con este fin se han realizado una serie de ensayos que se muestran a continuación:

Estos ensayos han consistido en la caracterización de la resistencia óptima que linealiza la función entre la irradiancia solar recibida y la tensión que saca cada placa.

Para realizar estos ensayos, se ha tenido en cuenta el siguiente esquema:

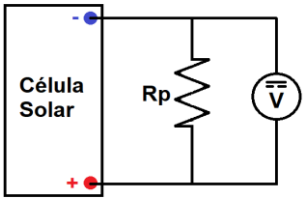

Figura 5: *Esquema de la colocación de las placas.* Elaboración propia.

Para comenzar con el desarrollo de las pruebas, lo que primero se realizó fue el soldado de los cables a los polos positivos y negativos de cada una de las placas policristalinas, así como la numeración de estas, como muestra la Figura 6.

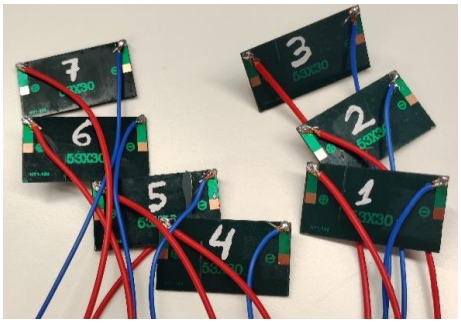

Figura 6: *Células numeradas listas para ensayar.* Fuente: Elaboración propia

Los ensayos han sido realizados en el laboratorio de la Universidad de La Rioja, y han consistido en medir la tensión que saca cada una de las distintas células solares para cuatro condiciones de iluminación distintas, para las resistencias en paralelo de 10Ω, 50Ω, 100Ω, 200Ω, 500Ω, 1kΩ y 2kΩ.

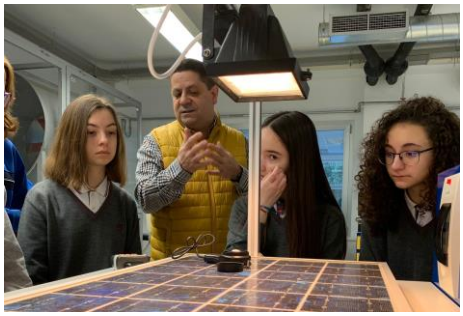

Figura 7: *Bastidor en el que se han ensayado las células.* Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Tabla ejemplo de la Célula 1. Tensión de la placa según la resistencia en paralelo en el que se han ensayado las células calibradas.

Resistencia (Ω)	Vdc a Irr. Máxima (V)	Vdc a Irr. Media (V)	Vdc a Irr. Baja (V)
10	0,1	0	0
50	0,8	0,5	0,1
100	1,7	0,6	0,2
200	3,5	1,3	0,4
500	5,2	2,8	0,8
1k	5,4	4,6	1,5

Además, se ha realizado una gráfica de dispersión para cada valor de resistencia y se han obtenido las ecuaciones que linealizan los valores y los errores cuadráticos referentes a ellas. La figura 8 muestra el ejemplo de estas gráficas para la célula 1.

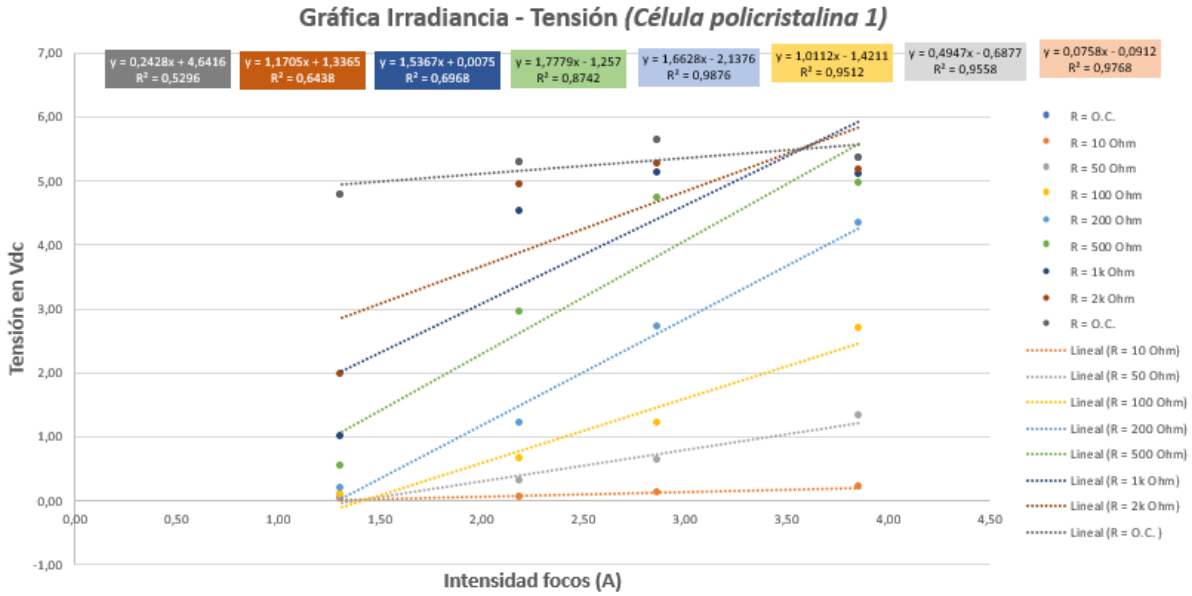

Figura 8: *Gráfica de dispersión de la célula 1.* Fuente: Elaboración propia

Una vez tratados todos los datos de todas las células, se ha procedido a comparar la resistencia que linealiza mejor la irradiancia en función de la intensidad para cada placa. Los resultados se muestran en la Tabla 2, dónde se observa que la resistencia de 200Ω es la que más se ajusta en todos los casos (marcada de color verde).

Tabla 2: Tabla ejemplo de la Célula 1. Tensión de la placa según la resistencia en paralelo en el que se han ensayado las células calibradas.

Resistencia (Ω)	Célula 1	Célula 2	Célula 3	Célula 4	Célula 5	Célula 6	Célula 7
10	0,9768	0,9826	0,9181	0,9802	0,9634	0,9844	0,9579
50	0,9558	0,9128	0,9476	0,9263	0,9137	0,983	0,9651
100	0,9512	0,9627	0,9557	0,9762	0,9786	0,9931	0,9679
200	0,9876	0,9851	0,9862	0,9821	0,9987	0,9975	0,9966
500	0,8742	0,8903	0,8994	0,9109	0,9032	0,9014	0,9162
1k	0,6986	0,7148	0,7123	0,7329	0,7242	0,7224	0,7439
2k	0,6438	0,6543	0,6556	0,6813	0,6833	0,6667	0,6973
O.C.	0,5296	0,6101	0,7627	0,7585	0,8499	0,9229	0,8605

Tras realizar estos ensayos, se ha procedido a soldar una resistencia de 220Ω en paralelo a cada célula, con fin de que cada placa del sensor saque de forma lineal una tensión de 0-5Vdc en función de la irradiancia recibida.

3.3. Diseño y creación de la carcasa.

Una vez caracterizadas las resistencias, se ha procedido a diseñar la carcasa del sensor. Esta carcasa contiene un total de 7 células calibradas dispuestas cada 15º, de tal forma que se cubren los ángulos de 0º (horizontal), 15º, 30º, 45º, 60º, 75º y 90º (vertical).

3.3.1. Diseño 3D de la carcasa

Para el diseño de la carcasa se ha utilizado el software Sketch Up. En este diseño se ha tenido en cuenta las dimensiones de las placas y el cableado que debe albergar el mismo. La Figura 9 muestra una captura de pantalla del diseño realizado.

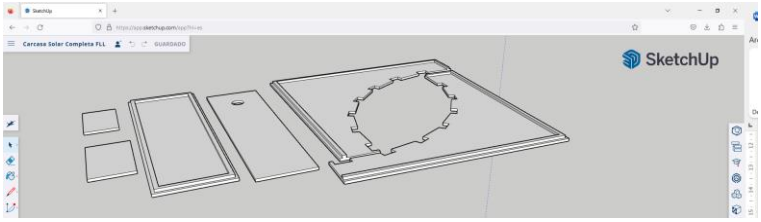

Figura 9: *Diseño de la carcasa en SketchUp.* Elaboración propia.

3.3.2. Impresión 3D de la carcasa

Posteriormente, se ha procedido a la impresión 3D de los diseños del sensor. Para ello, se ha utilizado una impresora Artillery y el software Ultimaker Cura. La Figura 9 muestran todo el proceso de diseño e impresión del sensor.

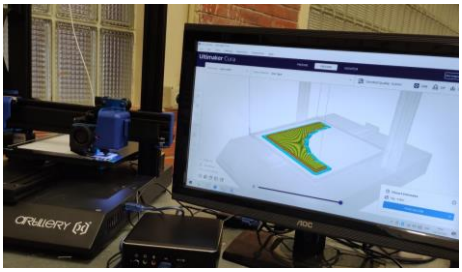

Figura 10: *Impresión 3D de la carcasa.* Elaboración propia.

3.3.3. Montaje del sensor

Tras imprimir todas las piezas del sensor, se ha procedido al ensamblado del mismo, colocando cada una de las placas en su posición final. La Figura 11 muestra este proceso.

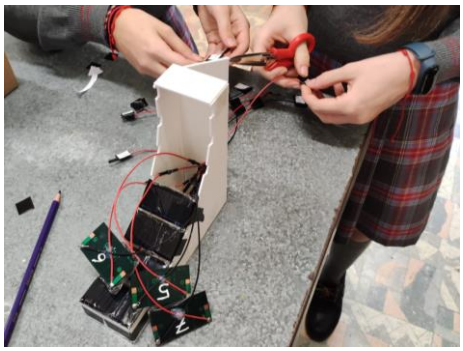

Figura 11: *Construcción del sensor.* Elaboración propia.

3.4. Construcción del prototipo demostrativo

La construcción del prototipo ha estado condicionada por distintos factores, entre los que destacamos la necesidad de analizar un total de 9 entradas de datos analógicas y la necesidad de controlar dos pantallas OLED simultáneamente. De cara a simplificar la programación se ha optado por separar por un lado la monitorización de la placa móvil (dedicando para ello un Arduino UNO y una pantalla) y por otro, hemos desplegado un Arduino MEGA por su capacidad de gestión de entradas analógicas, para la monitorización de las placas del sensor así como para el control del servo motor y de una segunda pantalla.

3.4.1. Materiales utilizados

Los materiales que se han utilizado para realizar la parte electrónica del proyecto son los siguientes:

- Arduino Mega 2560
- Células solares.
- Sensor de intensidad ACS712.
- Raspberry Pi 4.
- Arduino Uno.
- Pantallas OLED SSD1306 de 128x32p
- Servo motor.
- NodeMCU.

3.4.2. Diseño del esquema de conexiones

El esquema que se ha creado para el prototipo de toma de datos es el siguiente:

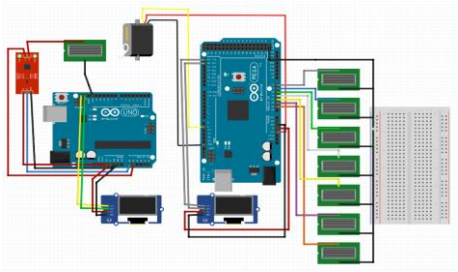

***Figura 12**: Esquema de conexiones.* Elaboración propia.

3.4.3.Programación de ambos prototipos

Cada una de las placas 7 placas del prototipo tiene su polo positivo conectado a una de las entradas analógicas que el microprocesador Arduino Mega de nuestro prototipo dispone. De este modo podemos calcular el voltaje que cada una de ellas está generando. Arduino internamente transforma el voltaje de entrada (un valor entre 0v y 5v) en un valor entre 0 y 1023 donde 0 corresponde a 0 voltios y 1023 a 5 voltios. Nuestra programación recorre cada pocos segundos cada una de estas 7 entradas analógicas almacenando cada uno de sus valores tal y como podemos ver en la Figura 13.

```
54  for (int i = 0; i < 7; i++) {
55  int sensorValue = (analogRead(analog_pins[i]));
56  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
57  float voltage = sensorValue*(5.0/1023.0);
58  if (voltage>max){
59  max = voltage;
60  pin_maximo = analog_pins[i];
61  angulo = analog_angle[i];
62  delay(2000);
63  }
64  Serial.print("El pin: ");
65  Serial.print(analog_pins[i]);
66  Serial.print("Tiene un valor de: ");
67  Serial.print(sensorValue);
68  Serial.print("Y un voltaje de: ");
69  Serial.println(voltage);
70
71  }
```

***Figura 13**: Código de toma de valores de las 7 células.* Fuente: Elaboración propia

El bloque ‘for’ anterior recorre las 7 primeras entradas analógicas de nuestro sistema y transforma cada valor obtenido en un voltaje mediante una simple regla de 3, multiplicando el valor obtenido por 5 y dividiéndolo entre 1023, para a continuación comparar cada valor obtenido con un máximo. Este máximo será definido tras la lectura de las 7 placas y una vez concretado, definimos el ángulo correspondiente a la entrada analógica que lo ha entregado. Para ello, creamos dos vectores de datos, uno con las entradas y otro con los ángulos asignados a cada una de ellas.

Definida la correspondencia entre las entradas y los ángulos, el siguiente bloque de código es el encargado de, tras la medición de cada una de las entradas, comparar dicha medida con la medida máxima anterior y en caso de que esta nueva medida sea superior *(en el caso de que la medida no supere el valor máximo medido este queda inalterado y por tanto la placa no cambiará de ángulo)* a la anterior, reemplazar el valor máximo *(**max** corresponde al valor más alto y se inicializa en cada ciclo de toma de medidas, **pin_maximo** indica la entrada con máximo valor y **angulo** corresponde al ángulo asociado a la entrada máxima)* por el recién obtenido y el ángulo correspondiente por el asignado a la entrada analizada.

```
58  if (voltage>max){
59  max = voltage;
60  pin_maximo = analog_pins[i];
61  angulo = analog_angle[i];
62  delay(2000);
```

***Figura 14**: Código que identifica el mejor ángulo.* Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado el mejor ángulo, el último paso consiste en orientar el servo motor con dicha inclinación para finalmente mostrar en la pantalla OLED el ángulo elegido y el voltaje obtenido. En el siguiente fragmento de código podemos ver la definición de estas acciones:

```
72  Serial.print("El pin con mayor valor es: ");
73  Serial.print(pin_maximo);
74  Serial.print("Con un valor de voltaje de: ");
75  Serial.println(max);
76  myservo.write(angulo);
77      display.clearDisplay();
78      display.setCursor(0, 0);
79      display.print("ANG:");
80      display.println(angulo);
81      display.print("VOLT:");
82      display.print(max);
83      display.print("V");
84      display.display();
85      delay(1000);
```

***Figura 15:** Código de impresión en pantalla.* Fuente: Elaboración propia

El comando ***myservo.write(angulo)***, es el encargado de mover la placa del prototipo en la dirección del ángulo elegido. Los comandos que comienzan por ***display*** son los necesarios para mostrar en la pantalla OLED del prototipo los valores de ángulo y voltaje máximos.

Con el objeto de comprobar y analizar el comportamiento de la placa en movimiento del prototipo, hemos incluido un microcontrolador adicional que se

encarga de tomar los datos únicamente de esta placa y de mostrar en una segunda pantalla la energía que dicha placa está generando, así como su voltaje. En este caso, y para obtener un valor aproximado de la potencia y el voltaje realizaremos varias mediciones y calcularemos la media aritmética de estas. En el siguiente código podemos ver una primera medida del voltaje (línea 47) y el cálculo del valor medio mediante la línea 51 que asigna a la variable ***current*** el valor del resultado de la función ***getCorriente.***

```
47  sensorValue = (analogRead(A1));
48  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):
49  voltages = sensorValue*(5.0/1023.0);
50  //Serial.println(voltage);
51  float current = getCorriente(SAMPLESNUMBER);
52  float currentRMS = 0.707 * current;
53  float power = voltages * currentRMS;
54  printMeasure("Intensidad: ", current, "A ,");
55      printMeasure("Irms: ", currentRMS, "A ,");
56      printMeasure("Potencia: ", power, "W");
57      delay(1000);
```

Figura 16: *Código de impresión en pantalla.* Fuente: Elaboración propia

La función ***getCorriente*** es la que nos permite tomar varias muestras y calcular la media aritmética, tal y como vemos en la imagen. Esta función, recibe como parámetro el valor ***samplesNumber*** que indica el número de muestras a medir y mediante un bloque for, almacenamos las medidas para finalmente devolver mediante el comando ***return*** la media aritmética de dichas muestras.

Es importante destacar que para realizar una medida de la potencia y la intensidad hemos utilizado un sensor dedicado ACS712. Con el objeto de no estresar los componentes, hemos introducido a lo largo del código varios comandos ***delay***, que nos permiten pausar el microcontrolador para que todos los sensores se estabilicen y las muestras obtenidas sean lo más fiables posibles.

En el caso del prototipo diseñado para la toma de datos, nos hemos enfrentado al problema de la definición del entorno de trabajo necesario para el envío de los datos y su posterior procesamiento. Con el objeto de lograr reutilizar la mayor parte de código posible, hemos basado la arquitectura de toma de datos de nuevo en un arduino MEGA pero al que hemos añadido un dispositivo NODEMCU que se encarga de recibir los datos medidos y enviarlos a un servidor externo mediante el protocolo http. Este servidor externo se ha instalado en una Raspberry Pi 4 corriendo los siguientes

servicios: ***Domoticz*** *(software libre de automatización y domótica)*, una base de datos de series temporales ***Influxdb*** y un servicio de ***Grafana*** para su visualización.

Se ha desarrollado el código necesario para conectar el microcontrolador *Arduino MEGA* con el microcontrolador con *WiFi NODEMCU* mediante el protocolo ***i2c*** y recibir peticiones de lecturas de datos mediante la definición de una función. Esta conexión es del tipo *MASTER-SLAVE* donde el microcontrolador *NODEMCU* es el nodo master encargado de solicitar, recibir y procesar para luego enviar, los datos de medidas al nodo slave correspondiente al microcontrolador *Arduino MEGA*.

Por tanto, en este caso, toda la inteligencia del proceso de datos, pasa a ser gestionada por el microcontroador NODEMCU. Mediante comandos ***wire*** solicitamos al equipo slave los datos procedentes de los sensores analógicos. Estos datos son recibidos como texto y de cara a su posterior análisis son transformados en números enteros. Recibidos los datos, estos son enviados al servidor domoticz y almacenados en su base de datos ***Influxdb*** para su procesamiento. Estos datos son enviados mediante la API del servidor ***Domoticz*** instalado en una ***Raspberry Pi***, permitiéndonos de este modo externalizar los datos remotamente. Finalmente, hemos desplegado un servicio de ***Grafana*** sobre el que hemos diseñado una serie de cuadros de mando que nos permiten mostrar las gráficas de voltaje generado por cada ángulo, así como datos comparativos entre el voltaje generado por la placa que gira conforme al ángulo teórico del sol y aquel generado por la placa asociada al movimiento optimizado por nuestra solución.

Figura 17: *Pantalla de visualización de datos "Grafana".* Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Prototipo demostrativo terminado

A continuación, se muestra el prototipo demostrativo creado.

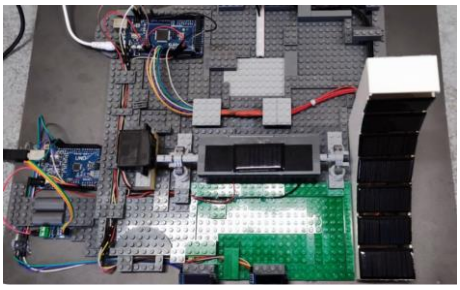

Figura 18: Prototipo demostrativo. Elaboración propia.

3.5. Construcción e instalación del prototipo de toma de datos

Además de la creación del prototipo que simula el funcionamiento se ha creado un prototipo de toma de datos que se ha instalado en la azotea de nuestro colegio. El esquema realizado para la toma de datos es el siguiente:

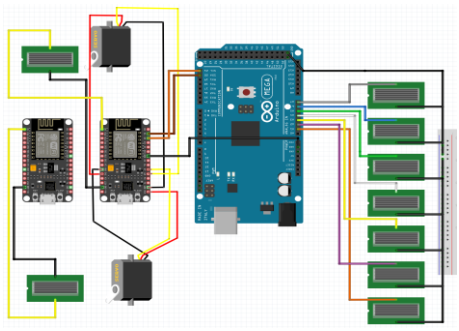

Figura 19: Esquema del prototipo de toma de datos. Elaboración propia.

Tras la creación del prototipo de toma de datos se ha procedido a su instalación en la azotea de nuestro centro educativo. Ha estado tomando datos durante un mes y estos datos han sido procesados analizados a través del programa Grafana.

***Figura 20**: Instalación del prototipo de toma de datos.* Elaboración propia.

4. Resultados

A partir de la toma de datos del prototipo instalado en la azotea del edificio y a través del programa Grafana, se han obtenido una serie de gráficas para cada día como los que se muestran en la Figura 21. En dicha figura, se puede observar la orientación óptima durante una semana.

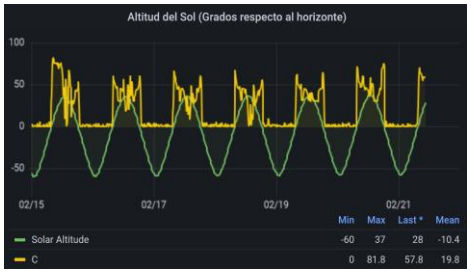

***Figura 21**: Ejemplo de datos de Grafana para una semana.* Elaboración propia

A demás, estos resultados han sido contrastados diariamente con la producción solar real de las placas fijas instaladas en la cubierta de nuestro centro educativo, como se muestra en la Figura 22.

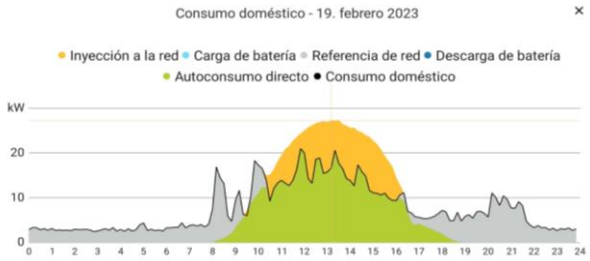

***Figura 22**: Ejemplo de datos de producción real para un día.* Elaboración propia

5. Conclusiones

Se puede observar como en las franjas soleadas, la inclinación de ambas placas es idéntica en el 100% de los casos, ya que la altura solar y la mejor placa del sensor dan ángulos complementarios. De esta forma la configuración de las placas hace que ambas estén orientadas en la misma posición.

Cuando se interponen nubes entre el sol y el sensor, existe una desviación entre la placa óptima y la orientación solar. Es curioso ver que, en los casos nublados, la posición de las placas óptimas que indica el sensor se acerca a posiciones verticales, de 60º hasta 90º dependiendo de la hora del día.

Cuando se comparan las gráficas de producción solar del edificio frente a la inclinación óptima del sensor se puede observar como varía la inclinación en los periodos de menor producción, que corresponden con franjas de nubes.

Con todo ello, podemos que el sensor solar diseñado optimiza al máximo el proceso de producción de energía en plantas solares fotovoltaicas, lo que podría ser revolucionario en instalaciones de seguimiento y obtener un gran beneficio económico y ambiental.

6. Limitaciones y prospectiva

El presente proyecto ha contado con la limitación económica al tratarse de un proyecto escolar, teniendo que realizarse a través de equipos de Arduino, por lo que no podría ser aplicable directamente en una central real, motivo por el cual se ha creado un prototipo demostrativo.

Como prospectiva podría contarse con la sustitución de los equipos Arduino por autómatas programables, por ejemplo, Siemens S7, capaces de mover motores de orientación de grandes instalaciones solares. También podría crearse un sensor de orientación a dos ejes juntando varios sensores o crear uno de tipo esférico.

7. Referencias

Huan-Liang T. et all (2008) Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008, October 22 - 24, 2008, San Francisco, USA

Nema, Savita. et all (2010) Matlab/simulink based study of photovoltaic cells/modules/ array and their experimental verification. International journal of energy and environment volume 1, issue 3, 2010 pp.487-500.

Salmi, T. et all (2012) MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. International Journal Of Renewable Energy Research Tarak Salmi et al., Vol.2, No.2, 2012

Kelly, Nelson A. and Gibson, Thomas L. (2009) Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system. Solar Energy Volume 83, Issue 11, Pages 2092-2102.