

# Monitoreo de Variables ambientales para diagnóstico y ensayo de paneles solares aplicando tecnología IoT

## Monitoring of environmental variables for diagnosis and testing of solar panels applying IoT technology

Presentación: 04/10/2024

### **Yesica Ayelen Ortega Crespo**

Becaria estudiante - Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada – UTN – FRC  
yesicaayelenortega@gmail.com

### **Fernando Cagnolo**

Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada – UTN – FRC  
fjccagnolo@hotmail.com

### **Carlos Centeno**

Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada – UTN – FRC  
cccenteno@gmail.com

### **Gabriel Benedetti**

Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada – UTN - FRC  
gabrielnbenedetti@yahoo.com.ar

### **Federico Linares**

Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada – UTN – FRC  
flinares4@hotmail.com

## **Resumen**

Se plantea el desarrollo de un prototipo para ensayar y monitorear de forma remota, un módulo fotovoltaico para corroborar las especificaciones técnicas del fabricante y su posterior seguimiento de su funcionamiento luego de ser instalado. Para dicho monitoreo es necesario medir la radiación solar, la medición de la temperatura ambiente y la del panel. El abordaje se realiza a partir de sensores económicos y accesibles en el mercado local y la utilización de tecnología IOT, para el monitoreo remoto. Existen diversos instrumentos que nos permiten realizar las mismas mediciones de forma individual como piranómetros, medidores de temperatura para exteriores y sonda dedicada a la medida del panel, o en conjunto, como estaciones meteorológicas más bien orientadas a la pronosticación del clima. Pero presentan la desventaja de que su costo es muy elevado, puede superar los 400USD, y no están orientados específicamente a nuestro objetivo en particular.

**Palabras clave:** Energías Renovables, Radiación Solar, Piranómetro, Telemetría Web, IoT, Panel Fotovoltaico

## **Abstract**

The development of a prototype to test and remotely monitor a photovoltaic module is proposed to corroborate the manufacturer's technical specifications and its subsequent monitoring of its operation after being installed. For this monitoring it is necessary to measure solar radiation, measure the ambient temperature and that of the panel. The approach is carried out using economical and accessible sensors in the local market and the use of IOT technology for remote monitoring. There are various instruments that allow us to carry out the same measurements individually, such as pyranometers, outdoor temperature meters and a probe dedicated to measuring the panel, or together, as meteorological stations more focused on climate forecasting. But they have the disadvantage that their cost is very high, it can exceed 400USD, and they are not specifically oriented towards our particular objective

**Keywords:** Renewable Energies, Solar Radiation, Pyranometer, Web Telemetry, IoT, Photovoltaic Panel

## Introducción

Alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, en la reducción de gases de efecto invernadero, exige realizar notables esfuerzos para aumentar la eficiencia energética y la utilización de las energías renovables. Es por esto que la generación fotovoltaica está experimentando un gran crecimiento y se hace necesaria una evaluación precisa de la capacidad de generación de sistemas fotovoltaicos, para determinar de forma correcta la eficiencia de los módulos, así como el recurso solar en cantidad y calidad.

Los fabricantes de módulos fotovoltaicos (FV) garantizan la eficiencia de su producto respecto a las condiciones estándar de medida, definidas a la temperatura de celda de 25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia y distribución espectral correspondiente a una masa de aire AM 1,5G. Las variaciones climáticas ocasionan que la energía que entrega una instalación fotovoltaica cambie y que, además, no sólo los cambios en la irradiación afectan al rendimiento de la instalación, desde el punto de vista eléctrico, existen otros factores como el espectro, el ángulo de incidencia de los rayos solares, la temperatura junto con la velocidad y dirección del viento. En este contexto, se requieren datos del recurso solar utilizable y la energía real que pueden entregar los paneles, para evaluar con precisión su rendimiento.

## Medidores de irradiancia

Para determinar el recurso solar disponible se utilizan sensores del tipo termopila (Piranómetros térmicos) o bien, sensores que funcionan a través del efecto fotovoltaico.

Un Piranómetro térmico es un elemento capaz obtener la medida de radiación solar global (directa y difusa o reflejada) de un gran intervalo de longitud de onda y con un campo de amplitud de 180°. En este, la radiación incide sobre dos cúpulas semiesféricas de vidrio y llega a una pila termoeléctrica formada por una serie de termopares (dos metales distintos), que captan el calor generando una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura de los extremos de los termopares. Esa pila se encuentra pintada de negro con el objetivo de absorber la máxima radiación posible. También se puede filtrar el rango de frecuencias por medio de un filtro en el domo de vidrio. En este caso, la cúpula filtra las radiaciones en el espectro de radiación solar, de 300 a 3000 nm. Su ubicación ha de ser en zonas abiertas, para evitar elementos que puedan obstruir la radiación en el dispositivo. Este piranómetro es el más utilizado comercialmente, caracterizado por una alta precisión y una sensibilidad “plana” (le afectan de menor forma las condiciones externas como nubes o contaminación). Los piranómetros térmicos, son instrumentos muy estables cuyos precios son más altos que los medidores que utilizan celdas FV. Típicamente, los piranómetros deben ser recalibrados aproximadamente una vez al año, ya que la tensión de salida puede presentar desvíos con el tiempo de exposición debido a la degradación de la superficie negra.

## Sensores que funcionan a partir del efecto fotovoltaico

Los sensores del tipo fotovoltaico pueden ser: Celda de referencia calibrada o Sensor fotodiodo. En ambos casos el principio de funcionamiento se fundamenta en el efecto fotoeléctrico. Los fotones con energía por encima del gap (Luque y Hegedus, 2011) se convierten directamente en las cargas positivas y negativas que pueden ser recogidas y utilizada en un circuito externo, es decir, trabajan sobre un determinado rango del espectro solar.

La celda FV o fotodiodo generan una corriente que depende de la cantidad y la distribución espectral de los fotones, por esta los valores de corriente se encuentran afectados por las variaciones en la distribución espectral causado por nubes, vapor de agua, aerosoles, masa de aire, etc, (Osterwald, 1986).

En general, la corriente de la celda se obtiene mediante la medición de la caída de tensión a través una resistencia de pequeño valor y alta estabilidad térmica, la cual se conecta sobre los terminales positivo y negativo de la celda FV (Vera et al, 2005). La señal de tensión medida es proporcional a la irradiancia.

Como se describe, estos sensores son susceptibles de las condiciones externas, aunque presentan una rápida respuesta, ligereza y menor costo, lo cual hace que hayan ido ganando terreno a los piranómetros convencionales.

El desarrollo que plantea este informe surge de la necesidad de ensayar un panel solar antes de instalarlo y de monitorear su desempeño de forma remota pudiéndose registrar valores históricos y presentarlos en formato de reporte, y que se dispongan en un sitio Web.

Cuando esté todo el sistema instalado, dicha instalación corresponderá al proyecto acreditado, “Derivador de Excedente de Energía Fotovoltaica con Mecanismo Seguidor de dos ejes” que se desarrolla en el Grupo de Investigación y Transferencia en Electrónica Avanzada (G.In.T.E.A.) de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba.

## Objetivos

Diseño y construcción de dispositivo de bajo costo, con componentes accesibles en el mercado local, que permita la medición de: Irradiación solar, Temperatura y Humedad ambiente, Temperatura de panel fotovoltaico y utilización de tecnología IoT para su monitoreo y posterior análisis.

## Desarrollo

Para la implementación del prototipo se utilizaron los componentes que se describen a continuación.

### Sensor fotodiodo BPW21

Se eligió el fotodiodo BPW21, Fig. 1, ya que al momento del abordaje del proyecto era lo único que se conseguía en el mercado local y a precio accesible, además de contar con ventana de vidrio plana. Es suficientemente estanco, la señal proporcionada es fácilmente procesable de manera que requiere circuitería simple, mide perfectamente la radiación solar y no únicamente la ultravioleta como la mayoría de los fotodiodos, su ancho espectral cubre desde los 450nm a 750nm y sus condiciones operacionales de temperatura son flexibles.

De las características técnicas asociadas con el sensor BPW21, se destacan:

- Longitud de onda de la sensibilidad pico: 560 nm.
- Mínima longitud de onda detectada: 460 nm.
- Máxima longitud de onda detectada: 750 nm.
- Fotosensibilidad: 0,34 A/W.
- Angulo de sensibilidad media: 55°. Área activa: 7,5 mm<sup>2</sup>.
- Potencia equivalente al ruido: 1,4 x10<sup>-5</sup> Lux/Hz<sup>1/2</sup>.
- Temperatura de operación: -25°C a 100 °C.
- Capacitancia: a 0V@490 pF; a 5V@170 pF



Figura 1: Sensor fotodiodo BPW21

Para reproducir el comportamiento de un dispositivo térmico, se agrega un elemento difusor, pero este prototipo detectará principalmente la radiación directa ya que estará montado en el plano del panel FV guiado por el seguidor solar, solo se utilizará un domo de vidrio transparente por razones de estanqueidad. (Vera et al, 2005).

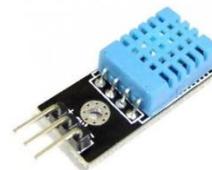
### Medición de temperatura/humedad ambiente y temperatura del Panel

Para la medición de la temperatura del panel solar, se optó por un sensor LM35, al que se lo alojó en el interior de un cilindro de aluminio, el cual fue mecanizado a las medidas adecuadas tomadas de un instrumento comercial para dicho fin, se lo acompañó de una varilla con sopapas en los extremos para adherir al panel Fig 2a.

Para la medición de la temperatura y humedad ambiente, se optó por el uso de un DHT11. Fig. 2b.



a. Sonda de Temperatura para Panel



b. Sensor de temperatura y humedad DHT11

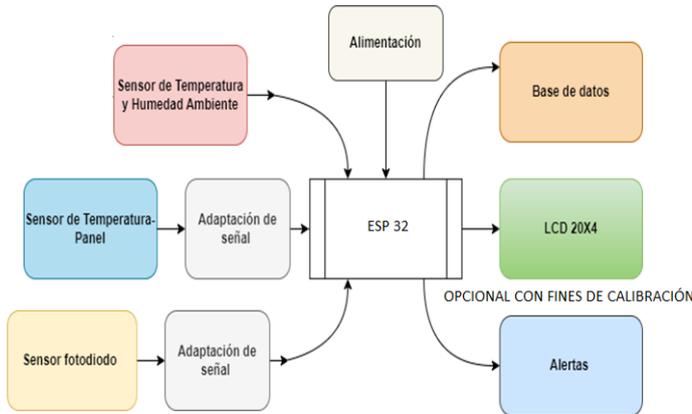
Figura 2: Medición de temperatura y humedad

Los sensores de medición de temperatura del panel solar con LM35 y de temperatura ambiente/ humedad DHT11, no fueron contrastados ya que se tomaron como válidas las exactitudes afirmadas por los respectivos fabricantes en esta primera etapa, puesto que en esta presentación se focalizó el desarrollo del medidor de irradiancia.

## Sistema embebido ESP32

El ESP32 es un sistema embebido de bajo costo y bajo consumo de energía con un microprocesador LX6 de 32 bits de doble núcleo en un chip que posee wifi y Bluetooth integrados.

A continuación, se presentan los respectivos diagramas en bloques de la etapa de Software y Hardware.



a. Diagrama en bloques - Etapa Hardware

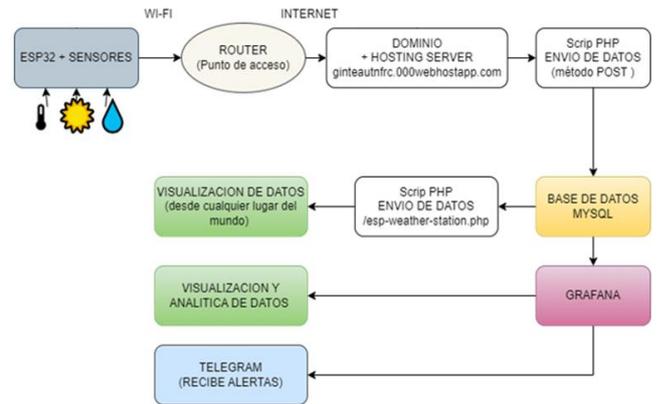
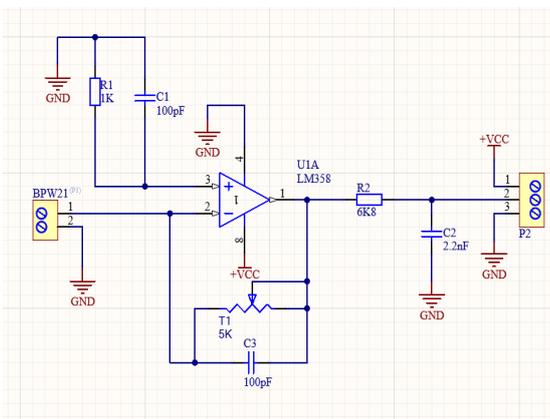


Diagrama en bloques - Etapa Software

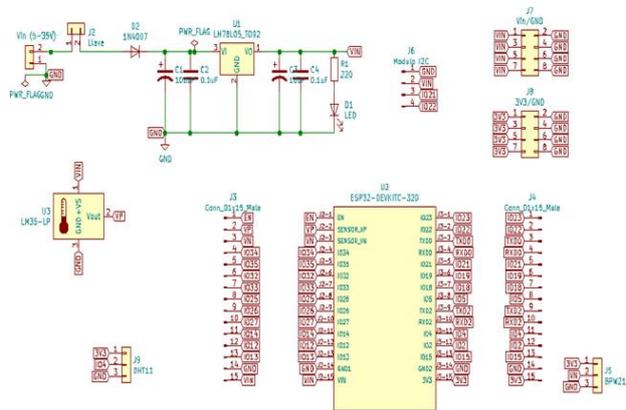
Figura 4 – Diagramas en bloques

## Circuito acondicionador de señal

Debido a la rápida respuesta de detección de cambios de luz, amerita un amplificador de transimpedancia, ya que se necesita una tensión proporcional a la corriente que entrega el fotodiodo, y con una amplificación dependiente de la resistencia de realimentación, el capacitor en paralelo proveerá una acotación en la banda superior. El filtro pasabajos a la salida además de elevar el orden del filtrado, actúa como filtro antialias previo a la etapa de conversión, con lo cual atenuará dicha rapidez de respuesta y evitar ruidos que alteren las mediciones. También se dispone de una red de compensación de corrientes de offset para pequeños desequilibrios en las entradas. En la Fig. 5, se presentan los esquemas de acondicionamiento analógico de procesamiento digital.



a. Esquema del amplificador



b. Circuito Digital

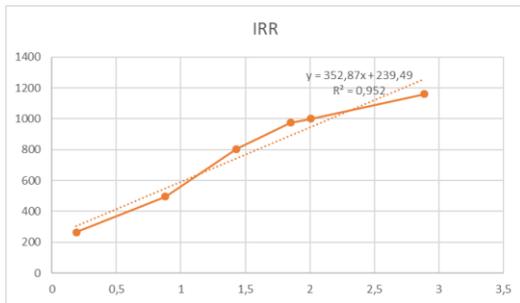
Figura 5 – Circuitos electrónicos

## Metodología para la obtención la función de transferencia de irradiancia Vs tensión

Las mediciones se realizaron durante tres días consecutivos en noviembre del 2023 con días despejados, a partir de las 13hrs. Se colocaron el medidor patrón y el equipo prototipo, en un mismo plano de manera que la irradiancia fuera igual para ambos. Para simular distintas condiciones de radiación, se variaba la inclinación del plano de medición, y se procedía al registrando de la tensión de salida del acondicionador de señal. De esta manera se construyó la tabla para obtener la función de transferencia y poder determinar la ganancia de la etapa de acondicionamiento con

el fin de no superar el límite de tensión requerido por el convertor A/D del microcontrolador, correspondiente a una radiación máxima, incluido un margen de seguridad.

En la Fig. 6a se observa la salida del sensor de irradiancia en función de la potencia recibida.



a. Voltaje de salida del sensor Vs irradiancia



b. Instrumento para calibración

Figura 6 – Medición de Irradiancia

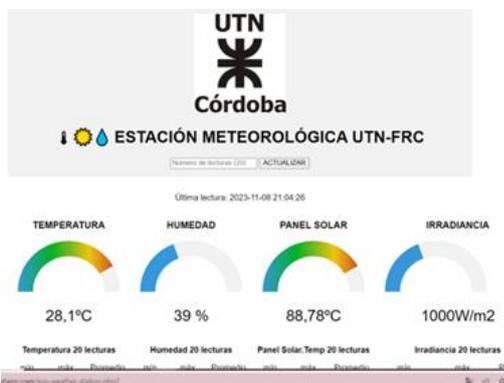
### Software para Visualización

El objetivo de este proyecto es tener su propio nombre de dominio y cuenta de alojamiento o "Hosting", que permita almacenar lecturas de sensores del ESP32. Para poder visualizar las lecturas desde cualquier parte del mundo accediendo al propio dominio del servidor. El sitio de alojamiento que se utilizó en este proyecto fue la versión gratuita de Webhost. Si bien es posible tener funcionalidades más complejas con este servicio, la versión elegida cubre los requerimientos del proyecto.

Una vez registrado para obtener una cuenta de alojamiento y configurar un nombre de dominio, se inicia una sesión en nuestro Panel y configuramos la base de datos en .php con los scripts desarrollados para tal fin. El sitio web no se encuentra desplegado para el uso fuera del alcance del proyecto en sus etapas de validación.

Para realizar las lecturas de los diferentes sensores se utilizó el IDE de Arduino. Se conectó al ESP32 al router, el cual realiza la solicitud HTTP POST a través del protocolo TCP/IP a un script PHP para insertar sus datos en una base de datos MySQL. Luego, mediante otro script PHP se muestra en la página web la información elegida, y con los atributos CSS se personaliza la forma de presentación de la misma.

En la Fig. 7, se puede observar la página web que consta de medidores en forma de "velocímetro", como así también la medición actual, mínima, máxima y promedio. Por otro lado, el usuario mediante un box de selección, puede determinar la cantidad de lecturas que quiere visualizar, en una tabla con toda la información relevada previamente, incluido el valor máximo, mínimo y promedio de ese rango temporal.



a. Medición de Irradiancia

Temperatura 20 lecturas			Humedad 20 lecturas			Panel Solar Temp 20 lecturas			Irradiancia 20 lecturas		
min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio	min.	máx.	Promedio
25,20 °C	30,50 °C	28,97 °C	38,00 %	95,00 %	49,85 %	0,00 °C	92,57 °C	82,3 °C	1000,00W/m2	1000,00W/m2	1000W/m2

IDENTIFICACION	Sensor	Ubicación	Temperatura ambiente [°C]	Humedad ambiental [%]	Temperatura del panel solar [°C]	Irradiancia [W/m2]	Marca de tiempo
352	DHT11	UTN-FRC	28,10	39,00	88,78	1000,00	2023-11-08 21:04:28
351	DHT11	UTN-FRC	28,50	39,00	92,25	1000,00	2023-11-08 21:03:55
350	DHT11	UTN-FRC	29,10	39,00	92,57	1000,00	2023-11-08 21:03:23
349	DHT11	UTN-FRC	29,60	38,00	91,28	1000,00	2023-11-08 21:02:51

b. Datos históricos

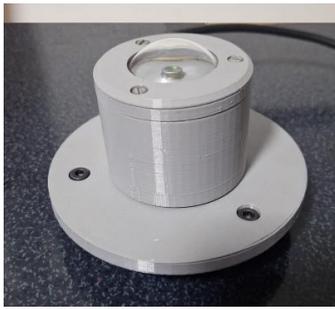
Figura 7 – Visualización de datos almacenados

### Conclusiones

Se logró el desarrollo del prototipo, que cumple con el objetivo propuesto respecto a las mediciones y monitoreo a través de una plataforma de visualización de datos en formato Web pudiendo aprovechar la disponibilidad de la tecnología IoT. Las calibraciones se realizaron con el medidor patrón TES1333 (con sensor a fotodiodo) Fig 6b.

Cabe aclarar que, el proyecto se extendió a más sensores de lo planeado. El software desarrollado es escalable pensando en las posibles mejoras que puedan surgir a futuro.

Para la impresión de los dispositivos se utilizó PLA, pero existen otros materiales como el PETG o ABS que ofrecen mejores características.



a. Sensor de radiación



b. Pruebas en Laboratorio



c. Pruebas de campo

Figura 8: Etapas de calibración del dispositivo desarrollado.

Al equipo desarrollado se le validará su funcionamiento de forma definitiva contrastándolo con un piranómetro térmico, que nos facilitará la secretaría de planificación energética de la provincia de Córdoba, y tomando mediciones a lo largo de 12 meses cuando el panel con mecanismo seguidor solar y derivador MPPT de excedentes de energía fotovoltaica esté instalado, de este modo podremos obtener resultados robustos, frente a los cambios ambientales a lo largo de dicho tiempo, como así también disponer de datos históricos. Por último, se destaca que se abordó la construcción de este prototipo, debido que el proyecto antes mencionado necesitaba de disponer de un medidor de irradiancia ya sea para ensayo del panel a utilizar, como así también como sensor para el control del seguidor solar, y el costo de los piranómetros en el mercado local no estaba al alcance del presupuesto (264,20 US\$), mientras que el sensor foto diodo BPW21 costaba 13 US\$.

## Agradecimientos

El trabajo presentado es parte de las tareas a desarrollar en un PID financiado por la Universidad. A su vez es deseable destacar que el piranómetro es parte de la tesis de grado de Yesica Ortega.

## Referencias

Luque, A. Hegedus, S. (2011). Handbook of photovoltaic science and engineering.

Osterwald, C. (1986). Translation of device performance measurements to reference conditions. Solar cells, 18:269-279.

Vera, L. H., Benitez, F. (2005). "Piranómetro Fotovoltaico con Sistema Autónomo de Adquisición de Datos" XXVIII Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES).

Musso, D., Peretti, G, Ferreyra, DM, Depetris, L. (2013). "Solarímetro digital aplicado a instalación piloto de paneles solares fotovoltaicos"

Bayón Alonso, E. (2018). "Diseño de un instrumento basado en Arduino para la medida de irradiancia solar"

Righini, R., Grossi, H. Gallegos, C.G. Bolzi, M.G. Martínez Bogado, M.J.L. Tamasi, (2009) "Comportamiento de un radiómetro par fabricado por CNEA respecto a un radiómetro par comercial kipp & zonen"

BPW21r – Datasheets (2024). Disponible en <<https://www.vishay.com/docs/81519/bpw21r.pdf>>

Webhost – Free web Hosting (2024). Disponible en <<https://panel.000webhost.com>>

Grafana Suite(2024). Disponible en <<https://grafana.com/grafana/download>>