
Medición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar mediante una plataforma sensorial de bajo costo en las condiciones geográficas y climatológicas de Juliaca
Measurement and monitoring of extreme events of solar irradiance using a low-cost sensory platform in the geographical and climatological conditions of Juliaca

Wilber Romario Quispe Coaquira
wilbertlv12@gmail.com - Universidad Nacional de Juliaca
<https://orcid.org/0000-0001-8216-3695>
Reynaldo Condori Yucra
rcondori@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca
<https://orcid.org/0000-0002-6905-2170>
Norman Jesús Beltrán Castañón
nbeltran@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca
<https://orcid.org/0000-0002-1597-2991>
Wilson Negrão Macêdo
wnmacedo@ufpa.br - Universidade Federal do Pará
<https://orcid.org/0000-0002-6097-8620>

Recibido el 29/10/20 | Aceptado el 22/11/20
DOI: <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.138>

Resumen

En la presente investigación, se presenta una plataforma sensorial de adquisición de datos autónomo de bajo costo para el monitoreo in situ de parámetros ambientales, analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de Juliaca, durante el periodo de cuatro meses desde enero hasta abril del 2020. El objetivo del trabajo es realizar el registro, monitoreo, procesamiento para la identificación de irradiancia solar muy extrema (irradiancia solar $>1367 \text{ W/m}^2$) e irradiancia solar extrema (irradiancia solar $>1000 \text{ W/m}^2$) utilizando como sensor de medición una celda fotovoltaica calibrada. La implementación de la plataforma sensorial se construyó utilizando celda fotovoltaica de 1.3Wp para la medición de irradiancia, una celda fotovoltaica de 2.5Wp para la autonomía y un microcontrolador ESP8266 para la comunicación y monitoreo de datos mediante Wi-fi con el estándar IEEE 80211, se emplearon baterías de ion litio para la autonomía, sensores de corriente, temperatura del aire ambiente y presión atmosférica, lo que permite el desarrollo de soluciones de medición y monitoreo de datos en cualquier parte de la región sin necesidad de estar conectado a la red eléctrica convencional para poder registrar datos de una manera fácil y económica. El costo de inversión del sistema de medición asciende a (S/.610.00). Los valores de irradiancia se estimaron a partir de mediciones de corriente de corto circuito (I_{sc}) adquiridas por un sensor de corriente. Las pruebas de calibración y validación de los datos se realizaron con el empleo y comparación de un módulo fotovoltaico patrón calibrado. Los resultados obtenidos del registro y procesamiento de datos de la plataforma sensorial dan como resultado la ocurrencia de eventos muy extremos de irradiancia solar, con un valor máximo de 1566.87 W/m^2 , el 04 de marzo del 2020 a las 12:19:26 hrs., con una duración de 13seg., haciendo un total de 28 días de ocurrencia entre [$1460.86-1566.87 \text{ W/m}^2$] y la ocurrencia de eventos extremos de irradiancia solar con un valor máximo de 1366.78 W/m^2 , el 17 de enero a las 11:26:29 hrs., con una duración de 17 seg., haciendo un total de 70 días de ocurrencia entre [$1354.89-1366.78 \text{ W/m}^2$], en una latitud de -15.488052 , longitud. -70.14974 y una altitud de 3832 m.s.n.m .

Palabras claves: *Plataforma sensorial, irradiancia solar, eventos extremos.*

Como citar: Quispe-Coaquira, W.R., Condori-Yucra, R., Beltrán-Castañón, N.J. & Macêdo-Negrão, W. (2021). Medición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar mediante una plataforma sensorial de bajo costo en las condiciones geográficas y climatológicas de Juliaca. ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica, 3(2), 53-62.

Abstract

In this research, a low-cost autonomous data acquisition sensory platform is presented for in situ monitoring of environmental parameters, analyzed in the geographical and climatological conditions of Juliaca, during the four-month period from January to April 2020. The objective of the work is to record, monitor, process for the identification of very extreme solar irradiance (solar irradiance > 1367) and extreme solar irradiance (solar irradiance > 1000) using a calibrated photovoltaic cell as a measurement sensor. The implementation of the sensory platform was built using a 1.3Wp photovoltaic cell for irradiance measurement, a 2.5Wp photovoltaic cell for autonomy and an ESP8266 microcontroller for data communication and monitoring via Wi-fi with the IEEE 80211 standard, Lithium ion batteries were used for autonomy, current sensors, ambient air temperature and atmospheric pressure, which allows the development of measurement solutions and data monitoring in any part of the region without the need to be connected to the electrical network conventional to record data in an easy and economical way. The investment cost of the measurement system amounts to (S / .610.00). Irradiance values were estimated from short circuit current (I_{sc}) measurements acquired by a current sensor. The calibration and validation tests of the data were carried out with the use and comparison of a calibrated standard photovoltaic module. The results obtained from the data recording and processing of the sensory platform result in the occurrence of very extreme solar irradiance events, with a maximum value of 1566.87, on March 4, 2020 at 12:19:26 p.m., with a duration of 13sec., making a total of 28 days of occurrence between [1460.86-1566.87] and the occurrence of extreme events of solar irradiance with a maximum value of 1366.78, on January 17 at 11:26:29 hrs., with a duration of 17 sec., making a total of 70 days of occurrence between [1354.89-1366.78], at a latitude of -15.488052, longitude. -70.14974 and an altitude of 3832 m.s.n.m.

Keywords: *Sensory platform, solar irradiance, extreme events.*

Introducción

La irradiancia solar y la temperatura de la celda, son de mucha importancia en los sistemas fotovoltaicos para el análisis de su eficiencia y rendimiento. Es por ello que los sistemas fotovoltaicos generalmente se diseñan teniendo en cuenta la irradiancia solar terrestre G_{SI} , que es el flujo de energía solar incidente en una superficie de la tierra completamente plana, que generalmente es 1000 W/m² (Abe, Dias, Notton, & Faggianelli, 2020).

A partir de este escenario, existe estudios donde se han observado que los picos de irradiancia solar ocurren en condiciones climáticas parcialmente nubladas que pueden aumentar la luz solar 1.5 veces incluso en latitudes altas (Yordanov, Midtg, Saetre, Nielsen, & Norum, 2012). Las nubes juegan un papel importante en la variación de la irradiancia solar a corto plazo, causando eventos que van desde una reducción casi total hasta mejoras sustanciales, en ciertas condiciones, amplificando G_{SI} a valores superiores a 1000 W/m² e incluso causando irradiancia solar muy extrema (irradiancia extraterrestre >1367 W/m²) (Piedehierro, Antón, Cazorla, Alados-Arboledas, & Olmo, 2014).

El principal desafío está relacionado con las variaciones drásticas de espacio y tiempo que se dan en la generación fotovoltaica producida por las nubes, el movimiento y tiempo que se tiene en cierto tipo de nube que está relacionado con las variaciones en el campo de la irradiancia a escalas de segundos y metros, lo que impacta particularmente en pequeños sistemas fotovoltaicos (Jamaly & Kleissl, 2018). Para un diseño adecuado de redes en medición y monitores por sensores se debe considerar cuidadosamente la respuesta de tiempo de los sensores. La respuesta de tiempo de los sensores de irradiancia como los piranómetros varía entre 5 a 20seg., siendo así un

filtro bajo para variaciones de irradiancia que afectan la generación de PV (Espinosa, Aguera, Gonzales, & Jose, 2018)

Se ha demostrado que los eventos de irradiancia solar extrema, pueden durar segundos a minutos, dependiendo de la velocidad de movimiento y cierto tipo de nube y que estos eventos de irradiancia solar exceden los niveles extraterrestres llamada también constante solar y pueden causar arcos en los módulos fotovoltaicos, lo que puede provocar incendios y pérdida de propiedades (Yordanov, Saetre, & Midtg, 2013).

(Pinho, Zilles, & Lorenzo, 2014) presentó un estudio sobre eventos extremos de irradiancia solar, donde dice que el estudio fundamental sobre la energía solar está en los eventos de irradiancia solar extrema y su influencia en los sistemas fotovoltaicos mediante el control de la irradiancia parámetro ambiental. Se observó, en los días analizados, que alrededor de una cuarta parte de la irradiancia solar diaria son superiores a 1000 W/m², valor utilizado para dimensionar equipos fotovoltaicos. Incluso considerando el 20% y 25% de tolerancia establecida en algunos estándares de fabricación de los módulos FV, una cantidad considerable de energía aún se descuidaría y por ello la importancia al dimensionar equipos fotovoltaicos especialmente la protección contra sobrecorriente (la principal contribución de la sobreirradiación está en la corriente).

Tabla 1
Antecedentes de eventos de irradiancia extrema registrados en todo el mundo.

Referencias (año)	Máxima irradiancia (W/m ²)	Ubicación (Latitud y altitud sobre el nivel del mar)	Instrumento de medida y orientación	Resolución de mediciones (seg.)
(Ramos et al., 2019)	1571	Perú (Puno-lago Titicaca), 3812 m.	módulos fotovoltaicos, (PLC)	1
(Yordanov et al., 2015)	1600	Noruega (Grimstad), 58° N, 60 m.	Celda fotovoltaica mc-Si, inclinada 39° desde la horizontal.	0.5
(Pinho et al., 2014)	1590	Brasil (São Paulo), 23° S, 760 m	Módulo fotovoltaico Poly c-Si (MSX-10) horizontal.	1
(Luoma, Kleissl, & Murray, 2012)	1300	Estados Unidos (San Diego), 32° N, 22 m.	Piranómetro de fotodiodo (LICOR LI-200), horizontal.	1
(Piedehierro et al., 2014)	1244	España (Granada), 32° N, 680 m.	Piranómetro de termopila (CM-11), horizontal.	60
(Tapakis & Charalambides, 2014)	1533	Cyprus	Piranómetro (MS-802)	60

Este documento aborda la implementación y prueba de una plataforma sensorial de bajo costo para el monitoreo y medición in situ de eventos extremos de irradiancia solar. Empleamos hardware libre debido a su fácil acceso y su bajo costo, en comparación con otros equipos comerciales de sensores medición, la plataforma debe proporcionar el desarrollo de soluciones de medición y monitoreo de parámetros ambientales en lugares con recursos limitados y así obtener datos de una manera fácil y económica (Chase et al., 2018). La plataforma sensorial mide, envía y almacena parámetros de irradiancia solar, temperatura del aire, presión atmosférica a través de sensores y dispositivos integrados con electrónica (hardware y software), que facilitan la recolección, almacenamiento y transmisión de datos mediante la comunicación de internet de las cosas (IoT) para su monitoreo en tiempo real y análisis (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013). Para la medición e identificación de los eventos extremos se utiliza mini módulos fotovoltaicos de silicio monocristalino (mono c-Si) debido a su eficiencia, ya que pueden generar más energía que el módulo policristalino (poli c-Si), incluso con poca luz y nublado (Messenger & Ventre, 2018).

Para la validación y calibración de los datos se obtuvo un algoritmo de regresión lineal entre las lecturas de ambos sensores, para luego calcular el coeficiente de determinación (R²) y de correlación de Pearson (R) entre ellos. El sistema de medición fue implementado y probado en la región de Puno en la ciudad de Juliaca en el pabellón administrativo, de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ). El estudio y conocimiento en la literatura científica de nuestra región, no hay estudios de medición y monitoreo de eventos extremos de irradiancia solar, considerando así el primero en su investigación en las condiciones geográfica y climatológicas de la región.

Materiales y métodos

La plataforma se basa en tres sensores de medición para monitorear parámetros ambientales como irradiancia solar, temperatura de aire y presión atmosférica. Los componentes electrónicos del sistema se colocaron en una caja de plástico resistente al polvo y agua. La fig. 1 muestra la plataforma instalada en Juliaca.

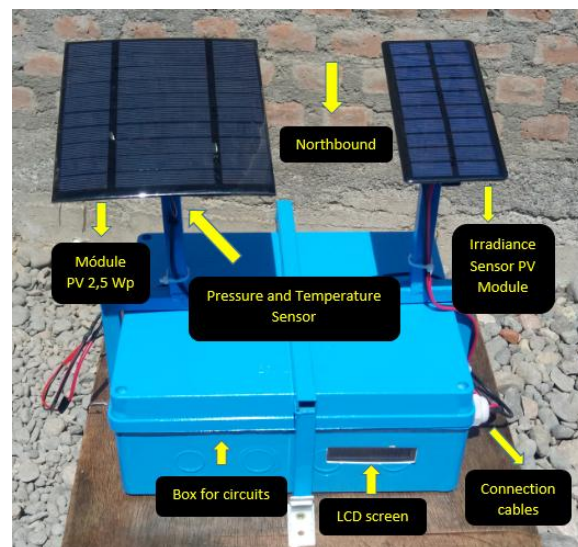


Figura. 1. Plataforma sensorial implementado en la ciudad de Juliaca en la EPIER / UNAJ, inclinado a 15° hacia el norte geográfico.

Descripción de los componentes. - La plataforma consta de celdas fotovoltaicas de 1.3Wp y 2.5Wp, sensores de voltaje y corriente INA219, sensor BMP280 para la temperatura y presión atmosférica, un reloj de tiempo real RTC DS3231, un módulo de tarjeta SD para el almacenamiento de datos, una pantalla LCD, un cargador lineal TP4056 DC y baterías ion litio. Para la comunicación de datos se emplea una placa de desarrollo NodeMCU ESP8266 basada en el módulo wifi ESP-12E, que es un microcontrolador y componente electrónico desarrollado especialmente para la comunicación IOT y aplicaciones que involucran wifi a una frecuencia de 2.4GHz, con

soporte para WPA y WPA2 con un procesador de 32 bits (NodeMcu, 2020). Fig. 2 muestra un esquema de conexión de los componentes.

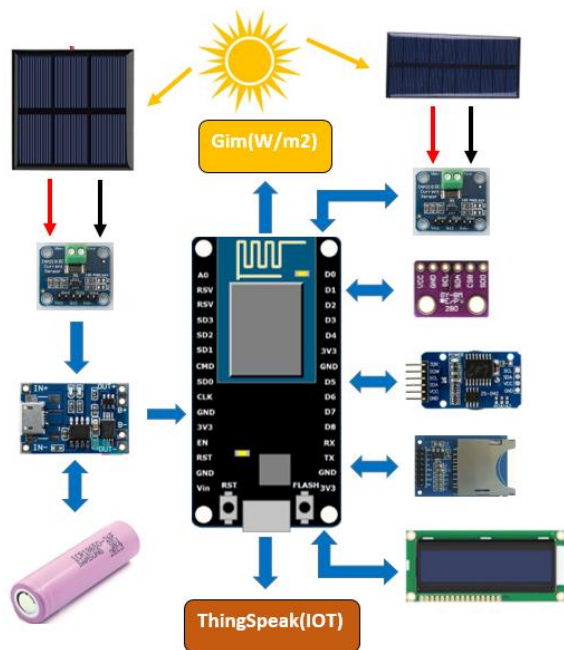


Figura 2. Diagrama de bloques de conexión de los componentes.

La alimentación de la plataforma sensorial es generada por una celda fotovoltaica mono cristalino c-Si de 2.5 Wp, con una corriente de corto circuito (Isc) de 500 mA y un voltaje de 5 V. Esta energía se almacena en un banco de baterías de iones de litio equivalente a 4000 mA el cual alimenta la placa NodeMCU ESP8266 que incluye un regulador de voltaje de 5 V a 3.3 V, que posteriormente alimenta los demás dispositivos. El módulo TP4056 DC cargador lineal de baterías de litio, equilibra la carga entre el módulo fotovoltaico y la batería, protegiendo al circuito de sobrecargas y descargas por completo de las baterías (Corp, 2015).

La plataforma registra y almacena los datos recopilados por los sensores, donde se almacenan en una tarjeta de memoria SD de 8 GB. El DS3231 RTC genera la referencia de tiempo para la plataforma y la comunica a través del interfaz I²C. Las mediciones de irradiancia, temperatura del aire y la presión atmosférica, se tomaron cada 1 segundo, obteniendo un total de aproximadamente 36000 datos almacenados diariamente desde las 7:00 hasta las 17:00 de cada día, también los datos registrados son enviados y subidos para el monitoreo al servidor de ThingSpeak (IOT) en modo gratuito donde se visualizan los datos cada 15 segundos (ThingSpeak, 2020). Posteriormente entra en modo sueño profundo entre las 17:00 y las 6:59 donde el sistema entra al final de su ciclo de monitoreo diario.

Para medir la irradiancia se utilizó el sensor de tensión y corriente INA219 de alta precisión con interfaz I²C. Este sensor tiene un rango de detección de ± 3.2 A con una resolución de 0.8 mA una tensión de 0V a 26V y un tiempo de respuesta de 68 milisegundos. Las

mediciones con este chip tienen una precisión de ± 0.5% (Texas Instruments, 2011).

Las mediciones de temperatura de aire y presión atmosférica son tomadas por el sensor BMP280 fabricado por Bosch. Mediante su interfaz I²C se puede medir en un rango de 300 a 1100 hPa (± 0.12 hPa), mientras que la temperatura se puede medir entre -40 y 85 °C (± 1.0 °C) (Bosch, 2015). El sensor de medición de irradiancia solar es una celda fotovoltaica de silicio monocristalino (mono c-Si) de una potencia de 1.3Wp. En condiciones de prueba estándar (STC), I_{SC} de 240 mA y un V_{OC} de 5.5 V., y una η de 17% (USINAINFO, 2020). Para leer los valores I_{SC}, los terminales positivo y negativo del mini módulo fotovoltaico están conectados a los pines IN (+) e IN (-) del sensor INA219, respectivamente. La conversión de I_{SC} a irradiancia en W/m² se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$G_{i_{FV}} = \frac{\text{lectura}(I_{sc}) * G_{i_{ref}}}{I_{SC_{ref}}} \quad (1)$$

Dónde: G_{i_{FV}}: Irradiancia solar en la superficie del módulo fotovoltaico W/m², lectura(Isc): Corriente de corto circuito medida por el sensor INA219 mA., G_{i_{ref}}: irradiancia solar terrestre de 1000 W/m², I_{sc_{ref}}: Es la corriente de corto circuito máxima posible de la celda fotovoltaica en condiciones estándares de medición (STC).

El proceso de calibración del sensor de irradiancia basado en PV (mini módulo fotovoltaico + INA219) se realizó en la UNAJ en un periodo de tiempo de 4 horas desde las 10:00 a 13:00 con intervalos de lectura de 5 minutos. Se determinó comparando las salidas de los datos de la plataforma sensorial implementado con la del módulo fotovoltaico calibrado (módulo FV patrón), con lecturas leídas por un multímetro digital Fluke 179 de valor eficaz con mediciones en mA, y una pinza Amperimétrica Amprobe 330 (Fluke, 2020). Como se muestra en la fig. 3

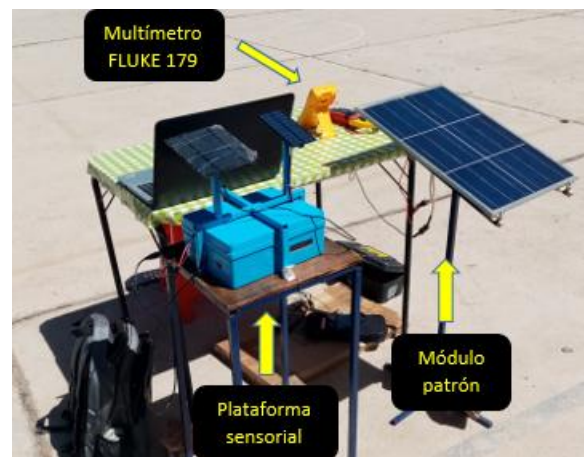


Figura 3. Equipo Utilizado para la calibración de la plataforma sensorial.

La ecuación de calibración se obtiene mediante un algoritmo de regresión lineal entre las lecturas de los datos de ambos sensores en mismas condiciones reales de funcionamiento, para luego determinar el coeficiente de determinación (R^2) y la correlación de Pearson (R). De esta manera, se obtuvo una ecuación empírica para corregir la magnitud de la plataforma sensorial donde $Y = 1.2719X - 23.002$, $R^2 = 0.9978$, $R = 0.9989$.

$$G_{i_m} = 1.2719 * G_{i_{FV}} - 23.002 \quad (2)$$

$$G_{i_m} = 1.2719 * \left(\frac{\text{lectura}(I_{sc}) * G_{i_{ref}}}{I_{sc_{ref}}} \right) - 23.002 \quad (3)$$

Siendo G_{i_m} la irradiancia solar calibrada en W/m^2 , $G_{i_{FV}}$ toma valores de $I_{sc_{ref}}$ 240 mA y $G_{i_{ref}}$ $1000 W/m^2$.

La ecuación de calibración asegura que los resultados de las mediciones del sensor de irradiancia (mini módulo PV + INA219) estarán lo suficientemente cerca a los resultados generados por el módulo fotovoltaico patrón.

Los datos de irradiancia se pueden ver en la plataforma IOT para el monitoreo, ilustrado en la figura. 4. En este trabajo utilizamos el modo gratuito del servidor ThingSpeak desarrollado por MathWorks (ThingSpeak, 2020). Esta herramienta de recepción y almacenamiento de datos en tiempo real a través del microcontrolador ESP8266 mediante una red wifi, permite también el proceso de datos y generar gráficos en línea, desde el programa Matlab (Oliveira, 2017).

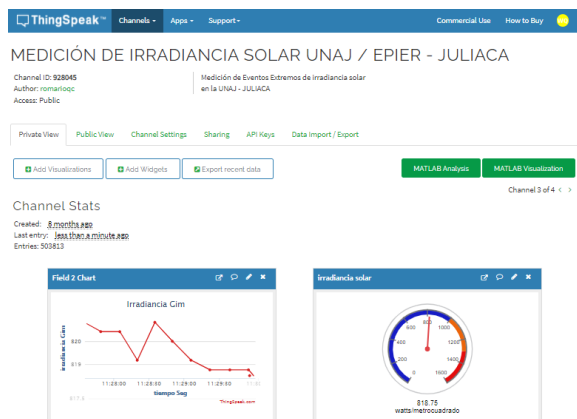


Figura 4. Plataforma de monitoreo diario de eventos extremos con ThingSpeak.

De la ecuación (3), se implementa un algoritmo de comunicación en la placa de desarrollo NodeMCU ESP8266 y la plataforma ThingSpeak (IOT), que utiliza los resultados de las mediciones de la plataforma sensorial para identificar valores de eventos extremos de irradiancia superiores a $1000 W/m^2$, para lo cual envía una alerta de irradiancia extrema al correo sucediendo el hecho. Mediante el siguiente diagrama de flujo se presenta el procesamiento de plataforma sensorial fig. 5.

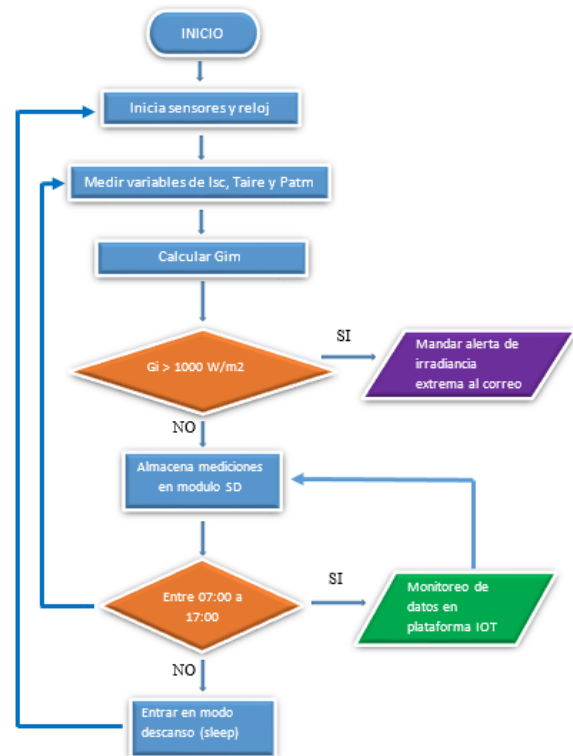


Figura 5. Diagrama de flujo de funcionamiento de la plataforma.

Descripción geográfica de la zona de estudio

La plataforma sensorial se implementó y probó en la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) fig. 6, en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, en latitud sur $15^{\circ}29'17.5''S$ y Longitud Oeste $70^{\circ}08'58.5''W$, a una altitud 3832 msnm.

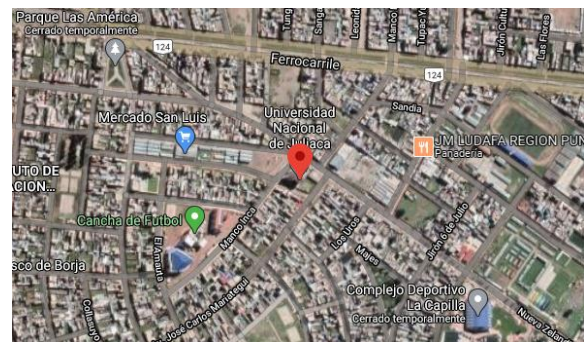


Figura 6. Ubicación de EPIER / UNAJ a 3832 m.s.n.m.

Las mediciones de irradiancia solar extrema se realizaron en un periodo de 4 meses, entre los meses de enero y abril de 2020. Las plataformas de medición se fijaron horizontalmente, con una inclinación de 15° hacia el norte geográfico.

Resultados y discusión

Los sensores de la plataforma de medición y monitoreo registraron los datos de irradiación solar G_m (W/m^2), temperatura de aire ambiente T ($^{\circ}C$) y presión atmosférica P (hPa). Para una mejor evaluación de los datos, durante los meses de enero hasta abril de 2020 se registraron todos los valores de ocurrencias de irradiación muy extremas y extremas de cada mes y se muestran los valores registrados más representativos.

El registro irradiación muy extrema registrada en el mes de enero fue de $1460.88 W/m^2$, entre las [11:08:21hrs. - 12:09:04hrs.] con una duración entre [7-43seg.] a una temperatura de aire ambiente entre [$24.07^{\circ}C$ - $29.40^{\circ}C$] y presión atmosférica de 647.76 hPa.

Los días más representativos del mes son 5 días de ocurrencia de irradiación muy extrema que superan la constante solar ($1367 W/m^2$) y 14 días de ocurrencia de irradiación extrema que superan el estándar ($1000 W/m^2$) con una duración máxima de 17 seg., ver figuras 07 y 08.

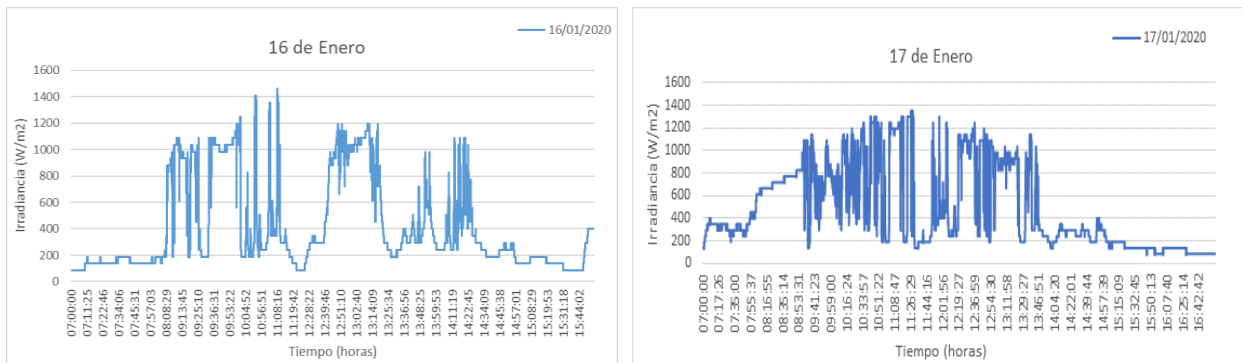


Figura 07. Ocurrencia de irradiación muy extrema y extrema registradas en enero.

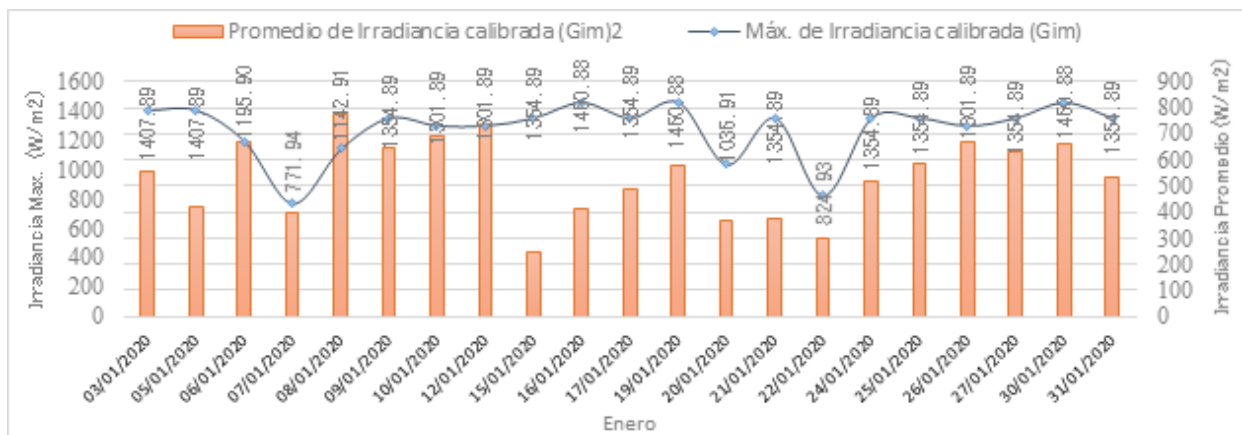


Figura 08. Irradiación solar máxima y promedio en enero.

Durante el mes de febrero el registro de la irradiación muy extrema fue de $1513.88 W/m^2$ entre las [12:01:19hrs. - 12:06:28hrs.] con una duración entre [7 - 9seg.] a una temperatura de aire ambiente entre [$23.02^{\circ}C$ - $23.49^{\circ}C$] y una presión atmosférica de 647.29hPa.

Los días más representativos del mes son 8 días de ocurrencia de irradiación muy extrema que superan la constante solar ($1367 W/m^2$) y 12 días de irradiación extrema que superan el estándar ($1000 W/m^2$) con una duración máxima de 34 seg., ver figuras 09 y 10.

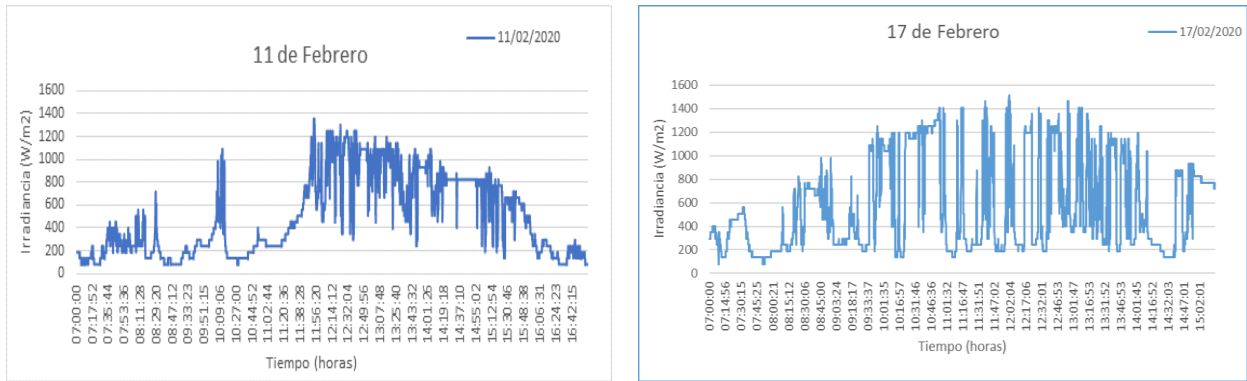


Figura 09. Ocurrencia de irradiancia muy extrema y extrema registradas en febrero.

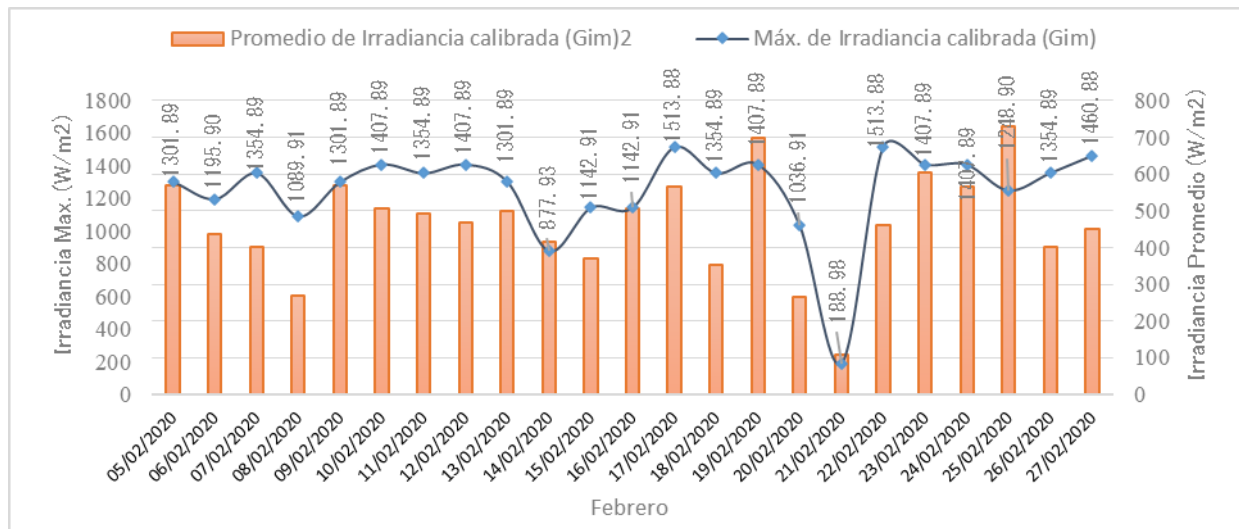


Figura 10: Irradiancia solar máxima y promedio en febrero.

La ocurrencia del evento extremo registrada en el mes de marzo fue de 1566.87 W/m^2 , el día 04 de marzo, entre las [12:19:26hrs.-12:19:39hrs.] con una duración de 13 seg., además el evento se repitió entre las [12:20:14hrs.- 12:20:19hrs.] con una duración de 5 seg., y según todos los registros, este es el evento máximo de irradiancia muy extrema ocurrida en los

cuatro meses registrada a una latitud -1.48805° S y una altitud de 3832 msnm. Los días más representativos del mes son 11 días de ocurrencia de irradiancia muy extrema que superan la constante solar (1367 W/m^2) y 18 días de irradiancia extrema que superan el estándar (1000 W/m^2) con una duración máxima de 11 seg., ver figuras 11 y 12.



Figura 11. Ocurrencia de irradiancia muy extrema y extrema registradas en marzo.

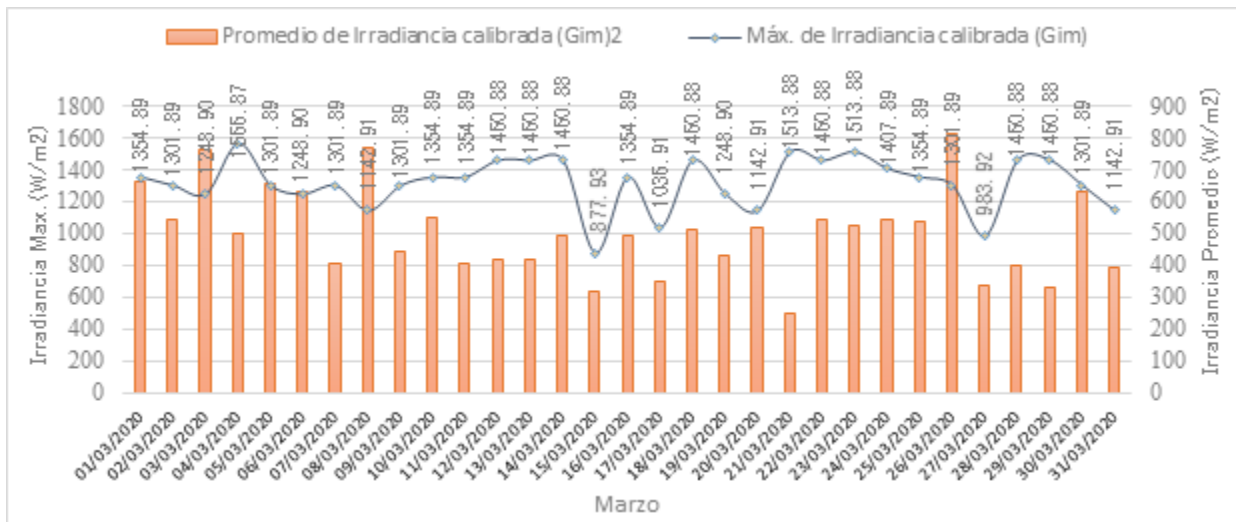


Figura. 11 Irradiancia solar máxima y promedio medidos en el mes Marzo.

La ocurrencia del evento extremo registrada en el mes de abril fue de 1460.88 W/m², entre el 1 y 26 de abril entre las [11:45:39 hrs.-11:52:10hrs.] con una duración de 2 segundos, a una temperatura de aire ambiente entre [22.61°C - 26.01°C].

Los días más representativos del mes son 4 días de ocurrencia de irradiación muy extrema que superan la constante solar (1367 W/m²) y 26 días de irradiación extrema que superan el estándar (1000 W/m²) con una duración máxima de 30 seg., ver figuras 13 y 14.

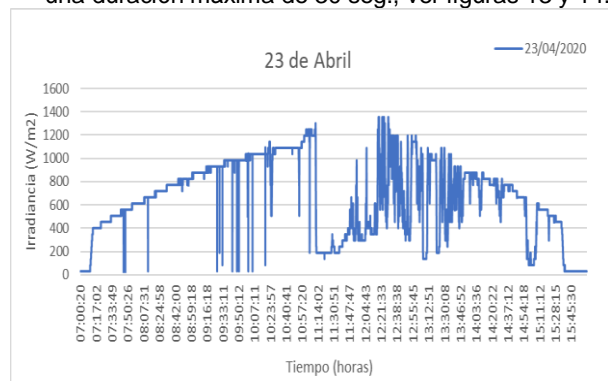
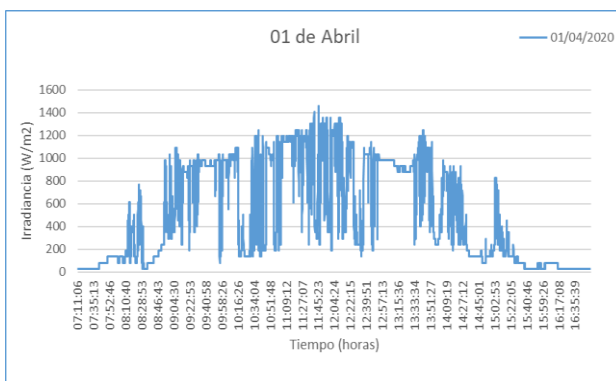


Figura 12. Ocurrencia de irradiación muy extrema y extrema registradas en abril.

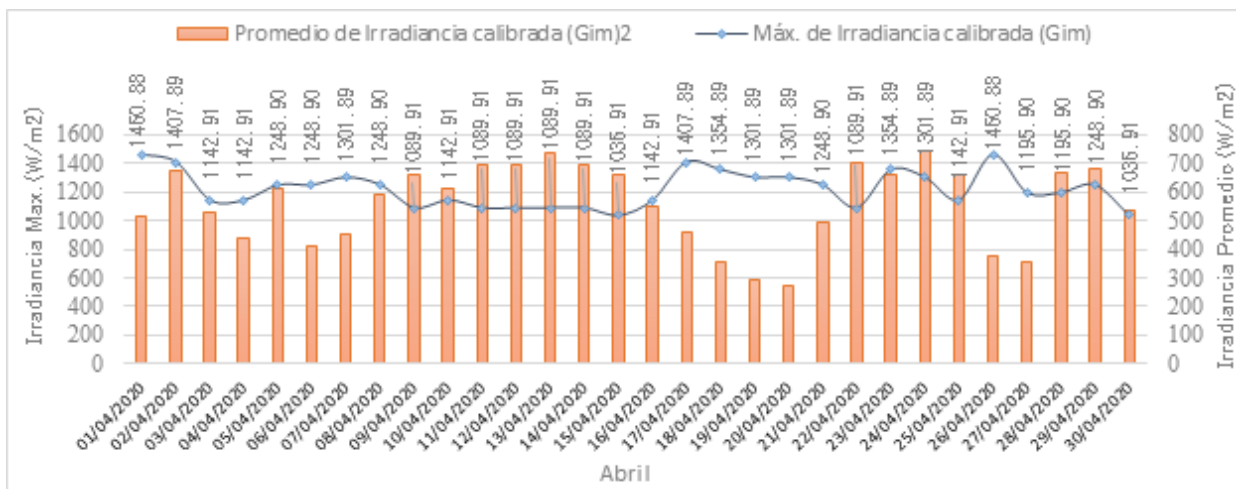


Figura 13. Irradiancia solar máxima y promedio medidos en el mes Abril.

Tabla 2
Ocurrencia de eventos muy extremos de Irradiancia (> 1367 W/m²).

Meses	Irradiancia máxima muy extrema	N° días de irradiancia muy extrema	Duración máxima (seg.)
Enero	1460.86	5	43
Febrero	1513.88	8	9
Marzo	1567.87	11	13
Abril	1460.88	4	2

Tabla 3
Ocurrencia de eventos extremos de Irradiancia (> 1000 W/m²).

Meses	Irradiancia máxima extrema	N° días de irradiancia extrema	Duración máxima (seg.)
Enero	1366.78	14	17
Febrero	1354.89	12	34
Marzo	1354.89	18	11
Abril	1354.89	26	30

Conclusiones

Durante el periodo de registro de datos entre enero hasta abril del 2020, la plataforma pudo capturar las variaciones de irradiancia asociadas con el movimiento de las nubes. Donde se pudo registrar ocurrencia de eventos muy extremos de irradiancia, siendo la máxima el día 04 de marzo de 2020 a las 12:19:26hrs., con registro de 1566.87 W/m², y una duración de 13 segundos, la irradiancia muy extrema con mayor duración fue el 19 de enero de 2020 a las 11:43:35hrs., con registro de 1460.88 W/m², y una duración de 43 segundos, y la ocurrencia de eventos extremos de irradiancia fueron casi todos los días entre [1354.89–1366.78 W/m²] con una duración entre [11-30seg.], para una latitud de 15.48805°S y una altitud de 3832 msnm, estos resultados indican que este fenómeno es transitorio en el orden de segundos y metros relacionados con el movimiento de las nubes alrededor del sol que producen variaciones del campo de irradiancia.

Los resultados indican que los sistemas de monitorización con estas características podrían proporcionar un excelente soporte para aplicaciones de mediciones y monitoreo a muy corto plazo y con una baja inversión para sistemas fotovoltaicos y finalmente, esta ocurrencia de eventos extremos de irradiancia solar registrados deben tomarse en consideración de acuerdo al periodo de duración en estudios para la determinación de pérdidas en sistemas fotovoltaicos.

Referencias bibliográficas

- Abe, C. F., Dias, J. B., Notton, G., & Faggianelli, G. A. (2020). Experimental application of methods to compute solar irradiance and cell temperature of photovoltaic modules. *Sensors (Switzerland)*, 20(9), 17. <https://doi.org/10.3390/s20092490>
- Bosch, S. (2015). BMP280: Digital Pressure Sensor. 49. Retrieved from <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
- Chase, O. A., Teles, M. B., Rodrigues, M. de J. dos S., de Almeida, J. F. S., Macêdo, W. N., & da Costa Junior, C. T. (2018). A low-cost, stand-alone sensory platform for monitoring extreme solar overirradiance events. *Sensors (Switzerland)*, 18(8), 13. <https://doi.org/10.3390/s18082685>
- Corp, N. T. P. A. (2015). TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8. 3.
- De Andrade, R. C., & Tiba, C. (2016). Extreme global solar irradiance due to cloud enhancement in northeastern Brazil. *Renewable Energy*, 86, 1433–1441. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.012>
- Espinosa, M., Aguera, A., Gonzales, J., & Jose, P. (2018). An on-line low-cost irradiance monitoring network with sub-second sampling adapted to small-scale PV systems. *Sensors (Switzerland)*, 18(10), 1–12. <https://doi.org/10.3390/s18103405>
- Fluke. (2020). Multímetros digitales de la serie 170 Multímetros versátiles para la asistencia bancos de trabajo. 10342.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Jamaly, M., & Kleissl, J. (2018). Robust cloud motion estimation by spatio-temporal correlation analysis of irradiance data. *Solar Energy*, 159(October 2017), 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.075>

- Messenger, R. A., & Ventre, J. (2018). Photovoltaic Systems Engineering. In Taylor & Francis (Eds.), Photovoltaic Systems Engineering (2 edición). <https://doi.org/10.1201/9781315218397>
- NodeMcu. (2020). NodeMcu: firmware de código abierto basado en ESP8266 wifi-soc. Retrieved August 26, 2020, from http://www.nodemcu.com/index_en.html
- Oliveira, S. (2017). Internet das coisas com ESP8266, ARDUINO. In R. Prates (Ed.), Novatec (Novatec). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Piedehierro, A. A., Antón, M., Cazorla, A., Alados-Arboledas, L., & Olmo, F. J. (2014). Evaluation of enhancement events of total solar irradiance during cloudy conditions at Granada (Southeastern Spain). *Atmospheric Research*, 135–136, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.08.008>
- Pinho, M., Zilles, R., & Lorenzo, E. (2014). Extreme overirradiance events in Sao Paulo, Brazil. *ScienceDirect*, 110, 168–173. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.09.012>
- Ramos, J., Beltran, N., Aquino, E., Sarmiento, V., Condori, Y., & Negrao, W. (2019). Ocurrencias de Irradiancia Solar Extrema a 3812 m . s . n . m ., a nivel del Lago Titicaca (Puno – Perú). 1–5.
- Tapakis, R., & Charalambides, A. G. (2014). Enhanced values of global irradiance due to the presence of clouds in Eastern Mediterranean. *Renewable Energy*, 62, 459–467. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.001>
- ThingSpeak. (2020). IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things. Retrieved July 8, 2020, from <https://thingspeak.com/channels/928045>
- USINAINFO. (2020). Mini painel solar fotovoltaico 5,5V 240mA - 64,7x135mm - Usinainfo. Retrieved July 1, 2020, from <https://www.usinainfo.com.br/mini-geradores-de-energia/mini-painel-solar-fotovoltaico-55v-240ma-647x135mm-3646.html>
- Yordanov, G. H., Saetre, T. O., & Midtg, O. (2013). 100-millisecond Resolution for Accurate Overirradiance Measurements. *IEEE*, 3(4), 1354–1360.
- Yordanov, G. H., Saetre, T. O., & Midtgård, O. M. (2015). Extreme overirradiance events in Norway: 1.6 suns measured close to 60°N. *Solar Energy*, 115(June 2013), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.02.020>

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Juliaca por el soporte financiero mediante fondos de Canon-UNAJ a través del II concurso de proyectos de tesis, mediante el contrato N° 180-2019-UNAJ, para realizar este trabajo. Así mismo a la Universidade Federal do Pará (Grupo GEDAE) Belém-Brasil, Universidad Nacional de Juliaca (Grupo GRIDSOLAR) por el esfuerzo y dedicación que hicieron que este proyecto sea una realidad.