

Avances en Dispositivo de Medición y Cálculo de Indicador de Desempeño de una Planta Fotovoltaica

Advances in Devices for Measuring and Calculating the Performance Ratio Indicator of a Photovoltaic Plant

Presentación: 08/09/2025

Edgardo Marino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), Argentina.
cemarino63@gmail.com

Marcelo Castello

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), Argentina.
castellomarcelo@gmail.com

Juan Salerno

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), Argentina.
juansalerno63@gmail.com

Ignacio Arraña

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), Argentina.
ignacioarrana@gmail.com

Eugenia García

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), Argentina.
Eugeniagarcia1112@gmail.com

Resumen

El Performance Ratio (PR) es un indicador clave para la operación y el mantenimiento de plantas fotovoltaicas (FV), dado que mide la eficiencia real del sistema en comparación con su rendimiento teórico. La gestión eficiente de estas centrales requiere una medición precisa del PR. Investigaciones previas identificaron un error metodológico crucial, ya que los parámetros necesarios para el cálculo (potencia, irradiancia, temperatura) no eran capturados en el mismo instante. Para subsanar esta limitación, se presenta el desarrollo del dispositivo modular PRMeter, elemento principal de una plataforma de telegestión basada en software libre. La arquitectura del PRMeter asegura la captura simultánea de todos los datos necesarios para el algoritmo de cálculo del PR, eliminando el error metodológico. El PRMeter fue montado en una planta fotovoltaica real. Los resultados confirman la precisión del dispositivo y su capacidad para incorporar todas las variables necesarias para el telemonitoreo y la telegestión de la central.

Palabras claves: Performance ratio, Indicador, Desempeño, rendimiento, Central fotovoltaica

Abstract

The Performance Ratio (PR) is a key indicator for the operation and maintenance of photovoltaic plants (PV), as it measures the system's real efficiency compared to its theoretical performance. The efficient management of these power plants requires precise PR measurement. Previous research identified a crucial methodological error, since the necessary parameters for the calculation (power, irradiance, temperature) were not captured in the same instant. To address this limitation, the development of the modular PRMeter device is presented, which is the main component of a remote management platform based on free software. The architecture of the PRMeter ensures the simultaneous capture of all necessary data for the PR calculation algorithm, thereby eliminating the methodological error. The PRMeter was mounted in a real photovoltaic power plant. The results

confirm the device's precision and its capacity to incorporate all the necessary variables for the telemonitoring and remote management of the power plant.

Keywords: Performance ratio, Indicator, Performance, yield, Photovoltaic power plant

Introducción

El Performance Ratio es un indicador clave para el mantenimiento y la operación de plantas fotovoltaicas, ya que ayuda a identificar y diagnosticar rápidamente problemas en el sistema.

El Performance Ratio (PR) es un indicador de desempeño que mide la eficiencia real de un sistema en comparación con su rendimiento ideal o teórico.

Se asume que el índice de rendimiento es mejor indicador que el rendimiento final de la planta fotovoltaica debido a su capacidad para captar mejor la radiación real. Por lo tanto, el rendimiento final no puede utilizarse para comparar sistemas fotovoltaicos ubicados en diferentes regiones debido a la significativa variación en sus valores reales de radiación. (Ahmad et al, 2016)

Muchos autores ofrecen una contextualización exhaustiva del PR, definiéndolo y explicando su función crítica en la operación de plantas fotovoltaicas. En las investigaciones se mencionan múltiples modelos de cálculo existentes, que exponen debilidades y fortalezas, donde la mayor debilidad se presenta en la relación con la temperatura de trabajo de los paneles.

Hay autores que lo definen como un producto de factores de depreciación.

Según la IEC – 61724-1:2021, es el cociente entre el rendimiento final del sistema y su rendimiento de referencia e indica el efecto global de las pérdidas en el sistema. De la misma norma se elige la metodología de cálculo de PR, ya que permite la corrección del valor por temperatura de paneles.

Básicamente puede calcularse como el cociente entre la Energía Real Generada y La Energía Teórica Esperada para una instalación dada y para las condiciones de irradiancia de determinada zona.

Como puede inferirse entonces es un valor porcentual que indica cuán bien está funcionando un sistema, tomando en cuenta las pérdidas que son inherentes a su operación.

También es importante destacar que un PR por debajo del ideal (próximo al 100%) se ve desmejorado por diversos factores, los cuales representan las pérdidas del sistema. Estas incluyen:

- Pérdidas de radiación: Suciedad o polvo en los paneles, sombras (por vegetación, edificios, etc.) o desajuste de los módulos.
- Pérdidas de temperatura: Las altas temperaturas pueden reducir la eficiencia de los paneles solares.
- Pérdidas de cableado: Resistencia en los cables que genera pérdidas de energía.
- Eficiencia del inversor: La conversión de corriente continua a corriente alterna genera pérdidas.

Algunas de estas pérdidas son fijas y otras pueden variar con el tiempo y con el funcionamiento de la central y son las que interesa estar monitoreando y corrigiendo. Un PR entre el 75% y el 85% se considera generalmente un buen indicador de un sistema eficiente. Valores que estén por debajo del 75% pueden ser motivo de análisis por parte de los operadores de una central, quienes tienen como misión mejorar el rendimiento de la planta a partir de trabajar sobre los factores de pérdidas variables antes enunciados.

Numerosos trabajos se centran en estudiar las transformaciones asociadas a la producción de energía, sin embargo, son escasos aquellos que además analicen la gestión de las redes eléctricas, entendidas como sistemas complejos, en permanente mutación, que comprenden flujos, infraestructura y actores. (Carrizo et al, 2023)

La problemática energética actual en Argentina está intrínsecamente ligada a la Transición Energética. La matriz del país tiene una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, y modificarla hacia un modelo más sostenible y descarbonizado es un proceso crucial impulsado por los compromisos internacionales de lucha contra el cambio climático y la necesidad de garantizar la seguridad y asequibilidad del suministro.

El nuevo rol de las cooperativas como generadoras de energía, incluye necesariamente la adopción de nuevos modelos de desarrollo más democráticos e inclusivos, y se entiende que la tecnología de telegestión propuesta es útil y necesaria, para asegurar la operación eficiente de los sistemas de generación. (Castello et al, 2024)

El desarrollo presenta como particularidad para las cooperativas generadoras la posibilidad de ser “propietarias de los datos” que se recogen, característica que no brindan los sistemas comerciales, que en su mayor parte se apropian de los datos obtenidos y ante cualquier necesidad se debe recurrir a las empresas que los representan, muchas veces con cargos económicos para obtenerlos y permitir a partir de ello, poder estar haciendo distintas vinculaciones o cálculos, que el andar propio de una investigación requiere.

Los trabajos vigentes y los que anteceden a este nuevo desarrollo así lo sustentan y en especial la experiencia que se ha logrado, por los integrantes del Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), en el proyecto Redes Inteligentes con Energías Renovables (PRIER), que en su expresión más ampliada se titula: “Generación

Distribuida con Energías Renovables. Aportes tecnológicos, sociales, ambientales y económicos de su aplicación en la Red Inteligente de Armstrong”.

De este proyecto, se dispone de varios años de operatividad y generación de energía, con resultados más que favorables. El aprendizaje obtenido por los integrantes del OES, relacionado con uso de softwares específicos de cálculo de rendimientos, disposición, orientación e inclinación óptima de paneles fotovoltaicos y todo lo vinculado con análisis de diseño, montaje general y mantenimiento de una instalación de generación FV, más la disponibilidad de lecturas y datos de energía generada y las mediciones anuales de irradiancia, se verá reflejado en el desarrollo de este nuevo, ambicioso y necesario datalogger.

En los últimos años se han desarrollado en el país y en particular en el marco de empresas distribuidoras de energía, entre ellas las “Cooperativas Eléctricas”, plantas de generación fotovoltaicas de pequeña y mediana potencia, habitualmente potencias menores a 1 MW. Muchas de estas plantas han sido desarrolladas con tecnologías de funcionamiento descentralizado, importadas y la mayoría de ellas no poseen sistemas de gestión que permita optimizar su funcionamiento. Estas plantas proveen energía a las distribuidoras o cooperativas evitando así la compra de parte de la energía necesaria para abastecer a sus usuarios. Esto se configura como un ahorro en la economía de las empresas, existiendo la posibilidad de verse afectadas por fallas o salidas de funcionamiento no detectados de los sistemas de generación. Si bien los proveedores de equipos de generación fotovoltaica disponen de algunas herramientas de monitoreo por ejemplo para sus inversores, estas herramientas suelen ser propietarias y en muchos casos no funcionan en tiempo real sino, por ejemplo, vía reportes diarios.

En resumen, la importancia del desarrollo de un datalogger como el PRMeter se centra en calcular y mostrar en tiempo real el PR de una central fotovoltaica, con funciones clave para el mantenimiento y la rápida identificación de problemas. Es el elemento principal de una plataforma diseñada para la gestión y la evaluación de rendimiento. Entre sus potencialidades radica el objetivo de dotar a las cooperativas eléctricas de herramientas de gestión remota, permitiendo la operación eficiente de los sistemas de generación y asegurando que sean "propietarias de los datos". Este dispositivo corrige errores metodológicos de prototipos previos al capturar todos los parámetros de cálculo simultáneamente y sienta las bases para una metodología de mantenimiento precisa.

A continuación, el cuerpo del documento se articula a través de diversas secciones que detallan el proceso de creación, validación e implementación del dispositivo PRMeter. Los temas que se suceden y forman parte integral del trabajo son el Desarrollo, las Calibraciones, los Resultados, las Visualizaciones en Dashboard y las Conclusiones.

Desarrollo

La necesidad de disponer de un datalogger con prestaciones específicas como el propuesto en este nuevo proyecto, surge a partir del conocimiento de potencialidades y debilidades de los sistemas de generación solar estudiados y trabajados por el OES. Entender el funcionamiento y las prestaciones de una red de energía distribuida, permitirá precisar y analizar el desempeño del sistema y puntualizar recomendaciones que permitan optimizar el diseño y posteriormente la telegestión y teleoperación.

El modelo conceptual del desarrollo está basado en el modelo convencional de IoT (Internet of Things) y está compuesto por sus tres capas, a saber:

- Percepción
- Transporte
- Procesamiento. (Entendiendo esta última capa como capa de “Persistencia de datos, visualización y alarmas”).

La capa de percepción es la responsable de la captura de los datos en una central fotovoltaica, es decir en el sitio donde se producen. Estos datos provienen de los sensores de temperatura, del sensor de radiación, de los inversores y en los casos estudiados del medidor de energía.

La capa de transporte es la encargada de llevar el dato proveniente de la capa de percepción hacia el destino de almacenamiento, la base de datos.

La capa de procesamiento es donde se aloja la herramienta de visualización con sus widgets o paneles y la base de datos para el almacenamiento de las telemetrías y otros datos requeridos para la configuración del sistema.

El equipo que se propone permite la gestión de la generación de energía en centrales fotovoltaicas y está basado en software libre. Mide y monitorea numerosas variables y magnitudes que hacen al funcionamiento de una planta, como ser radiación solar proveniente de piranómetros, temperatura de paneles, temperatura ambiente, energía, tensiones de fase, corrientes de fase y $\cos \varphi$. De varios de estos datos obtiene máximos y mínimos y calcula, potencia, PR, desvío estándar y promedio.

Para evaluar correctamente el desempeño de una central fotovoltaica se utiliza la expresión de Performance Ratio planteada por la IEC-61724-1:2021 en la siguiente expresión:

$$PR_{25^{\circ}C} = (P_{out,k} \times \tau_k) / \left(\sum_k \frac{(C_{k,25^{\circ}C} \times P_0) \times G_{i,k} \times \tau_k}{G_{i,Rf}} \right) \quad (1)$$

$$C_{k,25^{\circ}C} = 1 + \gamma(T_{mod,k} - 25^{\circ}C) \quad (2)$$

Donde:

$PR_{25^{\circ}C}$: performance ratio ajustado a 25 °C.

$P_{out,k}$: potencia de salida en corriente alterna, expresada en kW.

τ_k : duración del intervalo de registro, expresado en horas.

$C_{k,25^{\circ}C}$: coeficiente de variación de potencia con la temperatura, expresado en °C⁻¹.

P_0 : potencia fotovoltaica nominal, expresada en kW.

$G_{i,k}$: irradiancia en el plano de los paneles fotovoltaicos, expresado en W/m².

$G_{i,Rf}$: irradiancia de referencia, equivalente a 1000 W/m².

γ : es el coeficiente de temperatura de máxima potencia relativa, que se obtiene del catálogo del panel instalado, expresado en °C⁻¹.

$T_{mod,k}$: Temperatura real del módulo.

La Ec. (1). incorpora la corrección del desempeño de los paneles a partir de un factor de ajuste de temperatura de potencia nominal C_k , que permite ajustar la potencia nominal en cada intervalo de registro para compensar las diferencias de rendimiento entre la temperatura real del módulo fotovoltaico y la temperatura de referencia en condiciones de prueba estándar (STC) de 25°C. (IEC-61724-1:2021)

Un datalogger anterior al presentado en este artículo, montado en la planta solar de Armstrong, calculaba y mostraba el indicador de PR captando valores de potencia, corrientes y tensiones del medidor de energía propio de la planta solar.

Esta forma de obtener los parámetros incorporaba al cálculo un error metodológico ya que los datos necesarios en la Ec. (1). no eran tomados en el mismo instante. Se desconoce en qué momento, el medidor de energía toma datos, los integra y los devuelve a un determinado adquisidor que se comuniqué con él y se los solicite.

En virtud de este concepto, es que se llegó a decidir por un nuevo desarrollo que capture todos los datos y parámetros necesarios en el mismo tiempo, entendiéndose mismo timestamp o marca temporal.

En la Figura 1, puede observarse el medidor de PR, en etapa de calibración en el laboratorio y del mismo se destacan los distintos módulos que lo componen y que serán detallados a continuación. Pueden también observarse las pinzas de tensiones y corrientes por las que se inyectan, desde generadores patrones, valores escalonados para calibrar los módulos de medición de energía, de temperatura y de irradiancia.

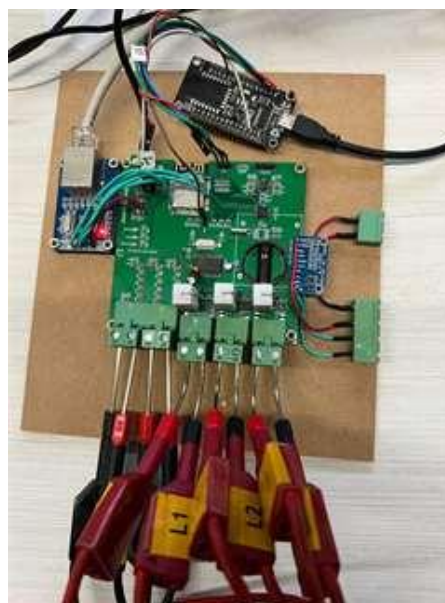


Figura 1 – Desarrollo de PRMeter

Este dispositivo presenta una arquitectura que permite que todos los valores necesarios para el algoritmo de cálculo de PR sean capturados en el mismo instante, eliminando de esta forma el error metodológico.

Podemos mencionar que dispone básicamente 5 módulos.

El módulo que toma las señales de los sensores. Este módulo está conformado por un conversor analógico/digital ADS1115, de 16 bits y 4 canales. Los canales o entradas están diseñados para que se puedan conectar cualquier tipo de sensores, es decir que son programables, por lo que pueden ajustarse en ganancia y offset y etiquetarse a gusto del usuario. Por ejemplo, si interesase medir viento y dirección, fácilmente podrían conectarse los sensores respectivos y programarse las entradas y visualizarse en la dashboard. Si bien está adaptado a una central fotovoltaica por su algoritmo de cálculo de PR, también es posible usarlo como adquisidor de datos de otros sistemas.

Volviendo a los canales de este desarrollo, se menciona que dos canales son utilizados para medir temperaturas (ambiente y de paneles) y otros dos canales en entrada diferencial para medir la irradiancia que, por ser de muy baja tensión, en el orden de los microvoltios, se conecta de esta forma para eliminar la componente de ruido a la que puede estar expuestas la lectura del piranómetro. Los sensores de temperaturas están diseñados con un convertidor de temperatura a voltaje de precisión TC1047A marca Microchip. El conversor ADS1115 se conecta a través del puerto SPI (Serial periferal interfaz) al microcontrolador, que lo maneja y lee los datos de los 4 canales. El sensor de irradiancia es un piranómetro PAR diseñado por CNEA.

El módulo de medición de energía está compuesto por un circuito integrado ADE7758, que es un medidor de energía analógico, multifunción y polifásico, marca Analog Device, que mide, a través de una interfaz simple, las tres corrientes y las tres tensiones de las fases. Las tensiones tienen una interfaz de cadena de resistencias cerámicas de 0,1Ω/7w, filtros de resistencia y capacitores. Las tres corrientes se obtienen de los transformadores de corriente propios de la central. Las tensiones y corrientes entran al microcontrolador, que elabora directamente la medición de la energía, la deja en los registros, para que sean consultadas, permitiendo las lecturas de las tensiones, las corrientes, la potencia activa, la potencia reactiva y $\cos \phi$. Para el PRMeter y el cálculo del índice de desempeño solo se usa la potencia activa.

Al sistema se suma el módulo de la fuente de alimentación y el módulo del microcontrolador.

El microcontrolador es un chip ESP 32, que gobierna todo el sistema. Este chip es de 32 bits (dual core o single core) y tiene comunicación inalámbrica Wifi y Bluetooth.

El último módulo se refiere a la interfaz de comunicación con la red. En este caso se decidió por el uso de una tarjeta ENC28J60 que permite conectar a internet cualquier microcontrolador con interfaz SPI. La misma también es marca Microchip.

La representación esquemática de la arquitectura puede observarse en la Figura 2.

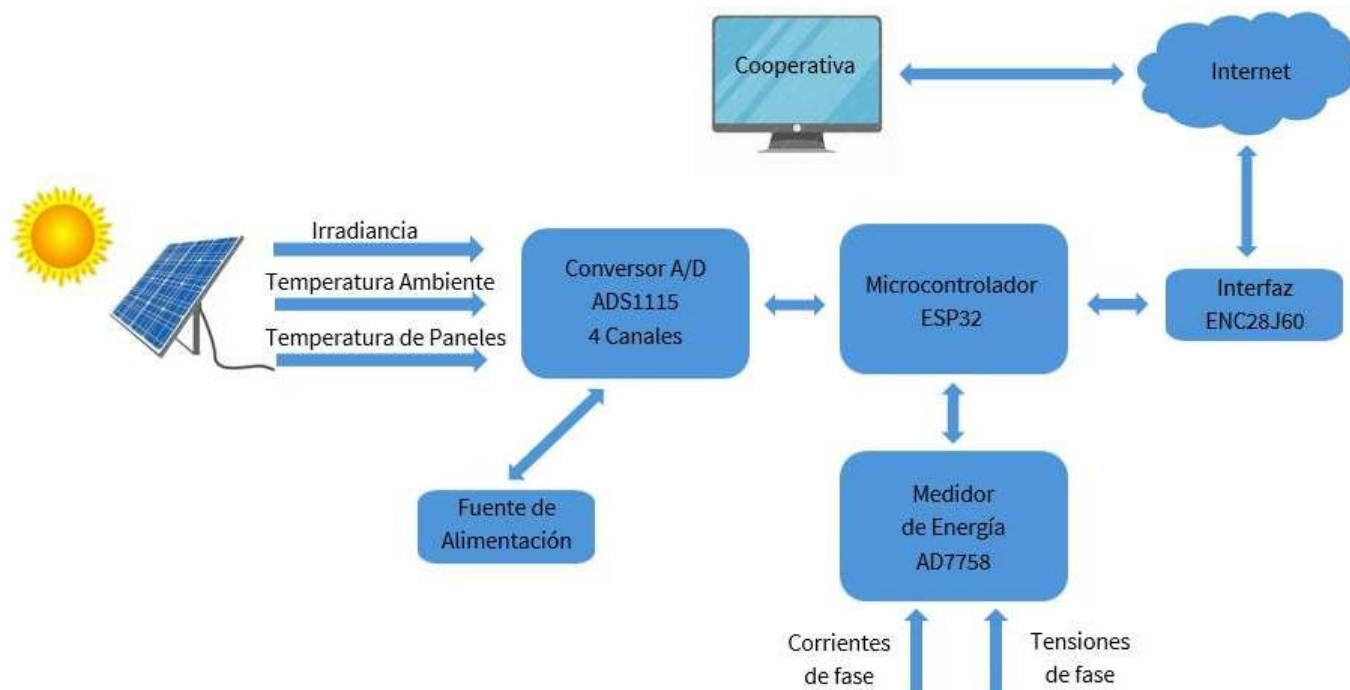


Figura 2 – Diagrama en bloques del datalogger representativo de arquitectura para toma de valores de variables de temperatura, irradiancia, tensiones y corrientes, cálculos y gráficos.

La potencia se obtiene a partir de un algoritmo que divide el valor de energía que entregan los paneles por el tiempo de registro seleccionado.

El datalogger toma 60 muestras de todas las señales y parámetros medidos y realiza un promedio minutar. Posteriormente vuelve a integrarlos o promediarlos, pero en este caso en periodos programables por un usuario autenticado. Estos periodos de integración pueden ser de 5, 10 o 15 minutos. Estos valores se definen para

demostrar coherencia entre el tiempo de sampling y el de registro y además para cumplir con las normas respectivas.

Relacionado con la capacidad de almacenamiento de los datos se destaca que el datalogger propiamente dicho tiene capacidad suficiente para realizar los cálculos necesarios, mientras que para el almacenamiento general de los datos que se muestran en la dashborad, se utiliza el servidor general de la red de la planta, que tiene capacidad ilimitada por ser fácilmente escalable.

Calibraciones

Para validar las lecturas del datalogger se utilizaron instrumentos patrones y distintos generadores de señales pertenecientes al OES.

Para la calibración de tensiones y corrientes se utilizó una valija patrón MTE PTS 3.3C que básicamente es un banco de ensayo trifásico con patrón de referencia de clase 0.05 y fuente trifásica integrada de voltaje y corriente, rango de medida suficiente para el ensayo planteado y alta exactitud. Los trabajos de calibración se realizaron en el laboratorio del OES. En etapas previas a las calibraciones, se trabajó en el sistema con los sensores reales conectados a los distintos canales y se fue desarrollando toda la gráfica de presentación.

La realización de los trabajos fue ejecutada por docentes investigadores y becarios integrantes del proyecto

Para la calibración de los sensores de temperatura se utilizó un termómetro marca Fluke modelo T3000.

Para la calibración del piranómetro se utilizó un equipo de monitorización HT SOLAR 300N como el que se observa en la Figura 3. Este instrumento permite efectuar todas las pruebas necesarias para la verificación de la eficiencia de instalaciones fotovoltaicas sean monofásicas o trifásicas con el fin de obtener medidas de la potencia, irradiación y temperatura. En nuestro caso se utilizó la verificación de irradiancia.



Figura 3 – HT SOLAR 300N

Resultados

En fecha 15/08/25 se realizó el montaje final en la planta fotovoltaica de Armstrong de un tablero metálico con el datalogger en su interior. Se le conectó los sensores de temperatura y de irradiancia en el sitio y se lo vinculó a los transformadores de intensidad y a las tensiones del tablero general de baja tensión (TGBT).

En la Figura 4 pueden observarse a un técnico de la planta, un docente investigador y una becaria realizando las tareas. En la misma figura se observa el tablero con el PRMeter, los tableros con las protecciones y el inversor del primer string.



Figura 4 - Trabajos de montaje en planta fotovoltaica de Armstrong

Visualizaciones en Dashboard

Para la visualización se implementó la dashboard “Thingsboard versión Community Edition” que es la versión libre de licenciamientos pero que contiene todas las funcionalidades necesarias para vincular y mostrar lo requerido en este proyecto.

En esta capa, existen los siguientes servicios/aplicaciones: Base de datos Postgre SQL dentro del mismo servidor, Broker MQTT con certificados de seguridad TLS, Cadena de reglas para procesamiento de alarmas, alertas de fuera de rango y dispositivo offline/online, Configuración de dispositivos sensores e inversores, Configuración de activos (edificios), Configuración de atributos del dispositivo.

Para la visualización, se diseñaron los widgets o paneles que proporcionen información de cada dispositivo, como ser:

Visualización de los datos en tiempo real.

Visualización mediante gráficas de la evolución de los datos en el dominio del tiempo con entorno configurable.

Visualización y configuración de los parámetros de alertas.

Visualización del estado del dispositivo (fuera de rango/offline/online).

Visualización del lugar de emplazamiento del dispositivo.

Visualización de fecha y hora de la última telemetría.

Para el sistema de alertas/alarmas, se utiliza la API de Telegram para lo cual se configura una cadena de reglas que filtra los dispositivos, confecciona los mensajes y finalmente a través de HTTPS (Hiper Text Transfer Protocol Secure), envía la notificación. Estas notificaciones se conforman a través de la configuración de canales de Telegram para cada área/efector/usuario.

En las figuras que siguen a continuación pueden observarse algunos otros widgets que se visualizan en la plataforma.

La Figura 5 muestra la parte superior de la dashborad donde se destacan datos generales numéricos.



Figura 5 – Panel superior de Dashboard

En la Figura 5 destaca el valor indicado de PR que, según lo antes indicado en la introducción, estaría por debajo de los valores que se consideran como propios de un sistema eficiente (entre el 0,75 y 0,85). Este valor, amerita que los operadores de red trabajen sobre los factores de pérdidas variables.

La Figura 6 muestra el widget donde se visualizan conjuntamente el PR, las temperaturas del panel, la irradiancia y la potencia activa total. Junto a estos datos y para cada uno de ellos se muestran los máximos, los mínimos y el promedio. La línea vertical indica los valores que las curvas toman a partir de la utilización del cursor dinámico. La plataforma tiene asociada una función que permite hacer desaparecer una o varias curvas en caso de querer visualizar correspondencias entre cualquiera de las otras o simplemente ver una sola. Puede observarse que la temperatura de ambiente está tachada por lo que no se visualiza en la imagen.

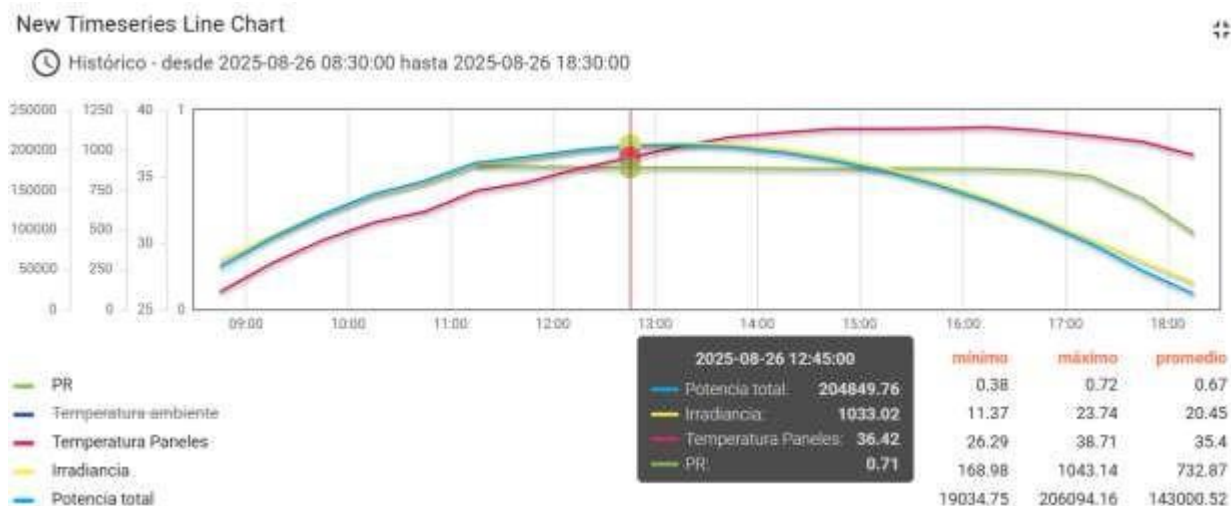


Figura 6 – Histórico planta solar Armstrong del día 26/08/25

La Figura 7 muestra la comparación entre una de las corrientes medidas por el medidor de energía de la planta y la corriente medida por el PRMeter. Se puede observar la precisión del dispositivo desarrollado

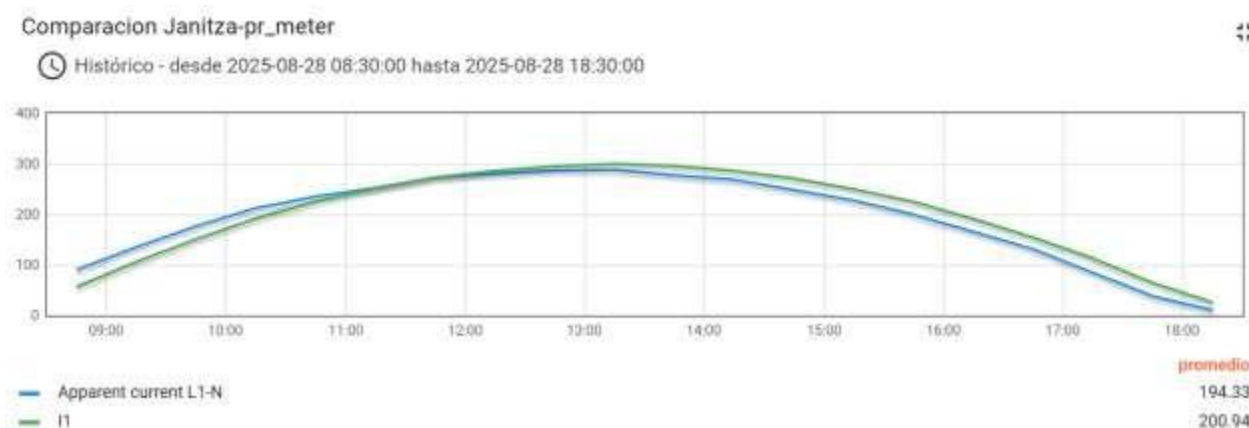


Figura 7 – Curvas de corrientes captadas por el medidor propio de la planta solar y el PRMeter

La Figura 8 refiere al widget de una terminal que se comunica con el dispositivo final. En la pantalla puede verse la comunicación de este módulo con el microcontrolador permitiendo la lectura instantánea de los sensores de temperatura y los sensores de radiación.

```

Mediciones OES > prmeter01

New RPC debug terminal
Welcome to ThingsBoard RPC debug terminal.
Current target device for RPC commands: prmeter01
Please type 'help' to see usage.

prmeter01> read
{"Irradiancia":0.784388,"TempAmb":4.375,"TempPan":4.265625,"PT":5850.271,"PR":24.90134}

prmeter01>
    
```

Figura 8 – Terminal RPC

Como se ve en la figura, su nombre es prmeter01 y es el que se comunica con el conversor analógico/digital utilizado (ADE7758), el 01, se refiere a la numeración empleada para diferenciarlo de futuros conversores que

puedan ser necesarios. La terminal lleva el nombre RPC (Remote Procedure Call) y permite la conexión remota desde cualquier punto del planeta.

Conclusiones

Como quedó demostrado en el desarrollo del artículo se diseñó, calibró y montó en planta un datalogger al que se denominó PRMeter, que permite incorporar todas las variables que hacen al telemonitoreo y telegestión de una central fotovoltaica, con entradas programables de acuerdo con el tipo de sensor a conectar y escalable modularmente.

Mediante el conjunto de datos obtenidos y el análisis exhaustivo de los mismos se obtendrán elementos que permitan la mejora en la gestión del funcionamiento y el mantenimiento de las plantas de generación FV.

Este resultado podrá ponerse a disposición de los distintos operadores. Se espera en un futuro, iniciar un proceso de transferencia tecnológica hacia otros actores locales, empresas distribuidoras, cooperativas eléctricas y usuarios que poseen o gestionan generación FV, que sea útil en la mejora y perfeccionamiento de sus servicios, en un marco fructífero de cooperación mutuo entre Universidades Nacionales y Empresas locales.

El perfeccionamiento de este desarrollo y su integración al sistema de monitoreo permitirá crear una metodología de mantenimiento precisa y minuciosa de instalaciones reales.

El diseño integrado del sistema que muestra parámetros y curvas en forma remota y en tiempo real, será utilizado en las cátedras universitarias que lo deseen facilitando la formación del estudiantado y puede ser presentado como laboratorio remoto, permitiendo implementar cursos y formar capacidades locales en la temática de gestión de plantas fotovoltaicas.

Otro aspecto relevante para analizar es el cálculo instantáneo de PR o en breves periodos y su utilización para gestionar las plantas, aspecto no considerado actualmente por quienes las operan.

Queda pendiente analizar los resultados después de un tiempo extendido de funcionamiento e identificar eventos que se salen de parámetros o comportamientos normales y actuar en consecuencia. El rastreo y análisis de estos eventos permitirá educar a los operadores de la central, generar información a partir de supervisión manual y semiautomática y un futuro generar herramientas que entrenen al sistema (machine learnig).

Referencias

- Ahmad M. K., Indradip M., Werner W. y Volker S. (2016). Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 65, 1139-1158.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.066>
- Castello M., Arraña I., Marino E., Salerno J. y Oliva M. (2024). Avances en plataforma de monitoreo para telegestión con indicador PR en planta fotovoltaica de la Cooperativa Eléctrica de Armstrong. *Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente*. Vol. 28. 246- 257.
- Carrizo, S. C., Ise, A., Clementi, L., & Villalba, S. (2023). Innovaciones socio-técnicas en la transición energética argentina: Hacia una red inteligente en Trenque Lauquen. *Proyección*, Volumen 17 (33), 152–170.
<https://doi.org/10.48162/rev.55.040>
- International Electrotechnical Commission. (2021). *Photovoltaic system performance* (IEC 61724).