

## DISEÑO Y DESARROLLO DE EQUIPO MEDIDOR DE PÉRDIDAS POR SUCIEDAD EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

**Gabriel Hernán Gareis, Maximiliano Hammerly<sup>1</sup>, Nicolás Budini<sup>2</sup>, María Teresa Montero Larocca<sup>3</sup>**

Universidad Nacional de Salta (UNSa), Facultad de Ciencias Exactas

Av. Bolivia 5150 – Complejo Universitario Castañares, Salta, CP 4400, Salta.

[www.unsa.edu.ar](http://www.unsa.edu.ar) - Tel: (+54) (387) 4255408 - E-mail [gabrielhgareis@gmail.com](mailto:gabrielhgareis@gmail.com)

**RESUMEN:** La acumulación de polvo y suciedad en módulos fotovoltaicos es una fuente significativa de pérdidas en la generación de energía. Poder cuantificar estas pérdidas permite mejorar el diseño de los sistemas fotovoltaicos y optimizar los períodos de limpieza, especialmente en parques ubicados en zonas áridas o semiáridas. Dicho esto, el principal objetivo del trabajo fue diseñar un equipo electrónico para la medición directa de las pérdidas por suciedad en módulos fotovoltaicos. Para ello, se desarrolló un dispositivo que calcula el *ratio* de suciedad a partir de la medición de las corrientes de cortocircuito y las temperaturas de dos módulos fotovoltaicos instalados de manera coplanar. Se logró desarrollar un equipo con monitoreo remoto de las mediciones (a través de plataforma Thingspeak), bajos costos de fabricación, programado mediante software libre (IDE Arduino) y con componentes electrónicos existentes en Argentina.

**Palabras clave:** pérdidas por suciedad, módulos fotovoltaicos, internet de las cosas, Arduino.

### INTRODUCCIÓN

Las pérdidas por suciedad porcentuales (en inglés, soiling losses, SL) en módulos fotovoltaicos (módulos FV) son provocadas por la acumulación de polvo, polen y otros factores presentes en el ambiente sobre la superficie de los mismos. Estas acumulaciones reducen la radiación solar incidente en las celdas solares (pérdidas ópticas) y producen pérdidas en la generación de energía eléctrica (Mani y Pillai, 2010). Luego de la temperatura, la suciedad es el segundo factor que provoca mayores pérdidas en el rendimiento de un sistema fotovoltaico (sistema FV). Normalmente este factor es desconocido o subestimado en la etapa de planificación y diseño del sistema, induciendo a pérdidas energéticas y económicas (Comerio et al., 2018).

Valores medios anuales de pérdida de generación de energía, debido a la suciedad en módulos FV, están en el rango de 3 a 6% (Zorrilla-Casanova et al., 2011 y Lorenzo et al., 2014). Sin embargo, existe una estrecha dependencia con el sitio geográfico de emplazamiento del sistema FV, y se pueden alcanzar pérdidas de hasta un 20% anual (Piliouguine et al., 2008). Estas mayores pérdidas por suciedad se ven potenciadas en zonas áridas y semiáridas, como es el caso de California (USA), Navarra (España) o Kuwait, donde se hallaron respectivamente 6%, 15% y 34% de pérdidas anuales (Kimber et al., 2006 y García et al., 2011).

Argentina es un país con gran potencial para desarrollos de sistemas FV, dado que posee valores de irradiación global medios diarios en el rango de 1,0 a 4,0 kWh/m<sup>2</sup> en el mes de julio (invierno) y de 6,0

---

<sup>1</sup>Laboratorio de Energías Alternativas (LEA), Facultad Regional Paraná (FRP), Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

<sup>2</sup>Instituto de Física del Litoral (IFIS Litoral), Universidad Nacional del Litoral (UNL-CONICET)

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSa-CONICET)

a 7,5 kWh/m<sup>2</sup> en el mes de enero, en verano (Grossi Gallegos, 2007). Por otro lado, si se observa la intensidad de polvo suspendido en el aire a nivel mundial (Figura 1), el país se clasifica como Zona 3. En las zonas 3 y 4 los estudios de pérdidas por suciedad se vuelven relevantes (Ghazi, 2014).

El objetivo del presente trabajo fue lograr el diseño de un dispositivo electrónico que permita la medición directa de las pérdidas por suciedad en módulos FV. Con este desarrollo se puede comenzar a cuantificar las pérdidas por suciedad en diferentes regiones de Argentina, especialmente donde se pretendan potenciales los desarrollos de parques fotovoltaicos, y así determinar las pérdidas de energía y optimizar los ciclos de limpieza en operación.

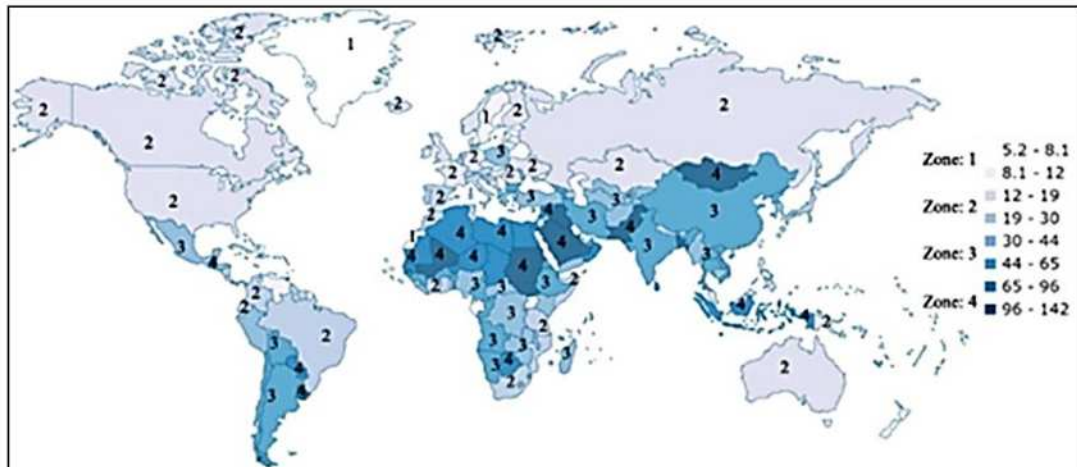


Figura 1: Intensidad de polvo alrededor del mundo (Ghazi, 2014)

## MATERIALES Y MÉTODOS

El equipo medidor de suciedad se muestra en la Figura 2. Un microcontrolador programable se encarga de ejecutar la lógica del proceso de medición, mientras diferentes sensores realizan la toma de muestras de cada variable. Al dispositivo de medición de suciedad se instalan dos paneles, de los cuales se espera que uno se limpie regularmente (panel de referencia) y el otro acumule suciedad con el tiempo (panel de testeo).



Figura 2: Equipo medidor de suciedad

A continuación, en primera instancia se explicará la lógica con la cual se programó y trabaja el equipo medidor de suciedad de módulos FV. Posteriormente se detallan los componentes electrónicos que conforman el equipo y por último se explican los métodos de puesta a punto y configuración del



mismo.

*Lógica de funcionamiento del equipo medidor de suciedad:* Teniendo ambos paneles conectados al equipo medidor, se inicia el proceso verificando si existe o no cierto nivel mínimo de irradiancia para efectuar el ensayo. Para ello, la unidad central de procesamiento (CPU) mide la corriente de cortocircuito y la temperatura del panel de referencia. Con la Ecuación 1 (IEC, 2009) se calcula la irradiancia efectiva incidente sobre el panel.

$$G_{efec} = G_{stc} * \frac{I_{cc} * [1 - \alpha * (T - T_{stc})]}{I_{cc_{stc}}} \quad (1)$$

Donde:

G<sub>efec</sub>: es la irradiancia efectiva incidente sobre el panel FV (W/m<sup>2</sup>)

G<sub>stc</sub>: irradiancia incidente sobre el módulo en condiciones estándares de ensayo, igual a 1000 W/m<sup>2</sup>

I<sub>cc</sub>: corriente de cortocircuito medida del módulo FV (A)

α: coeficiente de variación de I<sub>cc</sub> por temperatura del módulo FV (A/°C)

T: temperatura de trabajo del módulo FV (°C)

T<sub>stc</sub>: Temperatura de módulo FV en condiciones estándares de ensayo (°C)

I<sub>cc<sub>stc</sub></sub>: Corriente de cortocircuito del módulo FV en condiciones estándares de ensayo (A)

Si el valor de la irradiancia calculado supera un valor mínimo establecido por el usuario, se efectúa el ensayo de suciedad de los paneles. Esto se hace para que el equipo no realice ensayos en momentos en que la irradiancia es nula o muy baja.

Tanto el valor de irradiancia mínimo, como los valores de α e I<sub>cc<sub>stc</sub></sub> característicos de los paneles usados, los puede cargar el usuario a través de un servidor web programado en el equipo (Figura 3). Por otro lado, mediante el servidor web se pueden realizar ensayos manuales, descargar datos almacenados en la memoria SD y configurar parámetros del equipo (fecha, hora, lugar de emplazamiento del equipo, inclinación y características técnicas de los módulos FV, características técnicas de los sensores).

The screenshot shows a web browser interface with two main panels. The left panel, titled 'ES-FV010-GG', is the 'Estación para evaluar la suciedad en módulos FV' and displays a table with test parameters: Fecha (29/7/21), Hora local (15:27), Temp. instrumento (°C) (19.5), and Voltaje instrumento (V) (8.07). Below this are buttons for 'Módulos FV', 'WIFI / GPRS', 'ThingSpeak', 'Fecha y Hora', 'Memoria SD', 'Parámetros', 'ENSAYO', and 'SALIR'. The right panel, also titled 'ES-FV010-GG', is the 'Estación para evaluar la suciedad en módulos FV' and shows 'RESULTADOS'. It includes a table with Fecha (29/7/21), Hora (15:27), and Ratio suciedad (SR) (0.997). Below this is a table comparing parameters for 'Módulo REF' and 'Módulo TEST':

Parámetro	Módulo REF	Módulo TEST
I <sub>cc</sub> (A)	2.022	1.974
Temp. FV (°C)	32.372	31.965
K (cte. cal.)	0.97720	1.00000
Radiación efectiva (W/m <sup>2</sup> )	649.050	646.834

At the bottom of the results panel is an 'Inicio' button.

Figura 3: Menú principal del web server y ensayo manual con el web server

Sobrepasado el nivel mínimo de irradiancia, se inicia el ensayo. En el ensayo se mide la corriente de cortocircuito y la temperatura de ambos módulos (referencia y testeo). Con estos valores se establece el nivel de suciedad del panel de testeo a través del cálculo del ratio de suciedad (en inglés, soiling ratio, SR) con la Ecuación 2 (IEC, 2017).

$$SR = \frac{G_{test}}{G_{ref}} = \frac{K_{test} * I_{cc_{test}} * [1 - \alpha_{test} * (T_{test} - T_{stc})]}{K_{ref} * I_{cc_{ref}} * [1 - \alpha_{ref} * (T_{ref} - T_{stc})]} \quad (2)$$

Donde:

G<sub>test</sub>: es la irradiancia efectiva incidente sobre el panel FV de testeo (W/m<sup>2</sup>)

G<sub>ref</sub>: es la irradiancia efectiva incidente sobre el panel FV de referencia (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>cc<sub>test</sub></sub>: corriente de cortocircuito medida del módulo FV de testeo (A)

I<sub>cc<sub>ref</sub></sub>: corriente de cortocircuito medida del módulo FV de referencia (A)

α<sub>test</sub>: coeficiente de variación de I<sub>cc</sub> por temperatura del módulo FV de testeo (A/°C)

α<sub>ref</sub>: coeficiente de variación de I<sub>cc</sub> por temperatura del módulo FV de referencia (A/°C)

T<sub>test</sub>: temperatura de trabajo del módulo FV de testeo (°C)

T<sub>ref</sub>: temperatura de trabajo del módulo FV de referencia (°C)

K<sub>test</sub>: constante de calibración del módulo FV de testeo

K<sub>ref</sub>: constante de calibración del módulo FV de referencia

T<sub>stc</sub>: Temperatura de módulo FV en condiciones estándares de ensayo (°C)

Todos los valores calculados y medidos son almacenados en una tarjeta de memoria Micro SD. Estos datos pueden ser descargados en cualquier momento, a través del servidor web.

El dispositivo medidor también cuenta con la posibilidad de realizar las mediciones de corriente de cortocircuito sin la corrección por temperatura. Esto se programó para realizar el ensayo de SR en caso de no contar con los sensores para la medición de la temperatura.

Una vez realizado el ensayo y almacenados los datos en la tarjeta de memoria SD, la CPU envía los valores de G<sub>test</sub>, G<sub>ref</sub>, I<sub>cc<sub>test</sub></sub>, I<sub>cc<sub>ref</sub></sub>, T<sub>test</sub>, T<sub>ref</sub> y SR a la plataforma Thingspeak de internet de las cosas (Figura 4). Enviar los datos a esta plataforma permite un monitoreo remoto del estado y funcionamiento del equipo, desde cualquier parte del mundo en que se tenga acceso a internet. El medidor de suciedad se programó para que envíe los datos por conexión wifi o por medio de un servicio general de paquetes vía radio (en inglés, General Packet Radio Service, GPRS), en caso de no contar con conexión wifi. Una vez enviados los datos a Thingspeak, la CPU pasa a modo de ahorro de energía, donde no realiza ningún tipo de acción o procesamiento hasta pasados 10 minutos. Una vez pasados estos 10 minutos, la CPU se reinicia y vuelve a realizar todo el proceso de ensayo descrito.

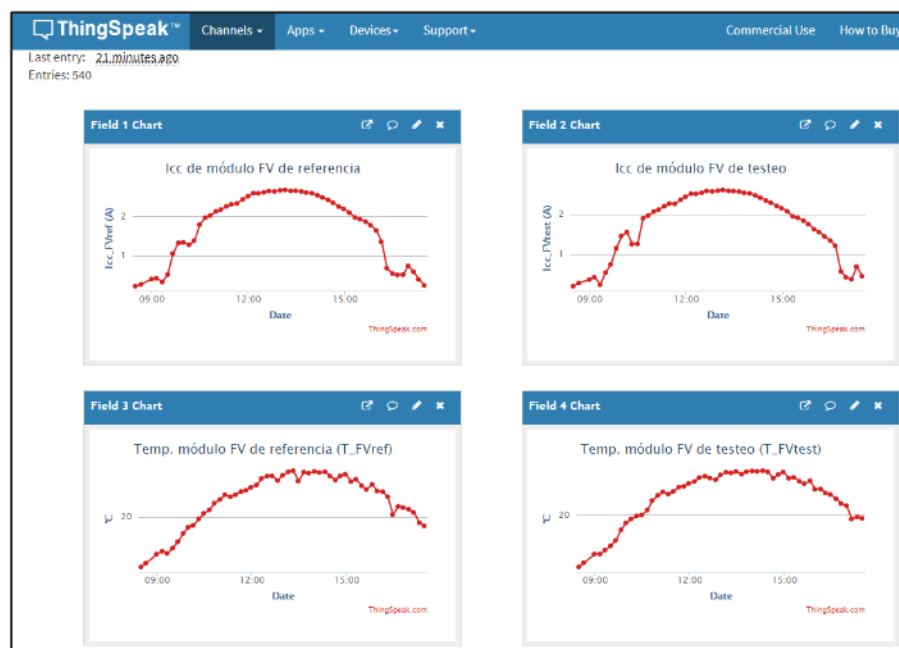


Figura 4: Plataforma Thingspeak para monitoreo remoto

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo característico del funcionamiento del equipo medidor

de sociedad.

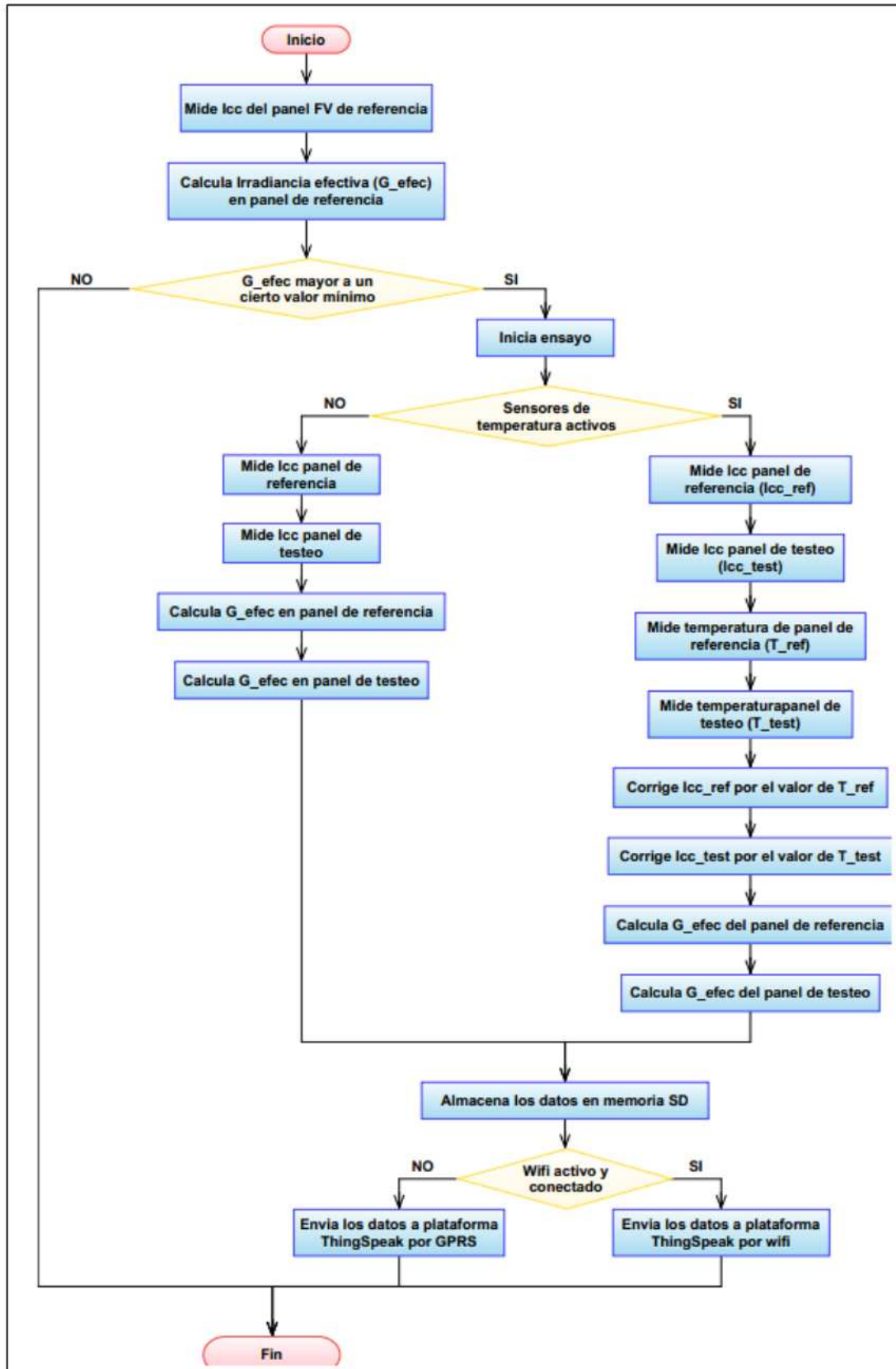


Figura 5: Diagrama de flujo de la lógica del proceso de medición

A partir del valor calculado de SR se puede determinar SL, a través de la Ecuación 3.

$$SL = (1 - SR) * 100 \% \quad (3)$$

Donde:

SL: Pérdidas por suciedad porcentuales (en inglés, soiling losses)

SR: Ratio de suciedad (en inglés, soiling ratio)

*Microcontroladores y dispositivos de medición:* Como CPU del equipo medidor de suciedad se utilizó un sistema en chip (SoC) programable ESP32, que consiste en un potente microcontrolador de 32 bits desarrollado por la empresa Espressif. El ESP32 está diseñado para desarrollos de equipos robustos, de bajo costo y orientado a internet de las cosas, contando con tecnología WiFi incorporada. Para programar el mencionado ESP32, se utilizó el software de libre acceso Arduino versión 1.8.13.

Como se mencionó, los datos se envían a Thingspeak mediante conexión WiFi o GPRS. El ESP32 cuenta con tecnología WiFi para conectarse a una red y enviar los datos a la plataforma Thingspeak. Para enviar los datos a través de GPRS, se instaló un módulo A6 GSM/GPRS con antena externa omnidireccional. Todos los datos registrados son almacenados en una tarjeta de memoria micro SD de 8 Gb de espacio de almacenamiento. A su vez, se instaló un reloj en tiempo real (en inglés, Real Time Clock, RTC) DS3231 para registrar la fecha y hora del ensayo.

Como transductor de corriente se utilizó el sensor ACS712-05 de la firma Allegro, el cual funciona por efecto Hall y puede medir la corriente en ambas direcciones. El ACS712-05 está preparado para medir hasta un máximo de 5 A, con una resolución de 185 mV/A y salida analógica simétrica y lineal. Estas características del transductor nos permitieron medir corriente con una exactitud de hasta 1 mA. El error del ACS712-05 es de  $\pm 1,5\%$ . En conjunto con este transductor, se instaló un convertor de señal analógico/digital ADS1115 para enviar las lecturas realizadas al ESP32. El ADS1115 es un convertor de alta precisión, 16 bits (15 bits + signo), con una tasa de conversión máxima de 860 muestras por segundo. Además, posee un amplificador interno de ganancia programable y comunicación por protocolo serie de circuito inter-integrado (I2C).

Como sensor de temperatura se instaló una termorresistencia de platino RTD PT1000 tipo NB-PTCO-006, con rango de medición desde  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  y precisión de  $\pm 0,3\%$ . En conjunto con este sensor se utilizó un adaptador de señal analógico/digital MAX31865 para PT1000 con el fin de enviar los valores sensados al ESP32 y que sean interpretados por éste. El adaptador de señal MAX31865 integra un convertor analógico digital de 15 bits y la comunicación con el ESP32 se logra a partir del bus de interfaz de periféricos serie (SPI, por su sigla en inglés Serial Peripheral Interface) que poseen tanto el microcontrolador como el MAX31865.

Todo el circuito se alimentó con 2 baterías de ion-litio LIR18650 de 2600 mAh dispuestas en serie. Junto a las baterías se instaló un controlador de carga/descarga BMS-X2-18650. Se antepuso al BMS un regulador de voltaje *Step-down* XL4015, con el fin de recargar las baterías mediante alimentación de corriente continua por cargador o mediante módulos FV.

La Figura 6 muestra la plaqueta electrónica que se realizó y que comanda el equipo medidor de suciedad.



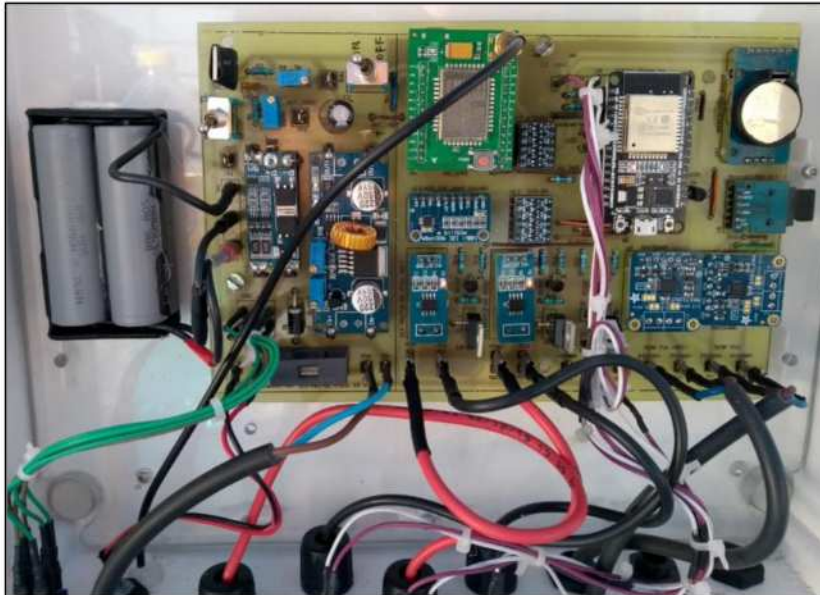


Figura 6: Plaqueta electrónica del equipo medidor de suciedad.

*Cálculo de constante de calibración:* La constante de calibración  $K$  de la Ecuación 2 se utiliza para absorber diferencias de fabricación entre los módulos u otras variables inevitables que hacen que ambos módulos arrojen diferentes  $I_{cc}$  en idénticas condiciones de trabajo. De la Ecuación 2, podemos notar que se presentan dos constantes de calibración ( $K_{test}$  y  $K_{ref}$ ). Para calibrar el funcionamiento del equipo, se colocan ambos paneles de forma que trabajen en idénticas condiciones (ambos paneles limpios, día totalmente libre de nubes, colocados lo más próximos posible e idéntico ángulo de inclinación). Se iguala a 1 una de las constantes  $K$  (indistintamente), mientras se calcula el valor de la otra para que ambas  $I_{cc}$  de los paneles sean iguales.

En nuestro caso  $K_{test}$  se mantiene igual a 1 y se calcula  $K_{ref}$ . Esta constante se define como la pendiente de la recta establecida por la relación entre la corriente de cortocircuito medida del módulo de referencia y de testeo.

Para el cálculo de la constante  $K_{ref}$  se registró la corriente de cortocircuito con ambos paneles limpios, instalados de forma coplanar y con una inclinación de  $21^\circ$  (próxima a la inclinación óptima para el lugar de emplazamiento). Se registraron los datos durante 5 días soleados y libres de nubes, con un intervalo de 10 minutos entre cada medición. Para el cálculo de la constante, solo se tomaron las mediciones cuyo nivel de irradiancia era mayor a  $500 \text{ W/m}^2$ . Esto se hizo para que la constante  $K_{ref}$  sea representativa en el rango horario en que se calcula el SR próximo al mediodía solar. Valores por debajo del nivel de irradiancia especificado implican nubosidad o una hora alejada del mediodía solar, donde el SR se ve afectado y puede arrojar valores incorrectos (Pramod N. et al., 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 7 muestra el cálculo de la constante de calibración  $K_{ref}$ , donde se muestra la ecuación característica de la recta que representa la relación entre las  $I_{cc}$ .

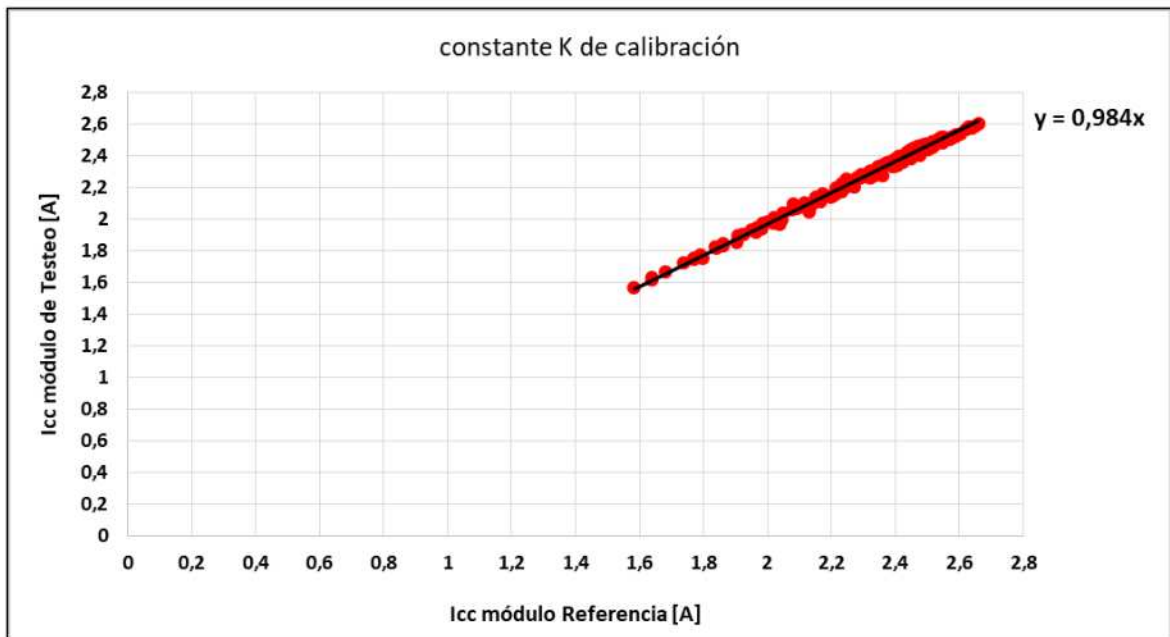


Figura 7: Cálculo de constante K de calibración

Como se mostró en la Figura 7, el valor de la constante  $K_{ref}$  es de 0,984, muy próximo a 1.

En la Figura 8 se representa la relación entre las temperaturas del módulo de referencia y de testeo. Junto al gráfico, se encuentra explícita la ecuación que caracteriza dicha relación.

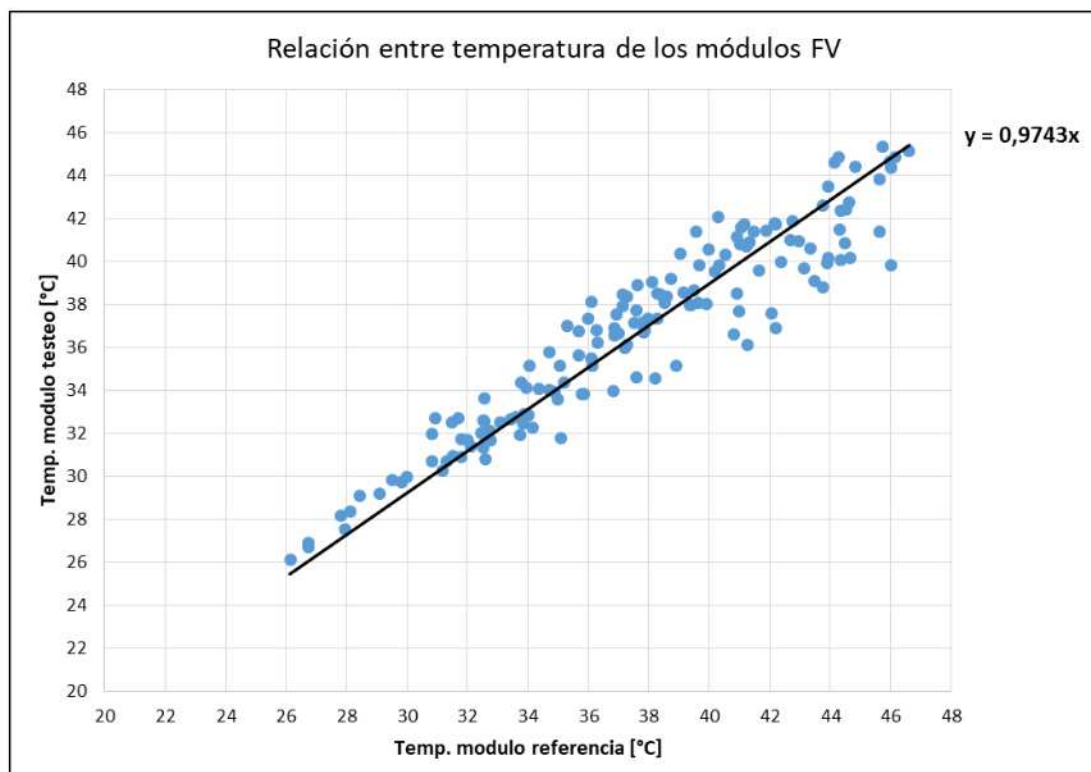


Figura 8: Relación entre temperaturas de los módulos

La Figura 9 ilustra el valor de SR con respecto a la variación de la irradiancia efectiva de ambos paneles. Se representan solo 3 días con el fin de mostrar de forma clara la variación del SR en horas de la mañana y la tarde, pero la tendencia se mantiene en los 5 días soleados analizados.



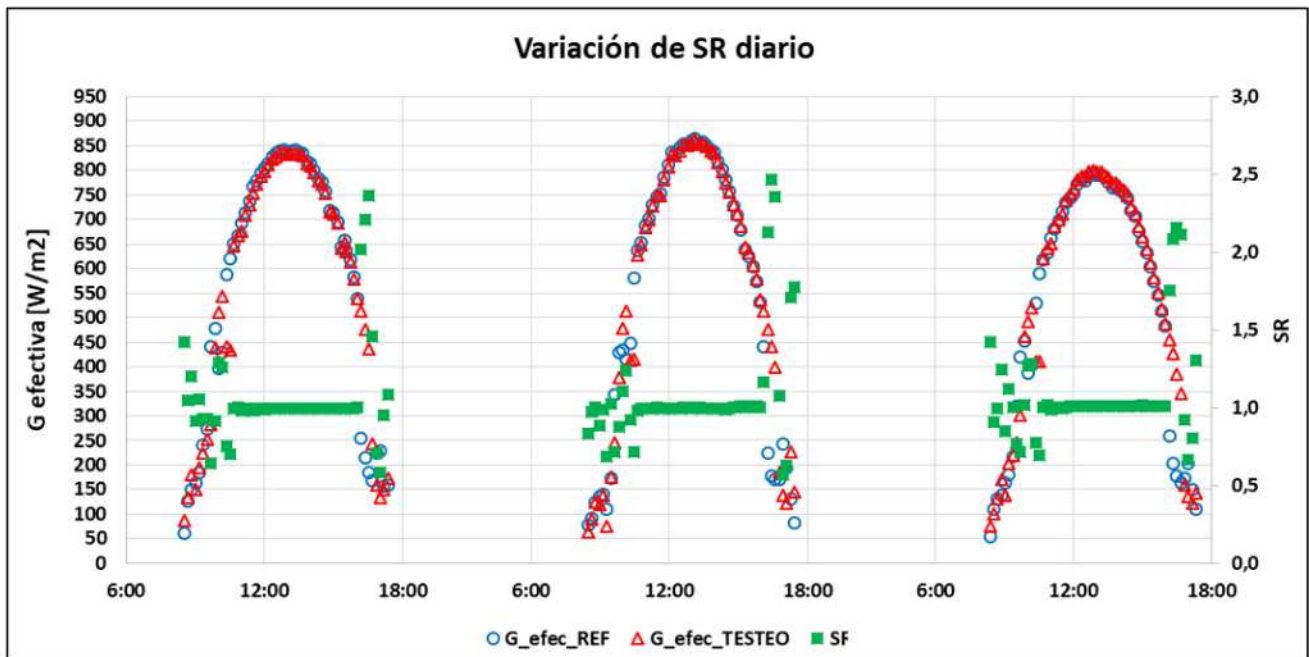


Figura 9: Relación del SR en concordancia con la variación de G efectiva

La Tabla 1 muestra un cálculo aproximado de costos, expresados en USD, para la puesta en funcionamiento del equipo medidor de suciedad. Los costos son estimados al momento de escritura del presente trabajo.

Módulo del equipo	Valor USD
Módulo de alimentación	37,23
Módulo de control	82,01
Sensado de temperatura	63,21
Sensado de corriente	15,83
Módulo FV 50 Wp para ensayo (2 unidades)	142,58
Módulo FV 10 Wp para alimentación	19,17
<b>Total</b>	<b>360,03</b>

Tabla 1: Costos del equipo

En la Figura 10 se muestra una prueba realizada del cálculo de las pérdidas por suciedad (SL) en 3 días, dos días soleados consecutivos y un tercer día despejado posterior a una lluvia de 5 mm. En el día 1 y 2 el panel de testeo presentaba suciedad acumulada de 7 días, mientras que el panel de referencia se encontraba limpio. Podemos observar cómo el SL disminuye en el día posterior a la lluvia registrada.

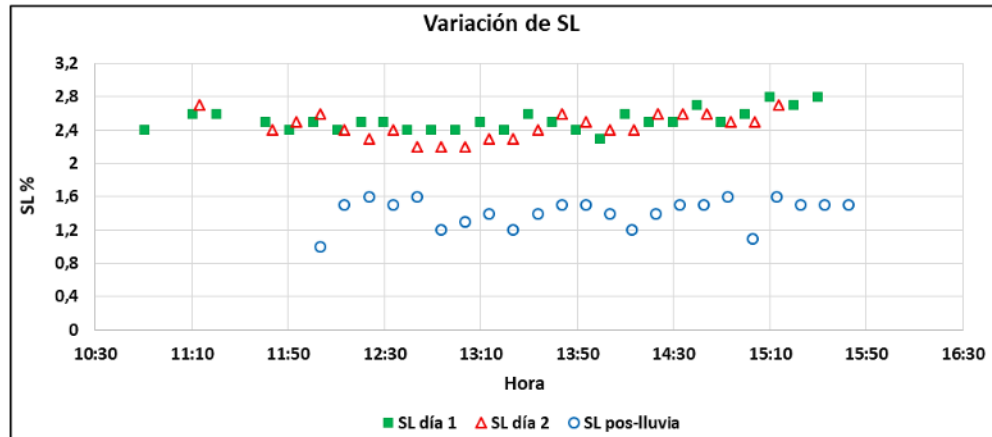


Figura 10: Variación de SL después de una lluvia

## CONCLUSIONES

Los ensayos y pruebas que se realizaron arrojan las siguientes conclusiones:

- Es posible desarrollar un dispositivo electrónico funcional de bajo costo y con monitoreo remoto, para el estudio de las pérdidas por suciedad en cualquier punto geográfico.
- La proximidad de los puntos hacia la línea de tendencia que se mostró en la Figura 7 entre las corrientes de cortocircuito de ambos paneles, y el coeficiente de la ecuación (0,984 en ese caso) muy próximo a 1, pone en evidencia la gran exactitud que se consiguió en el desarrollo del equipo medidor de suciedad. El equipo presenta una exactitud mínima de  $\pm 1,5$  %, la cual está definida por la precisión del sensor de corriente ACS712.
- El costo del equipo completo, incluyendo los paneles de ensayo, no supera los USD400. Por otro lado, todo el software y plataformas que se utilizaron (IDE de Arduino, Thingspeak, Kikad) son de acceso libre y todos los componentes electrónicos se consiguen en Argentina. Estas dos características en conjunto, ponen de manifiesto el desarrollo de una herramienta importante para ser utilizada en universidades y otras instituciones públicas, así como también en el ámbito privado.
- La Figura 8 demostró un comportamiento muy próximo al lineal entre las temperaturas de los paneles de testeo y referencia, puesto en evidencia en el coeficiente de la ecuación (0,9743) muy cercano a 1. Esto se debe a que ambos paneles se encuentran en idénticas condiciones ambientales de funcionamiento. Dicho esto, se concluyó que es admisible despreocuparse de la corrección por temperatura mostrada en el cálculo de  $I_{cc}$  de la Ecuación 1. Esto se justifica en que, al ser ambos módulos FV idénticos (igual  $\alpha$ ) y considerando que trabajan a igual temperatura, la corrección entre corchetes de la Ecuación 2 se simplifica. Es por ello que el equipo medidor de suciedad está programado para realizar ensayos con o sin medición de temperatura de los módulos FV.
- El valor de SR no es independiente de la posición del sol. Durante las horas tempranas y concluyendo el día, las pérdidas angulares en los paneles son mayores y el valor de SR se desvirtúa (Pramod N. et al., 2019). Esto se pone en evidencia en la Figura 8. Los datos de SR que se observan muy dispares de 1 son atribuibles a sombras parciales en los módulos, aun así, sin la presencia de estas sombras, el SR solo se estabiliza en horas próximas al mediodía solar. Dicho esto, se corroboró que se deben realizar los ensayos de cálculo de K y de SR en un rango de  $\pm 2$  horas del mediodía solar. El servidor web que se programó en el equipo permite configurar una radiación mínima

para comenzar a realizar ensayos, por lo que es posible filtrar solo el rango horario específico para el ensayo.

- En la Figura 10 se demostró el funcionamiento del equipo medidor. Podemos notar como con solo 7 días de suciedad acumulada ya se presentan pérdidas por suciedad SL del orden de 2,5 %. Por otro lado, se puede observar el efecto limpiador que tienen las precipitaciones, donde en nuestro caso el SL disminuyó a 1,4 %.

## REFERENCIAS

- Comerio A., Muniz P. R., Rampinelli M., Fardin, J. F. (2018). A review on impacts from dust deposition on photovoltaic modules. 13th IEEE International Conference on Industry Applications.
- García M., Marroyo L., Pérez M. (2011). Soiling and other optical losses in solartracking PV plants in Navarra. *Prog Photovoltaics Res Appl*, pp. 211-217.
- Ghazi S., Sayigh A., Ip K. (2014). Dust effect on flat surfaces – A review paper. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 33, pp. 742–51.
- Grossi Gallegos H., Righini, R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina.
- IEC 60904-10. (2009). Photovoltaic devices –Part 10: Methods of linearity measurement, second edition.
- IEC 61724-1. (2017). Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring.
- Kimber A., Mitchell L., Nogradi S., Wenger H. (2006). The Effect of Soiling on Large Grid-Connected Photovoltaic Systems in California and the Southwest Region of the United States. Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Waikoloa, HI.
- Lorenzo E., Moreton R., Luque I. (2014). Dust effects on PV array performance: in field observations with non-uniform patterns. *Prog. photovoltaics*, vol. 22, no. 6, pp. 666-670.
- Mani M., Pillai R. (2010). Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, pp. 3124-3131.
- Piliouguine M., Carretero J., Sidrach-de-Cardona M., Sánchez-Friera P. (2008). Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. *Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference*, pp. 2698-2700.
- Pramod N., Marc K., Hesani Z., Olindo I., Miro Z. (2019). Accurate Soiling Ratio Determination with Incident Angle Modifier for PV Modules. *IEEE Journal of Photovoltaics*.
- Zorrilla-Casanova J., Piliouguine M., Carretero J., Bernaola P., Carpena P., Mora-López L., Sidrach-de-Cardona M. (2011). Analysis of dust losses in photovoltaic modules. *World Renewable Energy Congress - Sweden*; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden, pp. 2985-2992.

## DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOILING LOSSES MEASURING EQUIPMENT IN PHOTOVOLTAIC MODULES

**ABSTRACT:** The accumulation of dust and dirt in FV modules is a significant source of losses in power generation. Being able to quantify these losses allows us to improve the design of photovoltaic systems and optimize the cleaning periods, especially in installations located in arid or semi-arid areas. Having said this, the main objective of the work was to design an electronic equipment for the direct measurement of losses due to dirt in FV modules. Therefore, a device was developed that calculates the soiling ratio based on the measurement of the short-circuit currents and the temperatures of two photovoltaic modules installed in a coplanar way. It was possible to develop an equipment with remote monitoring of the measurements (using ThingSpeak), low manufacturing costs, programmed using free software (Arduino IDE) and with electronic components that can be obtained in Argentina.

**Keywords:** soiling losses, photovoltaic modules, internet of things, Arduino.