

NODO AUTÓNOMO PARA MEDIR LA IRRADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA EN CENTRALES FOTOVOLTAICAS

A. Ibarra, M. Cáceres, A. Firman, L. Vera y N. Vara.

GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA – UNNE.
Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina.
Tel/Fax: (0379) 4473931 int 116 - e-mail: agibarra@ger-unne.com.ar

Recibido:02-02-18; Aceptado:29-6-18.

RESUMEN.- El presente trabajo muestra el diseño, implementación y calibración de un nodo de medición portátil autónomo de irradiancia solar y temperatura de módulo. El prototipo es capaz de transmitir la información recolectada a través de un protocolo de comunicación wireless y utilizar su sensor de irradiancia para cargar una batería. Tiene la capacidad de conformar una red mallada de medición en donde todos los datos se envían hasta una PC que actúa como coordinador en la que se visualizan las magnitudes medidas en función del tiempo. Como resultado se obtuvo un instrumento capaz de medir temperatura en el rango de 0-80 °C con una exactitud de 0,4 °C y de medir irradiancia solar con un error máximo de 29,2 W/m², lo que representa un error del 2,4 % tomando como fondo de escala 1200 W/m². Con las características citadas, el sistema desarrollado cumple con las especificaciones dispuestas por la norma internacional IEC-61724 para monitoreo de sistemas fotovoltaicos acoplados a red.

Palabras clave: Irradiancia, Temperatura, Instrumentación, Zigbee.

AUTONOMOUS NODE TO MEASURE SOLAR IRRADIANCE AND TEMPERATURE IN PV POWER PLANTS

ABSTRACT.- This paper presents the design, implementation and calibration of an irradiance and temperature's portable measuring node. The prototype is able to transmit the collected information through the implementation of a wireless communication protocol and to use its irradiance sensor to charge a battery in the moments that the instrument is not making measures. It has the capability to conform a mesh network of measurement where all the data are sent into a computer that operates as a coordinator that shows the measured magnitudes as a function of time. As a result, it has obtained an instrument capable of measuring temperature in the range of 0 to 80 °C with an accuracy of 0,4 °C and measuring irradiance with a maximum error of 29,2 W/m², which represents an error of 2,4 % taking as a full scale 1200 W/m². With the above characteristics, the developed system meets the specifications laid down by the international standard IEC-61724 for monitoring photovoltaic grid-connected systems.

Keywords: Irradiance, Temperature, Instrumentation, Zigbee.

1. INTRODUCCION

En la Argentina una de las fuentes de energía renovable de mayor disponibilidad es la solar, que puede ser aprovechada eficientemente a partir de la conversión fotovoltaica, mediante la incorporación de sistemas fotovoltaicos acoplados a la red de distribución (Cáceres et al., 2011). Este tipo de aprovechamiento energético puede llevarse a cabo tanto en pequeña escala, como generación distribuida en la superficie del techo de viviendas, comercios e industrias, como a gran escala en granjas de producción de energía eléctrica (Cáceres, 2014).

En grandes sistemas existe la necesidad de realizar un monitoreo constante de los parámetros que intervienen en la generación de energía eléctrica. A través de este monitoreo se puede evaluar la productividad de la planta fotovoltaica y

su variación junto con los parámetros asociados a ella a lo largo de su vida operativa. Este monitoreo constante de las variables que intervienen en la producción de las plantas fotovoltaicas permite localizar caídas en el rendimiento debido a factores que no dependen de las condiciones ambientales (fallas en las diferentes etapas del sistema fotovoltaico).

En este contexto, la norma IEC 61724 establece un procedimiento de monitorización y análisis para determinar el rendimiento energético del sistema FV y obtener un resumen del comportamiento del mismo que permita compararlo con otras instalaciones de diferentes tamaños, en diferentes climas, latitudes, con diferentes tecnologías, etc.

Desde el punto de vista científico, la evaluación del comportamiento de sistemas fotovoltaicos a través de la

determinación de los índices definidos en la norma citada previamente, es útil para el desarrollo de modelos matemáticos, el estudio de la degradación de los módulos FV a lo largo de su vida útil, la interacción de sistemas fotovoltaicos con la red de distribución, etc (Firman et al., 2013). Por otra parte, en grandes centrales fotovoltaicas, la determinación de estos índices permite inferir causas de funcionamiento anómalo y verificar el cumplimiento de los objetivos contractuales pactados entre la planta generadora y la prestataria de energía eléctrica.

En este aspecto, la norma establece un grupo de magnitudes que deben ser medidas para realizar estas evaluaciones, dentro de las cuales encontramos a la irradiancia solar (G), la temperatura ambiente (T_{amb}), la temperatura del módulo (T_m), la velocidad de viento (S_w), la tensión (V) y la corriente (I) en distintos puntos de la instalación y la potencia entregada (P) en esos mismos puntos. En general, el inversor para conexión a red se encarga de medir y loggear los parámetros eléctricos del sistema, sin embargo para la medición y adquisición de las variables restantes es necesario dotar a la instalación de instrumental específico apropiado.

Dentro de este grupo de variables, la irradiancia solar que incide sobre el generador FV y la temperatura de módulo influyen directamente en la capacidad de generación de un determinado sistema (Firman et al., 2012). Por esta razón, la norma las contempla en el cálculo de los índices que cuantifican las productividades y eficiencias del mismo y, por tanto, su apropiada medición y adquisición resulta relevante.

En este aspecto, el Grupo en Energías Renovables (GER) ha desarrollado nodos inalámbricos autónomos de medición de irradiancia solar y temperatura de módulo, para uso en grandes sistemas de generación, que permiten la adquisición de estas magnitudes en diferentes puntos de centrales que ocupan gran extensión, poseen diferentes tecnologías de seguimiento solar y/o diferentes orientaciones como por ejemplo la Planta Solar Fotovoltaica San Juan-I, que posee arreglos fotovoltaico de tres tecnologías distintas (silicio amorfo, silicio monocristalino y silicio policristalino) montados en seguidores solares con posibilidad de movimiento en uno y dos ejes y estructuras fijas con ajuste estacional invierno-verano (Gambetta et al., 2011). Estos nodos de medición establecen una red de comunicación inalámbrica que optimiza la transmisión de información

hacia un nodo de almacenamiento y análisis, utilizando los diferentes puntos de la red como repetidores, evitándose de esta manera la necesidad de una instalación auxiliar para alimentación del instrumental y la transmisión de datos. Por otra parte, se ha desarrollado un software para PC en entorno LabView que detecta automáticamente los nodos activos y optimiza la transmisión de la información en función de la distribución espacial de los nodos.

La posibilidad que ofrece el dispositivo de un rápido montaje y configuración inalámbrica permiten su aplicación no solo para el monitoreo constante de datos, sino también en tareas de auditorías en aquellas centrales cuyas características demanden más de un punto de medición.

Este estudio presenta características del sistema desarrollado y los resultados obtenidos en la calibración y ensayo de los canales de medición de irradiancia solar y temperatura de módulo, a fin de verificar que la exactitud con que se adquieren estas magnitudes permanece dentro del margen establecido por la norma IEC 61724.

2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

El instrumento desarrollado posee características especiales a efectos de cumplir con requerimientos específicos que vienen asociados a su campo de aplicación. La figura 1a presenta un diagrama de bloques del dispositivo y la Figura 1b una fotografía del mismo.

Desde el punto de vista energético, el sistema de medición es autónomo, cuenta con una batería de Li-ion de 3,3 V y 1000 mAh, que se carga en campo a través de una celda fotovoltaica de silicio amorfo conectada a una etapa de regulación de carga (implementada con el circuito integrado CN3063). Como se presenta en párrafos posteriores, esta celda de referencia se emplea también como sensor para medir la irradiancia solar.

A efectos de realizar las mediciones y gestionar el flujo de información, se empleó una plataforma de desarrollo Seeduino Stalker V 2.3, que se basa en un microcontrolador ATMEGA 328P. Este sistema embebido cuenta, entre otras cosas, con un circuito de reloj en tiempo real DS3231 y un socket Bee compatible con diversos módulos de comunicación.

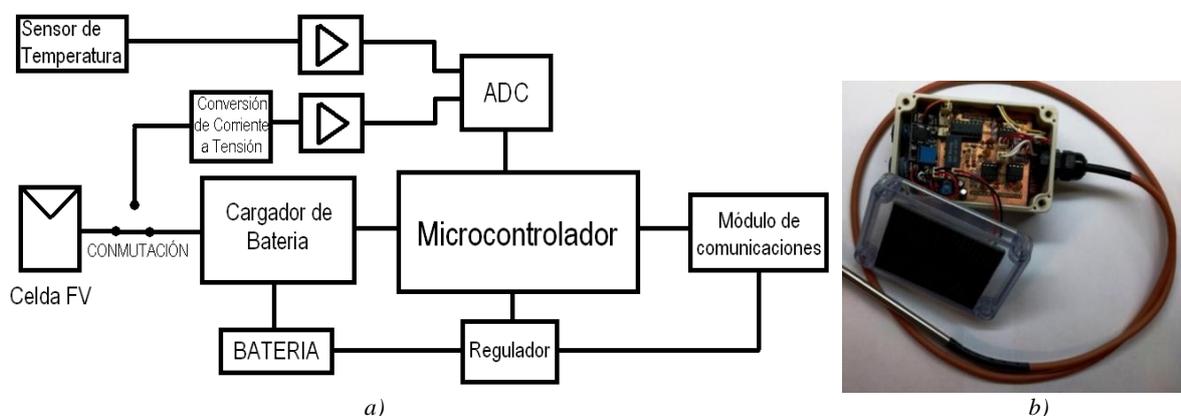


Fig. 1: a) Diagrama de bloques del dispositivo desarrollado. b) Fotografía del equipo

Como elemento transductor en la medición de temperatura de módulo se utilizó un RTD tipo PT1000 dispuesto en conexión a cuatro hilos (Arian, 2010; Solé, 2008; Liu et al. 2010), mientras que para la medición de irradiancia solar se utilizó la celda FV encargada de alimentar el nodo. Las señales de ambos transductores son capturadas por el microcontrolador previo acondicionamiento.

Para la comunicación inalámbrica de nodos se utilizaron módulos de comunicación Xbee S2 PRO debido a su versatilidad para la implementación de sistemas de comunicación tipo malla.

Por último las mediciones hechas por cada uno de los nodos de la red se visualizan mediante un software desarrollado en la plataforma LabView que detecta automáticamente la inserción de cada nodo en la red y presenta un resumen de los datos recolectados en un archivo xlsx. En la figura 2 se muestra una imagen de la representación de los datos medidos en el software desarrollado.

2.1. Medición de irradiancia solar.

El piranómetro es el dispositivo generalmente utilizado para medir irradiancia solar sobre la superficie de la tierra. Existen dos tipos de piranómetros, el térmico y el fotovoltaico. Los piranómetros térmicos se constituyen por una pila termoelectrica, el calor originado por la radiación se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares. Los piranómetros fotovoltaicos, por su parte, basan su principio de funcionamiento en el efecto fotovoltaico. En ellos, los fotones incidentes con energía por encima del gap se convierten en cargas positivas y negativas que son recogidas en un circuito externo. La magnitud de esta corriente eléctrica depende de la cantidad y la distribución espectral de los fotones que inciden en el sensor. Por este motivo son sensibles a las variaciones en la distribución espectral causadas por nubes, vapor de agua, aerosoles, masa de aire, etc. (Iqbal 1983; Osterwald, 1986).

En este aspecto, la norma IEC 60904-2 establece una metodología para medir la irradiancia solar utilizando como piranómetro fotovoltaico una célula FV operando en condición de cortocircuito. De esta forma se eliminan los efectos angulares y espectrales que se podrían tener a la hora de evaluar la eficiencia de un generador fotovoltaico. Teniendo en cuenta esto, se utilizó una celda de silicio amorfo de 0,5 W de potencia pico que presenta una corriente de cortocircuito estimada de 0,11 A para una irradiancia de

1200 W/m² (Vara et al., 2016). Para censar dicha corriente se empleó una resistencia shunt de 0.5 Ω y tolerancia de 0,1%. Cabe aclarar aquí que, si bien la norma citada exige que la célula utilizada en la medición de irradiancia solar, tenga una respuesta espectral similar a la del generador del sistema que se pretende evaluar, la célula empleada en el sistema de medición fue caracterizada a sol real y contrastada contra un piranómetro térmico (patrón secundario). Esto a efectos de obtener una respuesta generalizada que abarque todo el espectro dentro del cual operan las diferentes tecnologías fotovoltaicas de uso actual.

La tensión medida sobre la resistencia shunt citada, es acondicionada a través de un amplificador operacional de instrumentación (AD620) al que se le incorporó un filtro pasa bajo con una frecuencia de corte en 160 Hz para limitar en banda la señal de entrada.

La alimentación de la etapa amplificadora se hizo a ±2,5 V mediante el circuito integrado REF5025 que posee un corrimiento por temperatura de 40 ppm/°C y un ruido de 3 μVpp/V.

Como se dijo anteriormente la norma IEC 61724 establece la medición de dos parámetros ambientales para la caracterización de un generador fotovoltaico; la irradiancia solar y la temperatura de operación de los módulos. Este último, afecta seriamente la productividad de una planta, ya que los paneles fotovoltaicos, al estar constituidos por elementos semiconductores, son muy sensibles a las variaciones de temperatura. Éste parámetro incide tanto en el valor de la corriente de cortocircuito como en el valor de la tensión de circuito abierto, aunque para fines práctico, en las evaluaciones energéticas se considera a la corriente de cortocircuito como un parámetro independiente de la temperatura. El desplazamiento de la tensión a circuito abierto produce también un corrimiento del punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico.

2.2. Medición de temperatura

Para la medición de temperatura se utilizó un RTD PT1000 por la gran estabilidad y repetitividad que presenta. En esta etapa se emplearon amplificadores operacionales de alimentación simple LM358 en combinación con la tensión de referencia para lograr una fuente de corriente constante a la cual fue conectada el sensor de temperatura.

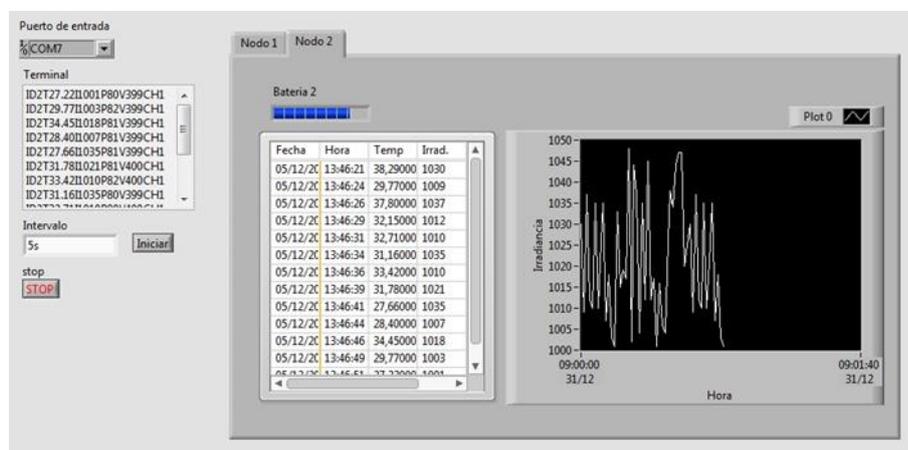
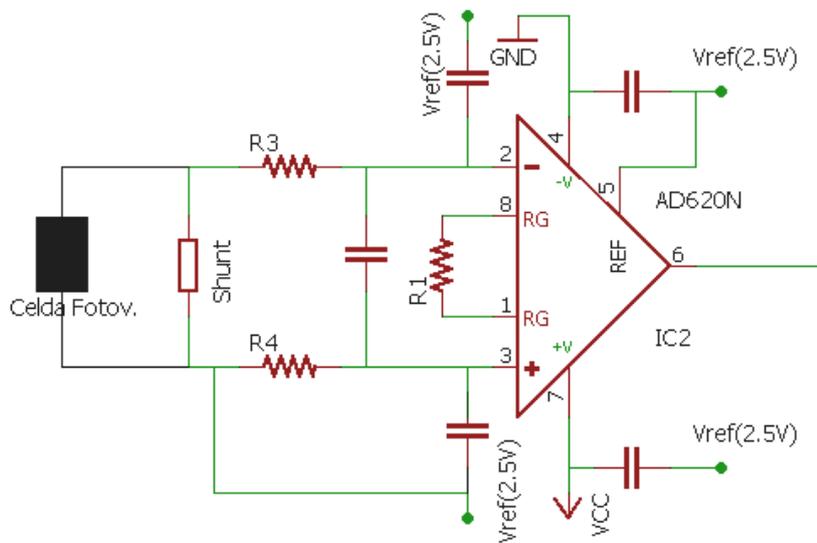


Fig. 2: Interface gráfica del software desarrollado.

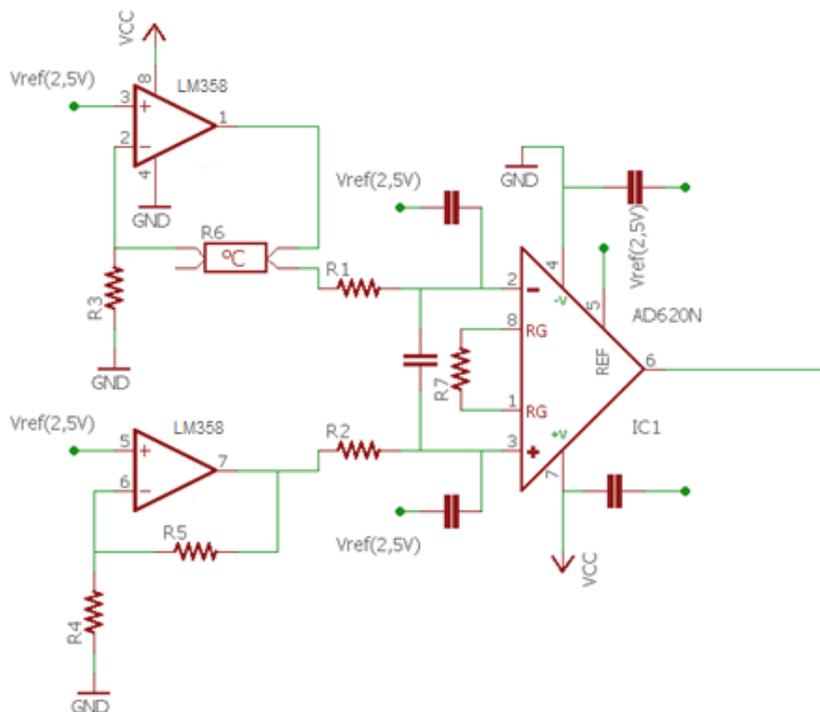
Para maximizar el rango de operación del amplificador operacional de instrumentación AD620 se implementó el circuito de las figuras 3 (a y b). Puede apreciarse que se implementó un desplazamiento de nivel con un OpAmp LM358, cuyo lazo de realimentación se constituyó a partir de una resistencia patrón de 1000 Ω y 0,1 % de tolerancia. El otro OpAmp LM358 se utilizó en modo fuente de corriente constante para polarizar el PT1000. El amplificador de instrumentación AD620 amplifica la diferencia entre ambas salidas y, de esta forma se logra que

a 0 $^{\circ}\text{C}$ y a 80 $^{\circ}\text{C}$ se obtengan 0 V y 1,3 V a la salida de la etapa de amplificación.

Las resistencias empleadas para configurar los LM358 como fuentes de corrientes fueron de 12,4 k Ω con tolerancias del 0,1 %. Teniendo en cuenta que se utilizó una tensión de referencia de 2,5 V, se obtuvo una corriente de 201,61 μA . Esto permitió descartar errores en la medida de temperatura debido a la disipación propia del PT1000.



a)



b)

Fig. 3: a) Etapa de amplificación de la medición de irradiancia solar. b) Etapa de amplificación de la medición de temperatura de módulo.

Las señales obtenidas a la salida de las etapas amplificadoras fueron digitalizadas a través de un conversor analógico-digital MCP3208 de 12 bits y 8 canales con interface de comunicación SPI.

Se implementó también una etapa conmutadora que conecta el panel a la resistencia shunt al momento de realizar una medida, caso contrario el panel permanece conectado a los bornes de entrada del regulador de carga. Para ello se utilizó un relé de doble contacto disparado a través de un MOSFET. La conmutación se realiza únicamente al momento de adquirir una muestra, por lo que el relé se mantiene disparado solo unos milisegundos.

2.3. Protocolo de comunicación

Para la detección, configuración de nodos y la transmisión de los datos recabados se optó por el protocolo de comunicación Zigbee basado en el estándar IEEE 802.15.4 por la posibilidad para implementar una topología de tipo malla. De esta forma se le otorga alta confiabilidad al sistema de medición y capacidad de redefinirse automáticamente según las necesidades.

La figura 4 representa un diagrama general de la red. En ella, el dispositivo conectado a la PC es el encargado de organizar las rutas, parámetros de comunicación y de incorporar los nuevos nodos a la red. El coordinador también permite la recepción de los datos enviados por los nodos de medición y la comunicación desde la PC a los nodos para su correcta configuración.

Para la configuración y el monitoreo de la red se utilizó el software X - CTU 6.1.2. Como se dijo anteriormente el módulo Xbee conectado a la PC es el coordinador siendo el firmware utilizado por éste el XBP24-ZB-207. Los nodos se configuran en modo Router con opción de hibernación lo que les permite funcionar tanto como transceptores, así como repetidores para otros nodos.

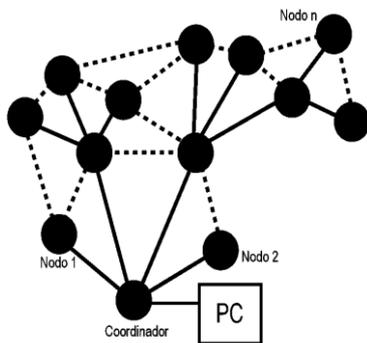


Fig. 4: Esquema general de la red.

3. CALIBRACION Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DESARROLLADO

Los canales de medición del dispositivo fueron calibrados y contrastados para determinar sus exactitudes. Por otra parte, se adquirió la curva corriente vs tensión (I-V) de la celda FV para caracterizar el punto de operación en la medida de irradiancia solar. Por último se realizó una evaluación de la autonomía del dispositivo a oscuras, es decir para la peor condición de operación.

3.1. Calibración del canal de medición de temperatura

Para la calibración del canal de temperatura se utilizó el sistema de calibración termométrico "Fast-Cal" de ISOTECH. El mismo funciona a partir de la comparación de la temperatura del sensor a calibrar con el valor de temperatura de un bloque seco adquirido por un controlador. El rango de temperatura admisible está comprendido entre -30 °C y 140 °C cuando la temperatura ambiente es de 20 °C, con una estabilidad de $\pm 0,02$ °C y una precisión de $\pm 0,2$ °C. La estabilidad en temperatura se alcanza a los 5 minutos.

El ensayo de calibración se realizó para un rango de temperatura entre 0 °C y 80 °C con saltos de 5 °C a efectos de obtener, a partir de los resultados experimentales, una ecuación de ajuste para su reproducción por parte del instrumento desarrollado. Este ensayo se repitió sucesivas veces y a intervalos de 15 días para verificar repetitividad y establecer un intervalo de confianza en el valor de exactitud adoptado.

3.2. Calibración del canal de medición de irradiancia solar.

La calibración de irradiancia se realizó en un día despejado comparando las cuentas obtenidas del ADC a partir de la medición de la corriente de cortocircuito de la celda fotovoltaica con un piranómetro patrón Kipp & Zonen CMP 21 que posee una sensibilidad de $8,55 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ y un error máximo igual a $\pm 10 \text{ W}/\text{m}^2$.

El ensayo consistió en ubicar en forma coplanar el nodo construido (con el panel ubicado en la tapa) con el piranómetro, ambos orientados hacia el norte y con una inclinación de 27°, lo que representa la ubicación adecuada para paneles solares en la región de Corrientes Capital, para obtener el mejor rendimiento.

El piranómetro Kipp & Zonen CMP 21 presenta una tensión proporcional (con constante de proporcionalidad $8,55 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$) a la irradiancia solar, la cual fue medida con un multímetro Fluke 289 con exactitud igual a 0,03 % a fondo de escala (FDE). Este último, al igual que el nodo bajo ensayo, fue configurado para tomar valores cada dos minutos, y ambos fueron iniciados al mismo tiempo. El ensayo se realizó a lo largo de un día, y la ecuación de calibración se obtuvo a partir de la recta de tendencia del gráfico de cuentas respecto a irradiancia solar. Este ensayo se repitió sucesivas veces y a intervalos de 15 días para verificar repetitividad y establecer un intervalo de confianza en el valor de exactitud adoptado.

3.3. Relevamiento de la curva I-V de la celda solar

A efectos de verificar que el punto de polarización de la celda fotovoltaica empleada, establecido por la conexión de la resistencia Shunt de $0,5 \Omega$, se encuentra cercano al valor de cortocircuito, se realizó una caracterización de la misma a partir del relevamiento de su curva I-V. Este ensayo se realizó con un equipo trazador de curvas desarrollado por el GER, el cual utiliza una plataforma de desarrollo TIVA C-Series. El banco de ensayo citado, utiliza dos multímetros Agilent 34410A de 6½ dígitos para la medición y adquisición de 500 valores de tensión y corriente a una tasa de muestreo de 5 kS/s, los que fueron registrados en un software realizado en Labview y exportados a una tabla Excel.

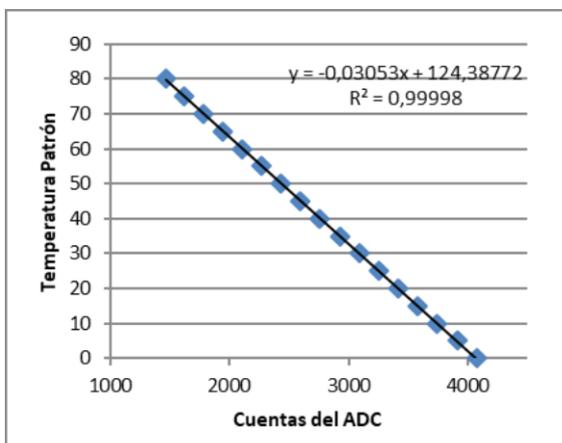
3.4. Determinación de la autonomía del sistema.

Con el objeto de evaluar el tiempo que puede permanecer el nodo sin recibir energía por parte del panel solar se realizó un ensayo de autonomía del sistema a oscuras. Como paso

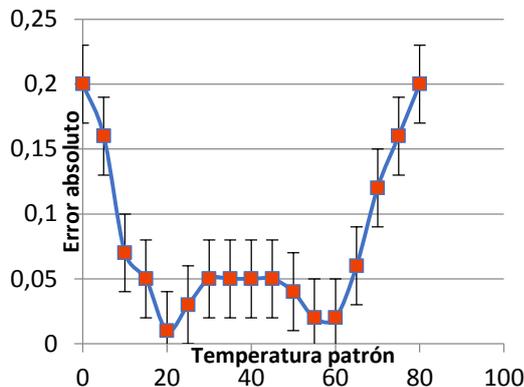
inicial en el ensayo, se sometió a la batería del sistema a un proceso de carga hasta lograr un estado de carga (SoC) igual al 100 %. En esta condición, en el instante de tiempo inicial (día 5/06/2017; 14:00 hs) se inició el ensayo poniendo el nodo de medición en servicio, transmitiendo información cada 5 minutos. La profundidad de descarga adoptada como punto de finalización del ensayo fue de 25 %. Durante el transcurso del ensayo, se tomaron datos de SoC cada 5 minutos (el sistema envía esta información al nodo coordinador).

4. RESULTADOS

La Figura 5a presenta los resultados obtenidos experimentalmente en la determinación de la ecuación de ajuste para el canal de temperatura. La figura 5b por su parte, presenta los valores medios adoptados por el error absoluto y su intervalo de confianza para el rango de temperaturas estipulado para el ensayo.



a)



b)

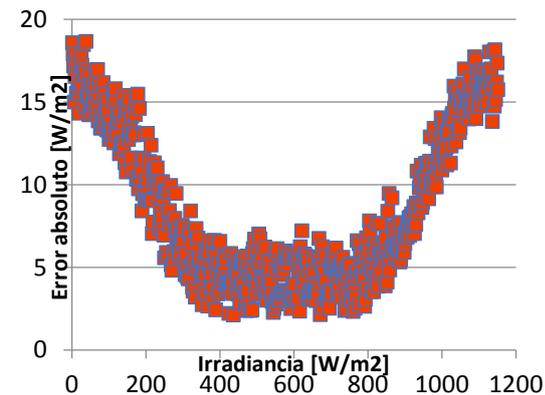
Fig. 5. a) Curva de ajuste para determinación de la ecuación de representación de temperaturas. b) Error absoluto medio del instrumento

En primer lugar, podemos apreciar que el ajuste a través de una función lineal es aceptable, lo cual se ve reflejado en el valor adoptado por el R^2 . Por otra parte, pudo corroborarse que el error absoluto medio máximo registrado es de 0,2 °C valor que se encuentra en el orden del propio sistema patrón utilizado durante la calibración. El error máximo cometido por el instrumento en la medida de temperatura puede fijarse como la suma de los errores (peor condición), es decir igual

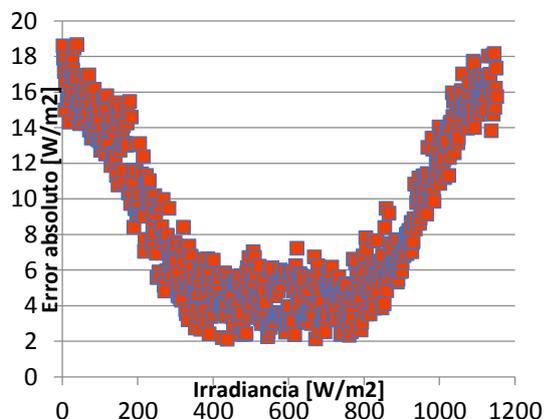
a $\pm 0,4$ °C, valor que se encuentra por debajo de lo establecido en la norma IEC-61724 (< 1 °C).

La figura 6a presenta los valores experimentales obtenidos para determinar la ecuación de ajuste de irradiancia solar. El mismo se basó en la comparación entre las cuentas del canal de irradiancia solar en el ADC y el valor de irradiancia solar obtenido del piranómetro patrón. Como puede verse, existe un pequeño corrimiento en el conjunto de puntos desviándolos ligeramente de la linealidad, esto se debe a que la temperatura afecta en menor medida el valor de corriente de cortocircuito, y el mismo demora un tiempo en adquirir la temperatura de trabajo. Sin embargo, como puede notarse por el coeficiente de determinación R^2 , la ecuación de la recta de ajuste obtenida representa con suficiente aproximación los valores de irradiancia solar medidos.

Por otra parte, los valores de error absoluto obtenidos son presentados en la figura 6b. Como puede apreciarse, el error aumenta en los extremos de la escala. El error absoluto máximo en la medición respecto al piranómetro patrón es de 19,2 W/m², por tanto tomando como peor condición la suma de los errores se obtuvo un error absoluto máximo de instrumento igual a 29,2 W/m² y si se considera un FDE igual a 1200W/m² el error porcentual representa un 2,4 % a fondo de escala, valor menor al estipulado por la norma en la medición de irradiancia solar (< 5 %). La figura 7 presenta la curva I-V de la celda fotovoltaica empleada como sensor de irradiancia solar junto a la recta de carga correspondiente la resistencia Shunt.



a)



b)

Fig. 6. a) Curva de ajuste para determinación de la ecuación de representación de irradiancia solar. b) Diagrama de dispersión del error absoluto del instrumento

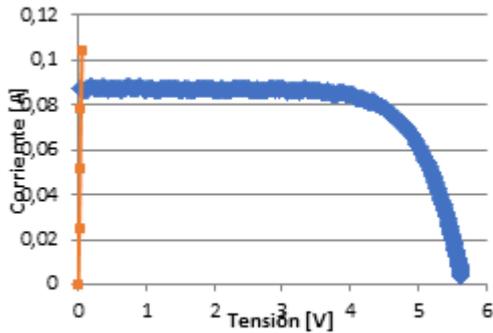


Fig. 7. Curva I-V de la célula utilizada.

De la intersección de ambas curvas, puede verse que la corriente que pasa por la resistencia shunt permanece en un valor similar a la corriente de cortocircuito de la celda sin que la tensión del punto de polarización especificado supere al 3 % de la tensión de circuito abierto de la célula.

En otro aspecto, a partir de los datos registrados durante el ensayo de autonomía se puede verificar que para el régimen de trabajo indicado anteriormente, el sistema demora 52 horas en adquirir un valor de SoC igual al 25 %, correspondiendo al período de tiempo comprendido entre las 14 hs del día 5/6/2017 hasta las 17:40 hs del día 7/6/2017.

Es importante recalcar que se espera que la autonomía del sistema en condiciones reales de operación supere sustancialmente a los valores obtenidos debido a que el dispositivo carga su batería con la celda solar incluso con niveles de irradiancia solar bajos y en día nublados, por lo que se puede suponer que la autonomía del nodo expuesto al sol es superior al obtenido del ensayo a oscuras, pudiendo permanecer conectado a una instalación sin pérdida de datos.

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló un nodo portátil autónomo de medición de irradiancia solar y temperatura de módulo que cumple con los estándares dispuestos por la norma internacional IEC-61724 para la caracterización de sistemas fotovoltaicos acoplados a red. El sistema desarrollado posee un rango de medición comprendido entre 0 °C y 80 °C para temperatura con una exactitud de 0,4 °C, y entre 0 W/m² y 1200 W/m² con una exactitud de 29,2 W/m² para irradiancia solar. El mismo tiene la capacidad de transmitir todas las medidas tomadas a través de una red inalámbrica inteligente hasta un coordinador en donde se guardan todos estos datos, utilizando otros nodos como puntos de repetición. Puede además configurarse cada uno de los nodos que conforman la red a través del coordinador de acuerdo a la necesidad del operario. Se verificó que la tensión en los bornes de la resistencia shunt conectada a la célula empleada como

sensor de irradiancia solar no excede el 3 % de su tensión de circuito abierto como recomienda la norma y por último se ensayó la autonomía del sistema operando a oscuras dando como resultado un tiempo de operación mayor a las 48 hs.

REFERENCIAS

- Arian (2010). Control e Instrumentación. Pt100 su Operación, Instalación y Tablas.
- Cáceres M. (2014). Influencia de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red de Distribución Dentro del Panorama Energético Local. Universidad Nacional de Salta.
- Cáceres M., Busso A., Cadena C., Vera L. (2011). Determinación de la Eficiencia de Conversión del Inversor Empleado en un Sistema de Generación Fotovoltaica Conectado a Red Instalado en el Nordeste Argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **15**, 17-24.
- Firman A., Cáceres M., Toranzos V., Busso A., Vera L. (2012). Monitoreo y Caracterización de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red. IV Congreso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES.
- Firman A., Toranzos V., Busso A., Vera L., de la Casa J. (2013). Qualitative Analysis of Electrical Mismatch Losses in Photovoltaic Devices. 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.
- Gambetta P., Doña V. (2011). Planta Solar Fotovoltaica Solar San Juan I: Descripción de su diseño y detalles de operación. Tercer Congreso Iberoamericano Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía.
- IEC 60751:2008. Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors.
- IEC 60904-2:2015. Photovoltaic devices - Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices.
- IEC 61724:1998. Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis.
- Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Academic Press. Canadá.
- Kipp & Zonen (2005). Instruction manual Silicon Pyranometer SP LITE.
- Liu J., Li Y. y Zhao H. (2010). A Temperature Measurement System Based on PT100. International Conference on Electrical and Control Engineering. Pp. 296-298. IEEE.
- Osterwald, C. (1986). Translation of device performance measurements to reference conditions. *Solar cells*, **18**(3):269-279.
- Poletto G., Vara N., Cáceres M. (2015). Desarrollo de una red de comunicaciones wireless para optimizar la transmisión de datos de monitoreo a través de protocolo Zigbee. XXI Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE.
- Solé, A. C. (2008). Instrumentos industriales, su ajuste y calibración. Marcombo. pp. 110-138.
- Vara N., Cisneros M., Cáceres M. (2016). Determinación de la respuesta angular de una célula fotovoltaica de silicio amorfo para su empleo en la medición de irradiancia. XXII Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas de la UNNE.