



Herramienta de laboratorio para la monitorización y caracterización de módulos fotovoltaicos

Laboratory tool for monitoring and characterization of photovoltaic modules

Brian Ospina Agudelo¹, Jhoan Sebastian Parra², Edinson Franco Mejía³,
Juan David Bastidas Rodríguez⁴

Fecha de recepción: Agosto 28 de 2015

Fecha de aceptación: Septiembre 25 de 2015

Como citar: Ospina, B., Parra, J., Mejía, E., & Bastidas, J. (2015). Herramienta de laboratorio para la monitorización y caracterización de módulos fotovoltaicos. Revista Tecnura, 19 (CITIE), XX-XX. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.ICE.a08>

Resumen

Para fines académicos y de investigación en sistemas fotovoltaicos (FV) es muy importante tener la mayor cantidad de información posible del arreglo FV, especialmente de las principales variables (irradiancia, temperatura, tensión y corriente) de cada panel. Implementar este sistema de medición con elementos comerciales resulta costoso y poco flexible para labores de investigación. Este artículo presenta las características y el funcionamiento de una herramienta para la caracterización y monitoreo de arreglos FV que permite medir irradiancia y temperatura con elementos de bajo costo y propone un sistema de comunicación fácilmente escalable para realizar mediciones en cada panel de un arreglo FV de hasta 32 paneles.

Palabras claves: Módulo fotovoltaico, irradiancia, temperatura, sistema de medición, acceso remoto.

Abstract

For academic and research purposes in photovoltaic (PV) systems it is very important to get as much information as possible from the PV array, especially the main variables (irradiance, temperature, voltage and current) of each panel. The implementation of such an measurement system by using commercial elements would be expensive and difficult to modify for research labours. This paper presents the characteristics and operation of a characterization and monitoring tool for PV arrays that allows the irradiance and temperature measurement with low cost elements and proposes a communication system, easy to expand, to perform measurements up to 32 panels.

Keywords: Photovoltaic module, irradiance, temperature, measurement system, remote access.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Contacto: brian.ospina@correounivalle.edu.co.

² Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Contacto: jhoan.parra@correounivalle.edu.co.

³ Doctor en Ingeniería, Ingeniero Eléctrico, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Contacto: edinson.franco@correounivalle.edu.co

⁴ Doctor en Ingeniería, Ingeniero Electrónico, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Contacto: jdbastir@uis.edu.co

INTRODUCCIÓN

El elemento principal de un sistema fotovoltaico (FV) es el módulo FV cuyo comportamiento eléctrico depende, principalmente, de la irradiancia incidente y la temperatura, afectando la potencia eléctrica que el módulo puede producir (Femia, Petrone, Spagnuolo, & Vitelli, 2012). Por lo tanto, es de suma importancia mantener un monitoreo constante de estas dos variables para propósitos académicos de experimentación como la validación de modelos matemáticos (Bastidas-Rodríguez, Ramos-Paja, & Franco-Mejía, 2012; Femia et al., 2012), el control para la extracción de la máxima potencia (Femia et al., 2012), desarrollar técnicas de diagnóstico (Spagnuolo, Bastidas-Rodríguez, Ramos-Paja, & Petrone, 2013), entre otras.

Para el caso de estudio, un sistema FV de 16 módulos ubicado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (EIEE) de la Universidad del Valle es requerido para validar estrategias de control como parte de una plataforma de experimentación en estrategias de control distribuido y centralizado (Spagnuolo, Franco, Bastidas-Rodríguez, Ramos-Paja, & Petrone, 2014) por lo que es necesario contar con datos de la medición de irradiancia y temperatura en el laboratorio que se encuentra a una distancia de aproximadamente 15 metros del sistema fotovoltaico.

En el mercado existen instrumentos (Acksen, n.d.) y sensores de diferentes fabricantes para medir temperatura (AROS Solar Technology, n.d.) e irradiancia (Apogee Instruments, 2013) con base en los cuales se pueden construir sistemas de monitoreo y adquisición de datos como los que se reportan en (Benghanem, 2009; Rivai & Rahim, 2013); además empleando sistemas de adquisición de datos comerciales (National Instruments, n.d.), se podrían suplir las necesidades operativas para la medición de irradiancia y temperatura, como el sistema de monitoreo desarrollado en (Rodríguez Díaz, Jutinico Alarcón, & Jimenez Moreno, 2013). Pero, teniendo en cuenta que, el objetivo de la plataforma de experimentación es realizar mediciones

de las variables de interés (irradiancia, temperatura, tensión y corriente) en cada panel del arreglo FV, sería muy costoso implementar el sistema de medición deseado utilizando dispositivos comerciales.

Es por esto que, en este artículo se presentan las características, se especifica y se describe el funcionamiento del prototipo de una herramienta desarrollada para la monitorización de irradiancia y temperatura de módulos fotovoltaicos y una herramienta software que permite que permite la visualización y acceso remoto de los datos adquiridos.

DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CARACTERIZACIÓN Y MONITORIZACIÓN

El sistema de medición propuesto (figura 1), permite la adquisición de mediciones de las variables ambientales y eléctricas asociadas a módulos FV necesarias para realizar de manera automática tareas de caracterización y monitorización. El sistema está compuesto por módulos de medición conectados a un PC por medio de un bus RS-485 y una carga de DC controlable manipulada desde el PC por medio de un enlace RS-232. El PC contiene el software que maneja todo el sistema y la aplicación que permite acceder a los usuarios de manera remota a través de internet. La descripción de las funcionalidades de cada bloque se presenta en las siguientes sub secciones.

Sistemas de comunicación

Se decidió utilizar un bus RS-485 para la conexión entre los módulos de medición y el PC por su facilidad de implementación, la posibilidad de contar con múltiples módulos esclavos y por la relativamente amplia distancia entre el elemento maestro y los esclavos en el bus de comunicaciones.

Módulos de medición.

Cada módulo de medición, que puede ser asignado a un único módulo o a un arreglo FV, consta

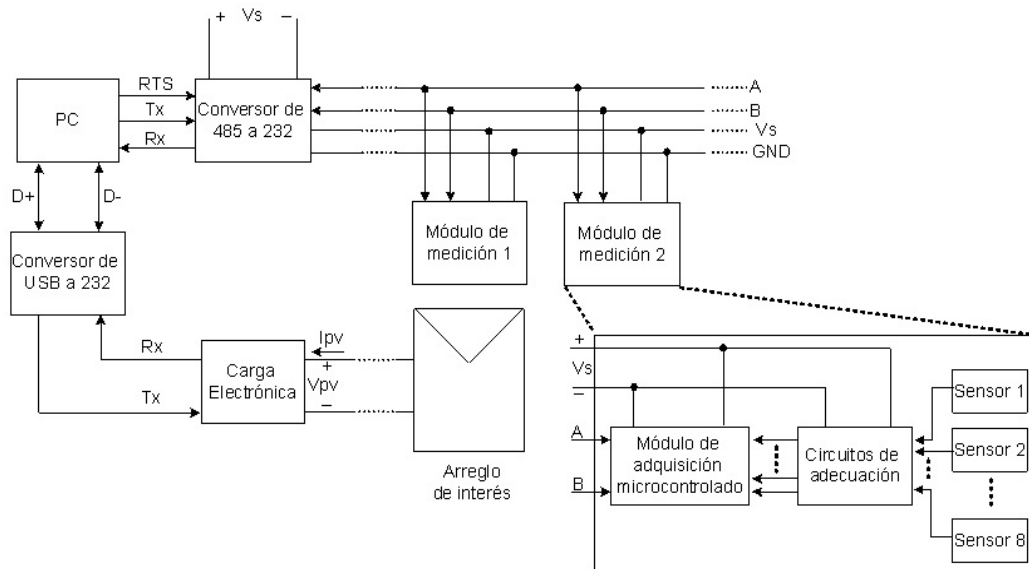


Figura 1. Sistema de medición, diagrama de bloques.

Fuente: autoría propia.

de un módulo de adquisición microcontrolado, los elementos de medición asociados a las variables que se necesitan adquirir y circuitos de adecuación de señal como se muestra en el diagrama de bloques de la figura 1. El elemento principal de cada módulo de medición es un microcontrolador, el cual debe contar con un módulo UART para permitir su conexión al bus de adquisición, un ADC de mínimo 10 bits para disponer con una resolución aceptable en las mediciones y un rango de temperatura que asegure su adecuada operación bajo temperaturas superiores a los 80 °C debido a que los módulos de adquisición estarán ubicados junto al arreglo FV de interés.

Elemento Maestro.

Como elemento maestro del bus RS-485 se emplea un PC, el cual cumple la función de servidor del sistema software desarrollado encargándose de ejecutar la aplicación del sistema de medición que obtiene los valores de las variables de interés y de almacenarlos en la base de datos.

Carga electrónica.

Una carga electrónica que cuente con un modo de funcionamiento de tensión constante y que permita su configuración y adquisición de tensión y corriente de entrada desde un computador puede ser utilizada con el fin de realizar de manera automática los barridos de tensión necesarios para la adquisición de las curvas características de corriente vs. tensión (I-V) y potencia vs. tensión (P-V) de los módulos FV.

Plataforma software

Se implementó una plataforma software, cuya estructura es presentada en la figura 2, con el fin de ampliar la utilidad del sistema de medición disponible, permitiendo el almacenamiento de los datos adquiridos en una base de datos y el acceso remoto a los mismos.

La plataforma cuenta con una aplicación web almacenada en el mismo servidor que permite la administración del sistema y de rutinas automáticas

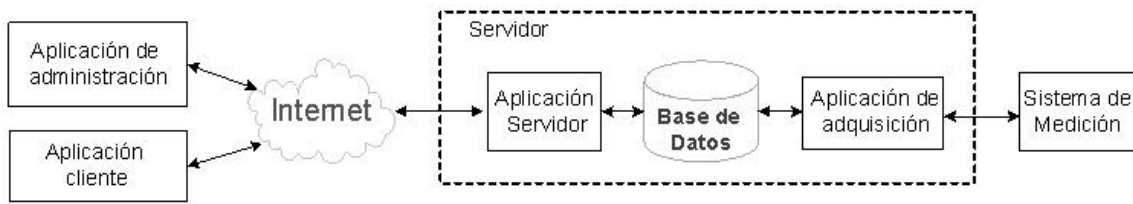


Figura 2. Estructura de la plataforma software desarrollada para permitir el acceso remoto a los datos tomados mediante el sistema de medición.

Fuente: autoría propia.

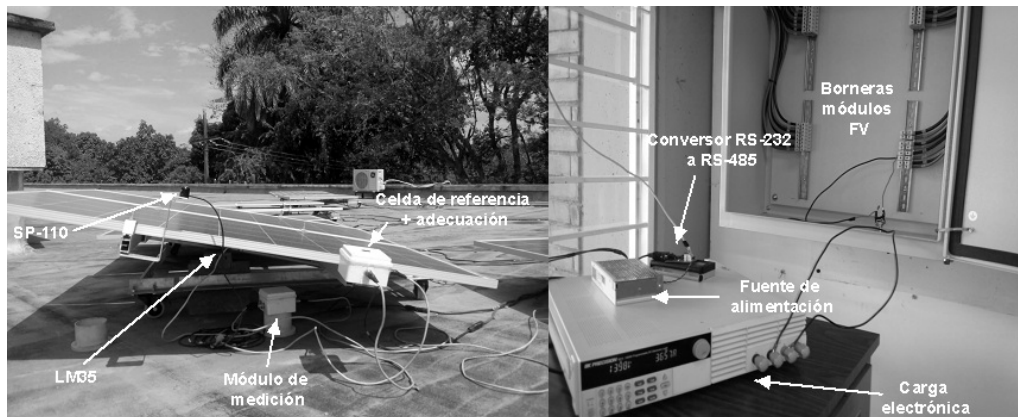


Figura 3. Implementación del sistema de medición propuesto.

Fuente: autoría propia.

de monitorización y caracterización. También se cuenta con una aplicación cliente que proporciona al usuario una forma sencilla de visualizar las curvas I-V y P-V y perfiles de irradiancia y temperatura obtenidos durante la ejecución de un proceso en particular de manera remota.

RESULTADOS

El sistema de monitorización y caracterización fue implementado según la descripción presentada en la sección anterior, como se muestra en la figura 3. Los módulos de medición fueron implementados utilizando un microcontrolador PIC16F877A E/P, un transceptor MAX485 (interfaz con el bus

RS-485), un LM35 ubicado en la parte trasera del panel para la medición de temperatura, un piranómetro SP-110 de Apogee (sensor de irradiancia de referencia) y un circuito para estimar la irradiancia basado en una celda fotovoltaica de baja potencia KXOB22-12X1 (sensor de irradiancia secundario).

Para permitir la conexión del PC al bus RS-485 se implementó un convertor de RS-232 a RS-485 basado en los transceptores MAX232 y MAX485. Dicho convertor se conecta directamente al puerto serial del computador ya sea físico o virtual.

Alojados en el PC se encuentran la aplicación web de administración del sistema, la base de datos usando como sistema de gestión MySQL y una aplicación basada en Java que permite obtener los

valores de las variables de interés, almacenarlos en la base de datos y controlar la carga electrónica. La aplicación de usuario, desarrollada usando Java, proporciona una interfaz para el acceso remoto a los datos contenidos en la base de datos del sistema por parte de los usuarios, permitiendo visualizar y descargar los resultados de los procesos programados en el sistema. Para acceder a los datos de los procesos asociados a un usuario este debe iniciar sesión en la aplicación y seleccionar los datos que quiere visualizar. En la figura 4 se muestra una curva I-V, adquirida por el sistema de medición, en la aplicación cliente.

El módulo de medición implementado, compuesto de un módulo de adquisición, un sensor de irradiancia y un sensor de temperatura además de sus circuitos de adecuación, como se muestra en la figura 1, se estima que tiene un costo de reproducción de 42,67 dólares y cada convertidor de 485 a 232 puede ser reproducido por 9,18 dólares. Por tanto, considerando que se empleó software libre, el piranómetro SP-110 tiene únicamente la función de referencia para la medición de irradiancia obtenida con la celda KXOB22-12X, y que la

carga electrónica programable no limita la función de monitoreo, se estima un valor de 51,85 dólares para la reproducción de la herramienta propuesta.

CONCLUSIONES

Con elementos de bajo costo como amplificadores operacionales de propósito general, sensores de temperatura integrados, celdas fotovoltaicas de baja potencia y microcontroladores de gama media fue posible implementar un sistema de adquisición que permita la aproximación de las principales variables ambientales que influyen en el desempeño de un sistema fotovoltaico. Se estimó un valor de 51,58 dólares para la reproducción del sistema propuesto compuesto de un convertidor de 485 a 232 y un módulo de medición con un sensor de temperatura, un sensor de irradiancia y sus circuitos de adecuación de señal; para obtener las mismas mediciones con un dispositivo comercial como el Electrorecorder PV-3 (Acksen, n.d.) o considerando desarrollos académicos como los sistemas de monitoreo registrados en (Rivai & Rahim, 2013; Rodriguez Diaz et al., 2013) o el sistema

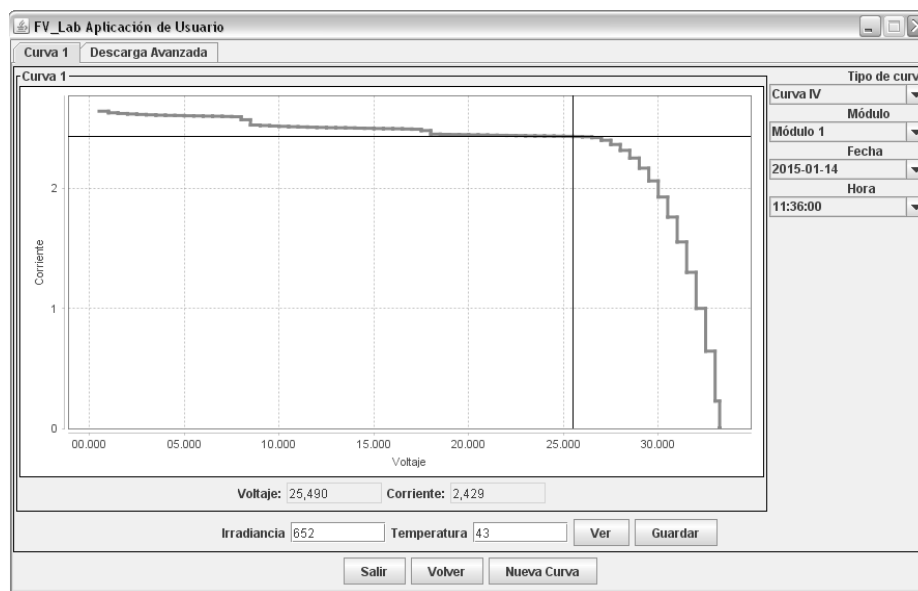


Figura 4. Ventana principal de la aplicación cliente, para un usuario con permisos de descarga.

Fuente: autoría propia.

de adquisición de datos meteorológicos que se presenta en (Benghanem, 2009), el costo aproximado sería de 1350 dólares. Por lo tanto, la herramienta propuesta cuyo desarrollo es presentado en este artículo cuenta con una ventaja en costos de reproducción ante sistemas de monitoreo similares considerando sistemas FV como el de la EIEE. Adicionalmente con poco esfuerzo adicional es posible adicionar más sensores de irradiancia y temperatura o implementar las mediciones de otras variables tales como tensión y corriente de los módulos fotovoltaicos y adicionarlas al sistema desarrollado.

FINANCIAMIENTO:

Universidad del Valle y Universidad Industrial de Santander

REFERENCIAS

- Acksen. (n.d.). Electrocarder Model: PV-3 datasheet. Retrieved August 28, 2015, from <http://www.electrocarder.com/Portals/0/product-datasheets/PV-3/PV-3-DS-En.pdf>
- Apogee Instruments. (2013). Pyranometers SP-100 series datasheet. Retrieved August 28, 2015, from <http://www.apogeeinstruments.co.uk/content/pyranometer-sensor-specs.pdf>
- AROS Solar Technology. (n.d.). PV module temperature sensor. Retrieved August 28, 2015, from <http://www.aros-solar.com/en/monitoring-systems/pv-module-temperature-sensor->
- Bastidas-Rodriguez, J. D., Ramos-Paja, C. A., & Franco-Mejía, E. (2012). Modeling and parameter calculation of photovoltaic fields in irregular weather conditions. *Ingeniería*, 17(1), 37–48.
- Benghanem, M. (2009). Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring. *Applied Energy*, 86(12), 2651–2660. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.026>
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2012). *Power electronics and control techniques for maximum energy harvesting in photovoltaic systems*. CRC Press. <http://doi.org/10.1201/b14303>
- National Instruments. (n.d.). USB-6000. Retrieved August 28, 2015, from <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211872>
- Rivai, A., & Rahim, N. A. (2013). A low-cost Photovoltaic (PV) array Monitoring System, 169–174.
- Rodriguez Diaz, R., Jutinico Alarcón, A. L., & Jimenez Moreno, R. (2013). Monitoring System for Global Solar Radiation , Temperature , Current and Power for a Photovoltaic System Interconnected with the Electricity Distribution Network in Bogota, 485–488.
- Spagnuolo, G., Bastidas-Rodriguez, J. D., Ramos-Paja, C. A., & Petrone, G. (2013). Photovoltaic modules diagnostic: an overview, 96–101.
- Spagnuolo, G., Franco, E., Bastidas-Rodriguez, J. D., Ramos-Paja, C. A., & Petrone, G. (2014). Maximum power point tracking architectures for photovoltaic systems in mismatching conditions: a review. *IET Power Electronics*, 7(6), 1396–1413. <http://doi.org/10.1049/iet-pel.2013.0406>

