



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA VERIFICAR LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Angélica María López Jaramillo, Claudia Liliana Montoya Vargas, María Camila Cardona, José Fernando Valencia Murillo, Édgar Antonio Giraldo Orozco

Universidad San Buenaventura
Cali, Colombia

Resumen

Ante la creciente demanda a nivel nacional de instalaciones de paneles fotovoltaicos como fuentes de energía alternativa, es necesario disponer de equipos que permitan verificar que dichos paneles cumplen los parámetros técnicos requeridos por las normas técnicas colombianas (NTC). En el presente proyecto se diseñó e implementó un sistema prototipo, siguiendo las recomendaciones de las NTC para determinar las características eléctricas y térmicas de un módulo fotovoltaico (NTC 2883), así como la evaluación de su eficiencia (NTC 4405). Para ello se construyó una "cámara solar" que contiene una fuente de luz artificial, el panel fotovoltaico y un sistema para variar la inclinación del panel. Esta cámara solar es controlada por un sistema electrónico embebido, el cual ajusta los niveles de iluminación, la corriente de carga y el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico, al tiempo que registra los niveles de voltaje, corriente y temperatura en el panel. Todo el proceso de verificación de los parámetros del panel es controlado y visualizado desde una interfaz gráfica implementada en LabView. Como resultado, se logró implementar un equipo prototipo que permitió obtener curvas de voltaje – corriente en los paneles fotovoltaicos, en función de la "irradiancia solar" incidente sobre la superficie del panel, así como mediciones de eficiencia, corriente de corto circuito, voltaje en circuito abierto, entre otras. Es de aclarar que actualmente no existe un equipo de este tipo a nivel productivo en el Sur-occidente colombiano.

Palabras clave: panel fotovoltaico; características eléctricas; sistema electrónico embebido

Abstract

The increasing demand of the installations of photovoltaic panel as alternative energy sources, is requiring to have equipment to verify that these panels comply with the technical parameters specified by the Colombian Technical Standards (NTC). In this work, a prototype system was designed and implemented, following the recommendations of the NTC, to determine the electrical and thermal characteristics of a photovoltaic module (NTC 2883), as well as the evaluation of its efficiency (NTC 4405). A "solar chamber" containing an artificial light source, the photovoltaic panel and a system for varying the inclination of the panel was constructed. This solar chamber is controlled by an embedded electronic system, which adjusts the lighting levels, load current and tilt angle of the photovoltaic panel, while recording voltage, current and temperature levels on the panel. The whole process of checking the panel parameters is controlled and visualized in a graphical interface implemented in LabView. As a result, it was possible to implement a prototype device that allows to obtain voltage - current curves for the photovoltaic panels, as a function of the "solar irradiance" incident on the panel surface, as well as measurements of efficiency, short circuit current, open circuit, among others. It must be mentioned that there is currently no such equipment at the productive level in the Colombian South-West.

Keywords: *photovoltaic panel; electrical characteristics; embedded electronic system*

1. Introducción

En la actualidad, el empleo de energía eléctrica a partir de carbón y el uso de combustible fósiles son dos de las cosas que más degradan el ambiente y contribuyen al calentamiento global con la deforestación masiva y la extracción de petróleo, siendo los países más contaminantes China, Estados Unidos y Brasil. Una alternativa para ayudar a reducir esta problemática es la utilización de energías renovables, siendo la fotovoltaica una de las más apetecidas en los últimos años. (Hecktheuer, *et. al.*,2002). Ante la creciente demanda de instalaciones de paneles fotovoltaicos como fuentes de energía alternativa, se hace necesario disponer de equipos que permitan verificar que dichos paneles cumplen los parámetros técnicos requeridos.

Pruebas, como las realizadas en el laboratorio fotovoltaico de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, demostraron que los paneles fotovoltaicos probados presentaban un desempeño que estaba por debajo de lo permitido por las normas. Por ejemplo, la potencia máxima medida solo alcanzó el 85% de la especificada por el fabricante, estando fuera del límite de +/-10% permitido por las normas (Hecktheuer, *et. al.*,2002).

En Colombia no se ha difundido mucho el uso de los paneles fotovoltaicos debido a la riqueza hídrica que tiene el país, pero con la aparición de fenómenos climáticos como el "niño" el gobierno ha decidido incentivar el uso de esta fuente de energía, aprovechando que Colombia está en una zona tropical donde la incidencia solar es alta. (Autónoma, 2015). Actualmente, en Colombia existen las normas técnicas colombianas

(NTC) 4405 y 2883 que regulan las pruebas que se debe realizar a este tipo de paneles (Álvarez, *et. al.*,2012).

Considerando que en la zona sur occidente de Colombia no existe un laboratorio certificado donde se pueda hacer la comprobación de los parámetros técnicos de los paneles fotovoltaicos, en el presente proyecto se diseña e implementa un sistema prototipo, siguiendo las recomendaciones de las NTC para determinar las características eléctricas y térmicas de un panel fotovoltaico (NTC 2883), así como la evaluación de su eficiencia (NTC 4405). (López, 2015).

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente proyecto se tuvo en cuenta las recomendaciones y especificaciones establecidas en las NTC 2883 y 4405. A partir de esta información, se construyó una “cámara solar” que contiene una fuente de luz artificial, el panel fotovoltaico y un sistema para variar la inclinación del panel. Esta cámara solar es controlada por un sistema electrónico embebido, el cual ajusta los niveles de iluminación, la corriente de carga y el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico, al tiempo que registra los niveles de voltaje, corriente y temperatura en el panel. Todo el proceso de verificación de los parámetros del panel es controlado y visualizado desde una interfaz gráfica implementada en LabView.

2.1. Norma técnica colombiana 2883

Establece una secuencia de ensayos para determinar las características eléctricas y térmicas del panel fotovoltaico y demostrar, en la medida de lo posible con razonables costos económicos y de tiempo, que el panel es capaz de soportar la exposición prolongada en los climas descritos en el campo de aplicación. La esperanza de vida real de los módulos calificados de este modo dependerá de su diseño, del medio ambiente y de las condiciones en las que opere. Se aplica únicamente a paneles de silicio cristalino.

Entre otras cosas, la norma señala que todos los paneles, incluyendo el control, se deben exponer a la luz solar (real o simulada) a un nivel de radiación de $5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ hasta $5,5\text{ kW h}\cdot\text{m}^{-2}$ con el circuito abierto. Los paneles deben dividirse en grupos y ser sometidos a la secuencia de ensayos, llevados a cabo en el orden establecido. Cuando se efectúan los ensayos, la persona que los realice debe cumplir estrictamente las instrucciones de manipulación, montaje y conexión indicadas por el fabricante. (ICONTEC, 2006)

2.2. Norma técnica colombiana 4405

Esta norma presenta una metodología para la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, reguladores y acumuladores, la cual cubre desde etapa de paneles o módulos, etapa de regulación y etapa de acumulación. La norma explica

detalladamente la ejecución del ensayo para realizar la evaluación de la eficiencia de los paneles solares o módulos fotovoltaicos.

Para plasmar el conjunto de resultados, la NTC 4405 propone realizar la Tabla 1:

Tabla 1. Resultados de ensayos en paneles fotovoltaicos según la NTC 4405

G(W/m ²)	θi	Im	Vm	Isc	Voc	G _A cos θi	F _F	η
800	0							
1000	0							
1000	30							
1000	60							

Siendo G la irradiancia, θi el ángulo de inclinación, Im la corriente máxima, Vm el voltaje máximo, Isc la corriente corto circuito, Voc el voltaje circuito abierto, G_A cos θi la irradiación solar incidente, F_F el factor de llenado y η la eficiencia total del sistema. El factor de llenado y la eficiencia total del sistema se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones (ICONTEC, 1998):

$$F_F = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}} \text{ ecuación 1}$$

$$\eta = F_F \frac{I_{sc} * V_{oc}}{G_A * \cos \theta} \text{ ecuación 2}$$

2.3. Elementos del prototipo del sistema electrónico

A continuación, se relacionan los principales elementos que se tuvieron en cuenta para la implementación del prototipo del sistema electrónico que permite realizar las pruebas de potencia máxima y de eficiencia del panel fotovoltaico, siguiendo lo establecido por las normas técnicas colombianas 4405 y 2883. Estos elementos son:

Lámpara halógena: Se selecciona una lámpara de 500 W para simular la irradiación del sol dentro del laboratorio.

Piranómetro: Se utiliza la referencia Dr Meter SM-206 para verificar que la irradiación de la lámpara alcance los 1000W/m² exigida por las normas técnicas 4405 y 2883.

Sensor de temperatura: se usa un sensor Im35 para verificar que la temperatura del panel no sea mayor a 50°C.

Sensor de Corriente: se mide de forma indirecta por medio de la ley de Ohm, a través del voltaje medido sobre una resistencia de 1 ohm.

Banco de resistencias: se diseña un banco de diferentes valores de resistencias para simular la carga que maneja el panel fotovoltaico. Esto permite obtener la curva I-V, a través de la cual se calculan los valores de potencia máxima y la eficiencia del panel.

Control y Comunicación: para la adquisición, procesamiento y comunicación de los datos adquiridos por el prototipo, se escoge un sistema embebido Arduino mega 2560, el cual se comunica con una interfaz gráfica diseñada en el programa LabView. La interfaz gráfica permite mostrar al usuario la curva I-V y otros datos que se están adquiriendo durante las pruebas del panel.

Panel fotovoltaico utilizado para las pruebas: Para la realización de pruebas se utiliza un panel fotovoltaico poli cristalino con potencia nominal de 20W, un voltaje de funcionamiento de 17.65V, Corriente de trabajo hasta 1.17A, Voltaje de circuito abierto de 21.08V, Corriente de Corto Circuito de 1.3A y con una eficiencia del 22%.

3. Desarrollo del proyecto.

3.1. Circuitos de acondicionamiento

Para la medición del voltaje generado por el panel fotovoltaico, y debido a que los pines análogos del Arduino mega 2560 están limitados a una entrada máximo de 5 voltios, fue necesario diseñar un circuito acondicionador de voltaje, el cual se implementó con un amplificador operacional, tal como se muestra en la Figura 1. (Arduino, 2016).

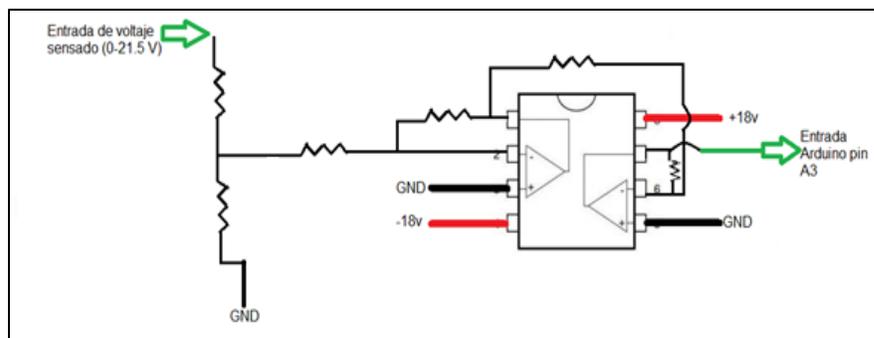


Figura 1. Acondicionador de voltaje del panel para realizar la curva I-V

Igualmente, para poder hacer la selección de la carga del panel fotovoltaico (banco de resistencias de potencia), y debido a que se utilizan potencias mayores a las permitidas por el Arduino mega 2560, se diseña un sistema de relés que separa la parte de potencia de la parte de control. La activación de los relés se realiza por medio de un decodificador de 5 a 32 (ver Figura 2).

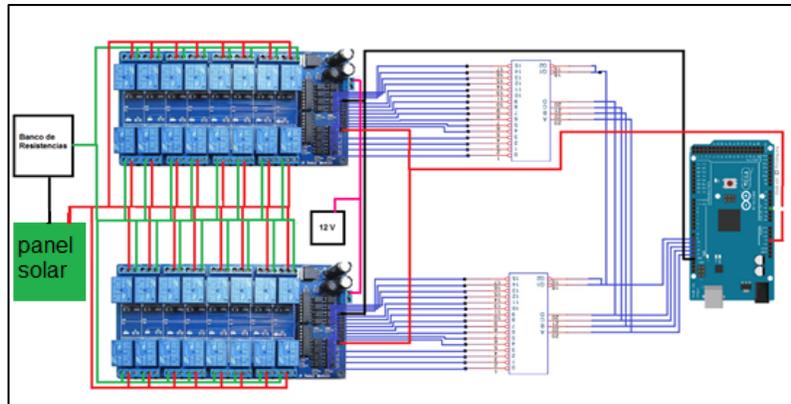


Figura 2. Sistema de Relés con conexión a decodificadores 5 a 32.

3.2. Interfaz gráfica

Para la comunicación entre el sistema Arduino mega 2560 y la interfaz gráfica desarrollada en LabView, se utiliza la librería de LabView for Arduino (LIFA). Desde la interfaz gráfica se logra realizar el control del sistema de relés, además de la configuración del Arduino mega 2560 y el procesamiento de los datos de voltaje y corriente que se están adquiriendo, con los cuales se realiza la gráfica de I-V. En la Figura 3 se presenta la interfaz gráfica del usuario. (National Instruments, 2012), (Torres, *et. al.*, 2014).



Figura 3. Interfaz gráfica de usuario.

3.3. Implementación final del prototipo

Finalmente, se construyó una cámara solar para realizar las pruebas del panel fotovoltaico con el sistema de inclinación incluido, y con un espacio para colocar el sistema de control. En la Figura 4 se observan las tarjetas que conforman el banco de resistencias a los lados, el sistema de comunicación con el Arduino mega 2560 en la parte inferior derecha, y en el centro el sistema de relés.

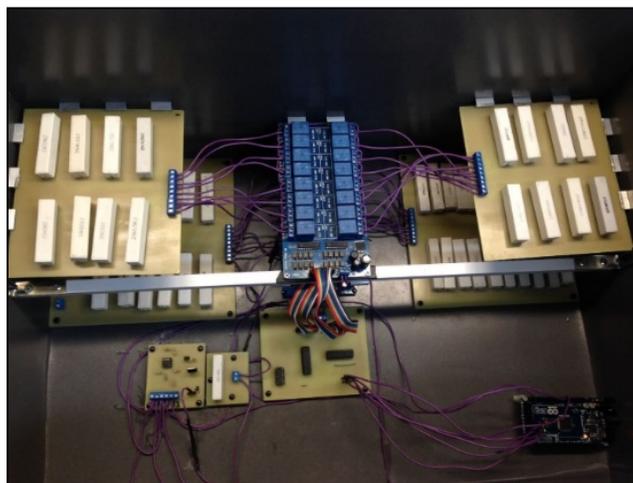


Figura 4. Sistema de control y adquisición de datos del sistema

En la Figura 5 se puede evidenciar el prototipo implementado para darle radiación solar al panel y que permite lograr la variación de su ángulo de inclinación (ángulos de 0° , 30° y 60°), requeridos por la norma NTC 4405 en la realización del laboratorio.

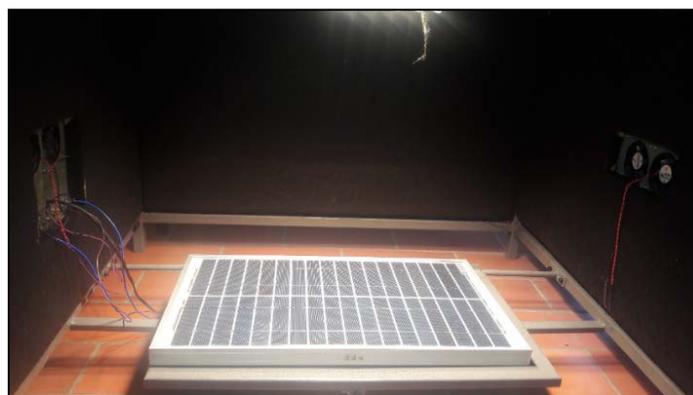


Figura 5. Cámara de pruebas.

4. Pruebas realizadas con el prototipo

4.1. Prueba 1: panel fotovoltaico fuera de la cámara de pruebas

Inicialmente se realizó una prueba con el panel fotovoltaico fuera de la cámara de pruebas con el objetivo de verificar el funcionamiento del sistema electrónico de control y la comunicación con la interfaz gráfica de usuario. Además, esta prueba permite comparar si la utilización posterior de la cámara de pruebas producirá una mejora en el desempeño de las mediciones realizadas. La Tabla 2 contiene los datos registrado en la Prueba 1, mientras que la Figura 6 muestra la correspondiente gráfica I-V.

Tabla 2. Parámetros técnicos medidos sobre un panel fotovoltaico fuera de la cámara de pruebas (según norma NTC 4405)

$G(W/m^2)$	θ_i	I_m	V_m	I_{sc}	V_{oc}	$G_A \cos \theta_i$	F_F	η
1153.11	0	0.240	14.437	0.284	18.230	1153.110	0.669	0.003
1153.11	30	0.186	15.536	0.235	17.893	998.623	0.687	0.003
1153.11	60	0.127	13.740	0.294	17.108	576.555	0.348	0.003

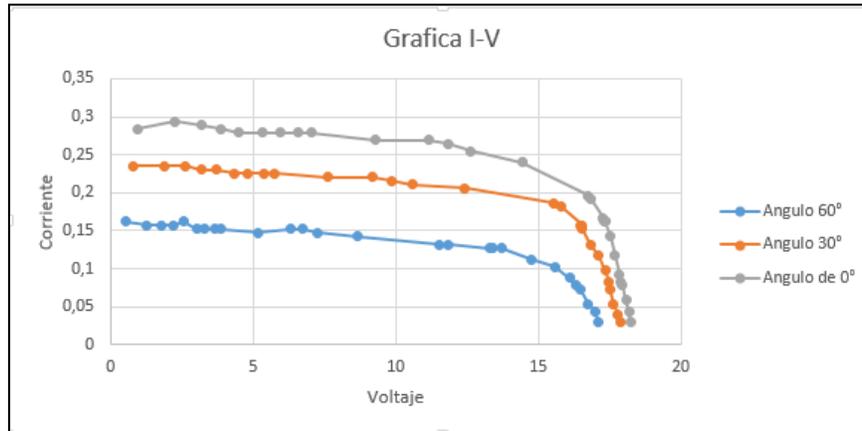


Figura 6. Curva I-V para la Prueba 1 a diferentes ángulos de inclinación

En las gráficas I-V (Figura 6) se observa que a medida que se incrementa el ángulo de inclinación del panel, disminuye la capacidad que este tiene de manejar cargas o corrientes mayores. De la Tabla 2 se observa que para un ángulo de inclinación de 30° y 60°, se obtiene una disminución en la irradiación incidente del 13% y del 50%, respectivamente, respecto a la prueba que se realizó con un ángulo de 0°. Para estos mismos casos, la disminución en la corriente fue del 22% y del 47%, respectivamente, en relación con la corriente medida con un ángulo de 0°.

4.2. Prueba 2: panel fotovoltaico dentro de la cámara de pruebas

La segunda prueba se realiza colocando el panel fotovoltaico dentro de la cámara de pruebas del prototipo (Figura 5). Con esta prueba se desea comprobar si el diseño de la cámara de pruebas produce una mejora en el desempeño de las mediciones realizadas, considerando que además de contar con 4 ventiladores los cuales ayudan con la circulación de aire dentro de la caja, esta tiene un revestimiento interior con ductoglass para mejorar el aislamiento térmico. Así mismo, la cámara de pruebas evita que exista una incidencia de luz del exterior que pueda llegar a alterar las mediciones sobre el panel. La Tabla 3 contiene los datos registrado en la Prueba 2, mientras que la Figura 7 muestra la correspondiente gráfica I-V.

Tabla 3. Parámetros técnicos medidos sobre un panel fotovoltaico dentro de la cámara de pruebas (según norma NTC 4405)

$G(W/m^2)$	θ_i	I_m	V_m	I_{sc}	V_{oc}	$G_A \cos \theta_i$	F_F	η
1072	0	0.279	13.988	0.323	18.904	1072.000	0.639	0.004

1072	30	0.230	13.673	0.235	18.858	928.379	0.710	0.003
1072	60	0.069	8.082	0.294	16.771	536.000	0.112	0.001

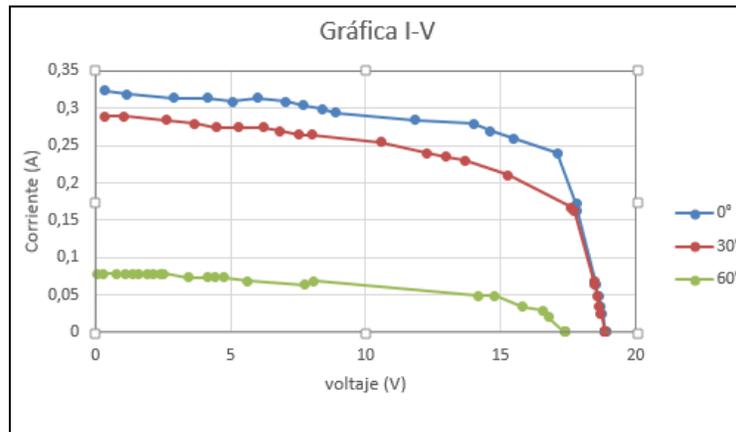


Figura 7. Curva I-V para la Prueba 2 a diferentes ángulos de inclinación.

La tendencia de las curvas I-V mostradas en la Figura 7 es similar a la presentada por las curvas I-V de la Figura 6. Es decir, a medida que se incrementa el ángulo de inclinación del panel, disminuye la capacidad que este tiene de manejar cargas o corrientes mayores. Sin embargo, para la Prueba 2 se observa una mayor variación en la capacidad de corriente del panel para un ángulo de inclinación de 60°, en relación con los datos de la Prueba 1. De la Tabla 3 se observa que para un ángulo de inclinación de 30° y 60°, la disminución en la corriente fue del 18% y del 75%, respectivamente, en relación con la corriente medida con un ángulo de 0°.

5. Discusión y Conclusiones

Al comparar los resultados obtenidos cuando el panel fotovoltaico está dentro de la cámara de pruebas (Prueba 2) en relación con los obtenidos cuando el panel está fuera de la cámara (Prueba 1), se observa una gran diferencia especialmente cuando el ángulo de inclinación es de 60°. La disminución de la corriente alcanza un porcentaje del 75% cuando el panel está dentro de la cámara y del 47% cuando está fuera de la cámara. Estos resultados sugieren que para el caso de la Prueba 1 (panel fuera de la cámara) existen otras fuentes de luz externa que están incidiendo sobre la superficie del panel, haciendo que este puede generar más corriente a pesar del aumento en el ángulo de inclinación.

Según los resultados obtenidos en la Prueba 1 y Prueba 2 de este trabajo, se puede concluir que, para el panel fotovoltaico utilizado en los ensayos, la corriente máxima, el voltaje máximo, la potencia máxima y la eficiencia no llega a los valores especificados por el fabricante. Una posible explicación para esta situación es el hecho de que el panel utilizado en las pruebas no ha tenido un manejo ni almacenamiento adecuado, además de que es un panel que ya tiene varios años de fabricado.

Finalmente, indicar que se logró diseñar e implementar un prototipo funcional de un sistema electrónico que permite medir parámetros técnicos en paneles fotovoltaicos. El sistema electrónico permite realizar pruebas con diferentes ángulos, simulando de esta manera el movimiento del sol durante el transcurso del día. De esta manera es posible hacer una predicción de cuál podría ser el funcionamiento del panel en condiciones reales de funcionamiento. El prototipo implementado se puede modificar para la realización de otras pruebas incluidas en la norma NTC 2883, tales como aquellas que incluyen las condiciones atmosféricas, el comportamiento a alta irradiación y los ciclos térmicos. Esto se podría trabajar como parte de otros trabajos de grado.

6. Referencias

- Álvarez, C. A., & Alzate, F. J. (9 de noviembre de 2012). *Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*. Medellín: Unidad de Inteligencia Estrategia Tecnológica- CIDET. Consultado el 7 de Abril de 2015, de [file:///C:/Users/angelica/Downloads/normatividad_sobre_energia_solar_termica_y_fotovoltaica%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/angelica/Downloads/normatividad_sobre_energia_solar_termica_y_fotovoltaica%20(2).pdf).
- Arduino. (2016). *Arduino.cc*. Obtenido de Arduino.cc: <https://www.arduino.cc/en/Main/ContactUs>
- Hecktheuer, L. A., Krenzinger, A., & Prieb, C. W. (1 de marzo de 2002). Methodology for Photovoltaic Modules Characterization and Shading Effects Analysis. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 24(1), 26-32. Consultado el 7 de Abril de 2015, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-73862002000100004.
- ICONTEC. (1998). *Norma técnica colombiana 4405. eficiencia energética. evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes*. Bogotá: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación.
- ICONTEC. (2006). *Norma Técnica Colombiana 2883. Módulos Fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo*. Bogotá: Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación.
- López Castrillon, Y. U. (22 de mayo de 2015). Conocimientos básicos acerca de laboratorios fotovoltaicos. (C. L. Montoya Vargas, Entrevistador).
- National Instruments (11 de febrero de 2012). ¿Cómo instalo la interfaz de LabView para el Toolkit de Arduino Utilizando VIPM?. Consultado el 12 de Noviembre de 2016, de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/4A4E44DA1DD933978625799D007D2DD7>.
- Torres, C. A., & Bolaños, J. M. (2014). *Sistema embebido para la comunicación entre un PC y una cámara para el cultivo de especies vegetales con instrumentación electrónica*. Universidad San Buenaventura. Consultado el 10 de Diciembre de 2016, de http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2445/1/Sistema_Embebido_Comunicacion_Camara_Vegetales_electronica_Millan_2014.pdf.

Sobre los autores

- **Angélica María López Jaramillo:** estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. angelicalj3@gmail.com.
- **Claudia Liliana Montoya Vargas:** estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. lili-montovar@hotmail.com.
- **María Camila Cardona:** estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. mc.cardona94@gmail.com.
- **José Fernando Valencia Murillo:** Ingeniero Electricista, Doctor en Ingeniería Biomédica. Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. Profesor Titular. jfvalenc@usbcali.edu.co.
- **Édgar Antonio Giraldo Orozco:** Ingeniero Electrónico, Master en Ingeniería Electrónica. Universidad de San Buenaventura, Cali, Colombia. Profesor Hora Cátedra. eagirald@usbcali.edu.co.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2017 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)