

Calibración de piranómetros Eppley por comparación

/ Calibration by comparison Eppley pyranometers

Silvio Alejandro Jiménez Castellanos¹, Néstor Gabriel Navas Granados²

¹ MsC. Ingeniero mecánico, Docente de ingeniería mecánica, Institución Universitaria Los Libertadores. Bogotá-Colombia. sajimenezc@libertadores.edu.co

²D.E.A. en física aplicada, Docente investigador, Universidad Autónoma de Colombia. Bogotá-Colombia nnavas72@yahoo.es

Página
107

ESING

Fecha de recepción: 15/08/2014

Fecha de aceptación: 20/10/2014

Resumen

En este artículo se describe la metodología de calibración de dos piranómetros Eppley utilizados en la medición de la radiación solar de acuerdo a las normas establecidas por la Organización Mundial de Meteorología. El método de ensayo empleado fue el de comparación con un piranómetro patrón; el registro automático se llevó a cabo mediante un datalogger CR1000, los valores de las constantes de calibración obtenidas presentan un error porcentual del 0.16% y 0,12% con respecto a los valores e fabrica.

Palabras clave

Calibración, radiómetros, sistema de adquisición de datos.

Abstract

This article describes the calibration methodology of two Eppley pyranometers used to measure solar radiation in accordance with set

standards established by the World Meteorological Organization. The test method used was in comparison with a standard pyranometer; automatic registration was performed using a CR1000 datalogger, the values of the calibration constants obtained have a percentage error of 0.16% and 0.12% compared to the values of the manufactures.

Keywords

Calibration, radiometers, data acquisition system.

Introducción

El uso del recurso solar en las diferentes actividades del hombre conlleva a un conocimiento pleno del comportamiento de la luz solar sobre una determinada localidad; para estimar la intensidad de radiación solar existen principalmente dos metodologías de medición:

Métodos computacionales: se basan en la medición de la radiación solar a través de la

atmósfera, considerando que está constituida por 32 capas, asociando unos coeficientes de absorción y transmisión para cada uno de los componentes atmosféricos, estos son medidos por satélites y/o estaciones terrestres.

Métodos empíricos: basados en las mediciones directas registradas por radiómetros, se construyen relaciones entre la radiación solar y otras variables climatológicas fácilmente medibles, como: el brillo solar, pluviosidad, humedad relativa entre otras [1].

Por otra parte, la calibración en forma periódica de los instrumentos de medición es fundamental para la toma de registros fiables que permitan un mejor modelado del comportamiento de la radiación solar, para ser utilizadas en diversos campos de aplicación. Uno de los principales instrumentos de medición de la radiación solar global es el piranómetro.

La Organización Mundial de Meteorología (OMM), presenta varias metodologías para calibrar un piranómetro usando como fuente el sol o recursos de laboratorio [2].

Los métodos avalados por la OMM, son:

- a) Por comparación con un pirheliómetro patrón para la irradiación solar directa y un piranómetro sombreado para la irradiación difusa.
- b) Por comparación con un pirheliómetro patrón, utilizando el sol como fuente, con un disco de sombreado removible para el piranómetro.
- c) Por comparación con un piranómetro patrón, utilizando el sol como fuente, o bajo otras condiciones naturales de exposición (por ejemplo, un cielo nublado uniforme).
- d) En el laboratorio, sobre un banco óptico con una fuente artificial bien con incidencia normal o con cierto azimut y altura especificados, por comparación con un piranómetro similar previamente calibrado al aire libre.
- e) En el laboratorio, con la ayuda de una cámara de integración que simule la irradiación difusa, por comparación

con un tipo similar de piranómetro previamente calibrado al aire libre. Es necesario especificar bajo qué condiciones ambientales se ha efectuado la prueba de calibración y qué método se ha utilizado.

Cabe anotar que en el método de comparación existen diferentes formas de medir como el método de Hotel [3], que basa su medición en días despejados para la calibración de los radiómetros.

Metodología

El método de ensayo utilizado para la calibración de piranómetros fue el de comparación con un piranómetro patrón.

Este método se coloca al ambiente un radiómetro patrón de constante K_r y el radiómetro a calibrar de constante K ; de tal forma que cumplan la relación: $K = R * K_r$

Como se puede observar en la expresión anterior, se establece una relación directa entre las constantes de calibración (factor R).

Otro aspecto importante del ensayo fue la toma de los datos en forma automática mediante el sistema de adquisición de datos CR 1000 Campbell, que permitió el registro simultáneo de las señales entregadas por los radiómetros y las variables de temperatura ambiente y velocidad del viento.

Los valores obtenidos de la temperatura ambiente y la velocidad del viento estuvieron dentro de los límites permitidos por la O.M.M; en este sentido, esta organización define radiación global como *“la radiación solar en el intervalo espectral de 0.3 a 3 μ m recibida sobre una superficie plana horizontal desde un ángulo sólido de 2 π sr”* [2].

Los valores de radiación solar global fueron medidos en (Kw/m^2). Todas estas variables se registraron durante trece días en forma continua en intervalos de un minuto.

Es importante aclarar que el método de comparación generalmente se realiza en forma manual, es decir, se toman valores de radiación cada 5 o 10 minutos en forma simultánea empleando voltímetros; esta forma de medir obliga varias horas realizando el ensayo.

Método de ensayo

La figura 1, presenta esquemáticamente el montaje experimental empleado; en él se tiene un sistema de adquisición de datos datalogger CR 1000 Campbell alimentado por un panel solar fotovoltaico de 50 vatios a 12 voltios, un regulador de carga en serie de 60 amperios, una batería de plomo-ácido de capacidad de 100 Ah.

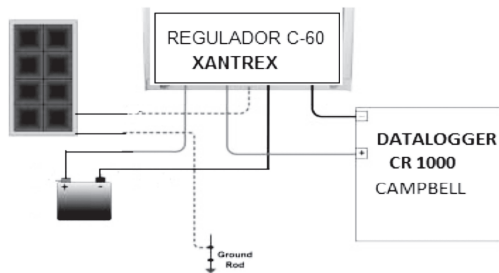


Figura 1. Montaje experimental.

El ensayo realizado contó con tres piranómetros Eppley, uno patrón y dos a determinar su constante de calibración, una termocupla tipo K, un anemómetro, el software PC200W 4.1 y el programa ShortCut necesarios en la programación del sistema de adquisición de datos.

El software PCW200 sirve para configurar el datalogger estableciendo la comunicación entre este y el PC; este trae incorporado el programa ShortCut [4], con el cual se configuran los instrumentos que se instalan al sistema, dejando la misma constante de calibración K_r del radiómetro patrón para los radiómetros bajo ensayo.

Cabe anotar que los tres radiómetros se colocaron a la misma altura, libre de obstáculos, nivelados. La temperatura sirve de referencia para determinar el intervalo normal de desempeño de los sensores.

Los datos se descargaron a través del puerto RS-232 a un PC, los archivos descargados se convierten a formato Excel.

Resultados

Al revisar los datos registrados en tiempo real se observan diferencias en los valores de radiación obtenidos por la diferencias en las constantes de calibración de cada instrumento.

Con el total de valores registrados se realizó un filtrado, eliminando valores con base en los siguientes criterios: a) falta de algún valor en la terna, b) No aparecía valores registrados (horas nocturnas) o c) el cociente entre los valores de radiación con respecto al valor del patrón presentaba un valor atípico al de los demás cocientes.

Aunque el datalogger registra cada 5 segundos, se le programo con ShortCut para que promedie los valores medidos y presente el valor promedio cada minutos [5].

Con el valor de la media y desviación estándar del conjunto de datos, se establece el intervalo $I = \text{valor medio} \pm \text{desviación estándar}$, se eliminan los valores que están por fuera del intervalo.

Se calcula nuevamente los parámetros estadísticos: mediana, media, desviación estándar y la varianza al nuevo conjunto de datos.

Una vez se tiene el conjunto de datos filtrado, mediante la desviación estándar se realiza el cociente entre el valor del piranómetro de prueba y el valor del piranómetro patrón. Este valor se multiplica por la constante del piranómetro patrón, el resultado representa el valor de la constante de calibración para el piranómetro, los valores se presentan en la tabla 1.

Las constantes de fábrica de los piranómetros para el ensayo y la del piranómetro del patrón [4], se presentan a continuación:

$$C_{\text{etiquetado 1}} = 8,87 \cdot 10^{-6} \text{ V/w/m}^2$$

$$C_{\text{etiquetado 2}} = 8,19 \cdot 10^{-6} \text{ V/w/m}^2$$

$$C_{\text{patrón 3}} = 8,19 \cdot 10^{-6} \text{ V/w/m}^2$$

En la tabla 1, se presentan los valores de los parámetros estadísticos mediana, media, desviación estándar y varianza obtenidos de los valores de los piranómetros C_1 y C_2 .

Tabla 1. Mediana, media, desviación estándar y varianza para los piranómetros.

Parámetros estadísticos	C_1 (V/w/m ²)	C_2 (V/w/m ²)
Mediana	8.884 E-06	8.209 E-06
Media	8.884 E-06	8.203 E-06
Desviación Estándar	5.13 E-08	3.960 E-08
Varianza	2.633 E-15	1.568 E-15

Análisis de regresión lineal

Mediante un análisis de regresión lineal entre las medidas registradas por los piranómetros se establece la relación entre el valor medido por el patrón (variable independiente) y el valor registrado del piranómetro bajo estudio (variable dependiente).

Las figuras 2 y 3 presentan las curvas para cada caso.

La ecuación obtenida por análisis de regresión con su correspondiente coeficiente de correlación para cada caso fue:

$$R_1 = 1.0848 R_k \quad R^2 = 0.999$$

$$R_2 = 1.0013 R_k \quad R^2 = 0.999$$

Donde:

R_1 : valor de la radiación del piranómetro C_1 en Kw/m²

R_2 : valor de la radiación del piranómetro C_2 en Kw/m²

R_k : valor de la radiación del piranómetro patrón en Kw/m²

Las constantes de los radiómetros se obtienen multiplicando la pendiente de cada recta por el valor de la constante del piranómetro patrón. [6]

$$C_1 = (1.0848) \cdot (8.19 \text{ E-6 V/w/m}^2)$$

$$C_1 = 8.884 \text{ E-6 V/w/m}^2$$

$$C_2 = (1.0013) \cdot (8.19 \text{ E-6 V/w/m}^2)$$

$$C_2 = 8.200 \text{ E-6 V/w/m}^2$$

Al comparar el valor de las constantes de calibración con relación al valor de fábrica se obtiene una desviación porcentual para cada caso:

$$E_1 = 0.16\%$$

$$E_2 = 0.12\%$$

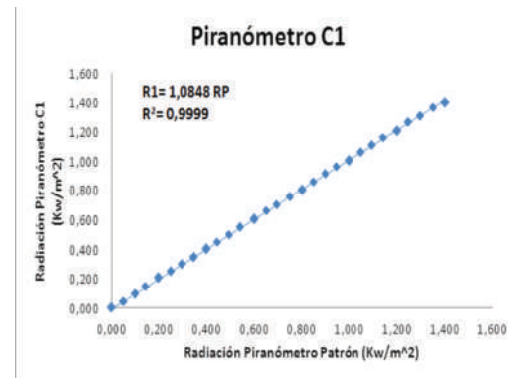


Figura 2. Valores de radiación piranómetro C1 en función de la radiación medida por piranómetro patrón.

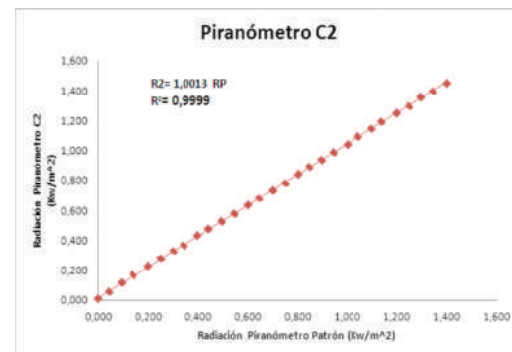


Figura 3. Valores de radiación piranómetro C2 en función de la radiación medida por piranómetro patrón.

Conclusiones

El método de calibración de los piranómetros por comparación con un piranómetro patrón utilizando un sistema de adquisición de datos facilita el registro de los datos en forma simultánea permitiendo una mayor confiabilidad con respecto a este mismo método utilizado en forma manual.

El método de calibración por comparación es relativamente más sencillo con relación con los empleados por los demás métodos la WMO. En cuanto a los valores obtenidos de las constantes de calibración para cada piranómetros fue:

$$C_1 = 8.884 \cdot 10^{-6} \text{ V/w/m}^2 \pm 0.16\%$$

$$C_2 = 8.200 \cdot 10^{-6} \text{ V/w/m}^2 \pm 0.12\%$$

Esto indica el buen estado de los piranómetros bajo estudio y el nivel de precisión de los instrumentos utilizados.

Referencias

- [1] Navas, N. *Energías Renovables*. Editorial Javergraf. 2008.
- [2] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO-No. 8. World Meteorological Organization, 2008.
- [3] H. Hottel, "A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres". *Solar Energy*, vol.18, no. 129. 1976.
- [4] Campbell Scientific Incorporation, "Measurement and Control datalogger CR1000". *Campbell, Rev.*, vol. 7, no. 11. USA: CSI. 2010.
- [5] Campbell Scientific Incorporation, "Operator's Manual CR 1000" *Campbell Rev.*, vol. 7, no. 11. USA: CSI. 2010 a.
- [6] The Eppley Laboratory Incorporation Precision Spectral Pyranometer, model PSP: Certificado de Estandarización del piranómetro Eppley Model PSP Serial 35137F3. Enero 3 de 2008.