

## **VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO BASADO EN COMPUTADORA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN IQUITOS**

Arturo Díaz\*, Manuel Velásquez y Carlos Araujo

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Av. Freyre 616, Iquitos, Perú,

\*e-mail: arturodiaz37@yahoo.es

### **RESUMEN**

El presente estudio describe el desarrollo de un sistema automático basado en computadora para la monitorización de la irradiación solar. El objetivo principal fue complementar con esta monitorización un sistema integral para la vigilancia de la calidad del aire en la ciudad de Iquitos. Para lo cual se sistematizó un software elaborado para la adquisición, análisis y presentación de datos de modo numérico y gráfico, un módulo de amplificación y filtro RC para el tratamiento de las señales eléctricas y un solarímetro blanco y negro para registrar el fenómeno físico de la irradiación solar. La metodología consistió en elaborar cada parte del sistema, evaluar por separado cada componente, así como el sistema, validar y determinar su confiabilidad. Realizamos el procedimiento habitual para la medición de la irradiación solar, el cual, se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Investigación de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

**Palabras clave:** Sensor solar, software aplicativo, monitoreo, irradiación solar

## **VALIDATION AND CONFIABILITY OF COMPUTER-BASED SYSTEM FOR AUTOMATIC MONITORING OF SOLAR RADIATION IN IQUITOS**

### **ABSTRACT**

The present study describes a computer-based automatic system for monitoring solar radiation. The main objective was to complement the development of an integrated system for monitoring air quality in Iquitos city. In order to achieve our goals, we systematized software developed for data acquisition, analysis and numerical and graphical presentation mode; also an amplifier module and RC filter for the treatment of electrical signals and black and white solarimeters to record the phenomenon physical solar radiation. We develop each part of the system, evaluate each component separately of the system, validate and determine its confiability. We perform the standard procedure for measuring solar radiation, which was carried out in the facilities of the Research Institute of the University of the Peruvian Amazon.

**Keywords:** Solar sensor, software application, monitoring, solar irradiation

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un País de topografía muy variada, de gran diversidad climática y condiciones excepcionales que le confieren un elevado potencial de energías renovables. Para hacer posible el diseño de políticas e incentivar el uso de las energías limpias que promuevan el desarrollo especialmente en zonas rurales, es necesario cuantificar esta disponibilidad, así como, su distribución temporal en el territorio peruano.

La atmósfera es un Sistema dinámico en el que tiene lugar, diferentes reacciones químicas diurnas y nocturnas de los componentes emitidos por las actividades humanas. Muchos de los componentes químicos primarios emitidos como: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), óxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) que sufren reacciones de transformación en presencia de la luz solar, dando origen a los llamados contaminantes secundarios, entre los que se destaca el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y el Ozono (O<sub>3</sub>) (CEPIS, 2003).

Williams et al. (2005) en su libro del tiempo, habla sobre la estabilidad de la atmósfera y señala que se encuentra relacionada con la irradiación solar (característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire). Los datos sobre la cobertura y la altitud de las nubes proporcionan una estimación indirecta de los efectos de la irradiación solar y junto con la velocidad del viento deriva una categoría de estabilidad atmosférica.

De acuerdo a Wallace et al. (1977) la transparencia de la atmósfera tiene una relación importante con la cantidad de irradiación que llega a la superficie terrestre. Los diferentes compuestos atmosféricos absorben o reflejan energía de diferentes maneras y en cantidades variadas, debido a ciertos factores como: factor geográfico (latitud y altitud), factor orográfico (formas de las montañas) y el factor meteorológico (clase y cantidad de nubes presentes durante todo el día)

Así mismo, la medición de irradiación térmica es básicamente una medición de flujo de energía irradiante. La detección de este flujo de energía puede llevarse a cabo por medio de la medición de la temperatura de una tira de metal delgada que se exponga a la irradiación. La tira generalmente se ennegrece para que absorba la mayor parte de la irradiación incidente y se construye lo más delgada posible para minimizar su inercia térmica, por lo tanto, se consigue las mejores características de repuestas transitoria. Se puede observar que la temperatura que alcanza el elemento no es solamente función de la energía irradiante que absorbe, sino que también depende de las pérdidas por convección al medio ambiente y por conducción a los soportes. Las pérdidas por convección se pueden reducir encerrando el detector en un sistema al vacío y que lo aísla de las corrientes de aire. Las pérdidas por conducción se pueden reducir utilizando materiales aislantes adecuados (Bolzi et al., 2000).

Para detectar la temperatura del elemento sensor de radiación, se pueden utilizar ya sea termopares o bien termopilas. Las termopilas ofrecen la ventaja de que producen una salida de mayor voltaje. Para la construcción de tales termopilas, se ennegrecen materiales metálicos sobre mica que sirve como aislante térmico y eléctrico. La termopila registra la diferencia entre la temperatura de las juntas calientes y la del medio ambiente que rodea al detector.

Los instrumentos de medición más usados en la medición de la irradiación solar son el piranómetro y el radiómetro neto, que miden la Radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales que se usaron fueron: una computadora laptop marca hp compact con procesador AMD Turion 64x2, de 1,60 GHz, 1 GB memoria RAM, ranura PCMCIA, en soporte Windows 98, un software de programación gráfica de LabVIEW 6i, una tarjeta de adquisición de datos E Series Multifunción AI 16XE-50, cables de entrada y salida y un solarímetro de precisión Eppley modelo PSP.

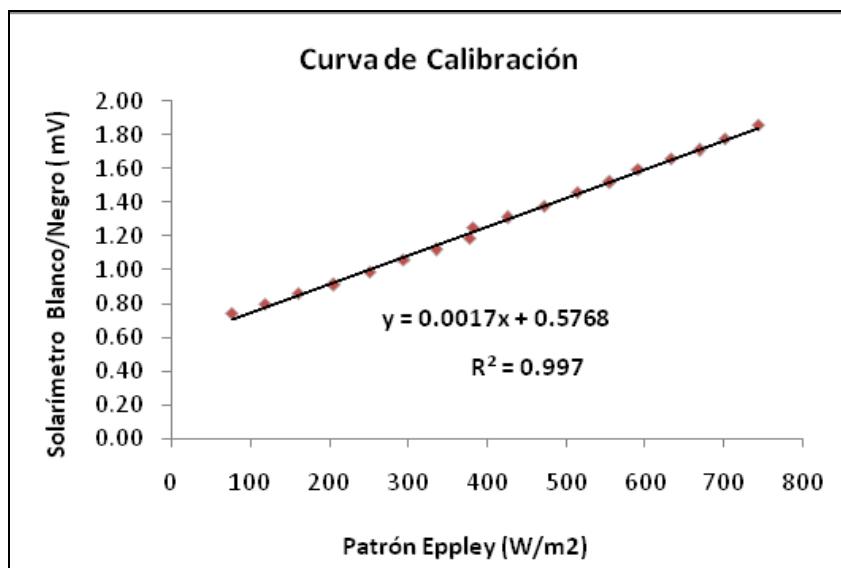
La metodología empleada para el desarrollo del sistema fue, el diseño, la construcción y evaluación del solarímetro en blanco y negro, luego el procesador de señales, la elaboración del software aplicativo para la monitorización de la irradiación solar en soporte de LabVIEW 6i basado en las experiencias de Díaz et al. (2001) y la integración de los componentes. Posteriormente se calibro el sistema en su conjunto y se evaluó.

Para obtener la constante media de calibración del solarímetro blanco y negro, se calcularon las integrales diarias registradas con ambos solarímetros y se correlacionó linealmente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento de medición de la irradiación solar fue tomado de Vera et al. (2005) y Torres et al. (1982). Se registraron lecturas simultáneas del piranómetro de precisión Eppley modelo PSP como patrón y el solarímetro blanco y negro fabricado por cada 15 minutos.

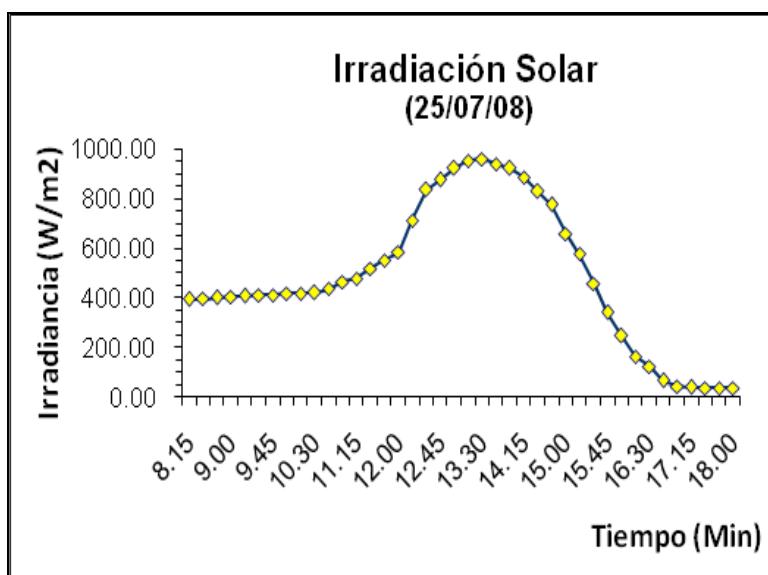
La experiencia se realizó durante los días del mes de Julio y agosto del 2008, con una irradiación global media diaria de 416.83 W/m<sup>2</sup>. El valor encontrado se encuentra muy cercano al valor que encontró Benites et al. (1986) en la estimación numérica mediante modelos matemáticos de la irradiación solar en la Ciudad de Iquitos.



**Figura 1.** Determinación de la constante diaria de calibración

En la figura 1, se observa el valor más probable de la constante del solarímetro, dado por el valor de la pendiente de la recta mejor ajustada entre el voltaje de salida del solarímetro blanco y negro versus la irradiancia solar del piranómetro Eppley. El valor fue determinado, por el método de los mínimos cuadrados encontrándose  $1.70 \times 10^{-3}$  mV/Wm<sup>-2</sup>, con un coeficiente de regresión lineal de 0.997. Estos valores son similares a los encontrados por Torres R. (1982) en la construcción de un solarímetro blanco y negro con valores de  $(2.02 \pm 0.06) \times 10^{-3}$  mV/Wm<sup>-2</sup>.

La excelente linealidad de este modelo permite encontrar una desviación estándar de  $\pm 0.05$  mV/Wm<sup>-2</sup> en el rango entre 0 y 1000 W/m<sup>2</sup> en comparación con las medidas del patrón que admiten una desviación de  $\pm 10$  W/m<sup>2</sup> y el solarímetro de Torres et al. (1982) que presentó una desviación menor a  $\pm 0.03$  para el mismo rango de medición.



**Figura 2.** Medición de la irradiación solar realizado el 25 de Julio con el solarímetro

En la figura 2, se presenta una curva típica del comportamiento de la irradiación solar como un perfil de campana. La variación tuvo lugar el 25 de Julio, con un cielo poco nublado a una temperatura ambiental entre 28 °C y 32 °C, alcanzando un valor pico de 958.82 W/m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Solarímetro Blanco y Negro elaborado con tecnología propia

## CONCLUSIONES

- Se ha logrado el desarrollo de un sistema basado en computadora para la monitorización de la irradiación solar. Tiene un comportamiento similar a otros instrumentos computacionales y su costo es 8 veces menor respecto a los instrumentos importados.
- El sistema satisface suficientemente la expectativa propuesta y proporciona datos necesarios para los grupos de investigadores en lo que respecta a estudios de la variabilidad climática en relación al medio ambiente, ecosistemas y biodiversidad.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, por el soporte económico, al Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología de la ciudad de Iquitos por su colaboración y a la Universidad Científica del Perú por la publicación del presente trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolzi G. 2000. Construcción y ensayo de piranómetros fotovoltaicos de bajo costo desarrollados en la C.N.E.A. Grupo de Energía solar- Departamento de Física- Comisión Nacional de Energía Atómica. C.N.E.A.
- CEPIS .2003. SI:422 Air pollution control orientation course" del Instituto de Capacitación en la Contaminación del Aire (APTI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA).
- Williams, J. 2005. The Weather Book. USA Today. Nueva York: Random House.
- Wallace, J.M. et al. 1977. Atmospheric Science: An Introductory Survey. Nueva York: Academic Press.
- Díaz A. 2001. Sistema integral para la monitorización *in situ* de metales pesados- Tesis Doctoral – UPC- BCN- España
- Díaz A. 2001. Sistema Integrado para Monitorización Ambiental, Concurso Nacional - Sistemas Automáticos - National Instruments - Sociedad Inducontrol SRL. Lima.
- Vera L. Busso A, Benítez F. 2005. Piranómetro fotovoltaico con sistema autónomo de adquisición de datos. Argentina. ISSN 0329 -5184 -Vol 9
- Torres R. 1982. Construcción de un solarímetro blanco y negro. Universidad Nacional del Cusco "Antonio Abad"
- Julián B. C .1986. Estimación de la radiación solar en la Ciudad de Iquitos –Informe - IIAP – UNAP.

**Recibido:** 20 mayo 2011 / **Aceptado:** 5 octubre 2011