

17

PRIMERAS PRUEBAS
A UN BANCO DE
COMPARACIÓN
PIRANOMÉTRICA

Primeras pruebas a un banco de comparación piranométrica

Edgar Rayo Visuel

1. Introducción

Actualmente la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM) desarrolla un proyecto para implementar un laboratorio de pruebas que permitirá evaluar la eficiencia de los Calentadores Solares de Agua (CSA) que se comercializan en el mercado en nuestro país. En este proyecto se han destinado recursos para la adquisición de equipos de radiometría los cuales permitirán medir las condiciones de radiación solar de la ciudad, estos instrumentos requieren de un proceso de calibración programado para garantizar la confiabilidad de su medición.

En México se cuenta con el Centro Nacional de Metrología (CENAM), el cual cuenta con un patrón primario de radiación, lo que le permite realizar la

comparación de los piranómetros, como laboratorio primario, en el futuro se espera el incremento en la demanda de calibración de equipos, por lo cual nace la necesidad de implementar laboratorios secundarios para este fin.

La UACM está en el proceso de certificarse como un laboratorio de calibración secundario, por este motivo se vio en la necesidad de adquirir un banco de comparación piranométrica, dentro de las actividades que ello conlleva está la investigación, construcción y capacitación por parte de CENAM.

2. La importancia de la comparación de piranómetros en mediciones solares

Para que un proyecto de energía solar

sea exitoso debe de contener datos confiables de los recurso solar del lugar donde se realizará el proyecto. Los piranómetros son utilizados para realizar la medición de irradiancia solar global y difusa, el pirheliómetro para la medición de la irradiancia directa. Para garantizar la precisión de estos datos es necesario comparar los piranómetros con los piranómetros de referencia y así asegurar que proporcionen datos confiables.

Dichos datos de radiación solar son críticos para reducir los asociados al riesgos de los inversionistas, cuando se proyectan sistemas de conversión de energía solar. También ayudar a los planificadores de servicios públicos y a los operadores de sistemas de redes a comprender los impactos de la variabilidad del recurso. El uso de estos datos es importante para que los inversionistas comprendan los términos cuantitativos de los riesgos de sus inversiones en función del conocimiento de los recursos solares.

Durante el uso los piranómetros tienden a sufrir de una descalibración, provocando que los datos obtenidos varíen de la realidad, por esta razón es importante realizar una calibración una vez al año o cada dos años.

Existen dos métodos para realizar esta calibración.

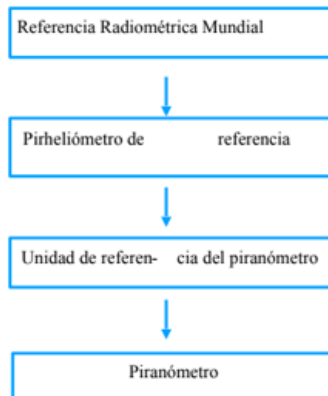
“La calibración al aire libre de los piranómetros de campo se puede realizar con el piranómetro en una posición horizontal (es decir, inclinación cero), en una posición inclinada, o en incidencia normal manteniendo el Superficie del receptor perpendicular al componente del haz del sol.”¹

“La calibración en interiores de los piranómetros de campo se puede realizar utilizando una lámpara (s) sombreada o sin sombra, o en incidencia normal con frecuencia usando un banco óptico para presentar la Superficie del receptor perpendicular a la viga de la lámpara.”²

3. Trazabilidad de calibración

Los métodos de calibración deben ser trazables a la referencia radiométrica mundial por sus siglas en inglés (WRR). Esto se puede ver en el cuadro 1.

Actualmente en el mercado nacional se cuentan con equipos de piranómetros de las marcas EKO y Kipp & Zonen, ha continuación se describen brevemente el procedimiento de calibración propuesto por estas marcas. También se describirá el procedimiento propuesto por CENAM.



Cuadro 1 trazabilidad para la calibración de piranómetros

4.Método de calibración por la marca EKO

La lámpara de Xenon instalada en el simulador solar, requiere de un tiempo de estabilización de > 30 minutos antes de que se pueda realizar la calibración. La estabilidad de irradiación se mantendrá dentro de <0.3%.

El piranómetro de referencia se monta en la plataforma de medición y se ajusta a su posición final antes de ser irradiado.

Cuando la salida del piranómetro de referencia se vuelva estable, se tomarán varios datos.

El piranómetro a calibrar se monta en la plataforma de medición de la misma manera que el piranómetro de referencia. Cuando la salida del piranómetro a calibrar se vuelva estable, se tomarán una serie de datos.

El proceso de calibración es el siguiente:

Nota: se deben comenzar las mediciones con el piranómetro de referencia.

- La plataforma debe de estar a 0° respecto a la horizontal.
- Abrir el Shutter
- Realizar mediciones por 80 s.
- Cerrar el Shutter
- Girar la plataforma 180 °
- Abrir el Shutter
- Realizar mediciones por 80 s.
- Cerrar el Shutter

El valor de calibración de los piranómetros a calibrar se calcula en función de las mediciones tomadas del piranómetro de referencia.

Por otra parte, el sistema desarrollado por CENAM cuenta con una lámpara de LED, la cual solo requiere de 10 minutos para estabilizarse, no emite calor a diferencia de una lámpara de Xenon, y por último, el consumo de energía eléctrica es menor por el uso de una tecnología LED. También se cuenta con sistema de montaje mecánico, el cual permite realizar rotaciones desde 0° hasta 360°, esto permite realizar mediciones a cualquier ángulo dado a diferencia el procedimiento propuesto por EKO.

A continuación se describe el montaje de los piranómetros en el comparador

propuesto por CENAM

El banco de comparación piranométrica cuenta un sistema mecánico para la colocación de los piranómetros, el cual cuenta con dos bases de montaje paralelas entre sí. Dentro de esta base se tienen dos ranuras donde internamente se encuentra una tuerca (por ranura), la cual se mueve de manera horizontal para adaptarse al piranómetro.

A continuación se describen el montaje de los piranómetros.

- Colocar el piranómetro sobre la base. **Nota 1. El piranómetro no debe de contar con ninguna marca en la base, esto porque puede ocasionar una mala nivelación.**
- Las tuercas se deben colocar al mismo nivel de las entradas de los tornillos.
- El piranómetro se debe asegurar primero ligeramente con los tornillos a la base de montaje. **Nota 2. Los tornillos utilizados son M15 para la marca Kipp & Zonen.**
- El instrumento se nivela girando los dos tornillos de nivelación para poner la burbuja del nivel centrada dentro del círculo marcado. **Nota 3. Para la fácil nivelación, se utiliza primero el tornillo más cercano al nivel.**

- Asegura el piranómetro atornillándolo bien a la base de montaje. Este proceso se muestra en la Figura 1.

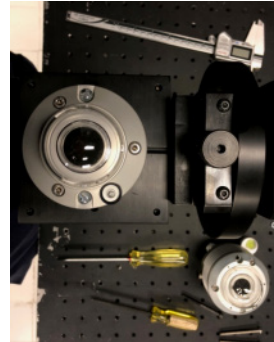


Figura 1. Colocación de piranómetro

El sistema de montaje cuenta con un motor a pasos, que permite realizar giros de de 0° a 360°, los cuales son dirigidos por un software.

Para continuar con el proceso de montaje, las placas deben girar 180° para montar el segundo piranómetro. Realizando el mismo procedimiento descrito anteriormente. Se muestra en la Figura 2.

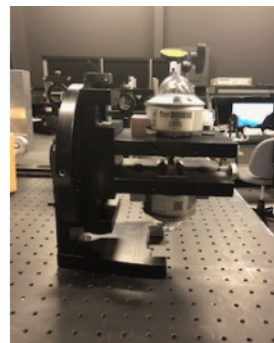


Figura 2. Montaje de ambos piranómetros

Colocados los piranómetros se debe

realizar una nivelación en la altura en los domos de cada piranómetros, esto con la finalidad que el haz de luz llegue a la misma distancia a los dos piranómetros. Para realizar esta tarea se deben seguir los siguientes pasos.

- Verificar que el nivel de pestaña este en cero.
- La punta del nivel de pestaña se debe de colocar en la parte más alta del piranómetro de referencia, para marcar la altura a trabajar.
- Hacer girar las placas 180° de tal manera que el piranómetro que se encontraba en la parte de abajo ahora este arriba. En el caso de que el segundo piranómetro quede al mismo nivel de la punta el proceso terminará aquí. Esto se muestra en la **Figura 3**.
- En caso de que no se cumpla el punto anterior, el sistema de placas cuenta con un tornillo el cual permite baja o subir las placas de montaje y así poder cumplir con este punto.



Figura 3. Nivelación de alturas

Como se muestra el procedimiento de ambos bancos es similar, durante el montaje de los piranómetros en el sistema desarrollado por CENAM se encontraron variables que podrían afectar las mediciones.

4. Resultados

A continuación se muestra el modelo matemático desarrolla para el cálculo del mensurando.

La ecuación 1 muestra el cálculo para un modelo donde el área de los domos siempre es igual.

$$F(ij) = \frac{V_R(ij)}{V_F(ij)} F_R \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Ahora, el modelo matemático toma en cuenta que los piranómetros no tendrán siempre las mismas características físicas, por esto la ecuación 1 se ha tenido que modificar, dando como la contemplación de variables que podrán afectar la medición del mensurando.

Durante la instalación de los piranómetros se requiere que los domos de ambos estén a la misma altura, esto para que el haz de luz llegue a la misma distancia, se muestra la existencia de un desfase en estas alturas, así que se a tomada esto como un factor de incertidumbre.

$\epsilon_{AlineacionZ}$ Incertidumbre 1

Nota. La máxima diferencia entre las alturas debe de ser de 200 micrometros.

De igual manera durante la instalación de los piranómetros se encontró la existencia de un desfase en la alineación en los centros de cada piranómetro, esto porque las tuercas en la plataforma se mueven sin ninguna restricción dando como resultado la existencia de otro factor de incertidumbre a contemplar. La Incertidumbre 2.

$\epsilon_{CentradoX,Y}$ Incertidumbre 2

La no linealidad se presenta cuando existe un cambio en la temperatura en los piranómetros, también se contempla este factor como un calculo para la insertidumbre. Incertidumbre 3.

$\epsilon_{NL-espectral}$ Incertidumbre 3

El sistema esta contemplado para realizar la calibración de distintas marcas de piranómetros, las cuales contemplan distintas áreas de los domos. Se requiere conocer cuánto podría afectar este factor a las mediciones. Incertidumbre 4.

$\epsilon_{DifAreas}$ Incertidumbre 4

El banco de comparción piranometrica cuenta con un sistema mecánico para

realizar los movimientos rotacionales necesarios para realizar mediciones a los piranometros, desde cualquier cangulo requeridopor el usuario. Esta actividad no la cuenta otro banco de calibración de venta en el mercado nacional. Esto se conoce como posición angular. Incertidumbre 5.

$\epsilon_{Posiciona}$ Incertidumbre 5

CENAM ha realizado un estudio para conocer la resolución del banco de comparación piranométrica, este factor se contempla para el cálculo del mensurando. Incertidumbre 6.

$\epsilon_{Resolucion}$ Incertidumbre 6

La reproductividad se contempla como base para obtener datos verídicos, en caso de que esta reproductividad no se siga al pie de la letra se contempla que las mediciones no sea completamente verídicas. Para el desarrollo de este trabajo se requiere conocer el factor de error en la mediciones. Incertidumbre 7.

$\epsilon_{Reproducibilidad}$ Incertidumbre 7

El modelo matemático completo contempla todas las incertidumbres ya mencionadas, para el cálculo del mensurando. Esto se muestra en la la ecuación 2

$$C_{DUT} = C_P \left(\frac{V_P}{V_{DUT}} \right) + \epsilon_{AlineacionZ} + \epsilon_{CentradoXY} + \epsilon_{NL-espectral} + \epsilon_{DifAreas} + \epsilon_{Posiciona} + \epsilon_{Resolucion} + \epsilon_{Reproducibilidad}$$

.....Ecuación 2

5. Conclusiones

Durante la estancia se trabajó con el Dr. Hector A. Castillo Matadamas y el Dr. Juan C. Molina Vázquez, logrado realizar el primer modelo matemático para el cálculo del mensurando, donde se han tomado en cuenta las incertidumbres que podrían afectar esta medición. También se realizaron pruebas al banco de comparación piranométricas

Agradecimientos

Red de Energía Solar por el apoyo económico otorgado para realización de la estancia corta.

Centro Nacional de Metrología por recibirme y permitirme realizar una estancia y poder desarrollar el trabajo de investigación.

Dr. Hector A. Castillo Matadamas. y al Dr. Juan Carlos, por todo el tiempo dedicado y sus enseñanzas. Dr. Álvaro E. Lentz Herrera por la confianza depositada y permitirme desarrollar este trabajo.

REFERENCIAS

[1] Flores Campos, M. (2016). Estado de la Infraestructura de la Calidad para Energías Renovables y Eficiencia Energética en México. México. Available at: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_9/9.3_internationale_zusammenarbeit/docs/PTB_9.3_Study_E-nergy_Efficiency_Renewables_Mexico_SP.pdf [Accessed 9 Aug. 2018].

[2] Habte, A., Sengupta, M., Andreas, A., Reda, I. and Robinson, J. (2016). The Impact of Indoor and Outdoor Radiometer Calibration on Solar Measurements. Munich, Germany: Solar Conference and Exhibition. Available at: <http://www.nrel.gov/publications> [Accessed 10 Oct. 2018].

[3] Kratzenberg, M. (2006). UNCERTAINTY CALCULATIONS IN PYRANOMETER MEASUREMENTS AND APPLICATION. Denver, Colorado: ASME. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/267648401> [Accessed 9 Oct. 2018].

[4] Shuji, Y. (2014). Pyranometer and Pyrhelimeter Calibration Procedures. [ebook] Tokyo, Japan: EKO. Available at: <http://www.eko.co.jp> [Accessed 5 Sep. 2018].