

Calibración de un piranómetro de referencia del Servicio Meteorológico Nacional

Nota Técnica SMN 2024-158

Fernando Nollas¹, Julián Lell¹

¹ *Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC), SMN, Argentina*

Enero 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

Para poder asegurar calidad y confiabilidad en los datos de radiación solar de cualquier tipo, los sensores que la miden deben ser calibrados regularmente contra sensores de referencia que posean trazabilidad en el World Radiation Centre (WRC) de Davos. Una vez que han sido contrastados contra radiómetros de referencia, las mediciones obtenidas por los sensores serán comparables a nivel local y global.

En este trabajo se presenta el procedimiento y resultados de la calibración del piranómetro Kipp & Zonen modelo CMP22, nro. de serie 220822, llevada a cabo por el Laboratorio de Calibración e Intercomparación de Radiómetros Solares, dependiente de la Dirección Central de Monitoreo del Clima del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La calibración se realizó con luz natural (calibración *outdoor*) mediante la técnica de tapado-destapado, siendo las mediciones de referencia obtenidas con un pirheliómetro absoluto de cavidad Davos-Instruments modelo PMO8 nro. de serie 009.

La calibración se realizó entre el 5 y el 7 de octubre de 2023, obteniéndose la sensibilidad del piranómetro junto con su incertidumbre expandida. La incertidumbre hallada presenta un valor relativo de 0.6% y la diferencia respecto a su valor anterior, obtenida en fábrica, es del 1%.

Abstract

In order to ensure quality and reliability in solar radiation data of any type, sensors must be regularly calibrated against reference sensors that have traceability to the World Radiation Center (WRC) in Davos. Once they have been contrasted against reference radiometers, the measurements obtained by the sensors will be comparable locally and globally.

This work presents the procedure and results of the calibration of the Kipp & Zonen CMP22 SN.220822 pyranometer, carried out by "Laboratorio de Calibración e Intercomparación de Radiómetros Solares", dependent on the Servicio Meteorológico Nacional (SMN). The calibration took place outdoors using the sun-shade technique, and the reference measurements were obtained using Davos-Instruments PMO8 SN.009 absolute cavity pyrhelimeter.

The calibration procedure was carried out between October 5 and 7, 2023 and the responsivity of the pyranometer was obtained along with its expanded uncertainty. The uncertainty found presents a relative value of 0.6% and the difference with respect to its previous value, obtained at the factory, was 1%.

Palabras clave: radiación solar, laboratorio de calibración, piranómetro, CMP22, LACIRS.

Citar como:

Nollas, F., J. Lell, 2024: Calibración de un piranómetro de referencia del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2024-158.

1. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Calibración e Intercomparación de Radiómetros Solares (LACIRS), dependiente de la Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC) dentro de Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina, realiza calibraciones de instrumental de medición de la radiación solar, entre los que se encuentran piranómetros, pirheliómetros y radiómetros UV. Para ello, el LACIRS ha desarrollado la infraestructura necesaria y ha adquirido instrumental de la mejor calidad existente en el mercado con la finalidad de dar respuesta a una necesidad y demanda creciente, la cual va de la mano con el aumento del aprovechamiento energético de la radiación solar. Asimismo, el SMN tiene como objetivo acreditar, en el mediano plazo, la norma ISO/IEC 17025:2018, por lo que se están concentrando esfuerzos en el desarrollo de todo lo que la misma requiere para poder asegurar la trazabilidad y confiabilidad de los resultados.

Por otro lado, como Centro Regional de Calibración (RCC, por sus siglas en inglés), el SMN tiene la responsabilidad de transferir la Referencia Radiométrica Mundial (WRR, por sus siglas en inglés) a la región III de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta WRR es determinada cada cinco años por el World Standard Group (WSG, por sus siglas en inglés), el cual es operado por el Physical Meteorological Observatory in Davos/World Radiation Centre (PMOD/WRC) en la Intercomparación Internacional de Pirheliómetros (IPC), evento en el cual el SMN participa desde hace muchos años. Una vez en destino, el pirheliómetro absoluto de cavidad puede calibrar otros pirheliómetros a través de la norma ISO 9059:1990 o también calibrar piranómetros según la norma ISO 9846:1993. Asimismo, piranómetros calibrados mediante la norma ISO 9846:1993 pueden ser utilizados como patrones secundarios para calibrar otros piranómetros utilizando la norma ISO 9847:2023. El SMN adquirió recientemente un pirheliómetro absoluto de cavidad modelo PMO8 con número de serie F201-009, el cual es ofrecido por la compañía Davos-Instruments y posee trazabilidad directa al WRR a través de su participación en el IPC-XIII en el año 2021.

En la presente nota técnica se presentan el procedimiento y resultados de la calibración del piranómetro modelo CMP22 con número de serie 220822, de marca Kipp&Zonen, el cual es uno de los sensores de referencia del SMN y utilizado como patrón secundario. Para ello se utilizó como referencia el pirheliómetro absoluto de cavidad PMO8 recientemente adquirido por la institución. La calibración de este piranómetro se llevó adelante en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA), el cual se encuentra en las coordenadas: LAT: 34°35' S, LONG: 58°28' O, y 24 msnm. Las mediciones para determinar la sensibilidad del instrumento se obtuvieron entre el 5 y el 7 de octubre de 2023.

2. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE DATOS

La calibración del piranómetro CMP22 con número de serie 220822, en adelante el CMP22, se llevó a cabo de manera outdoor. Tanto el CMP22 como el pirheliómetro absoluto de cavidad, en adelante PMO8, se instalaron sobre una mesada adecuada para este tipo de calibraciones, la cual se encuentra en el techo de la casilla "Dobson". Cabe aclarar que el PMO8 mide la irradiancia solar directa (DNI, por sus siglas en inglés) y, por lo tanto, requiere de un seguidor solar para el seguimiento y apuntamiento hacia el disco solar. El seguidor utilizado fue un SOLYS2 de la marca Kipp&Zonen, el cual posee GPS para ubicación y hora y también dispone de un sensor solar que es capaz de brindar una corrección fina en el apuntamiento. Una vez ubicado sobre el seguidor solar, el PMO8 fue configurado a través de la unidad de control, la cual se conecta a la PC, para obtener una medición de DNI cada 30 segundos.

Por otro lado, el CMP22 se instaló para medir sobre la horizontal y fue conectado al *datalogger* Campbell Sci. modelo CR1000X con número de serie 41981, el cual fue configurado para adquirir datos instantáneos de tensión de salida y temperatura interna del sensor cada 30 segundos.

La metodología utilizada sigue los lineamientos estándar para este tipo de calibraciones, donde se establece un proceso de tapado-destapado para la calibración de piranómetros con un pirheliómetro como referencia. Durante el proceso de “tapado”, un artefacto externo proyecta sombra sobre la superficie sensora del instrumento y, por lo tanto, en ese momento el piranómetro mide irradiancia solar difusa (DHI, por sus siglas en inglés). Por otro lado, en el momento de “destapado”, el elemento sombreador ya no proyecta sombra sobre el piranómetro, y en esos momentos el piranómetro mide irradiancia solar global (GHI, por sus siglas en inglés). De esta manera es posible establecer la relación que figura en la ecuación (1), donde SZA (por sus siglas en inglés) corresponde al ángulo solar cenital.

$$GHI = DNI \cdot \cos(SZA) + DHI \quad (1)$$

La irradiancia solar (I) medida por un piranómetro se calcula utilizando su tensión de salida (V) y la sensibilidad (S , ver ecuación (2)), lo que se desea hallar mediante esta metodología.

$$I = V/S \quad (2)$$

Planteado de esta manera, cuando el piranómetro se encuentra “destapado”, la GHI se obtiene en base a su tensión de salida V_G mientras que, cuando se mismo se encuentra tapado, la tensión de salida V_D es la que se utiliza para obtener DHI. De esta forma, es posible despejar la sensibilidad mediante la ecuación (3).

$$S = \frac{(V_G - V_D)}{DNI \cdot \cos(SZA)} \quad (3)$$

Como no se dispone de mediciones instantáneas simultáneas de V_D y V_G entonces lo que se hace es utilizar el promedio de las mediciones de V_D justo antes y después de que se obtuvo V_G mientras que las mediciones de DNI se corresponden con el instante en el que se obtuvo V_G .

En la Figura 1 se puede ver el momento de “tapado” sobre el piranómetro, el cual se logra a través de un dispositivo de acomodación manual implementado para este tipo de calibraciones.

En esta intercomparación en particular se contó con días mayormente de cielo claro, por eso fue suficiente con mediciones realizadas durante únicamente tres días; del 5 al 7 de octubre de 2023.

En un análisis preliminar se encontró que las mediciones obtenidas tal que $SZA > 60^\circ$ presentaban una gran dispersión. Esto podría deberse a que, para ángulos mayores a 60° , se torna más difícil proyectar sombra sobre la superficie sensora y también a que, por el movimiento aparente del sol, se observan diferencias mayores entre un minuto y el siguiente cuando se compara con SZAs menores. Por lo tanto, para este tipo metodología de tapado-destapado, se utilizaron mediciones con $SZA < 60^\circ$.

Siguiendo la normativa estándar correspondiente, los datos fueron obtenidos en series cuya duración varió entre 12 y 18 minutos, contando de esta manera con una vasta cantidad de datos por si fuera necesario descartar algunos de ellos. Finalmente se obtuvieron 183 valores instantáneos de sensibilidad (S_i), los cuales se encontraron agrupados en 16 series. Por cada una de las series se obtuvo un valor representativo de la sensibilidad para, finalmente, calcular el valor final de la sensibilidad como un promedio de esos valores representativos de cada serie. Esta será considerada como la metodología 1 en este trabajo. Por otra parte, siguiendo la metodología propuesta por Balenzategui y otros (2022), se realizó una prueba descartando la discriminación por series y, en cambio, considerando los 183 valores C_i para el cálculo final de la sensibilidad del CMP22 (metodología 2). Si bien la propuesta de dichos autores se utiliza para calibrar pirheliómetros

contra pirheliómetro de referencia, la idea fue considerada en este trabajo por la premisa de que, de esta forma, cada valor aporta el mismo peso en el cálculo final y, además, como una comparación de la metodología normada.



Fig. 1. Momento de “tapado” donde se observa la sombra proyectada por el elemento externo sobre el piranómetro a ser calibrado.

El análisis utilizado para obtener la incertidumbre de la sensibilidad consideró todas las posibles fuentes de incertidumbre relacionadas con los diferentes mediciones y parámetros que, de una forma u otra, afectan las mediciones. Durante el análisis de incertidumbres realizado en esta calibración se consideraron tanto las incertidumbres de tipo A como las de tipo B. En particular, las consideradas en este trabajo están asociadas a la incertidumbre en las mediciones del PMO8, la incertidumbre estimada para la adquisición de los valores del piranómetro, incertidumbres relacionadas con la metodología y la incertidumbre obtenida de la dispersión estadística de los datos. En particular se consideró una incertidumbre relacionada con la metodología de 0.5% debido a la posible inestabilidad/desalineación que generaba el tapado-destapado con el elemento sombreador (aunque valores sospechosos fueron eliminados manualmente). Asimismo, diferencias entre la radiación difusa entre un minuto y el siguiente pueden considerarse en esta incertidumbre dado que las condiciones de cielo claro propician la estabilidad necesaria.

Para el análisis de incertidumbre se estableció que la covarianza entre las variables es nula, por lo que la incertidumbre estándar de un parámetro “ y ”, que depende de variables independientes x_i se expresa según la ecuación (4).

$$u^2(y) = \sum \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) \quad (4)$$

Finalmente, la incertidumbre expandida se obtiene a partir de la incertidumbre estándar multiplicada por un parámetro k , el cual toma el valor 2 en un intervalo de confianza del 95% para una distribución normal.

3. RESULTADOS

La sensibilidad del CMP22 obtenida según la metodología 1 (metodología normada/estandarizada) fue $S = (9,555 \pm 0,057) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$ mientras que la sensibilidad obtenida el 10-03-2022 en fábrica fue de $(9.46 \pm 0.08) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$. Esto representa una variación del 1% respecto a su valor de fábrica, por lo que su estabilidad está dentro del rango especificado por el fabricante. En la Figura 2 se muestra el comportamiento de los valores de S_i de cada serie en función del SZA. No se observa un comportamiento específico en los valores obtenidos por cada serie en función del SZA.

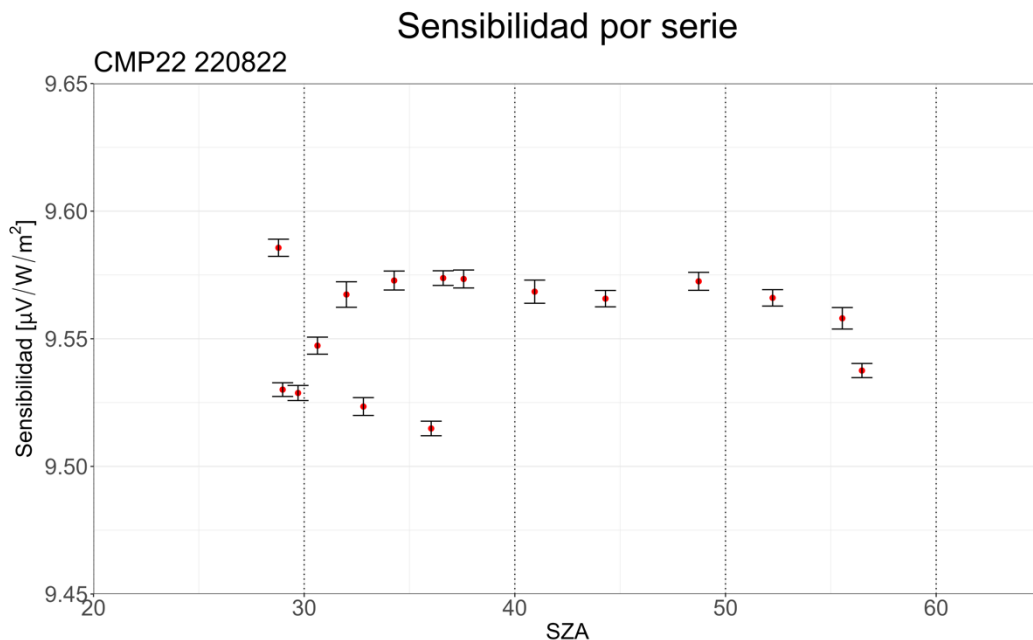


Fig. 2. Sensibilidad obtenida para cada serie, según metodología 1.

Por otro lado, la sensibilidad del CMP22 obtenida según la metodología 2 fue $S = (9,553 \pm 0,060) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$. De este resultado se concluye que la metodología que no considera series sino todos los datos aportando el mismo peso, obtuvo un valor similar al que utiliza la metodología estándar. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de cada uno de los valores instantáneos de sensibilidad S_i .

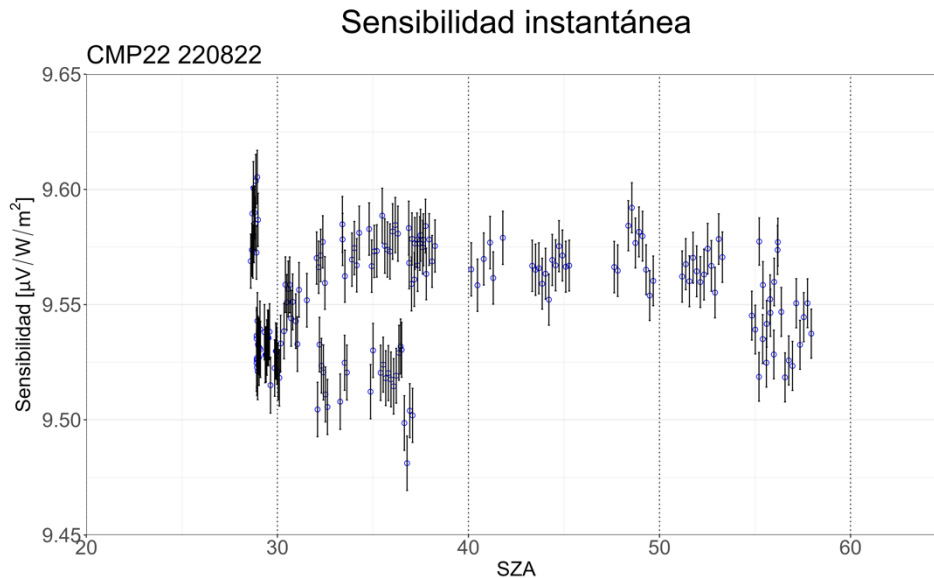


Fig. 3. Valores instantáneos de sensibilidad obtenida según metodología 2.

La incertidumbre relativa obtenida durante la calibración del piranómetro CMP22 s/n 220822 fue 0.6%

4. CONCLUSIONES

En esta nota técnica se presenta la metodología y resultados de la calibración del piranómetro CMP22 s/n 220822, la cual fue realizada en el Observatorio Meteorológico de Buenos Aires utilizando como sensor de referencia el pirheliómetro absoluto de cavidad PMO8 número de serie F201-009. Se utilizaron datos correspondientes a los días 5 y 7 de octubre de 2023 con la finalidad de obtener la sensibilidad del piranómetro y su incertidumbre expandida. Las dos metodologías utilizadas para el análisis de los datos obtuvieron resultados similares, siendo una de ellas una metodología normada estándar y la otra una metodología que considera todos los datos sin el uso de series. La sensibilidad hallada por la metodología estándar fue de $S = (9,555 \pm 0,057) \times 10^{-6} \text{ V} / (\text{W}/\text{m}^2)$, obteniéndose así una variación del 1% respecto a su valor de fábrica que es el valor con el que se contaba de manera oficial. La incertidumbre relativa obtenida es baja y ronda el 0.6%, por lo que este piranómetro se encuentra en condiciones de utilizarse como referencia en la calibración de otros piranómetros.

5. REFERENCIAS

Balenzategui, J.L., Moler, M., Silva J.P., Fabero F., Cuenca J., Mejuto E., De Lucas J.. 2022: Uncertainty in the Calibration Transfer of Solar Irradiance Scale: From Absolute Cavity Radiometers to Standard Pyrheliometers. *Solar* 2022, 2, 158-185. <https://doi.org/10.3390/solar2020010>

ISO 9059, 1990: Solar energy- Calibration of field pyrheliometers by comparison to a reference pyrheliometer.

ISO 9846, 1993: Solar energy- Calibration of a pyranometer using a pyrheliometer.

Norma ISO 9847, 2023: Solar energy- Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer.

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).