

Calibración de Pirgeómetro del Servicio Meteorológico Nacional

Nota Técnica SMN 2024-163

Fernando Nollas¹, Julián Lell¹

¹ *Dirección Central de Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina*

Febrero 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

En este trabajo se presenta el procedimiento y resultados de la calibración del pirgeómetro Kipp & Zonen modelo CGR4, nro. de serie 160202, 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). Como referencia se utilizó un pirgeómetro de la misma marca y modelo, el cual fue calibrado en 2021 por el Physical Meteorological Observatory in Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC). La calibración se realizó de forma *outdoor* entre el 17 y el 21 de diciembre de 2022, obteniéndose la sensibilidad del pirgeómetro junto con su incertidumbre expandida. La incertidumbre hallada presenta un valor relativo de 5.6% y la diferencia respecto a su valor anterior, obtenida en fábrica, es de 4.8%.

Abstract

This work presents the procedure and results of the calibration of the Kipp & Zonen pyrgeometer model CGR4, no. series 160202, carried out by the Laboratory for Calibration and Intercomparison of Solar Radiometers, dependent on the Central Climate Monitoring Directorate of the National Meteorological Service (SMN). As a reference, a pyrgeometer of the same manufacturer and model was used, which was calibrated in 2021 by the Physical Meteorological Observatory in Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC). The calibration was carried out *outdoors* between December 17th and 21st, 2023, obtaining pyrgeometer's sensitivity along with its expanded uncertainty. The uncertainty found presents a relative value of 5.6% and the difference with respect to its previous value, obtained in the factory, is +4.8%.

Palabras clave: radiación infrarroja atmosférica, laboratorio de calibración, pirgeómetro, CGR4, LACIRS.

Citar como: Nollas, F., J. Lell, 2024: Calibración de Pirgeómetro del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2024-163.

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) posee una red solarimétrica distribuida en algunas estaciones del país en la cual se miden diferentes componentes de la radiación solar y también diferentes rangos de longitudes de onda de interés. Además, posee dos pirgeómetros, que son instrumentos que permiten medir la radiación térmica atmosférica, también denominada de onda larga (*longwave* por sus siglas en inglés) ya que su rango de medición está entre los 4.5 μm y 42 μm . Estos instrumentos poseen una termopila y un sensor de temperatura PT100, elementos a partir de los cuales se puede obtener la irradiancia atmosférica, es decir, la irradiancia infrarroja que el pirgeómetro recibe desde la atmósfera y cúpula celeste.

Uno de los pirgeómetros operados por el SMN, el CGR4 s/n 160201, fue enviado en 2021 a Davos para que participara en el IPgC-III (Gröbner y Thomann, 2023), por lo que regresó al país calibrado y con trazabilidad al World Infrared Standard Group (WISG). Con la finalidad de calibrar el pirgeómetro CGR4 s/n 160202, 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, realizó la intercomparación de ambos pirgeómetros entre el 17 y el 21 de diciembre de 2022.

En la presente nota técnica se presentan el procedimiento y resultados de la calibración del pirgeómetro modelo CGR4 con número de serie 160202, de marca Kipp&Zonen, utilizando como referencia el pirgeómetro de misma marca y modelo con número de serie 160201. La calibración del pirgeómetro se llevó adelante en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA), el cual se encuentra en las coordenadas: LAT: 34°35' S, LON: 58°28' O, y 24 msnm.

Se informa que el pirgeómetro a calibrar mide de manera continua la irradiancia atmosférica en la ciudad de Mendoza mientras que el pirgeómetro de referencia es el instrumento utilizado para medir este parámetro en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

2. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE DATOS

La calibración del pirgeómetro CGR4 con número de serie 160202 se llevó a cabo de manera *outdoor*. Ambos pirgeómetros se instalaron sobre una mesada que se encuentra en el techo de la casilla "Dobson". Los pirgeómetros fueron instalados de manera tal que midieron sobre la horizontal y fueron conectados al *datalogger* Campbell Sci. modelo CR1000X con número de serie 41981, el cual fue configurado para adquirir datos promedio de tensión de salida y temperatura interna de los sensores cada 5 segundos.

El procedimiento de calibración utilizado sigue los lineamientos presentados por Gröbner y Thomann (2023) en donde se plantea que la irradiancia atmosférica (E) puede ser obtenida a partir de la expresión 1.

$$E = \frac{U}{C} (1 + k_1 \sigma T_b^4) + k_2 \sigma T_b^4 - k_3 \sigma (T_d^4 - T_b^4) \quad (1)$$

donde E es la irradiancia en W/m^2 , C la sensibilidad del pirgeómetro expresada en V/W/m^2 , U el voltaje del pirgeómetro en volts, y T_b la temperatura del cuerpo y el domo respectivamente. Asimismo, k_1 , k_2 y k_3 son coeficientes específicos del pirgeómetro que se obtienen para cada pirgeómetro por separado y se utilizan para la calibración en exteriores. Todos estos parámetros son conocidos para el pirgeómetro de referencia, pero no para el pirgeómetro de campo que se desea calibrar. Debido a que las constantes k_i se obtienen en condiciones de laboratorio, la ecuación para representar la irradiancia del pirgeómetro CGR4 160202 será la que informa el fabricante en el manual y que se presenta en la expresión 2.

$$E_f = \frac{U}{C_f} + \sigma T_f^4 \quad (2)$$

Donde el subíndice f indica que se trata de la irradiancia, temperatura de cuerpo y sensibilidad del pirgeómetro de campo que se desea calibrar.

Para cada una de las mediciones obtenidas, es esperable que se cumpla la relación mostrada en la expresión 3, la cual se obtiene de establecer que la irradiancia atmosférica medida por el pirgeómetro de campo debe ser igual a la medida por el pirgeómetro de referencia.

$$\frac{U_{ri}}{C_r} + k_2 \sigma T_{ri}^4 = \frac{U_{fi}}{C_f} + \sigma T_{fi}^4 \quad (3)$$

donde el subíndice i hace alusión al momento i -ésimo, f al pirgeómetro de campo y r al pirgeómetro de referencia. En la expresión 3 se usa el hecho de que las constantes k_1 y k_3 son nulas para el pirgeómetro de referencia.

Utilizando la expresión 3, es posible obtener N valores de sensibilidad instantánea del pirgeómetro de campo (C_{fi}). Finalmente, para obtener la sensibilidad del pirgeómetro de campo se hace un promedio aritmético de los C_{fi} (Ecuación 4).

$$C_F = \overline{C_{Fi}} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_i^N \frac{U_{fi}}{\left(\frac{U_{ri}}{C_r} + \sigma(k_2 T_{ri}^4 - T_{fi}^4)\right)} \quad (4)$$

Antes de realizar los cálculos que se detallan en la expresión 4, una serie de filtros se aplicaron a los datos con la finalidad de eliminar mediciones consideradas espurias. Los criterios utilizados fueron aquellos que se pudieron realizar de los propuestos por Gröbner y Thomann (2023), teniendo en cuenta que no se cuenta con un grupo estándar de pirgeómetros sino con uno solo como referencia.

El análisis utilizado para obtener la incertidumbre de la sensibilidad consideró todas las posibles fuentes de incertidumbre relacionadas con las 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 de la sensibilidad del pirgeómetro de referencia, a la incertidumbre estimada para la adquisición de los valores tensión de los pirgeómetros, incertidumbres supuestas en la medición de temperatura de los pirgeómetros y la incertidumbre obtenida de la dispersión estadística de los datos. Debido al desconocimiento de la incertidumbre específica de los sensores de temperatura de cada pirgeómetro, se supuso una incertidumbre absoluta de 0.3 °C, la cual se consideró conservadora en base a especificaciones disponibles para las celdas PT100 clase A como las que disponen los pirgeómetros en cuestión.

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 expresión 5.

$$u^2(y) = \sum \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) \quad (5)$$

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

Se obtuvo una sensibilidad para el CGR4 160202 de $C = (11.49 \pm 0.61) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$ en base a 15817 mediciones instantáneas. Esto representa una variación del 4.6% respecto a su valor de fábrica, el cual es $(11 \pm 0.47) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$ tal como se expresa en su certificado de calibración de fábrica. En la Figura 1 se muestra una comparación entre los valores de irradiancia atmosférica obtenidos con el pirgeómetro de referencia y el pirgeómetro calibrado. Para la obtención de la Figura 1 se utilizaron todos los valores nocturnos, independientemente de si fueron utilizados para el cálculo como si no. Si bien se pueden ver *outliers* que no participaron en el cálculo, se observa un comportamiento muy similar entre los valores de ambos pirgeómetros.

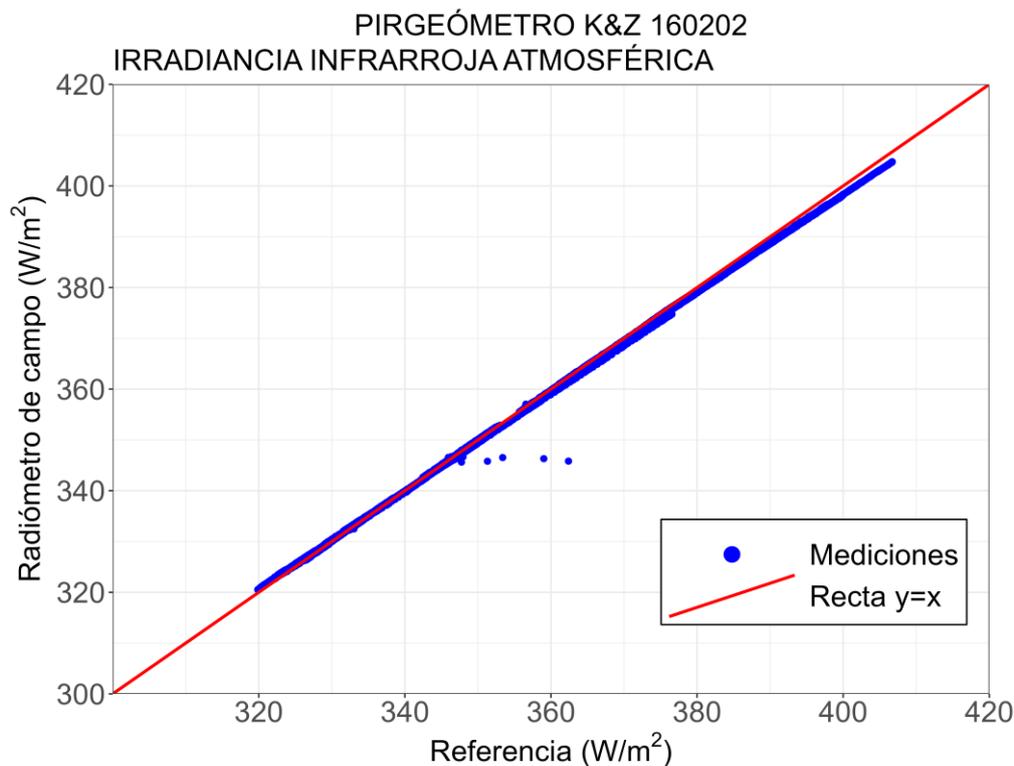


Fig. 1. Comparación directa entre las mediciones obtenidas con el pirgeómetro de referencia y las obtenidas con el pirgeómetro CGR160202 utilizando el factor hallado (puntos azules). A modo de comparación, se presenta la recta $y=x$ (línea de color rojo).

La incertidumbre relativa obtenida durante la calibración del piranómetro CGR s/n 160202 fue 5.3%.

Condiciones bajo las cuales se realizaron los cálculos de sensibilidad del pirgeómetro CGR4 160202:

Radiación atmosférica: 319 W/m² a 380 W/m²

Radiación neta: -90 W/m² a -70 W/m²

Temperatura del cuerpo del pirgeómetro: 16.41 °C a 24.98 °C

4. CONCLUSIONES

En esta nota técnica se presenta la metodología y resultados de la calibración del pirgeómetro CGR4 s/n 160202, la cual fue realizada en el Observatorio Meteorológico de Buenos Aires utilizando como sensor de referencia el pirgeómetro de la misma compañía y modelo con número de serie 160201. Los instrumentos midieron entre los días 17 y 21 de diciembre de 2022 con la finalidad de obtener la sensibilidad del instrumento y su incertidumbre expandida. La metodología utilizada para los cálculos fue establecida por Gröbner y Thomann (2023) y la sensibilidad hallada fue de $S = (11.49 \pm 0.61) \times 10^{-6} \text{ V/ (W/m}^2\text{)}$, obteniéndose así una variación del 4.6% respecto a su valor de fábrica que es el valor con el que se contaba de manera oficial. La incertidumbre relativa obtenida ronda el 5.3%

5. REFERENCIAS

Gröbner J., Thomann C., 2023: Report on the 3rd WMO International Pyrgeometer Intercomparison (IPgC-III). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 141. <https://library.wmo.int/idurl/4/66274>

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 Martín 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).