



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# Calibración de Piranómetros s/n 955992 y 955993 del Servicio Meteorológico Nacional

Nota Técnica SMN 2019-58

**Fernando Nollas<sup>1</sup> y Germán Perez Fogwill<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación. Departamento de Vigilancia de la Atmósfera y Geofísica*

<sup>2</sup> *Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación. Departamento de Nuevas Técnicas de Observación*

Agosto 2019

### *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 patrones que posean trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC) de Davos. Una vez que han sido contrastados contra sensores patrones, las mediciones obtenidas por los sensores serán comparables a nivel local y global.

En este trabajo se presenta el procedimiento y resultados de la de la calibración de los piranómetros marca Kipp&Zonen (K&Z) modelo CM11 y número de serie 955992 y 955993 llevada a cabo en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En la misma se obtuvo el factor de calibración de ambos sensores pertenecientes al SMN así como la incerteza relativa asociada hallando diferencias de hasta 3.9% respecto de su última calibración.

## Abstract

In order to ensure quality and reliability in solar radiation observation measurements, instruments must be regularly calibrated against reference instruments with confirmed traceability within the Physical meteorological Observatory in Davos (PMOD), as part of its role in the World Radiation Center (WRC). After these calibrations are completed, observations reach a standard that make them comparable with other instruments around the globe.

Here we present the procedure and the results of the calibration of two piranometers Kipp&Zonen (K&Z) CM11, with serial numbers 955992 and 955993. This calibration was carried out at the Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA), a unit of the Servicio Meteorológico Nacional (SMN). The calibration factors for both instruments were obtained, and it was found relative differences with respect to the previous calibration as high as 3.9%.

**Palabras clave:** Calibración, piranómetros, trazabilidad

## Citar como:

Nollas, F., y G. Perez Fogwill, 2019: Calibración de piranómetros s/n 955992 y 955993 del Servicio Meteorológico Nacional. Nota Técnica SMN 2019-58.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) mantiene una red de estaciones en las cuales se mide de forma continua distintos parámetros de la radiación solar como la radiación global horizontal (GHI), radiación difusa horizontal (DHI) y radiación ultravioleta eritémica (UV). Paralelamente, tanto el SMN como el Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), participan en un proyecto trinacional en representación de la Argentina junto con Instituciones de Japón y Chile. Este proyecto aporta un sistema de gestión de riesgos medioambientales atmosféricos, que incluye el monitoreo en tiempo cuasi real del estado de los aerosoles, de la capa de ozono y la radiación UV. Los instrumentos se instalaron gradualmente, a partir del año 2013, en estaciones meteorológicas del SMN dentro del territorio argentino. Para mantener calibrados sus piranómetros, el SMN utiliza su pirheliómetro absoluto de cavidad marca EppleyLab modelo AHF y s/n 30112, el cual participa cada 5 años en la “International Pyrheliometer Comparison” organizada por el PMOD/WRC en Davos. En dicho evento participan todos los países, empresas e instituciones interesados en calibrar sus pirheliómetros y poder otorgar a sus instrumentos la trazabilidad correspondiente. Mayor información acerca de esta intercomparación puede ser encontrada en el siguiente link <https://www.pmodwrc.ch/en/world-radiation-center-2/srs/ipc-2/>.

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). Para poder asegurar la calidad de los datos obtenidos por su red, el SMN calibra los piranómetros utilizando un piranómetro con trazabilidad al PMOD/WRC de Davos según la norma ISO 9847 (1992) de manera “outdoor”, utilizando como fuente de energía la radiación solar que luego será medida por los sensores a calibrar.

En la presente nota técnica se presenta el procedimiento y resultados de la calibración de los piranómetros marca Kipp&Zonen (K&Z) modelo CM11 y número de serie 955992 y 955993 llevada a cabo en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). El OCBA se encuentra en las siguientes coordenadas: LAT: 34°35´ S, LONG: 58°28´ O, 24 metros sobre el nivel del mar y las mediciones para determinar el factor de calibración de los sensores se realizaron desde 6 al 17 de julio de 2019. La extensión de dicho periodo se debió a que, para realizar la calibración, se utilizaron únicamente días con poca nubosidad. El objetivo principal de la calibración fue comprobar el estado de funcionamiento de los sensores y determinar el factor de calibración por el cual deben ser divididos los valores crudos para obtener valores en unidades radiométricas ( $W/m^2$ ).

Si bien se recomienda realizar las calibraciones en fechas próximas al solsticio de verano, necesidades operativas requirieron calibrar estos sensores fuera de las fechas óptimas.

## 2. SENSORES

### 2.1 Sensor patrón

El instrumento considerado como patrón en esta calibración fue el piranómetro termoelectrico marca Kipp&Zonen modelo CMP11 con número de serie 163812 el cual posee trazabilidad con el Centro Mundial

de Radiación en Davos, Suiza (PMOD/WRC) referida en su certificado de calibración de fábrica. Éste modelo es termoelectrónico y, de acuerdo a la norma ISO\_9060 (2018) entra dentro de la categoría de “*Spectrally Flat Class A*”.

Este sensor fue calibrado el 03 de noviembre de 2016 y especificaciones técnicas sobre el mismo pueden ser consultadas en la página oficial de la empresa Kipp&Zonen <http://www.kippzonen.com/>.

## 2.2 Sensores a calibrar

Los instrumentos calibrados fueron dos piranómetros de la marca K&Z modelo CM11 con números de serie 955992 y 955993. Los sensores midieron GHI y DHI en la estación meteorológica de Pto. San Julián hasta el año 2016, año en que se discontinuaron las mediciones debido a inconvenientes eléctricos y con internet. A partir de agosto de 2019 el sensor 955993 se utilizará para medir la DHI en la estación GAW de Ushuaia mientras que el 955992 permanecerá en depósito hasta ser instalado en un nuevo sitio. Ambos piranómetros fueron calibrados anteriormente en 2015.

## 3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE DATOS

### 3.1 Calibración

Antes de comenzar con las mediciones, los sensores a calibrar y el sensor patrón fueron colocados sobre mesadas horizontales hechas para este tipo de mediciones. El sensor patrón se ubicó a aproximadamente a 15 metros de la mesada en la que se colocaron los sensores a calibrar. Una vez fijados a la plataforma ambos piranómetros fueron conectados a un datalogger Campbell Scientific CR1000 y desde allí vinculados a una computadora para análisis de datos. Los datos de las medidas fueron actualizados cada 10 segundos mientras que la adquisición de los mismos se realizó cada minuto, con lo que se logra tener 6 datos por minuto y tomar un promedio de los mismos para obtener el valor minutal a ser utilizado. Tanto los piranómetros a calibrar como el patrón midieron sobre la horizontal y en unidades de voltaje (debido a su principio de funcionamiento) obteniendo valores en mV.

Para evitar las oscilaciones que la nubosidad produce en los datos de radiación solar solo los días mayormente despejados fueron tenidos en cuenta para la calibración. Si bien la norma ISO 9847 [3] sugiere utilizar horarios diversos a fin de obtener un factor de contraste que sea representativo de la respuesta de cada sensor con la posición solar, esto no fue posible durante la presente calibración debido a la presencia de obstáculos que sombrearon los sensores en horas de la mañana y de la tarde. A su vez, debe ser tenido en cuenta que a medida que aumenta el ángulo cenital (SZA) el error direccional de los instrumentos aumenta por lo que se utilizaron horas cercanas al mediodía solar para obtener los factores de calibración considerando SZA menores a 65°.

Ambos sensores fueron mantenidos durante la calibración limpiando los domos con alcohol isopropílico.

Luego de determinar los días con menor nubosidad se siguió un procedimiento similar al planteado en la norma ISO 9847 [3] a fin de determinar el factor de calibración de cada uno de los sensores y una vez

obtenido el mismo se realizó una estimación de su incerteza. Los días que se utilizaron para la calibración fueron: 6, 13, 15, 16 y 17 de julio.

### 3.2 Análisis de Incertezas

La incerteza relativa de los factores se obtuvo teniendo en cuenta distintas fuentes de error como:

- Incerteza en el factor de calibración del instrumento patrón obtenido del certificado de calibración.
- Diferencias en la salida cruda debido a diferencias de temperatura.
- Desviaciones en las medidas debido a la no linealidad de la respuesta.
- Incerteza estadística proveniente de la dispersión que existe en los factores de contraste para los distintos ángulos cenitales durante el día.
- Errores asociados a la medición y adquisición de los datos en el datalogger.

Finalmente la incerteza relativa en el factor de contraste se calculó como:

$$Incerteza\ relativa = \sqrt{\sigma_{estadístico}^2 + \sigma_{calib\ patr}^2 + \sigma_{lin\ patr}^2 + \sigma_{temp\ patr}^2 + \sigma_{temp\ test}^2 + \sigma_{lin\ test}^2 + \sigma_{datalog}^2}$$

donde *test* hace referencia al sensor que se desea calibrar.

## 4. RESULTADOS

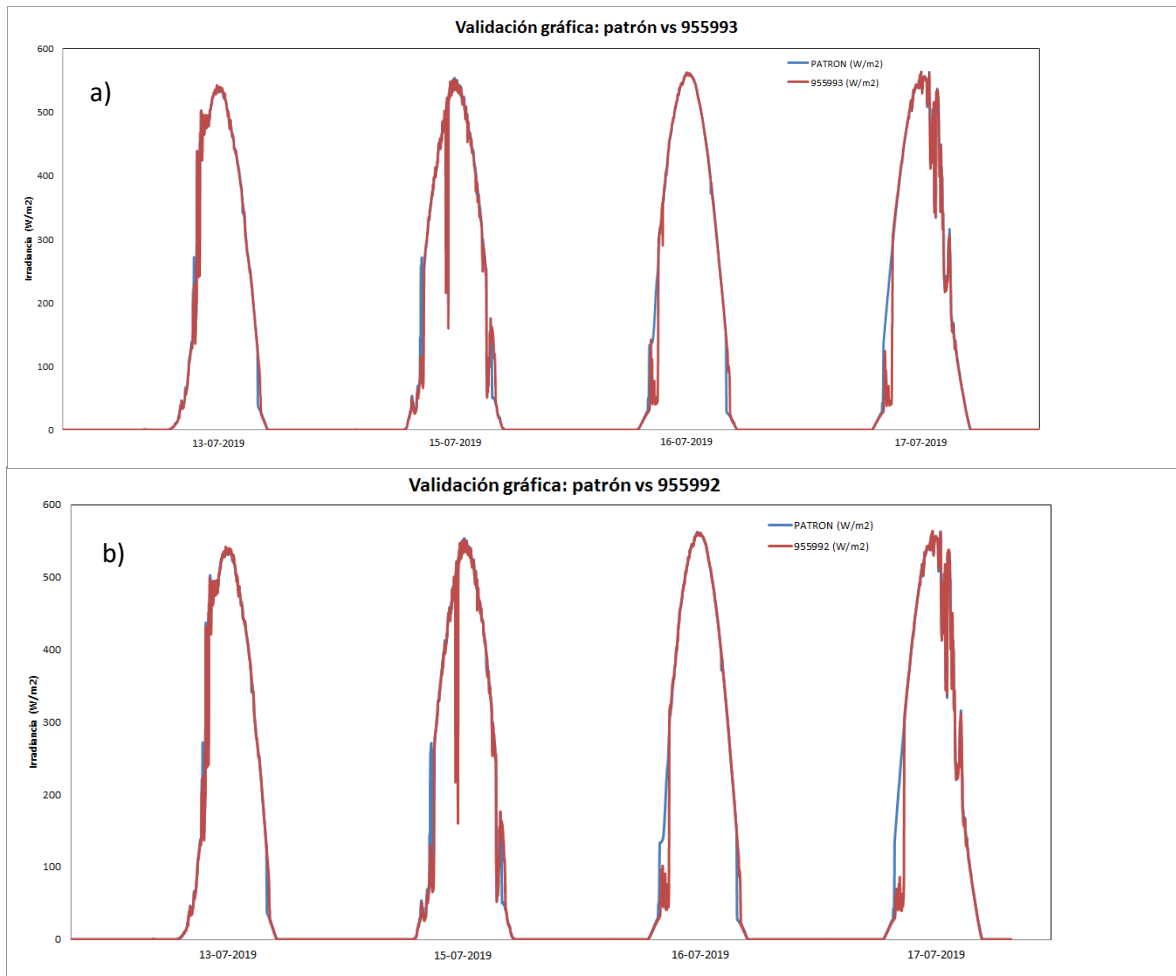
En la Tabla I se presenta el factor de calibración obtenido para los sensores calibrados junto con su incerteza relativa y, a modo de comparación, el factor de calibración obtenido en su última calibración realizada en 2015.

**Tabla I.** Resultados obtenidos para el sensor K&Z 140667.

SENSOR	Factor de calibración 2019 (V/Wm <sup>-2</sup> )	Incerteza Relativa (%)	Factor de calibración 2015 (V/Wm <sup>-2</sup> )	Variación relativa del factor de calibración (%)
K&Z 955992	5.40E-06	2.3	5.34E-06	1.1
K&Z 955993	5.31E-06	5.9	5.11E-06	3.9

De la Tabla I se desprende que la variación obtenida para el piranómetro 955992 está dentro de los límites esperables teniendo en cuenta el valor de no-estabilidad que presenta este modelo. Por otro lado, la variación relativa entre el factor obtenido para 2015 y 2019 para el piranómetro 955993 es más grande de lo esperado y esto puede ser debido al cambio de cable que se realizó a estos piranómetros en 2019 debido a problemas técnicos con el anterior.

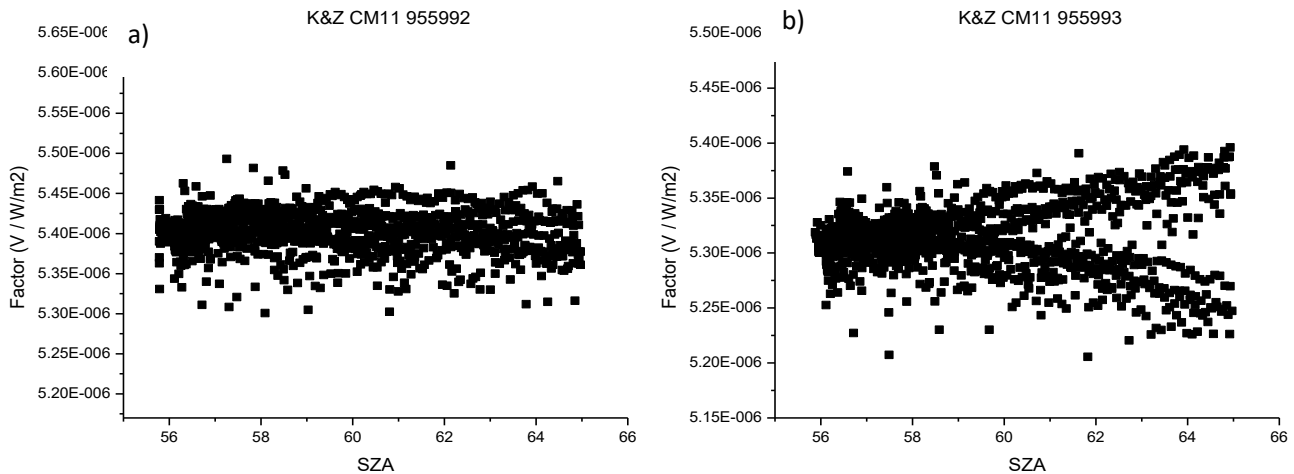
En la Figura 1 se pueden observar los gráficos resultantes de una comparación directa entre las medidas recogidas por los sensores calibrados contra las mediciones realizadas por el patrón para los días con menor nubosidad durante el período de calibración. En la figura se puede ver que por la mañana y por la tarde las mediciones se vieron disminuidas por la interferencia de arboleda aledaña, hecho que no afectó a los cálculos realizados debido a que solo se consideraron horas cercanas al mediodía solar.



**Figura 1.** Comparación directa entre los valores de irradiancia solar obtenidos por el sensor de referencia contra a) sensor K&Z 955993 y b) sensor K&Z 955992.

Como se puede observar en la Figura 1, hay un excelente solapamiento de las curvas medidas por el sensor de referencia y los piranómetros calibrados, resultado que está de acuerdo con la incerteza obtenida y con la baja desviación estándar hallada durante el proceso.

En la Figura 2 se ilustra el comportamiento de la constante de calibración parcial, proveniente de las mediciones de cada instrumento, en función del ángulo cenital para el cual fue hallado. La desviación estándar proveniente de la variabilidad respecto al valor medio fue utilizada para obtener la incerteza estadística.



**Figura 2.** Comportamiento del factor de calibración parcial obtenido en función del ángulo cenital para a) sensor K&Z 955992 y b) sensor K&Z 955993.

## 5. CONCLUSIONES

Entre los días 6 y 17 de julio se llevó a cabo la calibración de dos piranómetros marca Kipp&Zonen modelo CM11 con número de serie 955992 y 955993 en la ciudad de Buenos Aires con el fin de obtener el factor de calibración de los mismos utilizando como instrumento patrón un piranómetro Kipp&Zonen CMP11 con trazabilidad al Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC). Para realizar la calibración se utilizaron los días con menor nubosidad y, finalizada la misma, se obtuvo el factor de calibración y la incerteza relativa asociada para cada sensor.

Los factores de calibración hallados fueron de  $5.40E-06$  V/W/m<sup>2</sup> y  $5.31E-06$  para los sensores 955992 y 955993 respectivamente, mostrando una variabilidad relativa de 1.1% y 3.9% respecto los factores de calibración hallados en su última calibración llevada a cabo en 2015. Se cree que el valor más alto en la variación puede deberse al cambio de cable realizado a los sensores en 2019.

## 6. REFERENCIAS

Norma ISO 9846, 1993. Solar energy- Calibration of a pyranometer using a pyrhelimeter. International Organization for Standardization, Ginebra, 1993.

Norma ISO 9847, 1992. Solar energy- Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer. International Organization for Standardization, Ginebra, 1992.



Norma ISO 9059, 1990. Solar energy- Calibration of field pyrheliometers by comparison to a reference pyrheliometer. International Organization for Standardization, Ginebra, 1990.

Norma ISO 9060, 2018. Solar energy- Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation. International Organization for Standardization, Ginebra, 2018.

## 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](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, 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](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).