

PRIMEROS RESULTADOS DE LA INTERCOMPARACION SISTEMATICA DE SENSORES DE LA RED SOLARIMETRICA

H. GROSSI GALLEGOS* y O. DURSI†
Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel
Buenos Aires, ARGENTINA
Tel./Fax. (54-1) 455 6762

RESUMEN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda calibrar los sensores de radiación una vez por año, si bien existen opiniones que proponen hacerlo con el doble de frecuencia. La Red Solarimétrica adquirió con esa finalidad un equipo automático de tres canales, tratando de salvar de esta manera la omisión cometida durante los años de operación de la misma ya que las contrastaciones no fueron realizadas de manera sistemática. Se muestran en este trabajo los primeros resultados obtenidos con sensores termoelectricos, los que se encuadran dentro de lo esperado, y fotovoltaicos, en los que aparecen comportamientos dispares que obligan a un análisis pormenorizado de la información almacenada.

INTRODUCCION

De acuerdo con las recomendaciones formuladas por la Comisión de Radiación de la Asociación Internacional de Meteorología y Física Atmosférica (IAMAP) en la revisión que hiciera del Manual de Instrucción sobre Instrumentos y Mediciones de Radiación (CSAGI, 1958) que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) publicara como Guía para el Año Geofísico Internacional 1957/1958, los piranómetros deberían ser calibrados por lo menos una vez al año (hay quienes aconsejan una calibración dos veces por año, como por ejemplo McArthur, 1995). Una de las formas acostumbradas es la comparación con un patrón secundario, mediante un muestreo estadístico de valores integrados que incluya una amplia variedad de condiciones de cielo, el que se realiza a lo largo de un período de aproximadamente dos semanas (WMO, 1986).

En caso de encontrarse una discrepancia significativa con la constante de calibración original del instrumento, la comparación debería repetirse al cabo de algunas semanas a fin de detectar algún posible deterioro progresivo del sensor, en cuyo caso deberá ser reemplazado.

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE CONTRASTACION

Con la intención de realizar de manera sistemática este tipo de contrastación, que debido a sucesivos cambios de lugar de trabajo fue quedando postergada, se adquirió un integrador numérico de tres canales, con grabación de datos en un cartucho removible de memoria sólida y alimentación eléctrica autónoma por batería interna recargable por un panel fotovoltaico. El equipo (CE 263.3K) fabricado por la empresa francesa CIMEL ELECTRONIQUE, permite el registro simultáneo de datos provenientes de tres sensores de radiación integrados en períodos que van de media hora a un día, información que es transmitida a un procesador IBM compatible a través de una interfase RS232.

A partir de mediados de 1995 se implementó este tipo de comparación, comenzándose a trabajar con sensores termoelectricos ya que para ellos venía preparado inicialmente el equipo (la entrada de señal es del orden de los 10 mV). La intención es ir calibrando los mismos y enviarlos a las estaciones de la Red Solarimétrica para reemplazar a los que están instalados, los que a su vez pasarían a ser calibrados en la estación San Miguel en la que se encuentra instalado el equipo.

El piranómetro destinado a ser utilizado como patrón secundario es un Eppley PSP ("Precision Spectral Pyranometer") No. 18670 F3; fue calibrado el 29 de octubre de 1995 por el método de tapado-destapado (Kasten, 1988) con el pirheliómetro patrón de la Red Solarimétrica (TMI No. 67605), el que a su vez fue contrastado con el patrón nacional (TMI No. 67915), el que participó de la Octava Intercomparación Pirheliométrica Internacional (IPC VIII) llevada a cabo en Davos, Suiza, del 25 de setiembre al 13 de octubre de 1995, en el Centro Mundial de Radiación (WRC-PMOD). Cabe acotar que esta Intercomparación recomendó modificar el valor de la constante utilizada en un 4 por diez mil.

COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES TERMoeLECTRICOS

Los piranómetros termoelectricos que fueron contrastados en este período (un Eppley PSP, propiedad de un centro de investigación brasileño, y tres Eppley 8-48 "Black and White" de la Red Solarimétrica de Argentina) observaron un comportamiento normal, habiéndose encontrado variaciones en sus constantes del orden de las toleradas de acuerdo a su clasificación (de primera o de segunda clase). Vale la pena mencionar que la inestabilidad aceptada en los piranómetros de primera clase es de 1.5 % anual, mientras que en los de segunda es de 3 % anual; esta variabilidad, estudiada a lo largo de varios años, no ha arrojado resultados tan marcados como la que se encuentra a corto plazo, las que dependen de las diferentes condiciones meteorológicas registradas en las épocas del año en que se realizan las mediciones (Flowers, 1984).

* Investigador del CONICET

† Profesional de Apoyo del CONICET.

A manera de ejemplo, en la Figura 1 se presentan los resultados de la intercomparación registrada entre el patrón secundario y el PSP brasileño, mientras que en la Figura 2 se presenta algo similar para un Black and White (No. 20729).

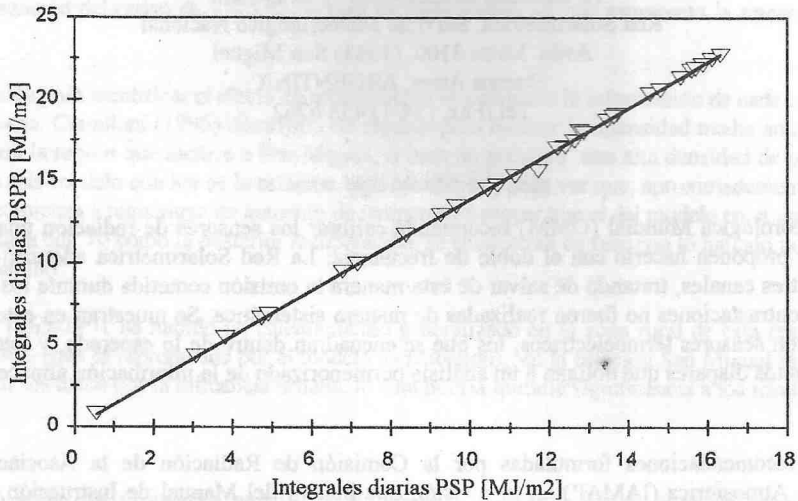


Fig. 1. Resultado de la intercomparación realizada entre el patrón secundario de referencia PSPR (Eppley PSP) y un piranómetro termoelectrico Eppley PSP.

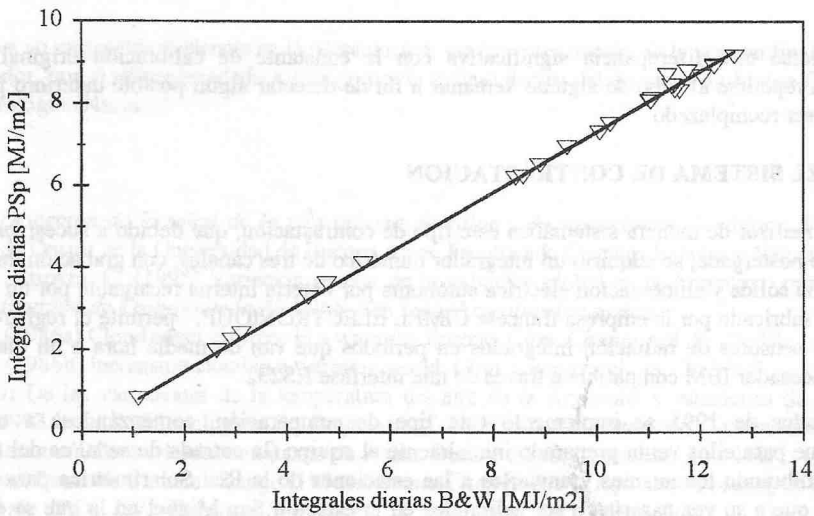


Fig. 2. Resultado de la intercomparación realizada entre el patrón secundario de referencia PSPR (Eppley PSP) y un piranómetro termoelectrico Eppley Black and White.

En la Tabla 1 se resumen los resultados obtenidos para las constantes de calibración y se los compara con los valores de fábrica. Las variaciones registradas se encuentran algo por encima de los márgenes tolerados para piranómetros de esta clase, esto es, 3 % para los solarímetros de segunda clase.

Tabla 1. Valores obtenidos en la comparación estadística de los solarímetros termoelectricos con el patrón secundario.

| Solarímetro | Período de contrastación | Coefficiente de correlación (r^2) | Constante determinada ($10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$) | Constante de fábrica ($10^{-6} \text{ V/Wm}^{-2}$) | Variación relativa | Radiación global media ($\text{MJ/m}^2\text{-día}$) |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|--|--------------------|---|
| B&W N° 20548 | 8/5 al 21/5/96 | 0.9957 | 10.324 | 9.99 | +0.033 | 11.08 |
| B&W N° 20729 | 15/6 al 27/7/96 | 0.9981 | 11.626 | 11.12 | +0.045 | 8.68 |
| B&W N° 20735 | 20/7 al 8/8/96 | 0.9992 | 11.238 | 11.69 | -0.038 | 8.63 |

COMPORTAMIENTO DE LOS SENSORES FOTOVOLTAICOS

Dado que la salida eléctrica de los sensores fotovoltaicos es un orden mayor que la de los termoelectricos fue necesario intercalar un divisor de tensión para permitir el uso del equipo de comparación. Quedó así habilitado a fines de 1995 un canal destinado a la contrastación de este tipo de solarímetros, restando otro para la instalación de termoelectricos y el tercero para el piranómetro de referencia.

Los equipos fotovoltaicos fueron instalados en la primera etapa de la Red Solarimétrica luego de un estudio de factibilidad técnico-económica que tuvo en cuenta el destino de la información a obtener en la época en que se concibió la red (Lopardo y Fernández, 1978). Se decidió comprar marca Rho Sigma, fabricados en los Estados Unidos de Norteamérica, cuya estructura fue convenientemente modificada a fin darles robustez (Lopardo y otros, 1978). Dada la poca experiencia que se tenía con la operación de estos sensores, lo que se reflejaba en la escasa literatura disponible para entonces, su comportamiento fue cuidadosamente estudiado en comparación con sensores termoelectricos reconocidos (Lopardo y otros, 1979). En base a estos resultados pareció razonable lanzar la instalación de los mismos acoplados a integradores electrónicos de fabricación nacional, lo que constituía una alternativa interesante para evaluar la distribución de la energía solar para su utilización (Klein, 1981).

En la Figura 3 se presentan los resultados de una de las contrastaciones efectuadas en la que se puede apreciar el buen ajuste entre las integrales diarias del sensor fotovoltaico y las del piranómetro de precisión.

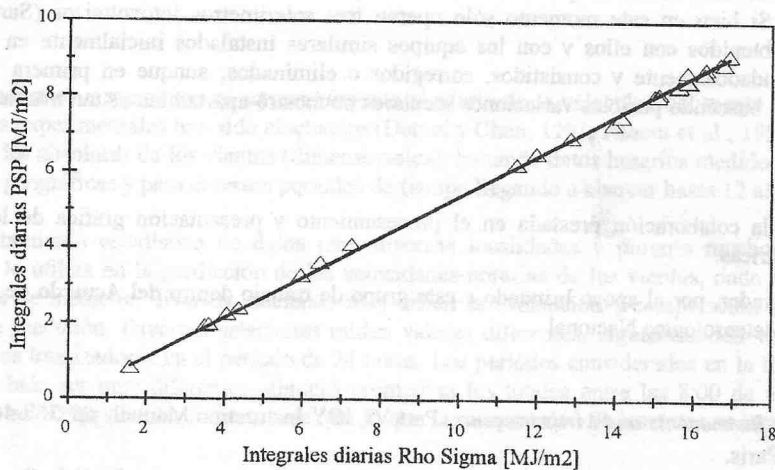


Fig. 3. Resultado de la intercomparación realizada entre el patrón secundario de referencia PSPR (Eppley PSP) y un solarímetro fotovoltaico Rho Sigma.

Comparando los resultados obtenidos en estas primeras calibraciones se encontró un comportamiento dispar (Tabla 2). Si bien en uno de los casos la constante de calibración había variado muy poco con respecto a la de fábrica, en los otros dos la variación determinada es más que importante, invalidando (o, al menos, cuestionando seriamente) la información registrada con estos sensores a lo largo del tiempo. No se detectó durante el tiempo de calibración ninguna dependencia de los valores diarios con la radiación global registrada ni con la temperatura media ambiente.

Tabla 2. Valores obtenidos en la comparación estadística de los solarímetros fotovoltaicos con el patrón secundario.

| Solarímetro | Periodo de contrastación | Coefficiente de correlación (r^2) | Constante determinada (10^{-6} V/Wm 2) | Constante de fábrica (10^{-6} V/Wm 2) | Variación relativa | Radiación global media (MJ/m 2 -día) |
|------------------|--------------------------|---------------------------------------|---|--|--------------------|---|
| Rho Sigma No. 7 | 19/4 al 21/5/96 | 0.9915 | 306 | 294 | +0.04 | 9.4 |
| Rho Sigma No. 15 | 15/6 al 11/7/96 | 0.9987 | 396 | 323 | +0.23 | 6.4 |
| Rho Sigma No. 18 | 13/7 al 8/8/96 | 0.9983 | 315 | 250 | +0.26 | 7.3 |

CONCLUSION

Si bien en uno de los trabajos preliminares del grupo (Lopardo y otros, 1979) se mencionaba entre las conclusiones que aún restaba "demostrar la estabilidad de este tipo de solarímetro fotovoltaico", dicha tarea se postergó más allá de lo recomendable, inicialmente teniendo en cuenta los alentadores resultados obtenidos en los estudios comparativos que se

habían efectuado y luego por los motivos ya enunciados vinculados con los sucesivos traslados del grupo. No es de conocimiento de los autores, en caso de existir, información publicada sobre el comportamiento de los sensores fotovoltaicos a lo largo de períodos extensos de tiempo por lo que estos resultados revisten particular interés, al menos para la Red Solarimétrica.

Como estas contrastaciones no se realizaron sistemáticamente sino de manera aislada, se desconoce si esta variación es progresiva o si se modifica de manera diversa a lo largo del tiempo, dependiendo de la altura solar, la temperatura ambiente o alguna otra variable.

Cabe citar que, en el trabajo de Flowers ya mencionado, se incluyen importantes apartamientos estacionales y bajo diferentes condiciones de cielo observados en sensores termoelectricos: - 3.3 % en un PSP en invierno, con cielos nublados, y 10.4 % en un Schenk, en invierno, con cielos claros, por lo que el problema no se limitaría a los fotovoltaicos, si bien difiere en valores absolutos. Por otra parte, al efectuar la calibración del patrón secundario de la Red Solarimétrica Paraguaya (Eppley PSP N° 30808 F3) contra el Pirheliómetro Absoluto TMI con cielo claro el 28 de junio de 1996, el valor hallado para su constante, en base a 21 mediciones prácticamente coincidentes, difería de la de fábrica en un - 6.1 %.

La tarea a llevar a cabo frente a estos resultados tiene dos aspectos. El primero, continuar este estudio en otras épocas del año con el modelo de solarímetros fotovoltaicos que fueron utilizados por la Red Solarimétrica (tanto en lo que hace al detector cuanto al circuito de compensación por temperatura) e incluir en él, de ser posible, otros modelos de sensores no termoelectricos disponibles en el mercado.

El otro aspecto es tratar de determinar de qué manera este comportamiento afecta a los datos acumulados en diversas estaciones de medición. Si bien en este momento sólo operan tres solarímetros fotovoltaicos (San Miguel, Rafaela y Paraná), los resultados obtenidos con ellos y con los equipos similares instalados inicialmente en las otras estaciones deberán ser revisados cuidadosamente y consistidos, corregidos o eliminados, aunque en primera instancia el análisis llevado a cabo sobre ellos buscando posibles variaciones seculares no mostró apartamientos tan marcados (Grossi Gallegos y Atienza, 1995).

AGRADECIMIENTOS

A Graciela Renzini por la colaboración prestada en el procesamiento y presentación gráfica de los resultados de las contrastaciones piranométricas.

A la Universidad del Salvador, por el apoyo brindado a este grupo de trabajo dentro del Acuerdo de Mutua Colaboración firmado con el Servicio Meteorológico Nacional.

REFERENCIAS

CSAGI (1958) *Radiation Instruments and Measurements*, Part VI, IGY Instruction Manual, pp. 367-466. Pergamon Press; London, New York, Paris.

W.M.O. (1986) *Revised instruction manual on radiation instruments and measurements*, Frölich, C. and London, J. (Eds.), WRC Publications Series No. 7, WMO/TD - No. 149, Davos, Switzerland.

Flowers, E. C. (1984) Long-term behaviours of pyranometers. En *Proceedings IEA Meeting*, Norrköpping, Sweden (citado en el Cap. 4, p. 68, del *Revised instruction manual on radiation instruments and measurements*).

Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1995), *Actas de la XVIII Reunión de Trabajo de la ASADES*, San Luis, Argentina (en prensa).

Kasten, F. (1988) Field instruments for solar radiation measurements. En *Physical Climatology for Solar and Wind Energy*, Guzzi, R. and Justus, C. (Eds.), pp. 438-477, World Scientific, Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.

Klein, W. (1981) Rapporteur's Report from Solar Resource Session. En *Proceedings of the ISES Congress*, Hall, D. and Morton, J. (Eds.), volume 3, pp.2311-2312, Pergamon Press, Brighton, Inglaterra.

Lopardo, R. y Fernández, R. (1978) Estudio técnico-económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en la Argentina. En *Atas do II Congresso Latino-americano de Energia Solar*, vol. I, pp. 43-59, João Pessoa, Brasil.

Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1978) Aspectos técnicos de la Red Solarimétrica. En *Actas de la IV Reunión de Trabajo de la ASADES*, pp. 365-374, La Plata, Argentina.

Lopardo, R., García, M. y Atienza, G. (1979) Comportamiento de un detector fotovoltaico en distintas condiciones. En *Actas de la V Reunión de Trabajo de la ASADES*, vol. I, pp. 5-11, Córdoba, Argentina.

McArthur, B. (1995) Quality Control and Quality Assurance. Presentado en *IPC VIII*, Davos, Suiza.