



Servicio
Meteorológico
Nacional

CALIBRACIÓN DE RADIOMETRO UV ERITÉMICO YES UVB-1 s/n 940602

Nota Técnica SMN 2021-93

Fernando Nollas¹

¹*Dirección Central de Monitoreo del Clima, DNCIPS, SMN*

Mayo 2021



Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

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 asegurar calidad en los datos de radiación solar ultravioleta (UV) los sensores que miden este parámetro deben ser calibrados regularmente contra uno o más sensores patrones, que deben tener trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC) de Davos. De esta manera los datos obtenidos en los sitios de medición estarán estandarizados y serán comparables a nivel local y global. En este trabajo se presentan los procedimientos y resultados obtenidos de intercomparar el sistema YES UVB-1 s/n 940602 + divisor resistivo en el Observatorio Central de Buenos Aires durante el mes de noviembre de 2020.

Abstract

To ensure quality in the ultraviolet (UV) solar radiation data, sensors that measure this parameter must be calibrated regularly against one or more standard sensors, which must have traceability with the World Radiation Center (PMOD / WRC) in Davos. In this way, the data obtained at the measurement sites will be standardized and will be comparable locally and globally. In this work, the procedures and results obtained from the intercomparison of YES UVB-1 s / n 940602 radiometer + resistive divider system are presented. This intercomparison was carried out at the Central Observatory of Buenos Aires during the month of November 2020.

Palabras clave: Calibración, Radiómetro UV, trazabilidad

Citar como:

Nollas, F., 2021: Calibración de radiómetro UV eritémico YES UBV-1 s/n 940602. Nota Técnica SMN 2021-93.

1. INTRODUCCIÓN

Los sensores de radiación ultravioleta (UV) sufren el desgaste que ocasiona estar a la intemperie bajo la radiación solar misma que miden, las inclemencias meteorológicas, el efecto de posibles fluctuaciones de la corriente eléctrica sobre la electrónica del instrumento, etc. Por ello es de vital importancia que sean comparados regularmente contra uno o más sensores patrones con trazabilidad al Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC) de Davos, en lo que se denomina Intercomparación de Radiómetros (IC). La IC es propiamente una campaña de calibración que permite obtener un nuevo factor de calibración (FC) para cada uno de los sensores, de modo que las mediciones obtenidas por estos sensores en sus sitios de medición, sean homogéneas y estandarizadas, a nivel local y global.

En 2018 se realizó una campaña de IC de radiómetros UV (Nollas y otros, 2018a y b) en donde se calibraron 20 radiómetros locales utilizando 2 radiómetros completamente caracterizados en Davos por el PMOD/WRC. Uno de los radiómetros calibrados en 2018 fue el Yankee Environmental Systems (YES) s/n 940602 que mide en el Observatorio Meteorológico de La Quiaca. Debido a la alta intensidad de radiación solar UV que alcanza la superficie en dicho sitio durante el verano, el sensor arroja valores de voltaje superiores a 2,5 V por lo que el datalogger Campbell CR10X que allí funciona no es capaz de procesar dichos datos. Por ello, se implementó un divisor resistivo capaz de disminuir la señal de salida de manera tal de poder contar con todos los datos.

En esta nota se presenta el procedimiento y resultados de intercomparar el sistema radiómetro+divisor resistivo contra el radiómetro UV Solar Ligth (SL) s/n 2747 que fue calibrado en 2018 y, por lo tanto, utilizado como referencia en esta intercomparación. Dicha intercomparación fue llevada a cabo en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA, Lat:-34.59, Long:-58.48°, Alt: 32m s.n.m.) durante el mes de noviembre de 2020.

2. SENSORES

El sensor considerado como referencia fue el SL 2747 y el mismo mide continuamente la radiación UV en el OCBA. Este radiómetro ha participado en calibraciones con trazabilidad al PMOD/WRC en 2006, 2010, 2014 y 2018 (Nollas y otros, 2018a y b). Por otra parte, el radiómetro calibrado fue el YES 940602 que, si bien también fue calibrado en el 2018, no puede ser utilizado de manera directa para medir la radiación UV en La Quiaca conectado al CR10X del que se dispone en dicho Observatorio. Por ello se conectó a un divisor resistivo para disminuir el voltaje de salida del sistema. Esto requiere la calibración del sistema radiómetro+ divisor resistivo para poder obtener adecuadamente la radiación UV en el sitio.

3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE DATOS

3.1 Protocolo de medición

El radiómetro YES 940602 se colocó sobre una plataforma diseñada exclusivamente para llevar a cabo intercomparaciones de sensores de radiación solar, la cual se encuentra en el techo de la casilla de Dobson mientras que el radiómetro de referencia se ubicó a aproximadamente a 15 metros de dicha mesada. El

OCBA se encuentra en un parque y por lo tanto existe vegetación aledaña que interfiere con la radiación solar. El efecto de la interferencia producida por la arboleda aledaña fue cuantificado por Cede y otros (2002) y se pudo verificar in-situ que la sombra producida por la vegetación solo se proyectó sobre los sensores durante una primera parte de la mañana y finalizando el día. Además, debido al rango del ángulo solar cenital que se consideró para los cálculos (SZA por sus siglas en inglés), y teniendo en cuenta la cercanía entre el sensor patrón y el que se deseaba calibrar, los posibles efectos atenuantes de la arboleda circundante no fueron considerados.

Una vez instalado sobre la mesada, el sistema radiómetro+divisor fue conectado a un datalogger marca Campbell modelo CR10X el cual fue configurado para obtener una salida de voltaje por minuto que representa el promedio de mediciones instantáneas cada 10 segundos. Todos los valores estuvieron acompañados de su respectiva hora de medición la cual se expresó en hora UTC.

Por otro lado, el SL 2747 se mantuvo conectado a su respectiva unidad de adquisición en la cual se aplicó un factor de escala 10 para incrementar la resolución de los valores almacenados como dosis MED integradas sobre 1 minuto.

3.2 Procedimiento de calibración

El procedimiento de calibración sigue los lineamientos planteados por Nollas y otros (2018) basados en el trabajo realizado por Hülsen y Gröbner (2007) en donde se plantea que la irradiancia eritémica puede ser obtenida a partir de

$$E_{CIE} = (U - U_{offset}) C f_n(SZA, TO_3) C_{oscor} , \quad (1)$$

donde U representa la señal de salida cruda, U_{offset} la señal nocturna y C es la constante absoluta de calibración. La función de conversión (o matriz de transferencia) f_n está normalizada a ángulo cenital (SZA) de 40° así como columna de ozono (TO_3) de 300 DU y se obtiene a través de modelos de transferencia radiativa utilizando la respuesta espectral de cada sensor medida en laboratorio. El restante parámetro C_{oscor} se obtiene también a partir de mediciones de laboratorio y representa la corrección del error coseno intrínseco de cada instrumento.

Tanto la matriz de transferencia como la corrección coseno deben ser obtenidos en laboratorio. Debido a que no se conocen por laboratorio las respuestas angulares ni espectrales del SL 2747 ni del YES 940602, se optó por seguir los lineamientos utilizados por Julian Grobner en la IC UV que realizó en 2010. En dicha ocasión se utilizaron respuestas espectrales y angulares nominales para los sensores obteniendo las matrices de transferencia y correcciones coseno que se muestran en las tablas I a la IV. Si bien estas correcciones no son propiamente medidas para cada radiómetro, fueron obtenidas como promedio de caracterizaciones realizadas en Davos para cada tipo de compañía fabricante.

Tabla I. Corrección coseno en función del SZA para los sensores YES UVB-1.

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1.07	1.07	1.08	1.08	1.08	1.09	1.1	1.11	1.12	1.13	1.15	1.16	1.18	1.2	1.21	1.2	1.19	1.17	1.17

Tabla II. Corrección coseno en función del SZA para los sensores SL.

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05

Tabla III. Función de conversión en función del SZA y de la columna de ozono en DU para los sensores SL 501 normalizado a SZA = 40° y TO₃=300 DU.

	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0	1.093	1.072	1.055	1.041	1.029	1.019	1.012	1.006	0.998	0.998	0.996
5	1.092	1.072	1.054	1.04	1.028	1.019	1.011	1.005	0.998	0.998	0.996
10	1.09	1.069	1.052	1.038	1.027	1.017	1.01	1.005	0.998	0.998	0.996
15	1.085	1.065	1.049	1.035	1.024	1.015	1.008	1.003	0.997	0.997	0.996
20	1.079	1.06	1.044	1.031	1.02	1.012	1.006	1.002	0.997	0.997	0.996
25	1.072	1.053	1.038	1.026	1.016	1.009	1.004	1	0.997	0.997	0.997
30	1.063	1.045	1.031	1.02	1.012	1.005	1.001	0.999	0.998	0.998	0.999
35	1.052	1.036	1.024	1.014	1.007	1.002	0.999	0.998	1	1	1.002
40	1.041	1.027	1.016	1.008	1.003	1	0.999	0.999	1.004	1.004	1.008
45	1.03	1.018	1.009	1.004	1.001	1	1.001	1.003	1.012	1.012	1.018
50	1.019	1.01	1.009	1.001	1.001	1.003	1.007	1.012	1.025	1.025	1.034
55	1.01	1.004	1.002	1.003	1.006	1.012	1.019	1.027	1.047	1.047	1.059
60	1.005	1.004	1.007	1.012	1.02	1.029	1.04	1.053	1.081	1.081	1.096
65	1.008	1.013	1.021	1.032	1.045	1.06	1.077	1.094	1.133	1.133	1.154
70	1.023	1.036	1.052	1.071	1.091	1.113	1.137	1.161	1.213	1.213	1.241
75	1.061	1.084	1.11	1.139	1.169	1.2	1.233	1.267	1.337	1.337	1.373
80	1.138	1.175	1.214	1.225	1.298	1.343	1.388	1.434	1.527	1.527	1.575
85	1.278	1.332	1.387	1.444	1.502	1.561	1.62	1.68	1.8	1.8	1.86
90	1.379	1.432	1.49	1.549	1.609	1.67	1.732	1.795	1.921	1.921	1.984

Tabla IV. Función de conversión en función del SZA y de la columna de ozono en DU para los sensores YES UVB-1 normalizado a SZA = 40° y TO₃=300 DU.

	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
0	1.249	1.202	1.162	1.128	1.099	1.074	1.053	1.034	1.018	1.005	0.993
5	1.247	1.2	1.16	1.127	1.098	1.073	1.052	1.033	1.017	1.004	0.992
10	1.241	1.195	1.155	1.122	1.093	1.069	1.048	1.03	1.014	1.001	0.99
15	1.231	1.185	1.147	1.114	1.086	1.062	1.042	1.025	1.01	0.997	0.986
20	1.217	1.173	1.135	1.103	1.077	1.054	1.034	1.017	1.003	0.991	0.981
25	1.2	1.157	1.121	1.09	1.064	1.042	1.024	1.008	0.995	0.984	0.975
30	1.179	1.137	1.103	1.074	1.05	1.03	1.012	0.998	0.986	0.976	0.968
35	1.154	1.115	1.083	1.056	1.034	1.015	1	0.987	0.977	0.968	0.962
40	1.127	1.091	1.061	1.036	1.016	1	0.987	0.976	0.967	0.961	0.956
45	1.097	1.064	1.038	1.016	0.999	0.985	0.974	0.966	0.959	0.955	0.952
50	1.066	1.037	1.014	0.996	0.982	0.971	0.963	0.958	0.954	0.953	0.952
55	1.035	1.01	0.992	0.978	0.968	0.961	0.957	0.954	0.954	0.956	0.958
60	1.005	0.987	0.974	0.965	0.959	0.957	0.957	0.959	0.963	0.968	0.975
65	0.981	0.969	0.963	0.96	0.96	0.963	0.969	0.976	0.985	0.995	1.007
70	0.967	0.964	0.965	0.97	0.977	0.988	1	1.014	1.03	1.047	1.065
75	1.061	1.084	1.11	1.139	1.169	1.2	1.233	1.267	1.302	1.337	1.373
80	1.138	1.175	1.214	1.255	1.298	1.343	1.388	1.434	1.48	1.527	1.575
85	1.278	1.332	1.387	1.444	1.502	1.561	1.62	1.68	1.74	1.8	1.86
90	1.379	1.434	1.49	1.549	1.609	1.67	1.732	1.795	1.858	1.921	1.984

En días con cielo completamente cubierto se considera que la radiación alcanza la superficie en forma isotrópica por lo que en estos casos se habla del factor de corrección difusa en donde el Coscor toma un valor constante que es igual a 1.05 para los sensores SL y 1.17 para los YES.

Para los cálculos se utilizaron días completamente despejados, los cuales fueron: 1, 5, 20, 22, 23, 26 y 27 de noviembre.

La expresión (1) fue utilizada conociendo los parámetros para el radiómetro de referencia a partir de la calibración realizada en 2018 con la finalidad de trabajar los datos en unidades de $W.m^{-2}$. Asimismo, para el sensor a calibrar se utilizó la matriz de conversión y *Coscor* correspondiente a la compañía YES con el objetivo de obtener la constante absoluta de calibración C del mismo. Cabe aclarar que, para el cálculo final de C, se consideraron $SZA < 50^\circ$.

Los datos de la columna total de ozono para los días de la intercomparación fueron obtenidos utilizando un espectrofotómetro de Dobson (con número de serie #70) el cual es, a su vez, el patrón regional asegurando confiabilidad en los valores.

3.3 Análisis de incertezas

Para el análisis de incertezas se utilizó como referencia el trabajo de Cede y otros (2002) y se consideraron las siguientes fuentes de incerteza:

- Incerteza en instrumento patrón ($\sigma_{patrón}$)
- Dispersión estadística de los valores obtenidos de C (σ_{disp})
- Errores en las funciones respuesta nominales utilizadas para los sensores (σ_{espec} y σ_{ang})
- Incerteza en la señal de salida de los sensores (σ_{raw})

En su trabajo, Cede y otros (2002) analizaron las múltiples incertezas asociadas y establecieron su variación respecto al ángulo cenital para los sensores YES y SL que había en la red UV en ese momento. La incerteza obtenida en ese trabajo teniendo en cuenta la los aportes de la respuesta angular y espectral así como la incerteza en la señal de salida de los sensores se muestra en la tabla V.

Tabla V. Incerteza relativa obtenida de la combinación de incertezas en las respuestas angular y espectral así como en la señal de salida de los sensores para los distintos ángulos cenitales. Cede y otros (2000).

Incerteza (%)	SZA					
	<30°	40°	50°	60°	70°	80°
Combinación σ_{espect} , σ_{ang} , σ_{raw}	6.0	6.1	6.5	7.6	10.6	18.7

Para el presente trabajo se utilizaron los resultados de la Tabla V y se le adicionaron los obtenidos a partir de la dispersión de los datos y de la incerteza propia de la calibración del radiómetro SL 2747 obtenida en 2018. Cabe aclarar que la incerteza debido a la dispersión estadística se obtuvo a partir de considerar una distribución normal con un intervalo de confianza del 95%.

Para el cálculo de la incerteza relativa final se supuso que las incertezas independientes tenían covarianza cero y se utilizó

$$Incerteza\ relativa = \sqrt{\sigma_{patron}^2 + \sigma_{disp}^2 + \sigma_{espect}^2 + \sigma_{ang}^2 + \sigma_{raw}^2} \quad (2)$$

4. RESULTADOS

Luego del análisis de los datos se obtuvo una constante de calibración para el sistema radiómetro YES940602 + divisor resistivo de $0.2719 \text{ W.m}^{-2}/\text{V}$. La Tabla VI contiene las incertezas asociadas en función del ángulo cenital.

Tabla VI. Incertidumbre relativa del radiómetro YES 940602 obtenida en función del ángulo cenital.

Incerteza (%)	<30°	40°	50°	60°	70°	80°
YES 940602	11.7	11.8	12.2	13.5	17.0	27.6

Una vez obtenido el factor de calibración absoluto del radiómetro YES 940602, se aplicó la expresión (1) con sus respectivas correcciones y se obtuvo la Figura 1, donde se puede ver en el mismo gráfico los valores del índice UV medidos por el sensor de referencia y el sensor calibrado contra el mismo.

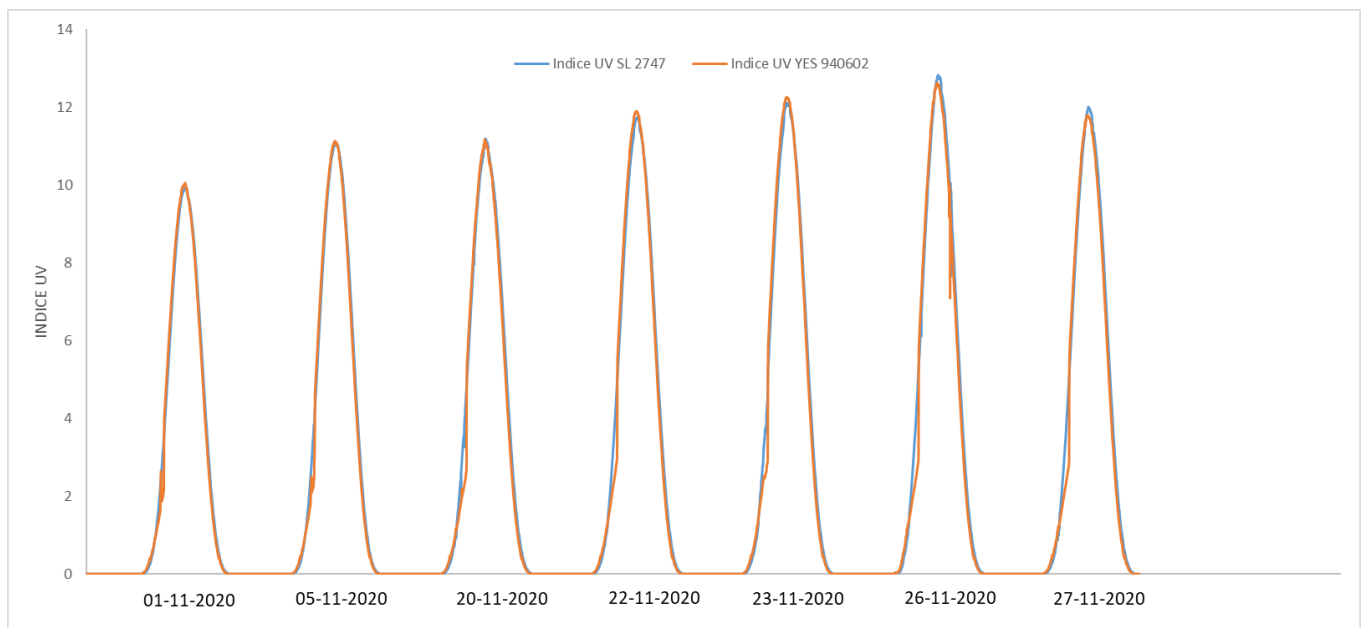


Fig. 1. Comparación de los valores de índice UV medidos por el radiómetro SL 2747 con todas sus correcciones y los medidos por el YES 940602 con el factor de calibración obtenido en el presente trabajo.

5. CONCLUSIONES

Durante el mes de noviembre de 2020 se llevó a cabo la calibración del radiómetro UV YES 940602 conectado al divisor resistivo en la ciudad de Buenos Aires con el fin de obtener el factor de calibración del sistema utilizando como instrumento patrón el radiómetro SL 2747 que fue calibrado en 2018 con

trazabilidad al Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC). Para realizar la calibración se utilizaron días totalmente despejados y se obtuvo el factor de calibración así como la incerteza relativa asociada.

El factor de calibración hallado fue de $0.2719 \text{ W.m}^2/\text{V}$ y la incerteza relativa asociada depende del ángulo cenital, variando desde 11.7% a 27.6%.

La calibración realizada bajo estas condiciones debe considerarse transitoria a la espera de poder contrastar este sistema contra uno o más patrones reciente y completamente caracterizados en Davos por el PMOD/WRC.

6. REFERENCIAS

Cede A., E. Luccini, R.D. Piacentini, L. Nunez, and M. Blumthaler, 2002: Calibration and Uncertainty Estimation of Erythemal Radiometers in the Argentine Ultraviolet Network. *Appl. Opt.*, 41, 6341–6350.

Hülse G., Gröbner J., 2007: Characterization and calibration of ultraviolet broadband radiometers measuring erythemally weighted irradiance. *Appl. Optics* 46, 5877-5886.

Nollas F., E. Luccini, G. Carbajal, F. Orte, E. Wolfram, G. Hülse, J. Gröbner, 2018a. Report of the Fifth Erythemal UV Radiometers Intercomparison (Buenos Aires, Argentina, 2018). GAW report No. 243. (2018). https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20791#.XN6kuyBKgdV

Nollas, F., E. Luccini, G. Carbajal y E. Wolfram, 2018b: Intercomparación de radiómetros UV eritémicos. Nota Técnica SMN 2018-49. http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/768/Nota_Tecnica_SMN_2018-49.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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 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).