

CALIBRACIÓN DE UN MEDIDOR DE RADIACIÓN UVE QUE OPERA CON UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS AUTOMÁTICO

Mario Lavorato^(1,2), Facundo Moscatelli^(1,2), Matías Correa^(1,2), Mauricio Roberto Pagura^(1,2), Maximilaino Zanin^(1,2), Héctor Lacomí^(1,2), Pablo Cesarano⁽²⁾

1. Grupo TAMA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 680, Haedo, Buenos Aires, Argentina.
2. División Radar Láser, Dto. Láser, CITEDEF, Juan B. La Salle 4397, B1603ALO, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina. e-mail: mlavorato@citedef.gob.ar

Recibido 28/02/11; aprobado 04/08/11

Se calibró el medidor de Radiación UVE (Ultra Violeta en la banda UV correspondiente a la dosis Eritémica). El sistema utiliza un sensor de silicio potenciado para el UV (Eryca UV-Index sensor) dopado para la detección en la banda de UV mejorado con un filtro adicional que posee concordancia con la curva de acción eritémica de la piel humana. El radiómetro desarrollado se calibró con dos unidades comerciales disponibles. Un radiómetro UV de la empresa Kipp & Zonen y el otro es el ILT1400 de la empresa International Light Technologies. Se presentan los resultados obtenidos durante varios días cuyos datos fueron obtenidos en forma automática. Los resultados comparativos con los radiómetros comerciales permitieron mostrar la precisión en la medida cuyo error no supera el 10 %.

This work present the UVE unit calibration (Eritemic dose). The system is based on special doped silicium UV detector (Eryca UV-Index sensor) with a large band UVE filter matched with a erithemic human skin response. The developed radiometer was calibrated with two commercial calibrated units. One of them is a Kipp&Zonen UVE detector and the other one is an ILT1400 Cambridge UV Sesor. In this work we present the calibration results acquired during a few days in automatic operation. The results show the accuracy of the system with an mean error less than 10 %.

I. INTRODUCCIÓN

La radiación más poderosa que recibe la tierra proveniente del sol, es la Ultra Violeta (UV), y afecta a todo y todos en general. Esta radiación solo representa entre el 5 % y 7%, de la radiación total que emite el sol que llega a la tierra (Figura 1)^{[1],[2],[3],[4]}. Es invisible al ojo humano cubre la banda espectral entre los 180 nm y los 395 nm a partir de la cual comienza la banda visible (VIs).

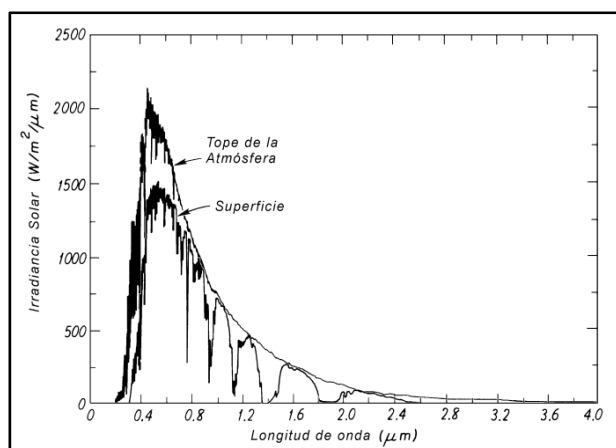


Figura 1. Experimento Lowtran 7 – Espectro de la radiación solar fuera de la atmósfera comparada con la de la superficie de la Tierra.

La radiación UV está dividida arbitrariamente en tres bandas: UVC (180 nm a 280 nm), UVB (280 nm a 320 nm) y UVA (320 nm a 395 nm)^{[5],[6],[7]}. La banda UVC, la más letal de las tres, no llega a la superficie de la tierra ya que es filtrada por la atmósfera superior. Parte de la radiación UV que llega a la superficie de la

tierra es esencial para la vida (humanos, animales y plantas), estimula la síntesis de algunas sustancias, imprescindibles para la vida. Por otro lado el exceso de radiación, provoca entre otros efectos la mutación y/o destrucción del ADN en los seres vivos induciendo a enfermedades terminales como el cáncer de piel.

El efecto más evidente sobre la piel, es la quemadura del sol, conocida como eritema de piel. Las personas de piel oscura están más protegidas debido al pigmento de sus células cutáneas mientras que las personas con piel blanca son los que se encuentran en mayor peligro de daños eritémicos (Ver Tabla en la página siguiente).

II. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La exposición prolongada a la radiación UV o cuando llega en exceso a la superficie de la tierra, puede producir daños irreparables, ya que su efecto es acumulativo. Por lo tanto es de suma importancia realizar mediciones en las bandas UVA + UVB durante todo el año. Así la población podrá ser advertida cuando la radiación llega a sus niveles críticos o pasan del límite de tolerancia. Los principales órganos afectados son *la piel* y *la vista*.

Presentamos el radiómetro solar calibrado desarrollado y construido para que detecte exclusivamente la radiación ultravioleta denominada UVE Dosis Eritémica. Esta nueva denominación de la radiación UV, comprende las bandas correspondientes a la Banda UVB completa mas el 40 % de la Banda UVA.

La dosis eritémica o dosis de eritema media (DEM) es la cantidad de radiación que se necesita para que se produzca el enrojecimiento de la piel a una persona. El enrojecimiento o eritema depende de tres factores:

- I. El tipo de piel.

- II. La intensidad de la radiación recibida.
- III. El tiempo de exposición a la radiación.

TABLA I

La piel humana se puede caracterizar y/o dividir en 6 tipos, de acuerdo a la sensibilidad a la radiación UV.

Fototipo de piel	Color de Piel Expuesta	Sensibilidad a la Radiación	Descripción de la Piel
1	Blanca	Muy Sensible	Siempre se quema con facilidad. Nunca se broncea.
2	Blanca	Muy Sensible	Siempre se quema con facilidad. Se broncea mínimamente y con dificultad.
3	Blanca	Sensible	Se quema mínimamente. Se broncea de manera gradual y uniforme - Color café claro.
4	Café Claro	Moderadamente Sensible	Se quema mínimamente. Siempre se broncea bien - Color café moderado.
5	Café	Mínimamente Sensible	Rara vez se quema. Se broncea intensamente - Color café oscuro.
6	Café Oscuro o Negro	Insensible o Muy Poco Sensible	Nunca se quema. Se broncea intensamente - Color café oscuro o negro.

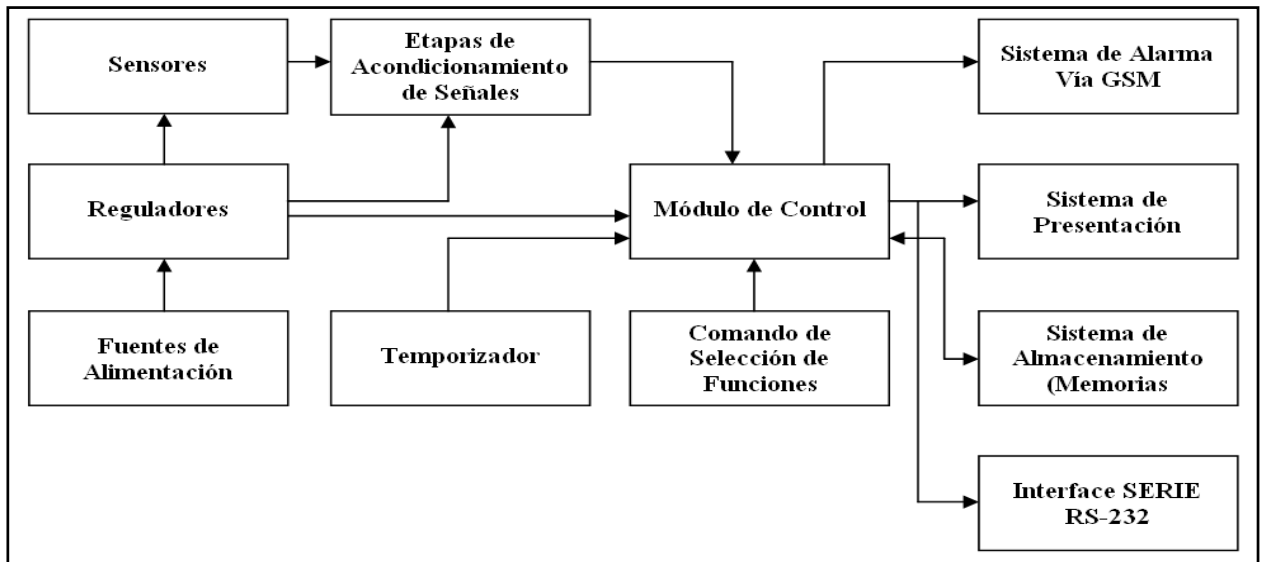


Figura 2. Diagrama en Bloques del Radiómetro

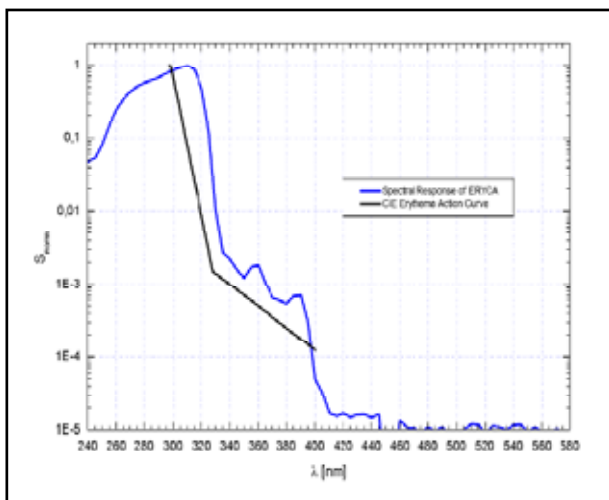


Figura 3. Banda Espectral correspondiente a la Radiación UVE - Dosis Eritémica.^[8]

III. EQUIPO DESARROLLADO

Radiómetro UVE

En la figura 2 se puede observar el Diagrama en Bloques completo del Radiómetro. El mismo mide la radiación UVE, con filtro de banda ancha que cubre toda la banda UV-B y el 40 % de la UV-A (Figura 3). Mide además la Temperatura exterior y registra el /Día/Hora/RadiaciónUVE/Temperatura/ en forma continua cada 2 segundos (mínimo) o mayor en forma programable, con una autonomía mínima de una semana (para los 2 s por dato). Por último, posee alarma externa vía celular en caso de memoria llena, o exceso de temperatura de trabajo.

ESPECIFICACIONES

Características del fotodetector.

- Rango de temperatura: -20 a +80 °C.
- Tensión Inversa: 3 V.
- Corriente Directa: 1 mA.

- Área Activa: 4,18 mm2.
- Ángulo de Visión **: 70 °.
- Corriente de Oscuridad: 30 pA.
- Tensión de Ruptura: > 3V.
- Sensibilidad Espectral mín.: 19 mA.W-1.
- Rango Espectral (al 10%): 215 – 325 nm

Acondicionador de señal.

- Ganancia: hasta 650 veces en tensión.
- Ancho de Banda: DC a 500 Hz.

Sensor de Temperatura:

- Calibrado directamente en ° Celsius.
- Factor de escala lineal + 10.0 mV/°C.
- 0.5°C de precisión garantizada (a +25°C).
- Rango de Trabajo: -55° to +150°C.
- Adecuado para aplicaciones remotas.
- Opera desde 4 a 30 volts.
- Consumo menor a 60 µA.
- Bajo nivel de auto-calentamiento, 0.08°C al aire libre.
- Funcionamiento alineal solo en el rango de ±1/4°C
- Salida de baja impedancia, 0.1 W para carga de 1 mA.

Sistema de adquisición de datos.

- Entrada de señales ADC - 16 bits.
- Interrupciones - Real Time Clock DS1307.
- Manejo de líneas SCK y SDA (Protocolo I2C) y RTC.
- Comunicación a PC vía RS232.
- Comunicación a celular c/GSM y genera SMS de alerta.
- Información disponible en Display (4 dígitos).
- Indicadores de operación con LEDs.
- Selección de funciones mediante llave Selectora.

Alimentación.

- Entrada de línea (220 ± 10 % VCA/50 Hz).
- Tensión de Salida VCC ± 9 V y ± 5 V.
- Corriente Total de Salida: 500 mA.

** - Para disponer de una apertura numérica superior a los 70° propio del detector y que sea cercano a los 180°, se dispuso de una ventana esmerilada de 'fused silica', cristal especial transparente a la radiación UV (con 96 % de transmitancia cuyas características mejoran las del cristal de cuarzo con una transmitancia cercana al 90 %).

Identificación de los Datos Adquiridos por el Sistema.

En la figura 4 se observa un ejemplo de la codificación de datos durante la adquisición, estos datos poseen toda la información para que una vez que sean procesados, se pueda conocer la información correspondiente a: la hora (decimal), fecha (decimal), radiación UVE (hexadecimal) y temperatura (hexadecimal). La última secuencia resaltada es la que se describe más abajo como identificación de los datos adquiridos.

```
20 32 10 15 06 10 71 80 12 22 32 10 15 06 10 70 80 35 24 32
10 15 06 10 70 00 36 26 32 10 15 06 10 70 80 20 28 32 10 15
06 10 70 00 00 30 32 10 15 06 10 70 C0 19 32 32 10 15 06 10
70 80 1E 34 32 10 15 06 10 70 C0 2A 36 32 10 15 06 10 70
00 20 38 32 10 15 06 10 70 00 00 40 32 10 15 06 10 70 00 00
42 32 10 15 06 10 71 40 1D 44 32 10 15 06 10 70 80 2A 46 32
```

```
10 15 06 10 70 00 2F 48 32 10 15 06 10 70 00 23 50 32 10 15
06 10 70 00 00 52 32 10 15 06 10 70 80 01 ....
```

Figura 4. Muestreo de una secuencia de datos adquiridos por el Sistema.

```
52 32 10 15 06 10 70 80 01
ss mm hh DD MM AA Temp. Rad(LS MS)
```

IV RESULTADOS

Se muestran, dos de los resultados más significativos obtenidos sobre varias series de adquisiciones realizadas durante el año 2010; los resultados citados no fueron adquiridos en forma sistemática sino que fueron tomados solo cuando los radiómetros comerciales para las mediciones simultáneas se encontraban disponibles. El instrumento se encuentra en la División Radar Láser del DEILAP de CITEDEF (34.5° S - 58.3° O) con orientación fija cenital. Los instrumentos utilizados fueron el UVB (UVS-E-T - Dosis eritémica estabilizado en temperatura) de 'Kipp & Zonen'^[9] y el ILT1400 Fotómetro/Radiómetro portátil de 'International Light Technologies'^[10].

De las series de mediciones realizadas los resultados dieron que para los valores de tensión adquiridos con el radiómetro UVE desarrollado, surge para cada curva por cálculo numérico, un factor de corrección [W.m⁻² / V]. Si se toman como valores de referencia los valores adquiridos simultáneamente con los instrumentos comerciales; al acoplar las curvas obtenemos finalmente el valor de ajuste o corrección. Los valores obtenidos en cada serie fueron promediados y como resultado se obtuvo un único factor de ajuste o corrección correspondiente a: **0,0754 W.m⁻²/V**, con un desvío ≤ 10 %, es decir que 1 V adquirido con el radiómetro corresponde a 0,0754W.m⁻² de radiación solar tipo UVE^{[11],[12]}. Para que este factor de ajuste se convierta en constante de calibración se necesitarán muchos mas datos de los que se cuenta en la actualidad. Durante el 2011 se van a realizar las mediciones sistemáticas que comprendan las diferentes épocas del año. Esto es necesario para poder realizar un buen cálculo estadístico de incertidumbre y así poder ajustar correctamente la constante de calibración.

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5 y 6 donde se observan dos series de mediciones realizadas en julio y agosto del 2010. Las condiciones climáticas fueron muy variadas. Las figuras muestran dos señales obtenidas con dos Radiómetros diferentes con mediciones simultáneas. Las señales de la figura 5 muestran las mediciones obtenidas con el radiómetro Kipp & Zonen Holandés como señales discretas en forma de triángulos pequeños; mientras que la curva continua muestra las mediciones realizadas con el Radiómetro desarrollado por el grupo de trabajo.

Por otro lado, las señales que se muestran en la figura 6 muestran las mediciones obtenidas con el radiómetro portátil ILT1400 de International Light Technologies de USA, estas señales se encuentran graficadas en forma discreta en forma de asteriscos pequeños; mientras que la curva continua muestra nuevamente las mediciones realizadas con el Radiómetro desarrollado por el grupo de trabajo.

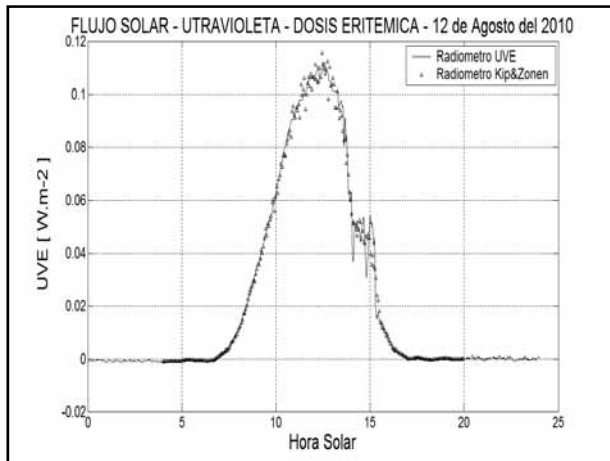


Figura 5. Medición realizada el 12 de agosto del 2010 en forma simultánea con el Radiómetro UVS-E-T de Kipp & Zonen y el Radiómetro desarrollado por el Grupo de Trabajo.

En ambos casos hay muy buena coincidencia en el seguimiento ('fiteo') entre las curvas superpuestas correspondientemente. Esto nos permitió calibrar el radiómetro desarrollado con un error inferior al 10 %. En un futuro, se volverán a realizar las calibraciones con los mismos instrumentos recalibrados lo que nos va a permitir ajustar con mayor precisión el factor de corrección del Radiómetro desarrollado.

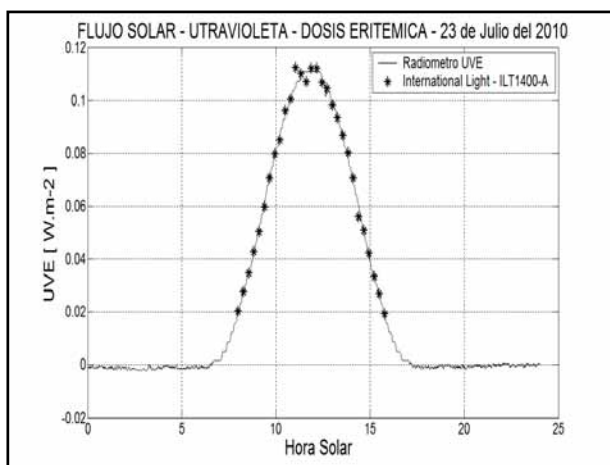


Figura 6. Medición realizada el 23 de julio del 2010 en forma simultánea con el Radiómetro portátil ILT1400 de International Light Technologies y el Radiómetro desarrollado por el Grupo de Trabajo.

Mientras que la figura 6 muestra una curva correspondiente a un día a pleno sol sin la presencia de nubes, la figura 5 por el contrario muestra la presencia

de nubes con alturas medias y bajas. Ambos radiómetros siguen la evolución de las mismas sin distorsión, mostrando gran linealidad en los sistemas de amplificación, conversión y adquisición de los datos a lo largo del día y frente a la variación de la temperatura ambiente.

En ambos casos se observa una excelente coincidencia entre los Radiómetros comerciales calibrados y el desarrollado.

Agradecimientos.

Los autores desean agradecer a las autoridades de la UTN-FRH (Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Haedo) por el apoyo económico y logístico para realizar este trabajo y a las autoridades de CITEDEF (Centro de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa) por el apoyo dado al grupo de tareas para la construcción y el control del Radiómetro.

Referencias.

- 1 - K.N.Liou. Radiation and Cloud Proceses in the Atmosphere – Monographs No.20 - Oxford Univerty Press. 1992.
- 2 - Kneizys et all. – User Guide to LOWTRAN 7 – Environmental Research Papers No 1010 – Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Massachusetts (1988).
- 3 - Thekaekara M.. P., 1974: Extraterrestrial solar spectrum, 3000-6000 A at 1 A intervals. Appl. Opt.,**13**, 518-522.
- 4 - Thekaekara M.. P., 1976: Solar irradiance: Total and spectral and its possible variations.. Appl. Opt.,**15**, 915-920.
- 5 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001), The Scientific Basis, edited by: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. vand der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, 881 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- 6 - R. M. Measures. "Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications". In Krieger Publishing Company editor. New York: Wiley, 1984.
- 7 - Hinkley, E.D. "Laser Monitoring of the Atmosphere". Springer-Verlag. 1976.
- 8 - www.sglux.de – Eryca UVE Sensors.
- 9 - www.kippzonen.com – UV Radiometers brochure.pdf
- 10 - www.intl-lighttech.com – ILT1400 brochure.pdf
- 11 - M. Lavorato, M. Pagura, P. Cesarano, P. Flamant. "Prototipo Experimental de un Espectrómetro Solar". Anales de la Asociación Física Argentina. Publicación AFA- Tandil, 2004, v.**16**, pp 287-290.
- 12 - M. Lavorato, M. Pagura, H. Lacomí, M. Zanin, P. Cesarano. 'Construcción de un Medidor de Radiación UVE que Opera con un Sistema de Adquisición de Datos Controlado con Microcontroladores'. 93° Reunión AFA Buenos Aires 2008 – Poster (B302) .