

CALIBRACIÓN DE SOLMÁFOROS  
PARA SU INSTALACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PAZ

CALIBRATION OF SOLMÁFOROS  
FOR THEIR INSTALLATION IN THE CITY OF LA PAZ

RENÉ GUTIERREZ COLQUE<sup>†</sup>

Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física  
Universidad Mayor de San Andrés  
c.27 Cota Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8635  
La Paz - Bolivia

RESUMEN

Se describe el proceso de intercomparación y calibración realizado en noviembre de 2014 y julio de 2015 a dos solmáforos<sup>a</sup> (con números de serie 334 y 373). El objeto del procedimiento fue garantizar que las medidas de índice ultravioleta realizadas por los solmáforos fuesen exactas bajo condiciones atmosféricas de la ciudad de La Paz. Como resultado de la intercomparación de 2014 se tuvo que realizar ajustes de calibración a ambos solmáforos; dicha calibración resultó exitosa en el solmáforo 373, pero no así en el solmáforo 334, debiendo éste regresar a fábrica para corregir esa deficiencia y otras encontradas. Al retorno desde fábrica, la intercomparación del 334 nuevamente mostró inexactitud por lo que se sometió a otro a ajuste de calibración, lográndose medidas suficientemente exactas del índice ultravioleta para el propósito de alertar y prevenir a la población sobre los riesgos de una excesiva exposición al Sol.

Código(s) PACS: 85.60.q — 92.70.Cp — 01.40.d

*Descriptor:* Sensores opto electrónicos — Atmósfera — Educación

ABSTRACT

The process of calibration and comparison of two “solmáforos”, ultraviolet index (UV Index) warning signals designed to provide a real-time indication of the sun’s UV intensity in an easy to read traffic light design, (serial numbers 334 and 373) carried out in November 2014 and July 2015 is described. The purpose of the procedure was to ensure that the UV index measurements made by the “solmáforos” were accurate under the specific atmospheric conditions of the city of La Paz, Bolivia. In 2014 results indicated that calibration adjustments were necessary for both “solmáforos”. Recalibration was successful for the 373 equipment however the 334 series had to be returned to the factory to be reset. Upon return from factory, the inter-comparison of the 334 again showed inaccuracy and it was submitted to another calibration adjustment. Finally, sufficiently accurate measurements of the ultraviolet index were obtained for the purpose of alerting and preventing the population about the risks of excessive sun exposure.

*Subject headings:* Optoelectronic devices — Atmosphere — Education

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Desde 1996 el Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA), en ese entonces llamado Laboratorio de Ozono y Radiación Ultravioleta (LORUV) realiza mediciones tanto la radiación ultravioleta (RUV) así como la capa de ozono desde el campus universitario de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), ubicado en la zona de Cota Cota de la ciu-

dad de La Paz, Bolivia. Debido a los elevados índices de RUV medidos en La Paz, así como mediciones de la RUV en otros lugares de Bolivia, como las realizadas por Marcos F. Andrade (2007) en el Salar de Uyuni, por F. Zaratti (2003) en la montaña de Chacaltaya y por L.K Fanola (2012) en Sica Sica, el LFA viene desarrollando anualmente la Campaña de la RUV, que es una actividad universitaria de Interacción Social que tiene por objetivo informar, educar y prevenir a la población sobre los riesgos que conlleva una excesiva exposición a la RUV.

En el marco de la mencionada Campaña, en julio de 2014, por iniciativa del LFA del Instituto de In-

<sup>†</sup>Email: rene.gutierrez@chacaltaya.edu.bo

<sup>a</sup> Equipo que mide la radiación ultravioleta y despliega el valor de índice ultravioleta en una escala de cinco colores que tiene apariencia de semáforo



FIG. 1.— Sensores y domo del Brewer en Cota Cota (La Paz) 3430 msnm.

vestigaciones Físicas (IIF) de la UMSA, se firmó un convenio entre el Gobierno Autónomo Municipal de La Paz (GAMLP), la UMSA y el Banco Solidario S.A., para la implementación del proyecto denominado “Solmáforos”.

Entre las responsabilidades asumidas por las instituciones participantes del proyecto se hallan esencialmente: por parte de la UMSA, a través del LFA, garantizar la fiabilidad de la información científica que se difundirá a la población por medio de los solmáforos; por parte del GAMLP, proporcionar los espacios físicos públicos en la ciudad de La Paz y los medios para el funcionamiento de los solmáforos; y por parte del Banco Solidario, la compra de los solmáforos.

En ese contexto el proyecto logró la compra de dos solmáforos, fabricados en Chile por *OptoElectronica Icalma*(OEI), con números de serie 334 y 373.

## 2. DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

### 2.1. Instrumentos

El procedimiento de intercomparación y calibración de los solmáforos empleó como patrón el espectrofotómetro Brewer # 56 (Fig. 1), que mide la intensidad espectral y total de la UV cada 30 min, en la banda que va desde 290 nm hasta 325 nm, con intervalos de 0.5 nm; calculando con esas medidas el IUV; adicionalmente proporciona datos extrapolados hasta 400nm, el ángulo cenital respectivo para cada dato de UV. Además, examinando la absorción de la radiación solar en ciertas longitudes de onda de UV, determina la columna total de ozono.

De acuerdo al fabricante OEI (2014) el solmáforo está construido en base a un sensor ultravioleta, de material semiconductor (AlGaInN) de banda ancha que incluye un filtro que reproduce el espectro de acción de eritema definido por A. McKinley (1987), por lo que mide la irradiancia ultravioleta (UV) eritémicamente efectiva y estaría catalogado por la WMO (2005) como un instrumento tipo “B-1”. Según lo expresa OEI, el sensor GUVB-T11GD incorporado estaría certificado por el fabricante (Genicom) y las medidas del solmáforo estarían certificadas por el Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile. Según el fabricante OEI (2014) dicho Departamento de Física realiza una medición comparativa de la radiación UV-B entre el solmáforo y un

TABLA 1  
CATEGORÍAS DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN UV

Categoría de exposición	Valores del IUV	Color
Baja	< 2	Verde
Moderada	3 a 5	Amarillo
Alta	6 a 7	Naranja
MuyAlta	8 a 10	Rojo
Extremadamente alta	> 11	Violeta



FIG. 2.— Solmáforos 334 y 373 adquiridos para el proyecto

detector “Solar Light” PMA1101 calibrado en fábrica, empleando una lámpara de luz UV. Adicionalmente el fabricante detalla que el proceso de comparación consiste en realizar mediciones de la radiación UV-B con uno de los sensores, colocado a cierta distancia de la fuente y luego al doble de distancia; para finalmente repetir el procedimiento con el otro sensor y comparar los resultados de las mediciones para evidenciar que no exista una discrepancia mayor al 5%.

Como se aprecia en la Fig. 2 los resultados de la medición del sensor son desplegados para el público utilizando un panel de LEDs de colores que tiene apariencia de semáforo. Siguiendo las recomendaciones de la OMS (2003), el despliegue de la información del IUV (índice ultravioleta) a través del solmáforo debe utilizar cinco colores, que se detallan en la Tabla 1.

### 2.2. Intercomparación cualitativa

El 12 de noviembre de 2014 se realizó una intercomparación cualitativa, en el sentido que sólo se emplearía el panel de colores del solmáforo como medida del IUV, mientras que utilizamos una interpolación para el IUV de referencia obtenido del Brewer. Los tres instrumentos se ubicaron en la terraza del LFA en el Campus Universitario de Cota Cota (Fig. 1).

El procedimiento desarrollado consistió en regis-

TABLA 2  
IUV MEDIDO POR BREWER 12 DE NOVIEMBRE DE 2014

Hora Local	IUV
7:02	0.40
7:31	0.98
8:01	1.58
8:31	3.29
9:01	4.99
9:31	6.83
10:01	8.71
10:31	10.75
11:01	12.16
11:31	13.22
12:01	13.80
12:31	13.84
13:01	13.44
13:31	12.35
14:01	10.90
14:31	9.17
15:01	7.33
15:31	5.37
16:01	3.27
16:31	1.45
17:01	1.11

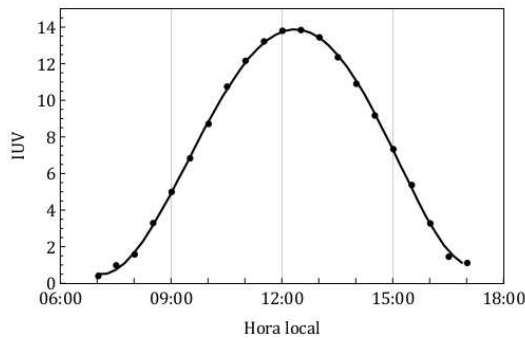


FIG. 3.— IUV medido por Brewer y polinomio de mejor correlación de ajuste a los datos:  $192.967 - 1594.09x + 3895.38x^2 - 933.927x^3 - 6483.44x^4 + 5309.67x^5$ .

trar el color desplegado por los solmáforos aproximadamente cada 30 minutos o cuando el solmáforo cambia a otro color, esto se muestra en las primeras dos columnas de la Tabla 3. Paralelamente se deja que el Brewer realice su rutina normal, medición del IUV aproximadamente cada 30 minutos, ver Tabla 2.

A fin de conocer el IUV de referencia en el instante que se registran los colores o cambios de colores en los solmáforos, se realiza un ajuste polinomial a los datos de la Tabla 2. Como resultado se halló que el mejor ajuste es logrado con un polinomio de quinto grado (Fig. 3).

Con el polinomio hallado se calcula el IUV de referencia para la hora local de la Tabla 3 y se analiza la coherencia de la respuesta del solmáforo considerando los rangos de IUV establecidos en la Tabla 1; los resultados se muestran en las últimas dos columnas de la Tabla 3.

De modo similar se procede con el solmáforo 334, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

De las Tablas 3 y 4 se evidencia que la respuesta

TABLA 3  
REGISTROS PARA EL SOLMÁFORO 373

Hora local	SOL 373	IUV(ref)	Respuesta
13:04	Violeta	13.4	Coherente
13:38	Violeta	12.2	Coherente
14:04	Violeta	10.9	Coherente
14:32	Violeta	9.3	Discrepa
15:02	Violeta	7.2	Discrepa
15:13	Violeta+Rojo	6.5	Discrepa
15:18	Rojo	6.1	Discrepa
15:37	Rojo+Naranja	4.8	Discrepa
15:42	Rojo+Naranja	4.5	Discrepa
15:47	Naranja	4.2	Discrepa
16:00	Naranja+Amarillo	3.4	Discrepa
16:32	Amarillo	1.8	Discrepa
17:13	Amarillo	1.0	Discrepa
17:30	Amarillo+Verde	1.3	Discrepa

TABLA 4  
REGISTROS PARA EL SOLMÁFORO 334

Hora Local	SOL 334	IUV(ref)	Respuesta
13:04	Violeta	13.4	Coherente
13:38	Violeta	12.2	Coherente
14:04	Violeta	10.9	Coherente
14:32	Violeta	9.3	Discrepa
15:02	Violeta	7.2	Discrepa
15:13	Violeta	6.5	Discrepa
15:18	Violeta	6.1	Discrepa
15:37	Violeta	4.8	Discrepa
15:42	Rojo	4.5	Discrepa
15:47	Rojo	4.2	Discrepa
16:00	Naranja	3.4	Discrepa
16:32	Amarillo	1.8	Discrepa
17:13	Sin color	1.0	No responde
17:30	Sin color	1.3	No responde

TABLA 5  
REGISTROS DEL IUV PARA EL BREWER Y SOLMÁFOROS 373, 334

Hora Local	Brewer	SOL 373	SOL 334
8:01	1.77	4.20	4.20
8:31	2.75	5.35	5.97
9:01	5.34	7.74	10.53
9:31	7.40	10.26	15.78
10:01	9.64	14.74	23.80
10:31	10.87	13.29	20.9
11:01	10.48	18.67	30.2
11:31	13.85	18.97	30.3
12:01	13.51	23.85	38.5

de ambos solmáforos no es satisfactoria, debido a que el umbral para encender el violeta está muy por debajo de las definiciones de la OMS (2003) ( $IUV > 11$ ). El solmáforo 373 tiene por umbral un IUV 6.5, el solmáforo 334 tiene un umbral de 4.5. Consecuentemente ninguno de los otros colores responde a dichas definiciones.

### 2.3. Intercomparación cuantitativa

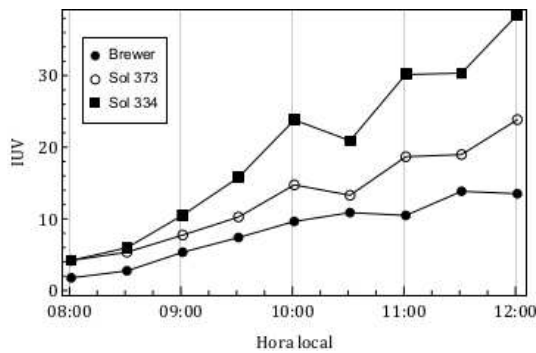


FIG. 4.— Intercomparación IUV solmáforos y Brewer (referencia).

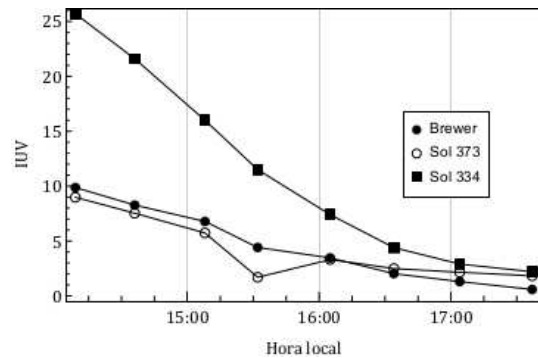


FIG. 6.— Intercomparación luego de la segunda calibración.

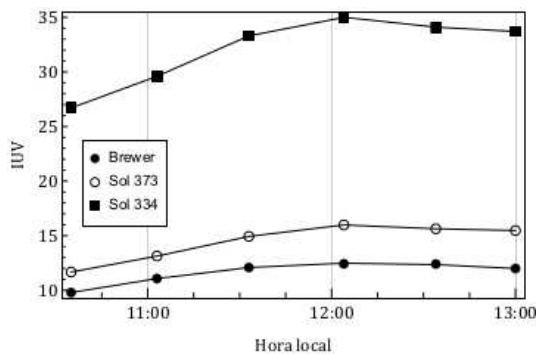


FIG. 5.— Intercomparación luego de la primera calibración.

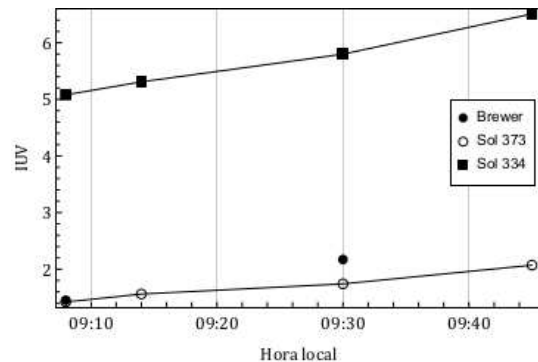


FIG. 7.— Intercomparación del 28 de julio, luego de ajustes en fábrica al solmáforo 334.

Debido a que la escala de cinco colores de la OMS (2003) presenta rangos del IUV inadecuados para una comparación precisa contra un instrumento que entrega valores numéricos, se optó por medir el IUV del solmáforo, esto se consiguió conectando un cable plug stereo al punto de conexión que posee el solmáforo en su base. En uno de los dos canales del plug stereo se tiene un voltaje diferente de cero y es en éste que se obtiene el IUV al multiplicar el voltaje por 10.

Nuevamente se ubican los sensores como en la Fig. 1 y se registran los valores de IUV de ambos solmáforos simultáneamente al registro del IUV de referencia (Brewer) desde las 8 hasta las 12 horas (Tabla 5).

Como se aprecia en la Fig. 4, el IUV de los solmáforos no es coherente entre ellos, y menos respecto del Brewer. Los IUV reportados a medio día son cercanos a 25 para el solmáforo 373 y 40 para el solmáforo 334, mientras el IUV de Brewer es 13.5.

La inexactitud de ambos solmáforos es muy notoria, sobre todo para índices mayores a 10, por lo que una calibración es requerida.

Se hizo una primera calibración a ambos solmáforos el día 25 de noviembre de 2014 a horas 10:00. Dicha calibración consistió en ajustar el potenciómetro al que se tiene acceso desde la parte inferior del solmáforo, hasta que el IUV del mismo sea igual al IUV del Brewer.

Durante el proceso de calibrado se advirtió que el IUV del solmáforo 334 no podía ser disminuido a valores menores de 20, mientras que el solmáforo 373

sí pudo ser calibrado al IUV de ese instante: 12.42.

Para verificar que la primera calibración hubiera sido satisfactoria se hicieron algunas mediciones con luz solar directa (Fig. 5). Sin embargo continúa existiendo una diferencia importante entre el solmáforo 373 y Brewer; y peor aún para el solmáforo 334. Por lo que se hizo una segunda calibración a ambos solmáforos, el 334 con la limitante ya señalada.

Después de la segunda calibración los valores de IUV del solmáforo 373 discrepan como mucho en una unidad (Fig. 6), excepto por el dato de las 15:30 en el que las nubes y la medida instantánea del solmáforo ocasionaron un desacuerdo mayor. El IUV del solmáforo 334 sigue siendo muy elevado respecto del Brewer cuando el IUV es mayor a 5, sin embargo para IUV menor a 2 existe mayor coherencia entre el solmáforo 334 y el Brewer.

Como consecuencia de estas dos calibraciones el solmáforo 373 quedó adecuado para su instalación y funcionamiento público, mientras que se devolvió a fábrica el solmáforo 334, para que se ajustaran las deficiencias encontradas.

#### 2.4. Intercomparación luego de arreglos en fábrica

El solmáforo 334 retornó de fábrica en julio de 2015 y se realizaron nuevamente las tareas de intercomparación y calibración a ambos solmáforos.

El 28 de julio de 2015, luego de apenas dos mediciones de IUV, se evidenció que el solmáforo recién llegado de fábrica (el 334) estaba midiendo todavía un elevado IUV (Fig. 7); por lo que se realizó la calibración correspondiente tomando como referencia el

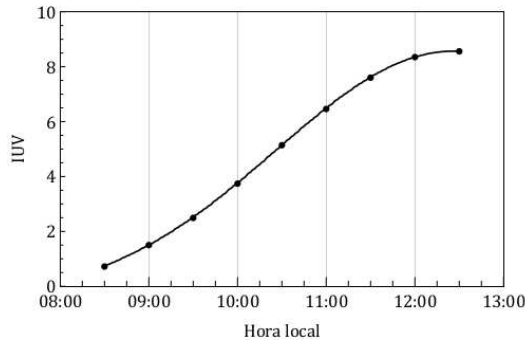


FIG. 8.— Datos del Brewer del 29 de julio y la curva interpolada:  $189.809 - 1428.4x + 3485.35x^2 - 2708.94x^3$ .

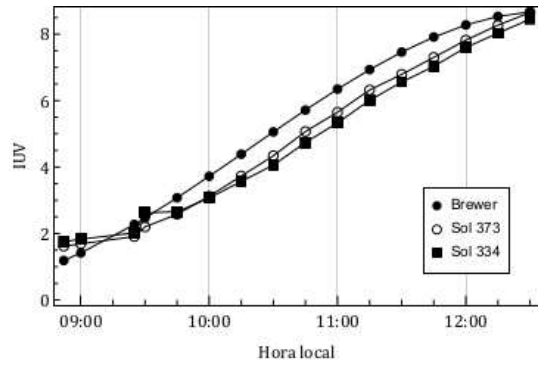


FIG. 10.— Intercomparación del 31 de julio.

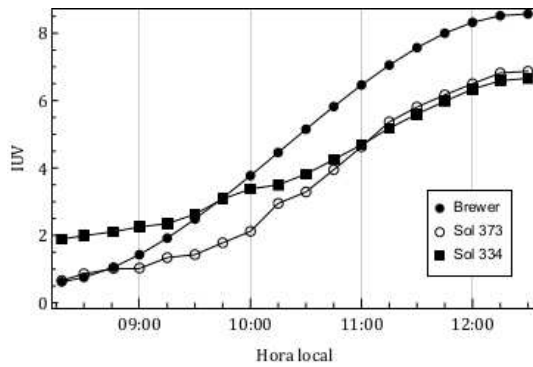


FIG. 9.— Intercomparación del 29 de julio.

dato del Brewer de las 10 de la mañana.

Una nueva intercomparación se realiza el 29 de julio de 2015; para ella se ajusta un polinomio a los datos de Brewer a fin de poder interpolar el IUV para cualquier instante, con la diferencia que en este caso el polinomio adecuado apenas es de tercer grado (Fig. 8).

La intercomparación del 29 de julio (Fig. 9) muestra que aún existe una discrepancia de ambos solmáforos en relación al IUV de referencia, que se incrementa para índices altos (medio día), por tal razón se realizó una nueva calibración de los dos solmáforos el día 30 de julio a las 12:30. Así se garantizaría una buena calibración para valores elevados de IUV, que son los que interesa medir con mejor exactitud, debido a que son los valores de mayor importancia para el propósito de alerta y prevención que tiene el solmáforo.

Finalmente luego de la calibración de medio día del 30 de julio se tiene la última y definitiva intercomparación (Fig. 10).

**Conflicto de intereses**

El autor declara que no hay conflicto de intereses con respecto a la publicación de éste documento.

REFERENCIAS

A. McKinley B. D. (1987), *CIE Journal* **6**, 17.  
 F. Zaratti, R. N. Forno, J. García Fuentes & M. F. Andrade (2003), *J. Geophys. Res.* **108(D9)**, 5.  
 L. K. Fanola, D. Guzmán, M. Peñaloza & F. Zaratti (2012), *Revista Boliviana de Física* **21**, 1.  
 M. F. Andrade & F. Zaratti (2007), *Revista Boliviana de Física* **13**, 11.  
 OEI (2014), Documentación Técnica Solmáforo.  
 OMS,OMM, PNUMA, ICNIRP (2003), Índice UV solar mundial: Guía práctica (OMS).  
 WMO (1997), Report of the WMO-WHO meeting of experts on standardization of UV indices.  
 —. (2005), Instruments to Measure Solar Ultraviolet Radiation. Part 2: Broadband Instruments Measuring Erythemally Weighted Solar Irradiance.