



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# INTERCOMPARACIÓN DE RADIÓMETROS UV ERITÉMICOS

Nota Técnica SMN 2018-49

**Fernando Nollas<sup>1</sup>, Eduardo Luccini<sup>2,3</sup>, Gerardo Carbajal<sup>1</sup> y  
Elían Wolfram<sup>4,5</sup>**

<sup>1</sup> *Departamento de Investigación y Desarrollo, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación*

<sup>2</sup> *CONICET. Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba, Argentina.*

<sup>3</sup> *Facultad de Química e Ingeniería del Rosario, Pontificia Universidad Católica Argentina.*

<sup>4</sup> *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET, Argentina*

<sup>5</sup> *Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa. CITEDEF, Argentina.*

Agosto 2018

### *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 antecedentes, procedimientos y resultados de la intercomparación de sensores UV eritémicos llevada a cabo en el Observatorio Central de Buenos Aires entre los meses de febrero y junio de 2018. En la misma se obtuvo el factor de calibración de 20 sensores pertenecientes a diferentes instituciones operativas y de investigación del país y la incerteza relativa asociada de cada uno de los sensores participantes hallando diferencias que alcanzan el 42% respecto de su última calibración.

## 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. Background information, procedures and results of the inter-comparison of erythemic UV sensors carried out in the Central Observatory of Buenos Aires between the months of February and June of 2018 are presented in this work. The calibration factor of 20 sensors was obtained, which belong to different operational and research institutions of the country, and the associated relative uncertainty of each of the participating sensors, finding differences that reach 42% with respect to their last calibration.

**Palabras clave:** Calibración, Radiómetros UV, trazabilidad

## Citar como:

Nollas, F., E. Luccini, G. Carbajal y E. Wolfram, 2018: Intercomparación de radiómetros UV eritémicos. Nota Técnica SMN 2018-49.

## 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, son homogéneas y estandarizadas, a nivel local y global.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuenta con una Red UV con estaciones en las cuales se mide de forma continua la radiación solar UV eritémica con una amplia cobertura de regiones geográficas dentro de la República Argentina. 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.

El proceso más completo de calibración de radiómetros UV eritémicos (también denominados *biómetros UV*) comprende dos etapas: una de caracterización en laboratorio y otra de calibración en campo. La etapa de laboratorio, mediante radiación UV artificial, permite caracterizar al instrumento en todos los aspectos: Respuesta espectral, Respuesta coseno, dependencia acimutal, estimación de la constante de calibración absoluta (en condiciones de laboratorio) y linealidad. Mediante la calibración de campo, en exposición a la radiación solar, si se cuenta con un espectrorradiómetro muy confiable, se establece con precisión la constante de calibración absoluta (en condiciones de exposición al sol) y, si se puede medir de capa de ozono con un instrumento preciso, los factores de conversión a irradiancia eritémica para esas condiciones de ángulos cenitales (SZA) y columna de ozono, haciendo uso de la respuesta espectral medida en laboratorio. Finalmente, se hace uso de un modelo confiable de transferencia radiativa UV atmosférica y de la respuesta espectral determinada en laboratorio para extender los factores de conversión a irradiancia eritémica en una matriz de conversión que cubre todos los rangos de posibles valores de SZA y columna vertical de capa de ozono bajo las cuales pueda llegar a medir dicho instrumento en su Estación.

Dado que en nuestro caso no disponemos del instrumental sofisticado necesario para realizar la caracterización de laboratorio y la calibración detallada de campo, lo que se realiza en este caso durante la IC es una *transferencia de calibración absoluta* de un biómetro UV completamente calibrado hacia los demás biómetros, en condiciones de campo.

Si bien estas campañas se planifican típicamente hacia fechas próximas al solsticio de verano, anteriormente las IC se realizaron durante el mes de noviembre debido a que es el mes que presenta menos días con nubes. Durante la presente IC, la cual se realizó en el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) perteneciente al SMN, razones operativas obligaron a que la misma se desarrolle entre febrero y junio de 2018, periodo en el cual varios sensores fueron alternándose en la medición simultánea con los patrones y se produjeron eventos de nubosidad y lluvia por los cuales las mediciones debieron extenderse. No obstante, significó una valiosa experiencia piloto para futuras IC UV que permitan a las instituciones argentinas mantener regularmente calibrados sus instrumentos y proyectar este tipo de eventos a nivel regional. Hay que agregar que la ciudad de Buenos Aires ha sido designada por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como Centro Regional (Región III) de calibración de sensores

de radiación solar, conjuntamente con el Instituto de Meteorología de Chile y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía de Perú.

En este informe se presentan los antecedentes, procedimientos y resultados de la IC de sensores UV eritémicos llevada a cabo en el OCBA (Lat:-34.59, Long:-58.48°, Alt: 32m s.n.m.) entre el 14 de febrero y el 05 de junio de 2018. Para dicha IC se utilizaron como instrumentos patrones dos sensores completamente caracterizados en 2017 en el PMOD/WRC, Davos, obteniendo así su trazabilidad.

## 2. ANTECEDENTES

El Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) ha sido sede de anteriores IC de sensores UV llevadas a cabo por diferentes investigadores. La primera IC y sus resultados se detallan en Cede et al. (2002) y en dicho evento se utilizó un patrón móvil que recorrió todos los sitios de medición de manera itinerante. Los autores realizaron, en dicha IC, una transferencia de calibración absoluta de un patrón completamente calibrado hacia los sensores en cada estación, incluyendo un análisis exhaustivo de las incertezas asociadas a sus mediciones.

Posteriormente en noviembre de 2006, a través de una IC, los sensores fueron recalibrados por el Dr. Julian Gröbner utilizando un sensor de referencia marca Solar Light 501A del PMOD/WRC el cual había sido calibrado tres meses antes durante el PMOD/WRC-COST726. En ésta IC se utilizó el único día despejado durante la campaña para obtener los factores de calibración. En el año 2010 fue el mismo investigador del PMOD/WRC quien nuevamente encabezó la IC de sensores UV con la diferencia de que en la misma participaron numerosos países de la región. En dicha IC se utilizaron dos sensores patrones, uno marca Solar Light 501A (SL) y el otro Kipp&Zonen (K&Z) y el procedimiento de calibración local fue el descrito en Hülsen and Gröbner (2007) el cual requiere establecer la respuesta espectral y angular de cada sensor. Debido a la imposibilidad de poder caracterizar completamente los sensores por no contar con un laboratorio de caracterización es que se recomendó el uso de funciones respuesta angular y espectral nominales para los sensores de las compañías Solar Light y Yankee Environmental Systems (YES), las cuales fueron obtenidas en el laboratorio de Davos en base a su experiencia calibrando este tipo de sensores allí.

La última IC fue llevada a cabo en el año 2014 por personal del SMN que se desempeña en el OCBA y se utilizó como sensor patrón un radiómetro Solar Light 501A con número de serie 16723 el cual fue posteriormente calibrado unos meses después por el PMOD/WRC en 2015.

## 3. SENSORES

### 3.1 Sensores patrones

Los sensores considerados patrones en la presente IC fueron el SL14078 perteneciente al SMN y el YES 090703 perteneciente a CITEDEF, ambos completamente caracterizados en Davos durante la "International UV Filter Radiometer Comparison 2017" cuyos resultados fueron publicados por Hülsen y Grobner (2017).

El sensor SL14078 fue calibrado en las intercomparaciones de 2010 y 2014 obteniendo así un registro del comportamiento de su constante de calibración, la cual tuvo un valor mínimo en 2010 de 0.96 y un valor

máximo en 2014 de 1.11. Actualmente el factor de calibración del sensor es de  $1.086 \pm 0.073$  obteniendo una incerteza relativa del 6.7%.

Por otra parte el sensor YES090703 solo con su calibración de fábrica y no fue calibrado posteriormente antes de Davos. El sensor posee un factor de calibración actual de  $(0.1305 \pm 0.0087) \text{ W/m}^2 \text{ V}$ , registrando una incerteza relativa de 6.7%.

### 3.2 Sensores a calibrar

Los sensores que participaron de la IC se detallan en la tabla I donde se puede ver el tipo de instrumento y el sitio en el que están o estaban midiendo.

Tabla I. Radiómetros que participaron en la IC y sus sitios de medición

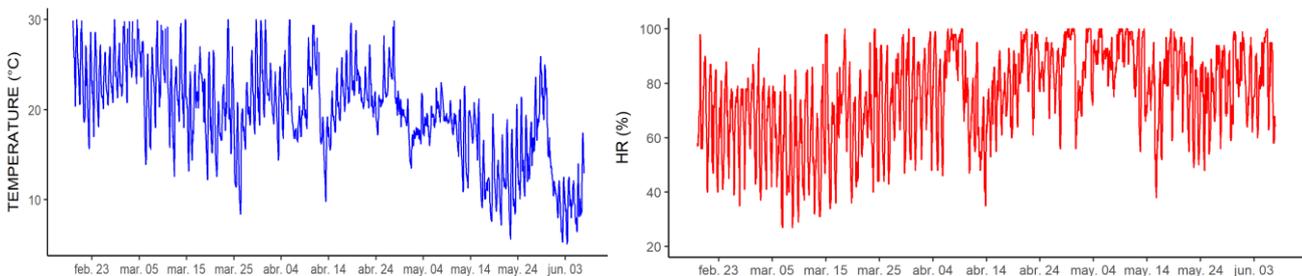
ID INSTRUMENTO	TIPO DE RADIÓMETRO	SITIO DE MEDICIÓN	COMENTARIOS
SL 14078	Solar Light 501	-	Referencia
SL 1866	Solar Light 501	BUENOS AIRES	No estabiliza temperatura
SL 1870	Solar Light 501	COMODORO RIV.	
SL 1871	Solar Light 501	BUENOS AIRES	No estabiliza temperatura
SL 2711	Solar Light 501	BUENOS AIRES	Superficie detectora deteriorada
SL 2747	Solar Light 501	BUENOS AIRES	Superficie detectora deteriorada
SL 2748	Solar Light 501	MENDOZA	No estabiliza temperatura
SL 2753	Solar Light 501	PILAR(CORDOBA)	Superficie detectora deteriorada
SL 9002	Solar Light 501	USHUAIA	
SL 9004	Solar Light 501	BUENOS AIRES	No estabiliza temperatura y superficie detectora deteriorada
YES 090703	YES UVB-1	-	Referencia
YES 60703	YES UVB-1	NEUQUÉN	
YES 130803	YES UVB-1	COMODORO RIV.	
YES 130804	YES UVB-1	VILLA MARTELLI	
YES 130805	YES UVB-1	BARILOCHE	
YES 130806	YES UVB-1	RIO GALLEG.	
YES 940602	YES UVB-1	LA QUIACA	
YES 970809	YES UVB-1	ROSARIO	
YES 970811	YES UVB-1	CÓRDOBA	
K&Z 170212	Kipp & Zonen UVS-E-T	PILAR	
K&Z 170213	Kipp & Zonen UVS-E-T	TUCUMÁN	
K&Z 120059	Kipp & Zonen UVS-E-T	SALTA	

En la tabla I se puede observar que cinco sensores figuran en Buenos Aires y esto se debe a que cuatro de los mismos no tienen datalogger y por lo tanto se guardan como reemplazo por si algún otro sensor tuviera un desperfecto. Se consideró esta IC como una excelente oportunidad para mantener actualizada su constante de calibración a pesar de que algunos poseen problemas de funcionamiento como la no-estabilización de temperatura o su superficie sensora deteriorada por humedad que no fue absorbida por la sílica gel. La mayoría de los sensores SL lleva midiendo desde su instalación entre los años 1996-1999.

## 4. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE DATOS

### 4.1 Condiciones atmosféricas

La figura 1 muestra el comportamiento de la temperatura ambiente y la humedad relativa (HR) durante el periodo considerado. Estos parámetros fueron obtenidos de manera horaria en la estación de superficie que se encuentre dentro del OCBA y se puede ver que desde mediados de abril la HR es muy alta como consecuencia de la nubosidad y las abundantes lluvias.



*Fig 1. Temperatura ambiente y humedad relativa medidas en el OCBA durante el período de calibración*

Por otra parte en el OCBA también se mide la columna total de ozono diariamente utilizando un espectrofotómetro de Dobson (con número de serie #70) el cual es, a su vez, el patrón regional asegurando confiabilidad en los valores. La figura 2 ilustra la variabilidad diaria del ozono, parámetro que modifica la radiación UV en superficie con la salvedad de que los datos faltantes en la medición se deben a la imposibilidad de poder medir durante los días con lluvia. Se puede observar en la figura que durante el mes de mayo faltan muchos valores y esto se debe a que dicho mes hubo abundante precipitación.

Si bien esta campaña fue diseñada y planificada para ser llevada lo más cercano posible al solsticio de verano, problemas logísticos de transporte y principalmente meteorológicos obligaron a extenderla hasta el mes de junio.

En la figura 3 se muestran los datos del espesor óptico de aerosoles, parámetro que puede afectar las mediciones de radiación solar en superficie. Se puede ver que este parámetro se mantuvo dentro de parámetros normales a excepción de un día a finales de abril y otro a finales de mayo.

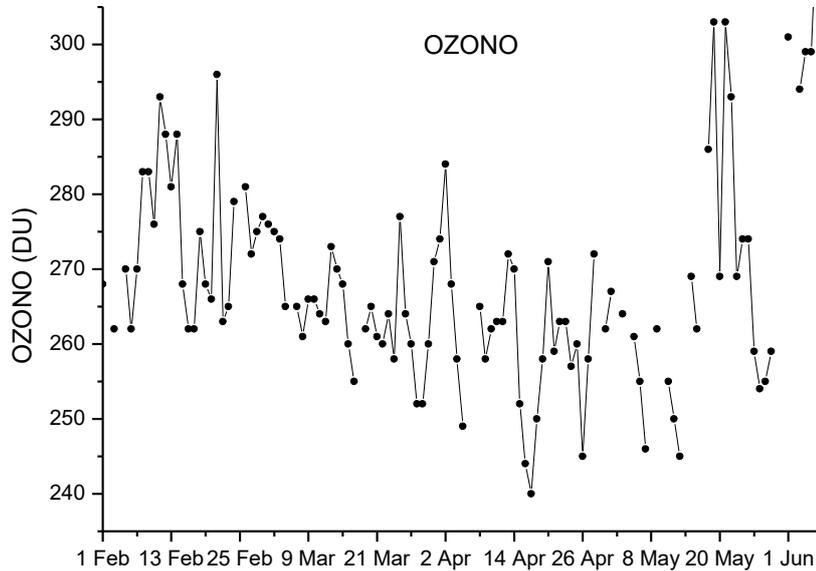


Fig 2. Valores diarios de la columna de ozono medidos en el OCBA y expresados en unidades Dobson.

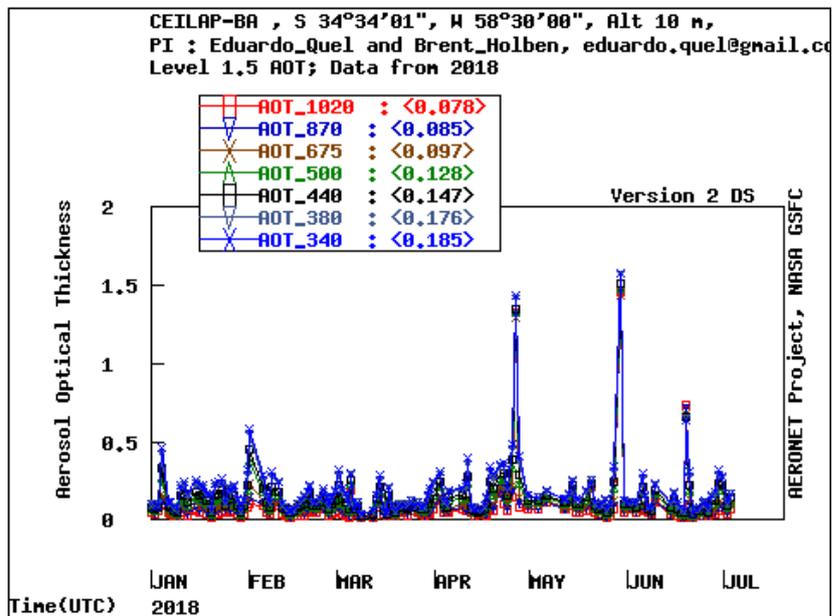


Fig 3. Espesor óptico de aerosoles medidos en la ciudad de Buenos Aires para el periodo de la intercomparación. Cada color corresponde a una longitud de onda determinada de medición.

El gráfico mismo y los datos que se muestran en la figura 3 fueron reportados en la página web de la red Aeronet <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>.

## 4.2 Protocolo de medición

Todos los sensores se colocaron 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. La figura 4 ilustra la ubicación de los sensores sobre la mesada y en la misma también se puede ver parte de la arboleda que rodea al predio. El efecto de la interferencia producida por esta última fue cuantificado por Cede et al. (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 de SZA que se consideraron para los cálculos, y teniendo en cuenta el hecho de que todos los sensores midieron sobre la misma mesada entonces los posibles efectos atenuantes de la arboleda circundante no fueron despreciados.



*Fig. 4. Radiómetros UV instalados en el banco de calibración a fin de asegurar que la irradiancia recibida sea la misma.*

Los sensores a calibrar fueron instalados a medida que arribaron al OCBA desde sus distintos destinos de medición recibiendo los mismos limpieza diaria utilizando alcohol isopropílico de calidad laboratorio y verificando el estado de la sílica gel para absorción de humedad.

Una vez instalados sobre la mesada los sensores SL digitales fueron conectados 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. Por otra parte, todos los radiómetros marca YES y Kipp&Zonen (K&Z) fueron conectados a un datalogger marca Campbell modelo CR1000 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. En el caso de los sensores SL, los valores crudos obtenidos por estos fueron transformados a irradiancia a través de la multiplicación del factor 0.35.

Los radiómetros SL tienen la particularidad de que la unidad adquisidora almacena no solo los valores minutales de dosis MED sino también la temperatura interna del sensor, la cual permite verificar si el mismo

se encuentra termalmente estabilizado. Esto permitió identificar sensores que no regulaban la temperatura y por lo tanto debió ser agregada una corrección establecida en el manual de este tipo de instrumentos. Por otro lado, los sensores YES y K&Z también permiten obtener el valor de la resistencia asociada con el control de temperatura, pero por cuestiones de espacio en el datalogger solo se registraron los valores de radiación solar de la mayoría de ellos sin tener en cuenta la medición de la temperatura. Los sensores conectados al datalogger Campbell en los cuales se confirmó la estabilización de temperatura fueron el patrón YES090703, ambos K&Z, YES130806 y YES130840, confirmando que todos ellos regulaban correctamente la temperatura interna del sensor.

### 4.3 Procedimiento de calibración

Antes de iniciar la IC UV se instalaron únicamente los sensores patrones a fin de evaluar y comparar los valores hallados por ambos y, a su vez, los mismos fueron contrastados contra los obtenidos utilizando el modelo de transferencia radiativa TUV (Tropospheric Ultraviolet and Visible) para cielo claro. Para realizar esta comparación se calculó el Índice UV (UVI) medido por cada uno de los sensores, el cual representa una medida de la intensidad de la radiación UV y su capacidad de producir lesiones en los humanos. El UVI se obtiene matemáticamente al multiplicar por 40 a la irradiancia eritémica en  $Wm^{-2}$  y fue adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como el indicador homologado para informar a la población acerca del riesgo ante la exposición a la radiación solar. Más información sobre este parámetro y una guía para su entendimiento puede ser consultada en la página web de la OMM <http://www.who.int/uv/publications/globalindex/es/>.

Se encontró que los valores de UVI medidos por el YES090703 eran levemente superiores a los medidos por el SL14078 y los estimados por el modelo TUV, ubicándose los valores de este último entre medio de las mediciones de los sensores. Esto se puede ver en la figura 5 donde se exponen los valores del UVI de los datos disponibles por ambos sensores y el estimado por el modelo para los días 14 y 15 de febrero. Utilizando los datos medidos por ambos patrones se observó que, para SZA menores a  $70^\circ$  y días de cielo claro, la diferencia relativa entre ambos para días de cielo claro no excedió el valor de 7% y teniendo en cuenta el error experimental de ambos sensores se pudo asegurar que los valores eran similares y estaban en condiciones de ser patrones para la IC UV. De la misma manera se encontró que, para días con nubosidad variable, la diferencia relativa en las mediciones representaba variaciones de diferente intensidad por lo que se tomó la decisión de considerar únicamente momentos de cielo despejado para los cálculos.

Una vez determinada la igualdad experimental de los valores hallados por ambos sensores se decidió utilizar el SL14078 como patrón secundario para la IC UV debido a que su respuesta angular se asemeja más a la ideal que el YES090703 y además su respuesta espectral es más parecida a la del eritema planteada por Mckinley y Diffey (1987). Si bien ambos sensores cuentan con una caracterización completa en el laboratorio de Davos (Sección 3.1) que permite corregir estas diferencias, otro motivo por el que se optó por el SL14078 fue porque contó con calibraciones anteriores sin mostrar una diferencia significativa acerca de su estabilidad. Igualmente por un problema en su fuente adquisidora, el sensor SL14078 debió ser reemplazado por el YES090703 como patrón secundario a partir del día 19 de marzo.

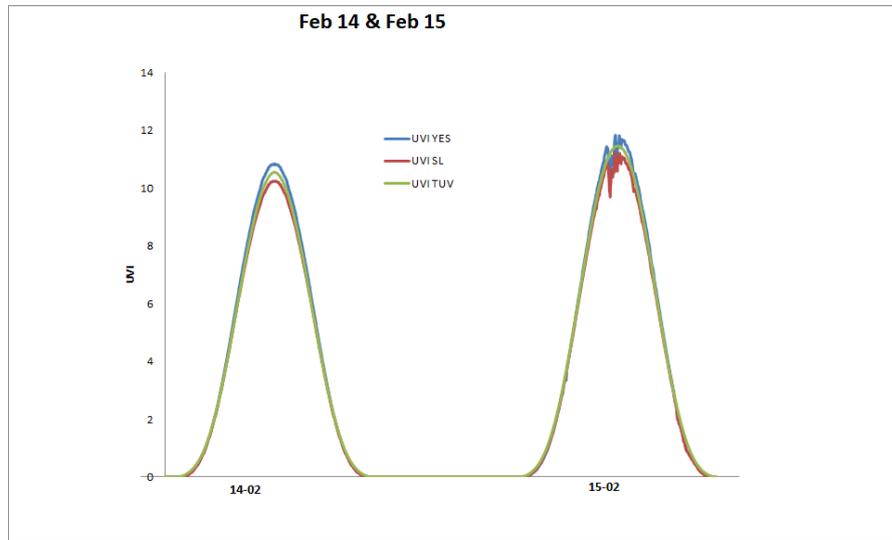


Fig. 5. Comparación cualitativa de los valores medidos por ambos sensores patrones y el modelo TUV para los días 14 y 15 de febrero.

El procedimiento de calibración a utilizar fue el descrito por Hülsen y Gröbner (2007) en donde se plantea que la irradiancia eritémica puede ser obtenida a partir de la ecuación 1.

$$E_{CIE} = (U - U_{offset})C f_n(SZA, TO_3)Coscor \tag{1}$$

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 Coscor se obtiene también a partir de mediciones de laboratorio y representa la corrección del error coseno intrínseco de cada instrumento.

Como se explica en la sección 3.1 estos parámetros son completamente conocidos para los sensores patrones ya que ambos fueron calibrados por el PMOD/WRC tanto en laboratorio como en campo o outdoor, mientras que los únicos radiómetros calibrados en esta campaña para los cuales se conoce su matriz fueron los K&Z 170212 y K&Z 170213 la cual fue obtenida en fábrica. Debido a que no se conocen las respuestas angulares ni espectrales del resto de los instrumentos a calibrar durante la presente IC UV, se optó por seguir los lineamientos utilizados por Julian Grobner en la IC UV que realizó anteriormente 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 II a la V. Si bien estas correcciones no son propiamente medidas para cada radiómetro, fueron obtenidas como promedio de caracterizaciones realizadas en Davos cada tipo de compañía fabricante. Por otro lado la tabla VI muestra la corrección coseno promedio para los radiómetros Kipp&Zonen [Comunicación personal con Gregor Hülsen] obtenida en el laboratorio de Davos como un promedio para este tipo de sensores.

Tabla II. 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 III. 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 IV. 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 TO<sub>3</sub>=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 V. 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 TO<sub>3</sub>=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

Tabla VI. Corrección coseno en función del SZA para los sensores K&Z.

0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
1.001	1	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.998	0.997	0.998	0.998	0.998	1.003	1.005	1.002	1.001

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, 1.17 para los YES y 1.001 para los K&Z.

Al realizar la relación entre los valores medidos por los sensores a calibrar (test) contra los obtenidos por los patrones se encontró que la discretización de los parámetros a un paso de 5° de SZA generaba una diferencia relativa sustancial que iba aumentando a medida que el SZA crecía. Fue por esto que se decidió realizar un ajuste polinomial de interpolación para cada matriz de conversión y corrección coseno, tanto en sensores patrones como en sensores test, que considere los ángulos 0-90° de manera tal de poder establecer un comportamiento continuo de los mismos.

Para los cálculos se utilizaron los parámetros de la ec.1 de manera tal de corregir los valores obtenidos por los sensores patrones para trabajarlos en  $W.m^{-2}$ . Asimismo, para los sensores a calibrar se utilizó la matriz de conversión y Coscor correspondiente a cada marca de compañía fabricante con el objetivo de obtener la constante absoluta de calibración (C) de los mismos. Para ello cabe aclarar que, para el cálculo final de C, se consideraron  $SZA < 50^\circ$  a excepción del sensor K&Z S/N 120059 para el cual se utilizaron SZA menores a  $65^\circ$  debido a que por la época en la que se realizaron las mediciones, los momentos en los que el SZA era menor que  $50^\circ$  eran escasos para este sensor.

En el caso de radiómetros SL que no estabilizaban temperatura se utilizó la opción que dispone la unidad colectora de los datos de realizar la corrección automática teórica según se explica en el manual de esta marca de radiómetros. Al consultar a la compañía fabricante por la validez de la corrección, ésta aseguró que es aplicable entre las temperaturas  $0^\circ C$  y  $50^\circ C$ .

## 4.4 ANÁLISIS DE INCERTEZAS

Para el análisis de errores se utilizó como referencia el trabajo de Cede et al. (2002) y se consideraron las siguientes fuentes de incerteza:

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

En su trabajo, Cede et al. (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 VII.

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

Tabla VII. 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 et al (2000).

Para el presente reporte se utilizaron los resultados de la tabla VII y se le adicionaron los obtenidos a partir de la dispersión de los datos y de la incerteza propia de la calibración de los patrones obtenida en

Davos la cual es de 6.7% para ambos. Asimismo, para los sensores K&Z se utilizó una incerteza relativa de la corrección coseno de 3%, ya que este valor representa la máxima incerteza esperable para este parámetro según las diferencias que encontraron Hülsen y Grobner (2017) mientras que, para la matriz obtenida en fábrica, se asoció una incerteza de 3% [comunicación personal con la compañía fabricante, [www.kippzonen.com/ProductGroup/11/UV-Radiometers](http://www.kippzonen.com/ProductGroup/11/UV-Radiometers)]. No se cuenta con una variación de la incerteza con SZA para los K&Z por lo que el valor encontrado en base a los valores introducidos anteriormente será el representativo para todo el rango angular de 0°-90°.

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 la ecuación 2.

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

Debido a no contar con matrices promedio nominales para los sensores de marca Kipp&Zonen la incerteza en la calibración aumenta significativamente como lo cuantifican Hülsen y Grobner (2017). Los autores encontraron diferencias de hasta 20% al no considerar la matriz de transferencia y éste fue el valor a utilizar de base asociado a esta magnitud para el sensor K&Z 120059 en el presente trabajo.

## 5. RESULTADOS

La tabla VIII lista los instrumentos, los factores absolutos de calibración hallados para cada uno de ellos, la estación donde mide cada uno y una comparación respecto del último factor del que se tiene registro. Los sensores denominados como “back up” realizaban mediciones en distintos sitios pero fueron reemplazados por sensores nuevos, permaneciendo guardados para casos de malfuncionamiento con el fin de no perder datos.

De la tabla VIII se desprenden distintos aspectos a analizar siendo uno de los más llamativos el hecho de que tanto el sensor SL1870 y el YES940602 no modificaron su factor desde el año 2010. No obstante el sensor SL1870 fue derivado a la ciudad de Mendoza luego de la intercomparación, siempre realizó mediciones en la ciudad de Comodoro Rivadavia, sitio con condiciones meteorológicas típicamente de baja humedad así como temperaturas que difícilmente superan una temperatura de 30°C. Cabe destacar que las mismas características se presentan en La Quiaca, estación donde mide el YES940602. Si bien se conoce que estos parámetros están íntimamente ligados a las mediciones de los instrumentos, los resultados aquí obtenidos indicarían que las condiciones de baja humedad y temperaturas que rara vez superen los 30° C podrían representar condiciones favorables para que no ocurra una degradación en la superficie detectora o dentro del radiómetro mismo de manera tal de que la estabilidad del instrumento se conserve.

Por otro lado se observa que el sensor SL2748 ha sido el más degradado de todos mostrando una variación respecto de su última calibración del 42%. Este resultado muestra que para futuros trabajos en los que se haga uso de los datos donde este sensor midió debe ser prestada mucha atención y deben tratarse con cuidado teniendo en cuenta todas las posibles correcciones a aplicar.

Un resultado que también debe ser analizado de manera separada es el obtenido para el radiómetro K&Z120059, el cual fue el último en arribar a Buenos Aires para su calibración. Este radiómetro pudo recién ser contrastado los primeros días de junio debido a las lluvias y constante nubosidad que ocurrieron en la ciudad durante el mes de mayo. La constante de calibración para este radiómetro, tal como se explicó

anteriormente, fue obtenida utilizando valores con SZA menores a 65° con un mínimo de 56.6° por lo que sería de esperar una diferencia respecto de si SZA menores hubieran participado en los cálculos.

*Tabla VIII. Constantes de calibración absoluta obtenidas para cada uno de los sensores participantes de la IC UV 2018, estación donde miden regularmente y comparación contra el último factor obtenido.*

SENSOR	ESTACIÓN DE MEDICIÓN	FACTOR 2018	FACTOR ANT	AÑO IC ANT	RELACION DE CAMBIO (%)	UNIDAD	PERÍODO DE MEDICION	COMENTS
SL 1866	BACKUP	1.17	1.30	2006	-10	-	28-03 al 15-04	No estab. Temp.
SL 1870	MENDOZA	1.05	1.05	2010	0	-	07-03 al 27-03	
SL 1871	BACKUP	0.97	1.05	2014	-8	-	21-02 al 05-03	No estab. Temp.
SL 2711	BACKUP	1.58	1.14	2014	39	-	28-03 al 15-04	Superficie detectora deteriorada
SL 2747	BS AS	1.34	1.32	2014	2	-	21-02 al 01-03	Superficie detectora deteriorada
SL 2748	BACKUP	1.76	1.24	2010	42	-	20-02 al 05-03	No estab. Temp.
SL 2753	BACKUP	1.15	1.07	2010	7	-	13-03 al 24-03	Superficie detectora deteriorada
SL 9002	USHUAIA	0.78	0.99	2010	-21	-	09-03 al 27-03	
SL 9004	BACKUP	0.92	1.08	2006	-15	-	28-03 al 15-04	No estab. Temp.
YES 60703	NEUQUEN	0.13	0.145	Fabrica	-10	(W/m2)/V	14-04 al 23-04	
YES 130803	COMODORO RIV.	0.12	0.132	Fabrica	-9	(W/m2)/V	06-03 al 27-03	
YES 130804	VILLA MART.	0.13	0.132	Fabrica	-1	(W/m2)/V	28-03 al 16-04	
YES 130805	BARILOCHE	0.12	0.132	Fabrica	-9	(W/m2)/V	12-03 al 27-03	
YES 130806	RIO GALLEG.	0.12	0.130	Fabrica	-7	(W/m2)/V	28-03 al 16-04	
YES 940602	LA QUIACA	0.12	0.12	2010	0	(W/m2)/V	28-02 al 15-03	
YES 970809	BACK UP	0.15	0.14	2010	10	(W/m2)/V	19-02 al 05-03	
YES 970811	CORDOBA	0.13	0.141	Fabrica	-8	(W/m2)/V	15-03 al 27-03	
K&Z 170212	PILAR	0.17	0.198	Fabrica	-14	(W/m2)/V	13-03 al 27-03	
K&Z 170213	TUCUMAN	0.18	0.203	Fabrica	-11	(W/m2)/V	09-03 al 27-03	
K&Z 120059	SALTA	0.15	0.189	Fabrica	-21	(W/m2)/V	25-04 al 05-06	

Se observa que de los 9 radiómetros SL, 4 de ellos no estabilizan temperatura por lo que, en caso de ser utilizados, debe ser tenida en cuenta la corrección proporcionada por la fábrica. También se pudo verificar visualmente que la superficie detectora se encuentra levemente deteriorada en 3 de los 9 sensores, posiblemente debido a humedad que haya ingresado dentro de los mismos por una sílica saturada.

El sensor 2711 muestra una gran variación respecto de su calibración en 2014 por lo que se revisó su historial de calibraciones encontrando una gran variabilidad en su constante de calibración con el paso de los años. Los factores de calibración de este sensor, obtenidos en 2006, 2010 y 2014 fueron de 1.53, 1.09 y 1.14 respectivamente. Resulta evidente la poca estabilidad del sensor recomendando su re-calibración con mayor frecuencia.

En la tabla IX se muestra la cantidad de mediciones por sensor que se utilizaron para obtener el factor de calibración así como la desviación estándar dentro del periodo de ángulos cenitales considerado. Estos fueron los valores que se utilizaron para obtener la incerteza relativa de la dispersión estadística.

En la tabla IX se puede observar que en general la cantidad de valores utilizados para obtener la constante absoluta es adecuada para un análisis estadístico. Se deja constancia de las dificultades que hubo con los sensores YES130860 y SL2711 debido a que, por cuestiones meteorológicas, solo un día sirvió para su análisis y por eso la escasa cantidad de datos. Aun así se observa una baja dispersión respecto de la media por lo que se consideró adecuada su calibración.

Tabla IX. Cantidad de datos utilizados para calcular la constante absoluta de calibración y desviación estándar de los mismos

SENSOR	Desv. Est.	Cant. medid.	SENSOR	Desv. Est.	Cant. medid.
SL 1866	0.0127	406	YES 130803	0.0031	1289
SL 1870	0.0104	1735	YES 130804	0.0011	663
SL 1871	0.0129	2281	YES 130805	0.0021	1955
SL 2711	0.0168	301	YES 130806	0.001	298
SL 2747	0.0229	1143	YES 940602	0.0007	2006
SL 2748	0.0147	1143	YES 970809	0.0023	1726
SL 2753	0.0132	1195	YES 970811	0.0005	1289
SL 9002	0.0175	1608	K&Z 170212	0.0022	942
SL 9004	0.0112	406	K&Z 170213	0.0013	1182
YES 60703	0.0011	406	K&Z 120059	0.0048	786

La tabla X contiene las incertezas asociadas en función del ángulo cenital, obteniendo valores similares para los sensores SL y YES pero diferenciándose los K&Z. Esto último se debe a que, para los dos sensores K&Z de los cuales se conoce su matriz la incerteza asociada es menor mientras que para el radiómetro K&Z120059 se alcanzan valores de 22.2% debido al desconocimiento de su respuesta espectral como se explicó en la sección 4.4.

Una vez obtenido el factor de calibración absoluto para cada uno de los sensores, se aplicó la ec. 1 con sus respectivas correcciones a cada uno de ellos y se obtuvieron los gráficos que se muestran en el anexo donde se puede ver en el mismo gráfico los valores del UVI medidos por el sensor patrón de referencia y el sensor calibrado contra el mismo. En la misma figura también se muestra la relación *test/ref* en función del SZA donde "*test*" se asocia con el radiómetro a ser calibrado mientras que "*ref*" representa el patrón de referencia. Por último, en dicho gráfico también se muestra la frecuencia relativa de ocurrencia de cada valor obtenido de esa relación. De los gráficos se desprende que todos los sensores miden adecuadamente y las posibles diferencias diurnas respecto al patrón se deben a que las respuestas angulares y espectrales supuestas para los radiómetros no es la adecuada para esos radiómetros. Debido a un cambio en la configuración del datalogger es que el día 13 de abril no hubo datos disponibles y por esto algunos sensores solo muestran el índice UV para el 14 y 15 de abril.

Tabla X. Incertidumbre relativa de cada sensor en función del ángulo cenital.

Incerteza (%)	<30°	40°	50°	60°	70°	80°
<b>SL 1866</b>	9.2	9.3	9.6	10.4	12.7	20.0
<b>SL 1870</b>	9.2	9.3	9.5	10.3	12.7	20.0
<b>SL 1871</b>	9.4	9.4	9.7	10.5	12.8	20.0
<b>SL 2711</b>	9.2	9.3	9.6	10.3	12.7	20.0
<b>SL 2747</b>	9.6	9.7	9.9	10.7	13.0	20.1
<b>SL 2748</b>	9.1	9.2	9.5	10.3	12.6	19.9
<b>SL 2753</b>	9.3	9.3	9.6	10.4	12.7	20.0
<b>SL 9002</b>	10.0	10.1	10.3	11.0	13.3	20.3
<b>SL 9004</b>	9.3	9.4	9.6	10.4	12.8	20.0
<b>YES 60703</b>	9.1	9.2	9.5	10.3	12.7	19.9
<b>YES 130803</b>	10.3	10.3	10.6	11.3	13.5	20.5
<b>YES 130804</b>	9.2	9.2	9.5	10.3	12.7	19.9
<b>YES 130805</b>	9.6	9.7	10.0	10.7	13.0	20.2
<b>YES 130806</b>	9.1	9.2	9.5	10.3	12.6	19.9
<b>YES 940602</b>	9.1	9.1	9.4	10.2	12.6	19.9
<b>YES 970809</b>	9.5	9.5	9.8	10.6	12.9	20.1
<b>YES 970811</b>	9.0	9.1	9.4	10.2	12.6	19.9
<b>K&amp;Z 170212</b>	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
<b>K&amp;Z 170213</b>	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
<b>K&amp;Z 120059</b>	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2

## 6. CONCLUSIONES

Durante el 14 de febrero y el 05 de junio de 2018 se llevó a cabo la intercomparación de radiómetros UV en el Observatorio Central de Buenos Aires en la cual participaron 20 sensores pertenecientes a diferentes instituciones operativas y de investigación del país. Durante la intercomparación se utilizaron como patrones un SL y un YES con número de serie 14078 y 090703 respectivamente, ambos calibrados en Davos por el PMOD/WRC en 2017 y se obtuvo el factor de calibración y su incerteza relativa asociada de cada uno de los sensores participantes. Para la calibración de los instrumentos se utilizó una matriz de transferencia y un vector de corrección coseno obtenidos a través del uso de respuestas angulares y espectrales nominales promedio para las compañías Solar Light y YES provistas por personal del PMOD/WRC en la última intercomparación de 2010. Los sensores de la compañía K&Z contaban con matrices obtenidas en fábrica y se utilizó también un vector de corrección coseno obtenido como promedio para esta marca de sensores. Las mediciones del radiómetro K&Z 120059 fueron únicamente corregidas por el vector de corrección coseno y es por esto que se les asoció una incerteza mucho más alta que para el resto.

Se observó que algunos de los sensores SL muestran un deterioro en la superficie detectora mientras que otros no estabilizan temperatura. Esto puede ser producto de las condiciones meteorológicas y del mantenimiento por lo que se recomienda el cambio de sílica gel con una frecuencia no mayor a los 15 días.

Se compararon los resultados en las constantes de calibración en relación a las anteriores halladas contra las obtenidas durante la intercomparación realizada en 2010 y 2014 hallando diferencias que alcanzan el 42% respecto de su última calibración, aunque vale la pena resaltar que, para varios de los sensores, la misma fue en 2010. Por otro lado algunos sensores mostraron diferencias nulas respecto a su última calibración y se asocia esto con las condiciones meteorológicas reinantes en estos sitios.

Por su trazabilidad al WRC, el nuevo factor de calibración permitirá realizar mediciones comparables entre los radiómetros y asegura una mayor confiabilidad en los datos obtenidos por los mismos.



Personal de diversas instituciones que participaron para que la Intercomparación se pueda realizar.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la generosidad de la Institución CITEDEF al facilitar uno de los instrumentos calibradores sin el cual la intercomparación no habría podido ser llevada a cabo. Asimismo se agradece al personal de CITEDEF Raúl D'Elia, Claudio Libertelli y Facundo Orte por sus continuos aportes.

Cabe destacar los esfuerzos realizados por German Pérez Fogwill, Francisco Sosa y Ricardo Sánchez quienes realizaron toda la instalación, programación y mantenimiento de los sensores contrastados. Sin ellos tampoco podría haberse realizado la intercomparación.

Se agradece también la participación del Ing. Sebastian Papandrea por sus esfuerzos en la logística de todos los sensores a calibrar y a todos los observadores y personal encargado de la operación y mantenimiento de los sensores en los sitios de medición.

Se agradece de manera especial al Dr. Gregor Hülsen y el Dr. Julian Grobner de PMOD/WRC por compartir con nosotros su experiencia, resultados y por su continuo asesoramiento permitiéndonos hacer las cosas lo mejor posible.

## 7. 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.

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

Mckinley AF, Diffey BL., 1987: A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. En: Passchier WR, Bosjanokovic BFM (Eds), *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations*. Elsevier, Amsterdam. 83-7.

Hülsen G., Gröbner J., 2017: Report of the 2<sup>nd</sup> International UV filter Radiometer Comparison UVC-II. Davos, Switzerland 25 May to 5 October 2017. [http://projects.pmodwrc.ch/bb2017/media/UVC-II\\_report.pdf](http://projects.pmodwrc.ch/bb2017/media/UVC-II_report.pdf)

Kipp&Zonen, 2018: Instruction Manual. SUV-Smart UV Radiometer, 41pp. Disponible en [www.kippzonen.com/ProductGroup/11/UV-Radiometers](http://www.kippzonen.com/ProductGroup/11/UV-Radiometers)

## ANEXO

### RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL1866

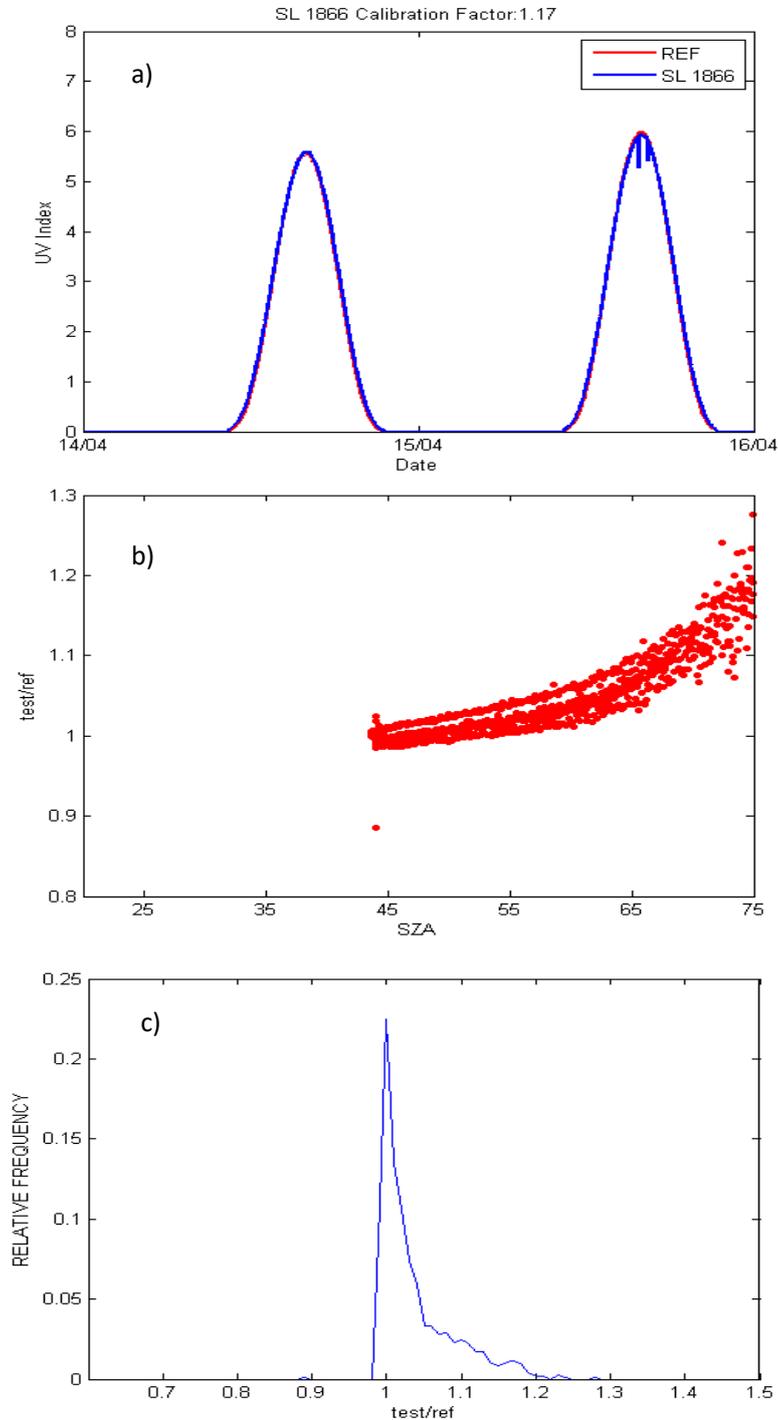


Fig. A.1: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL1866 en simultáneo para los días 14 y 15 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL1870**

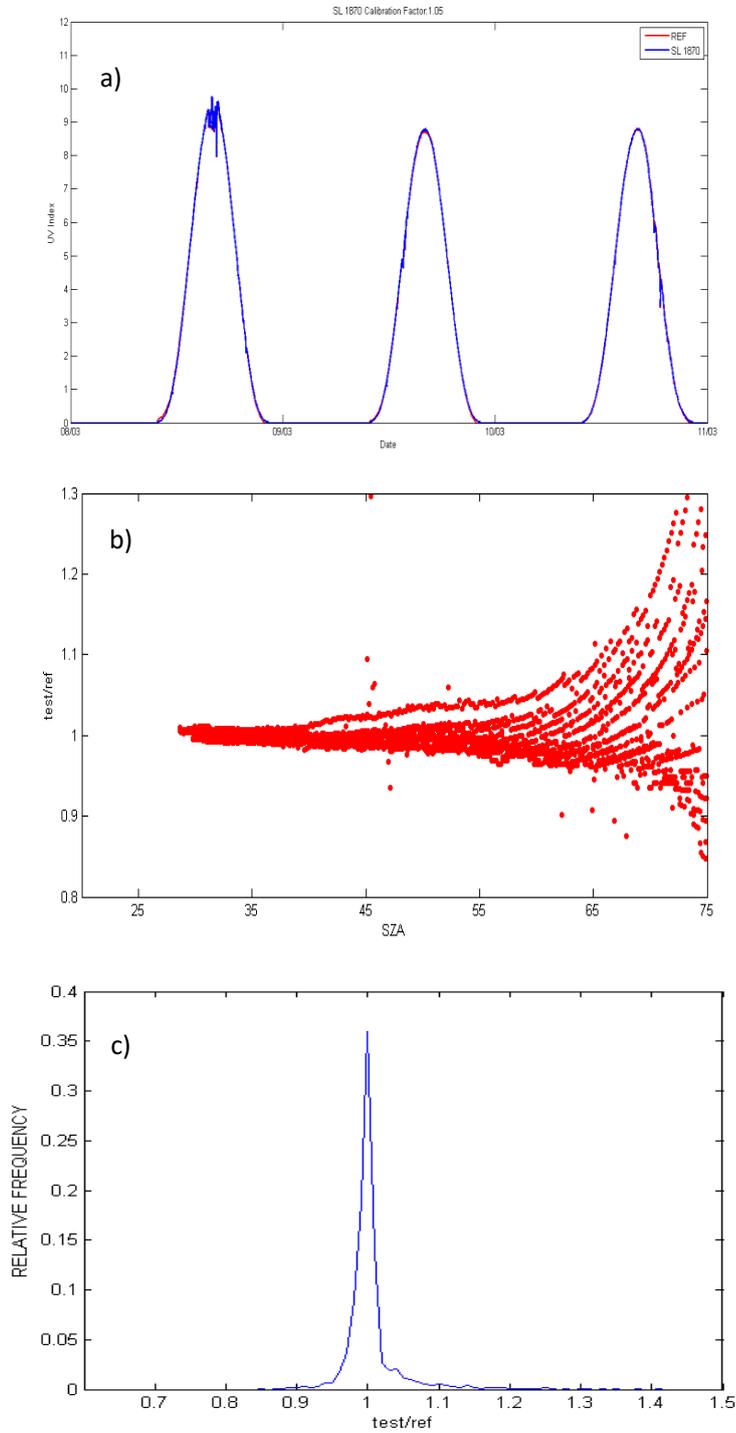


Fig. A.2: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL1870 en simultáneo para los días 8, 9 y 10 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL1871**

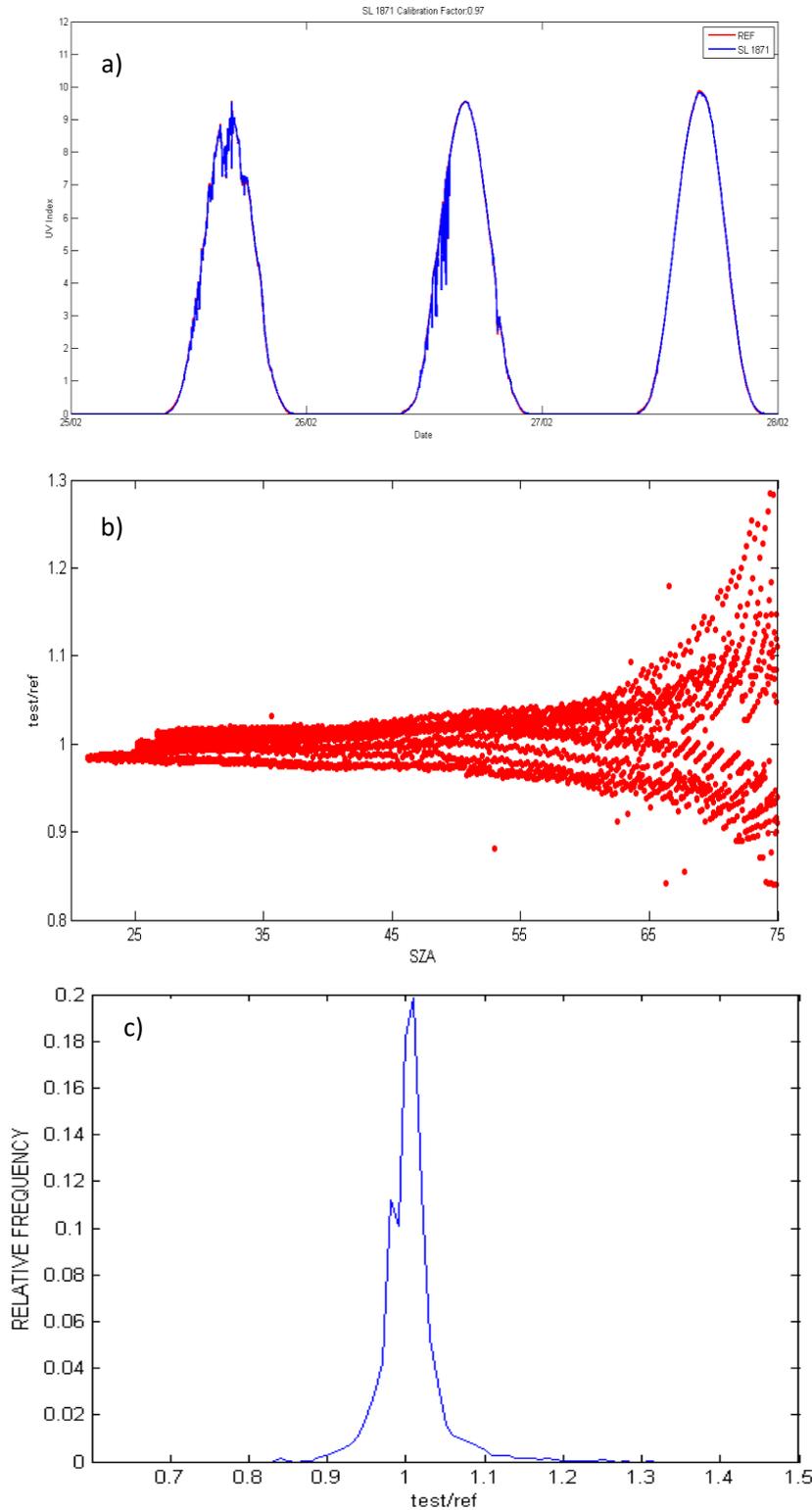


Fig. A.3: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL1871 en simultáneo para los días 25, 26 y 27 de febrero. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL2711**

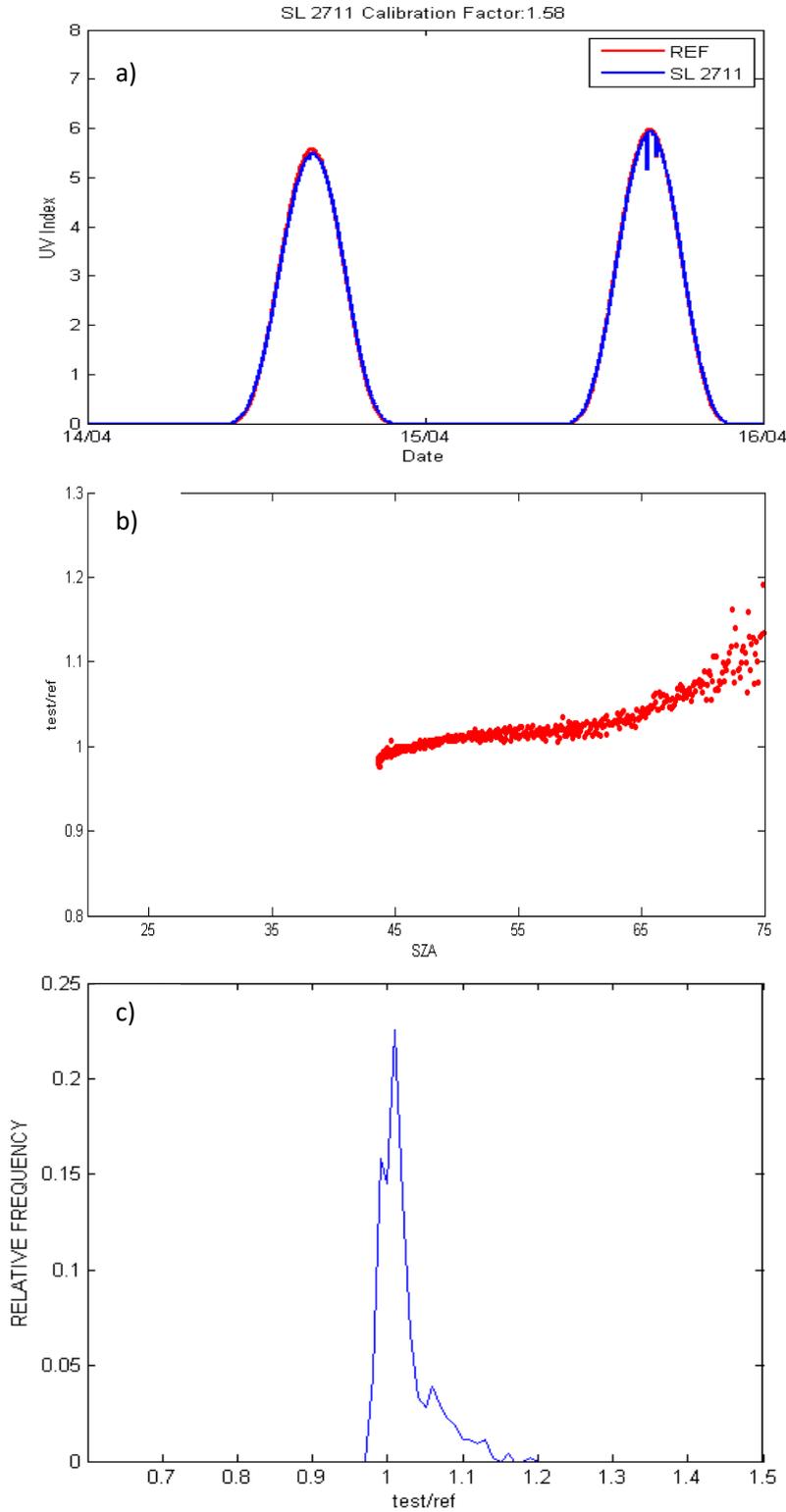


Fig. A.4: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL2711 en simultáneo para los días 14 y 15 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL 2747**

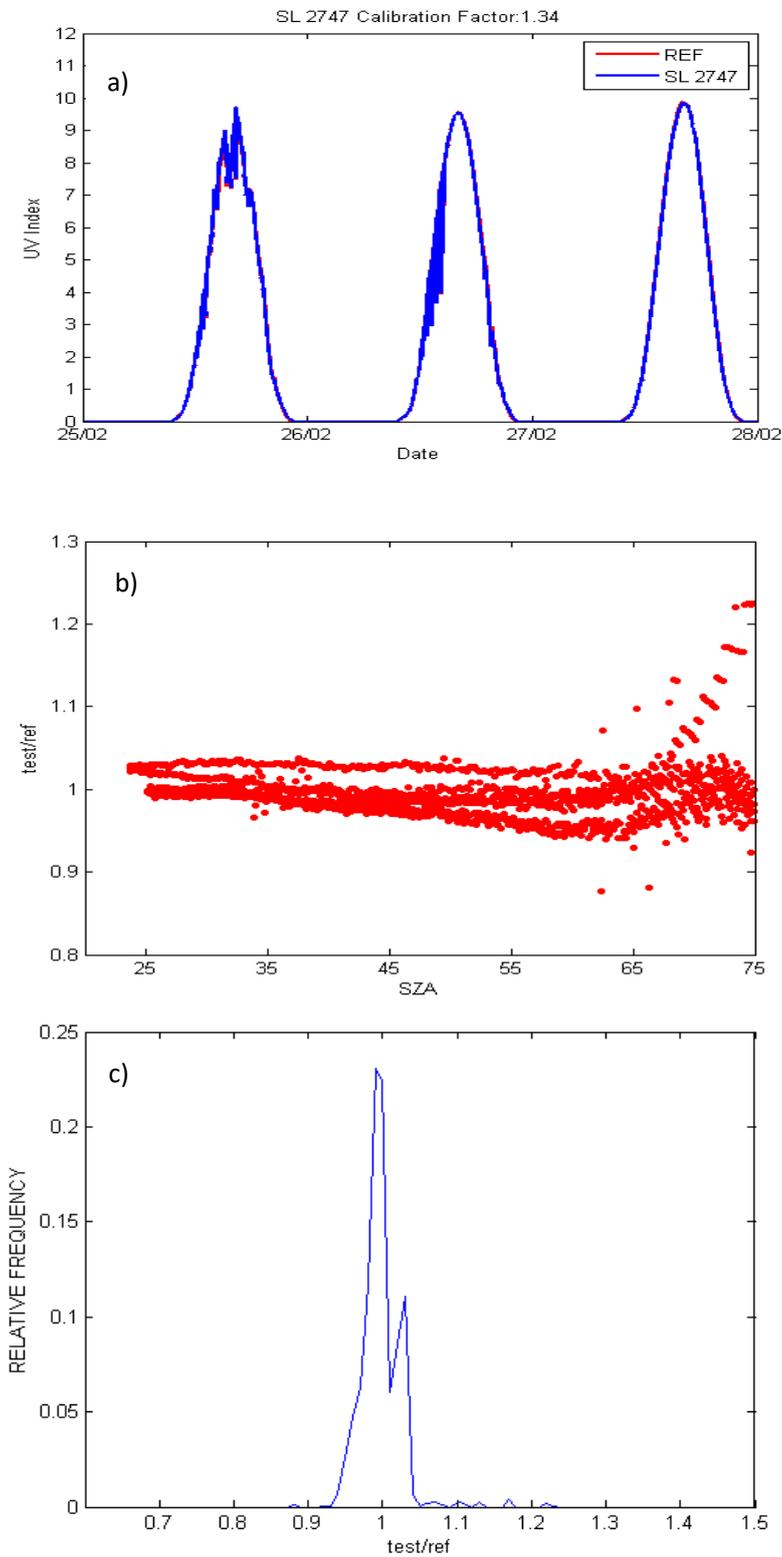


Fig. A.5: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL2747 en simultáneo para los días 25, 26 y 27 de febrero. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL 2748**

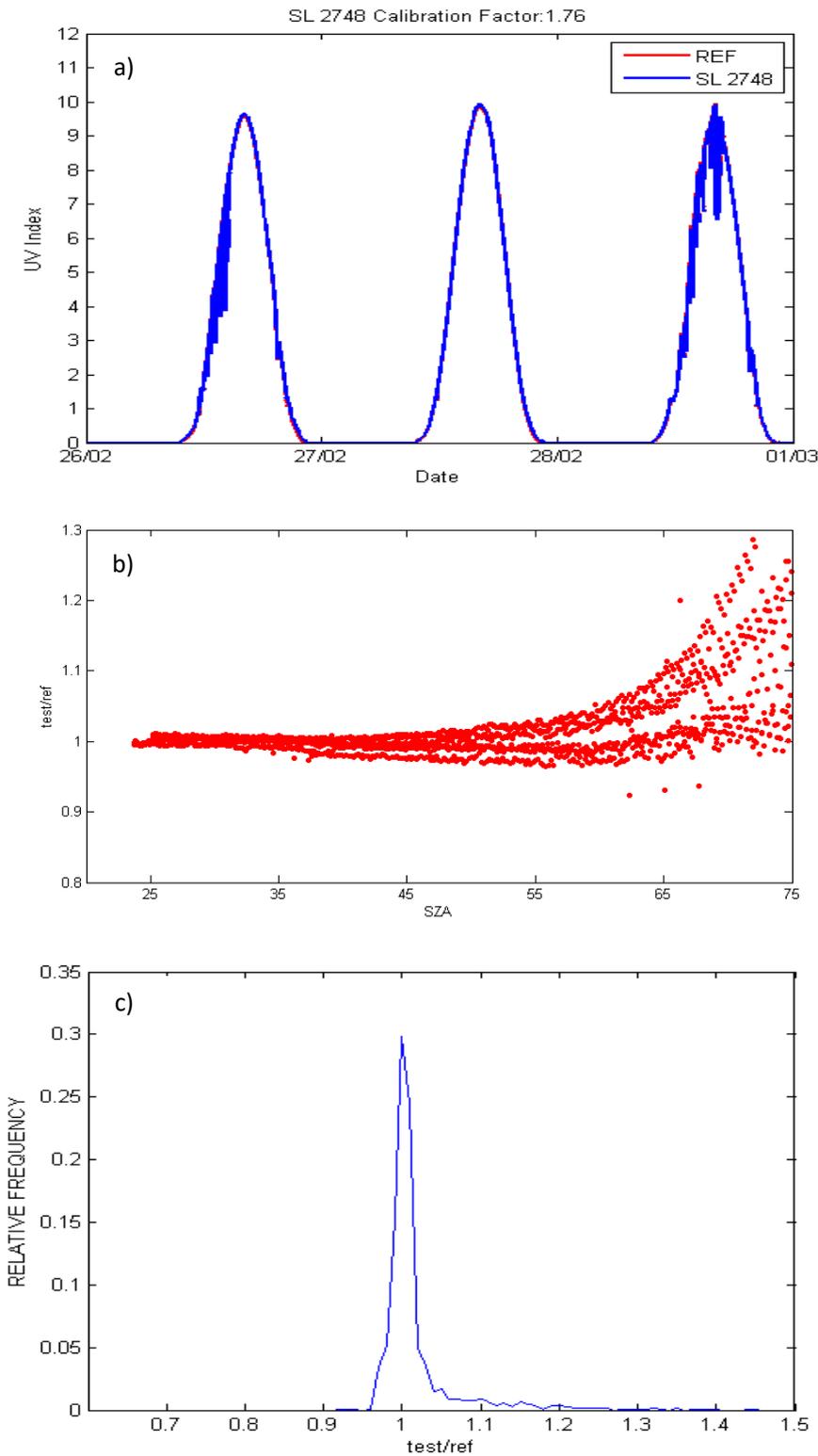


Fig. A.6: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL2748 en simultáneo para los días 26, 27 y 28 de febrero. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL 2753**

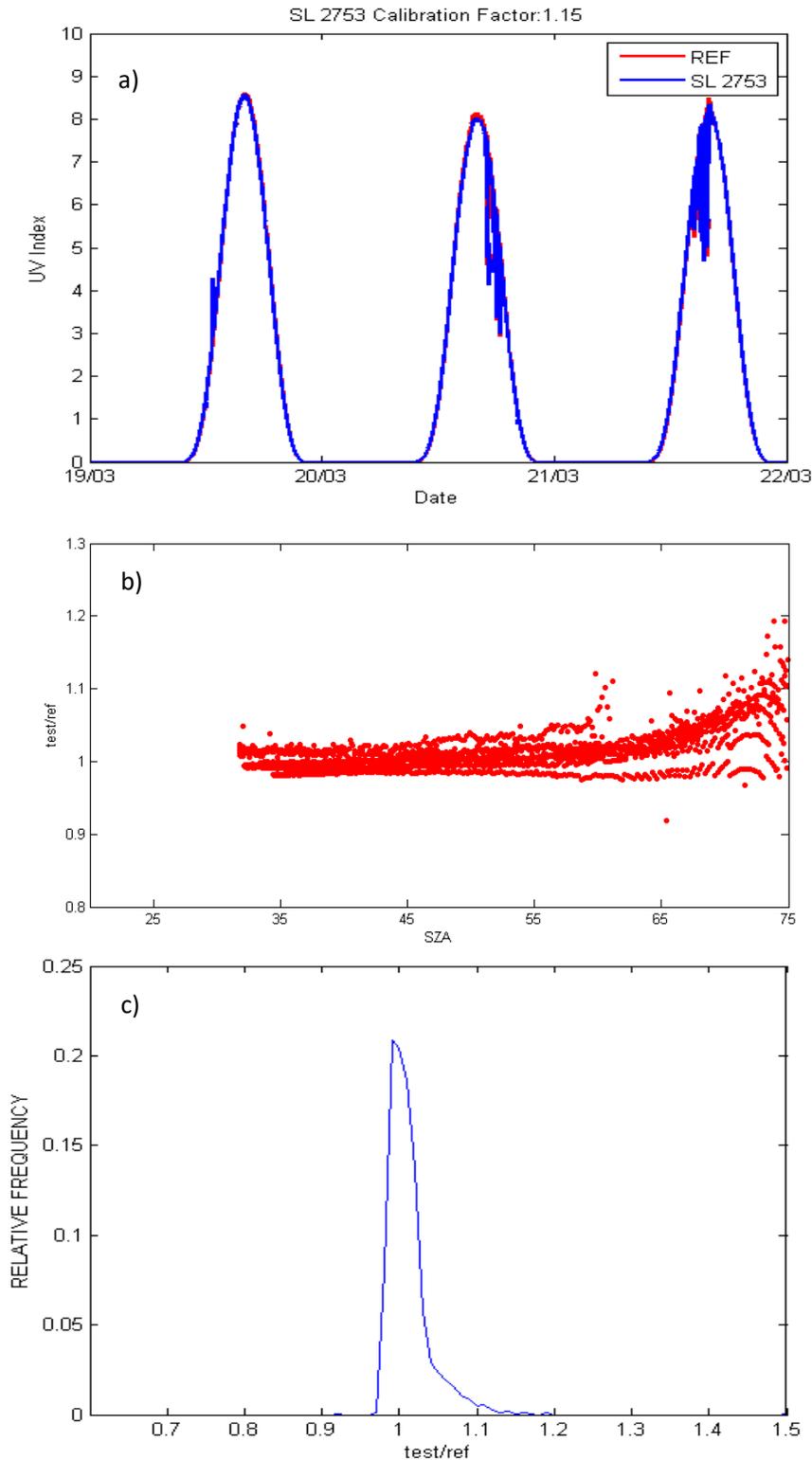


Fig. A.7: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL2753 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL 9002**

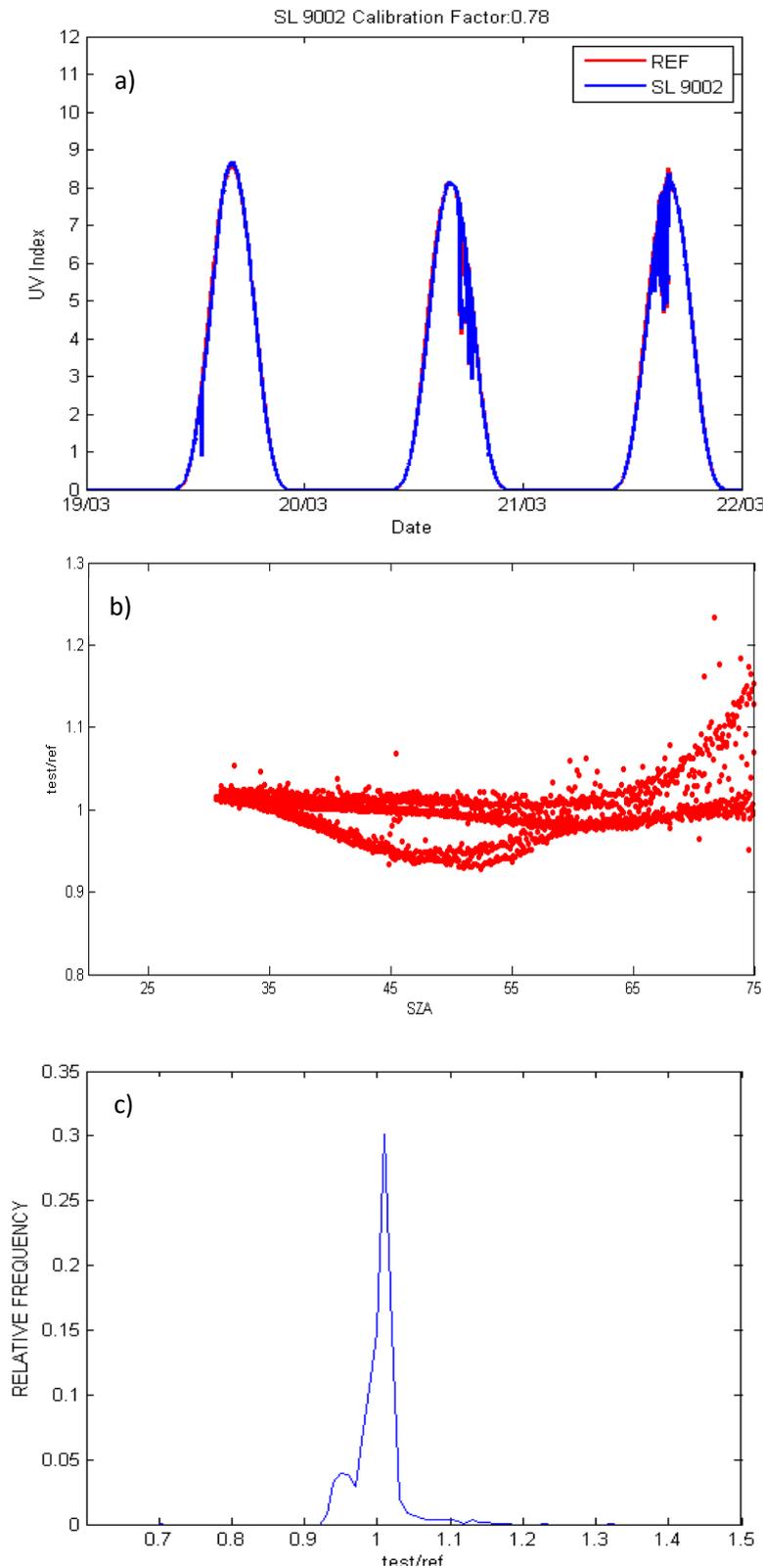


Fig. A.8: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL9002 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR SL 9004**

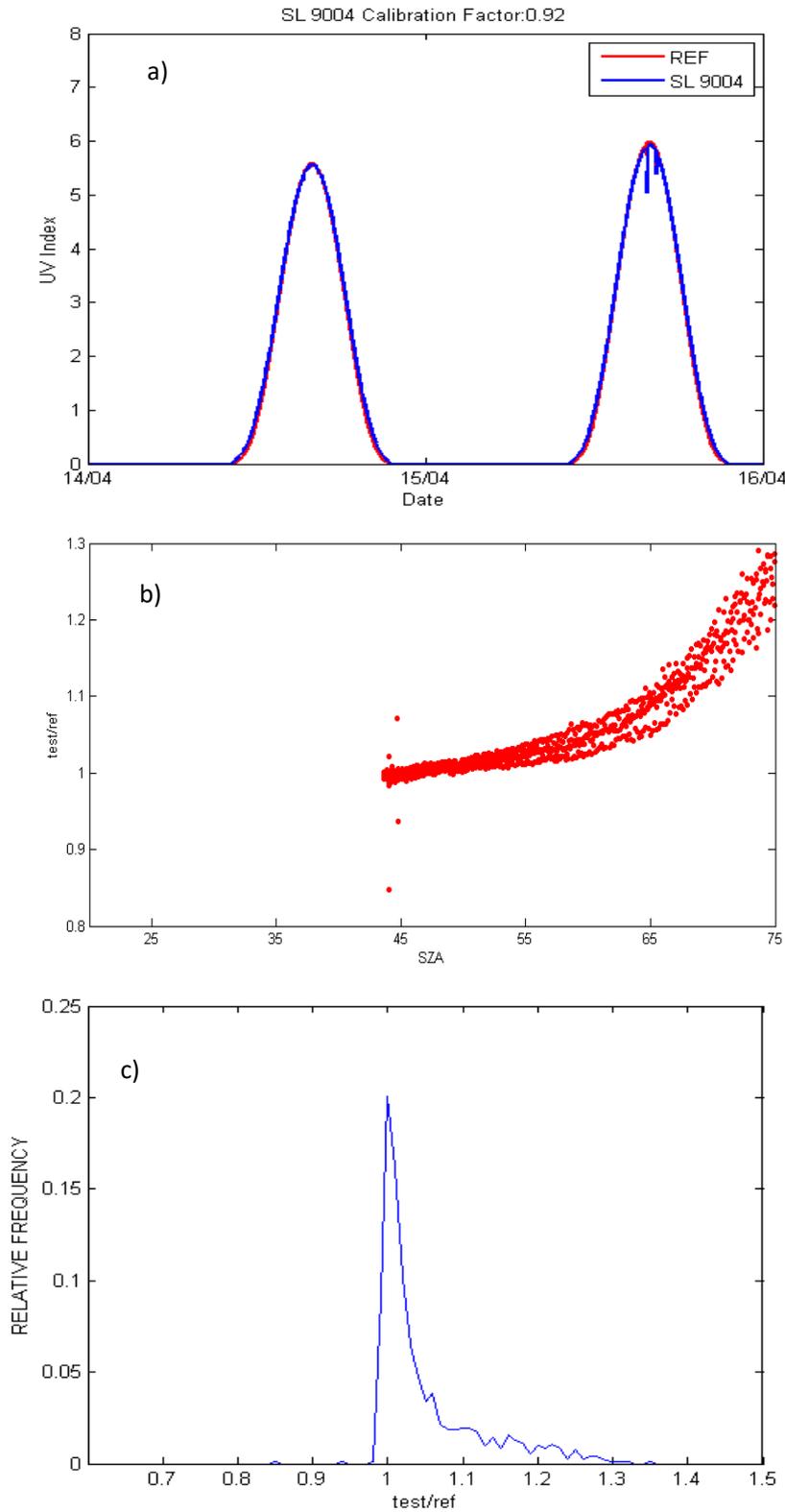


Fig. A.9: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el SL9004 en simultáneo para los días 14 y 15 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 60703**

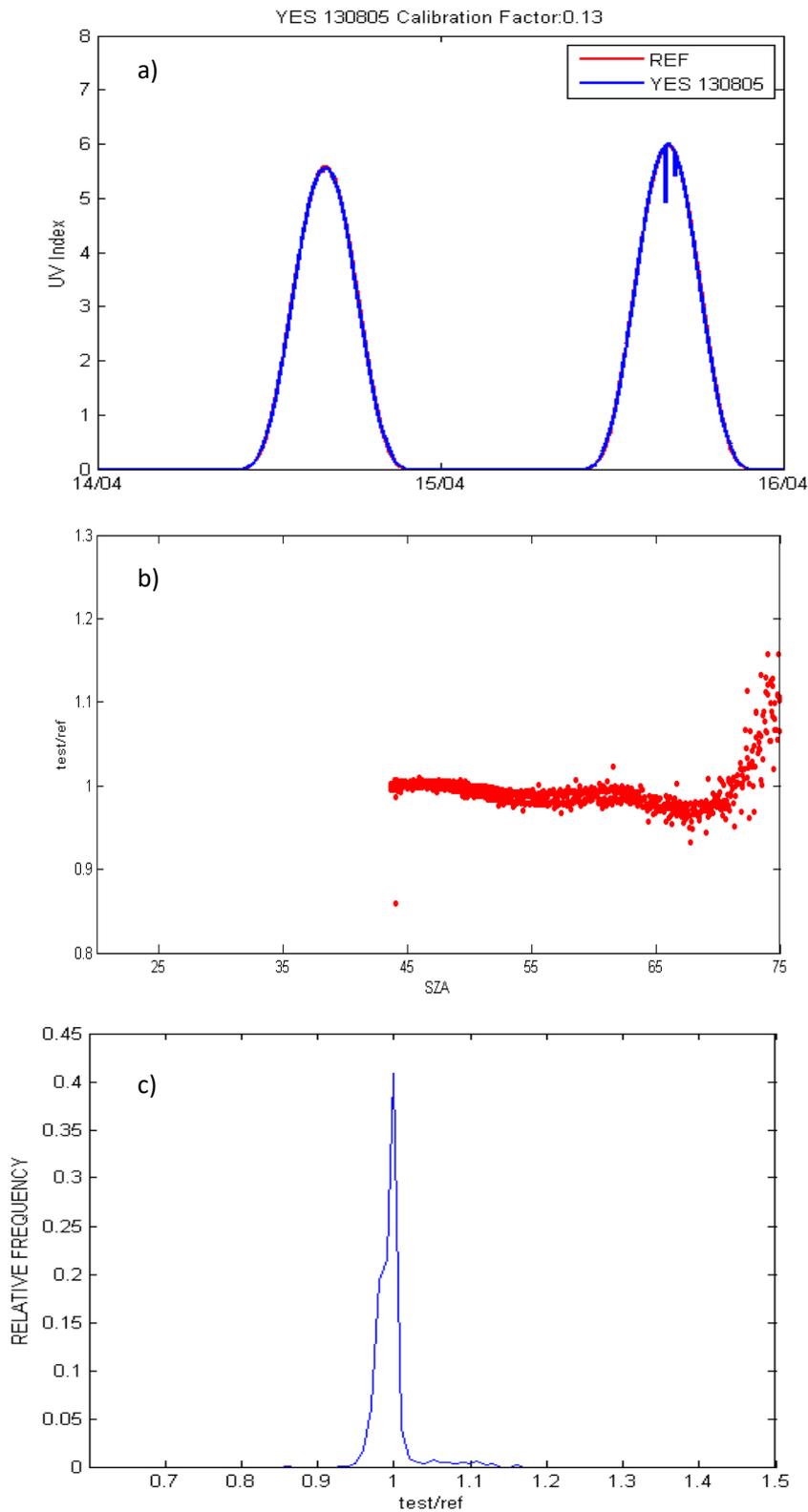


Fig. A.10: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES60703 en simultáneo para los días 14 y 15 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 130803**

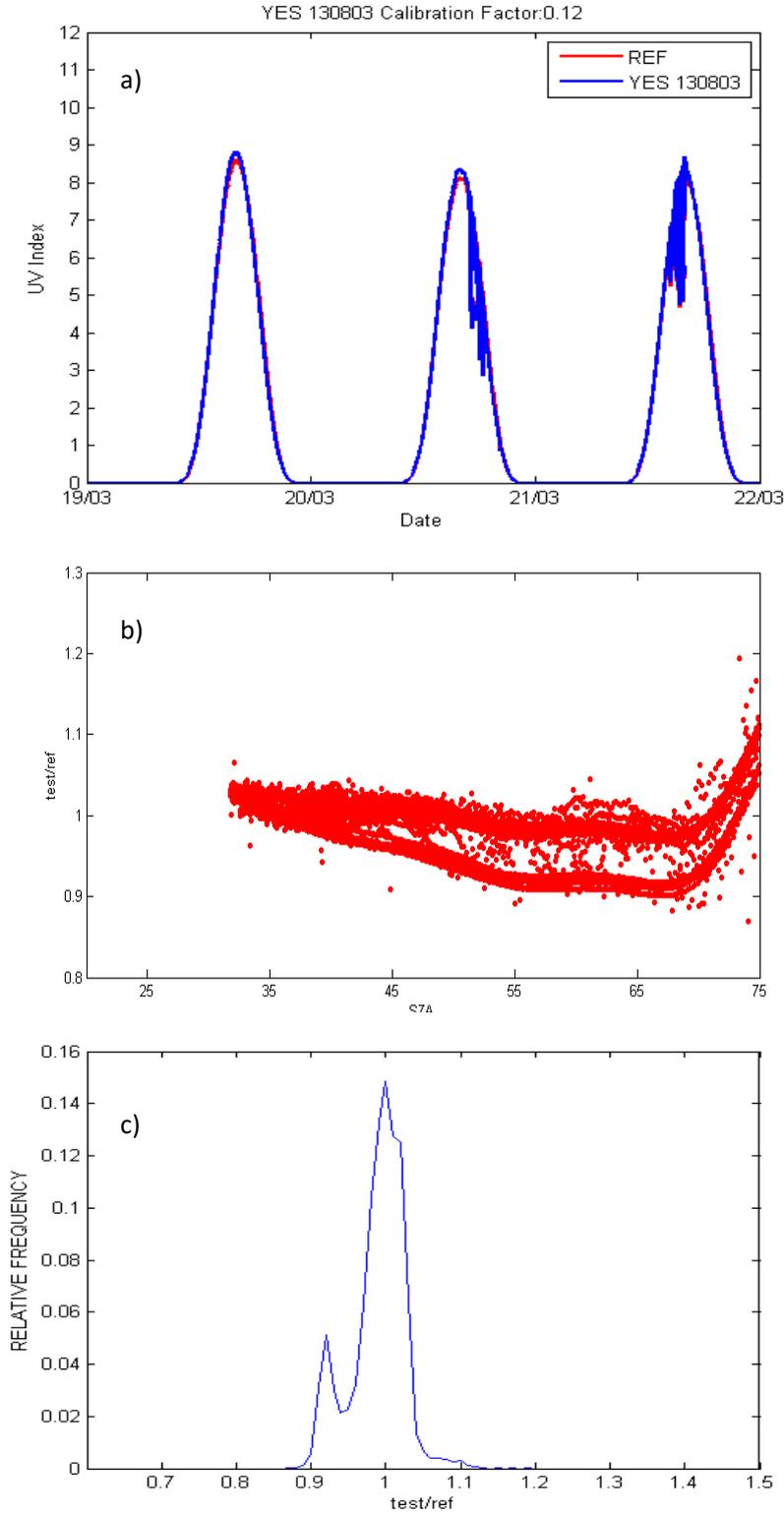


Fig. A.11: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES130803 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 130804**

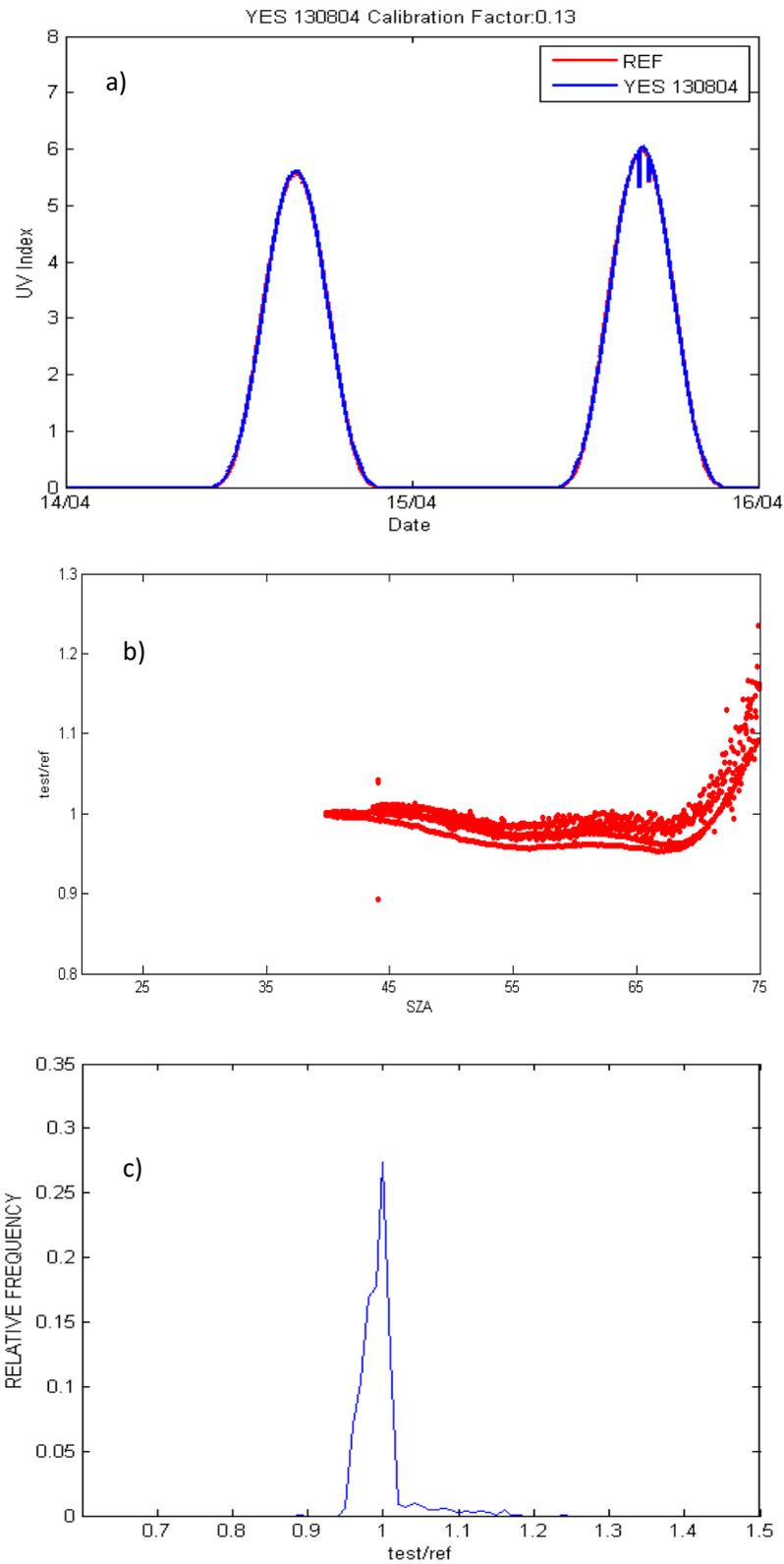


Fig. A.12: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES130804 en simultáneo para los días 14 y 15 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 130805**

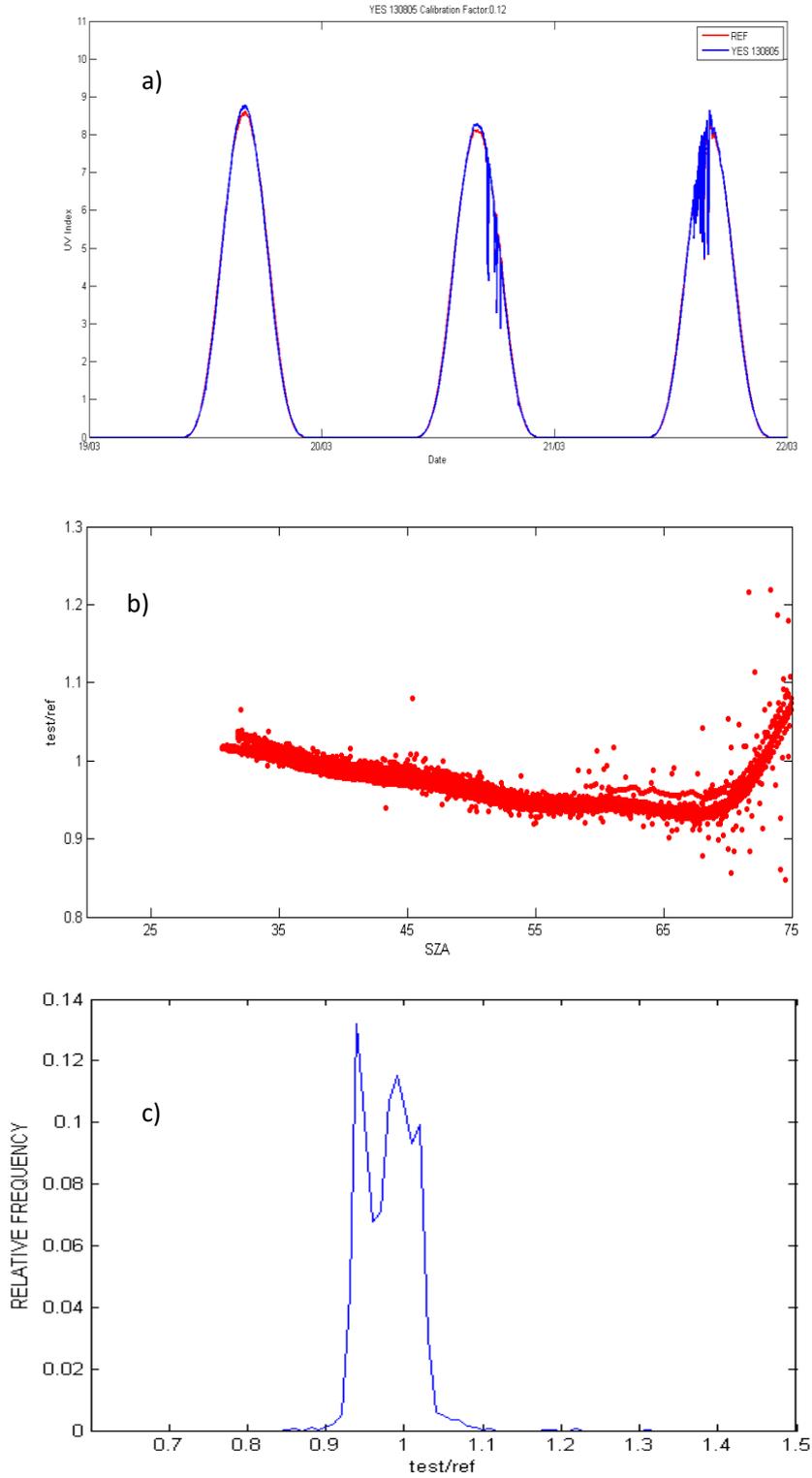


Fig. A.13: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES130805 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 130806**

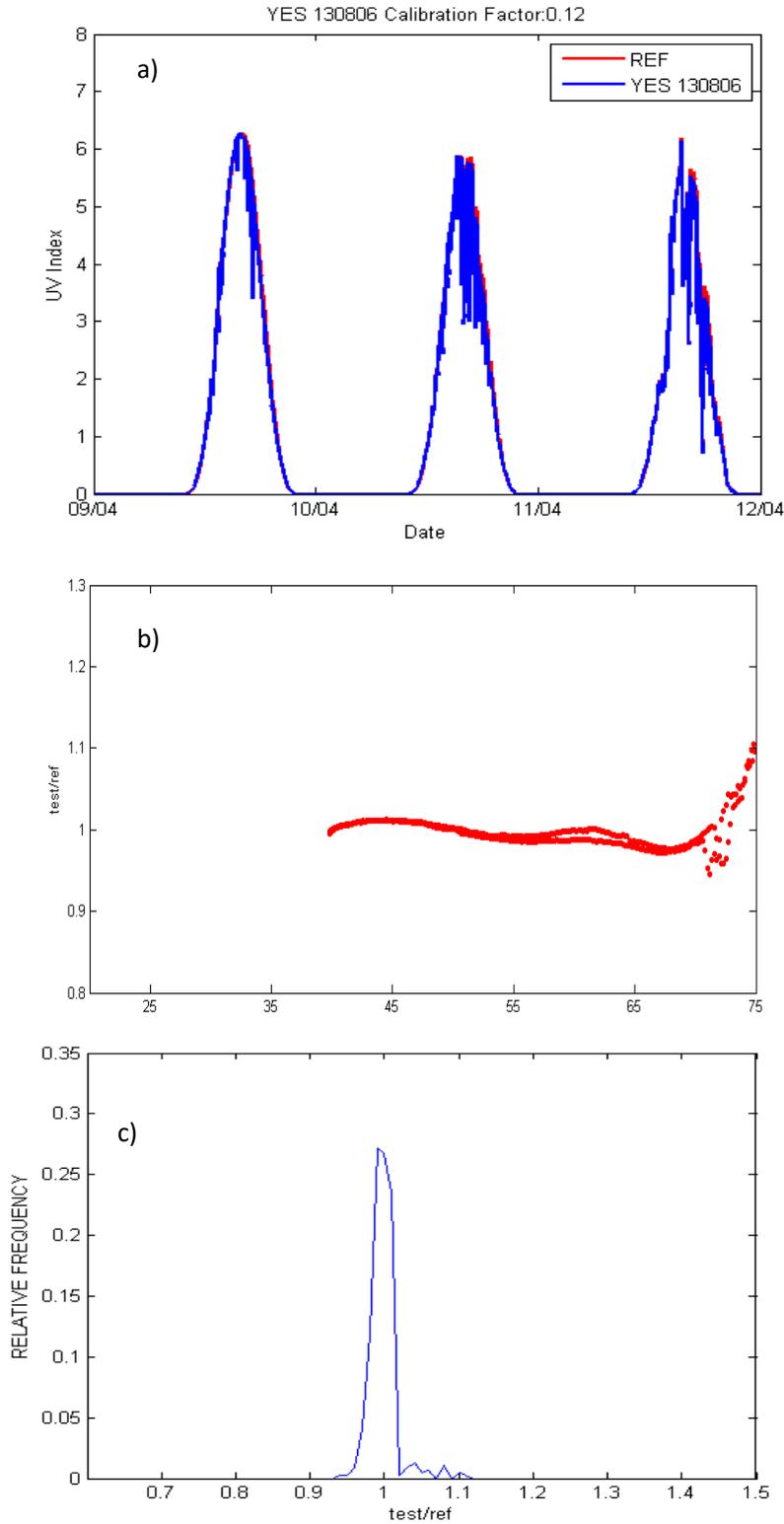


Fig. A.14: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES130806 en simultáneo para los días 9, 10 y 11 de abril. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 940602**

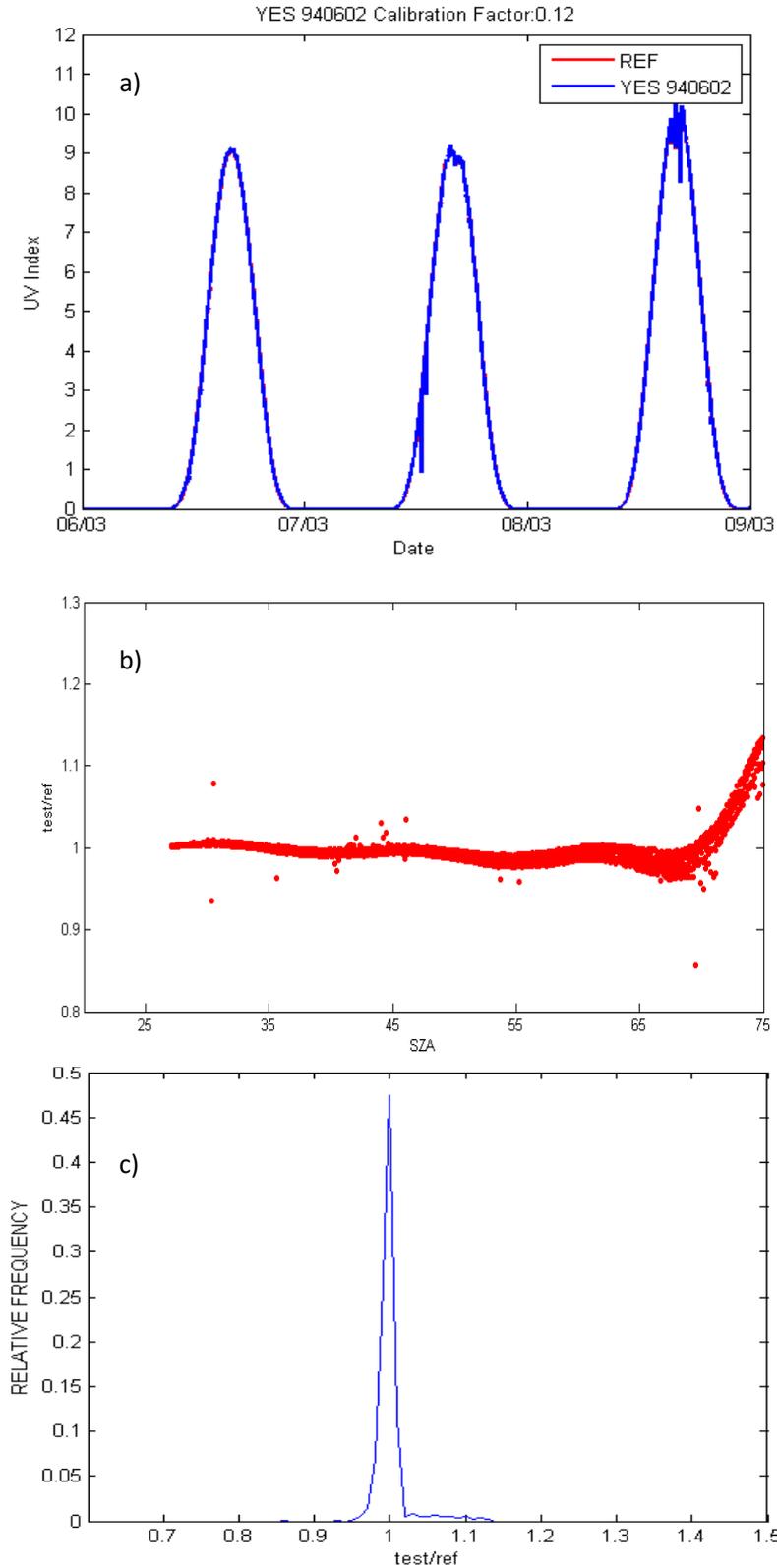


Fig. A.15: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES940602 en simultáneo para los días 6, 7 y 8 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 970809**

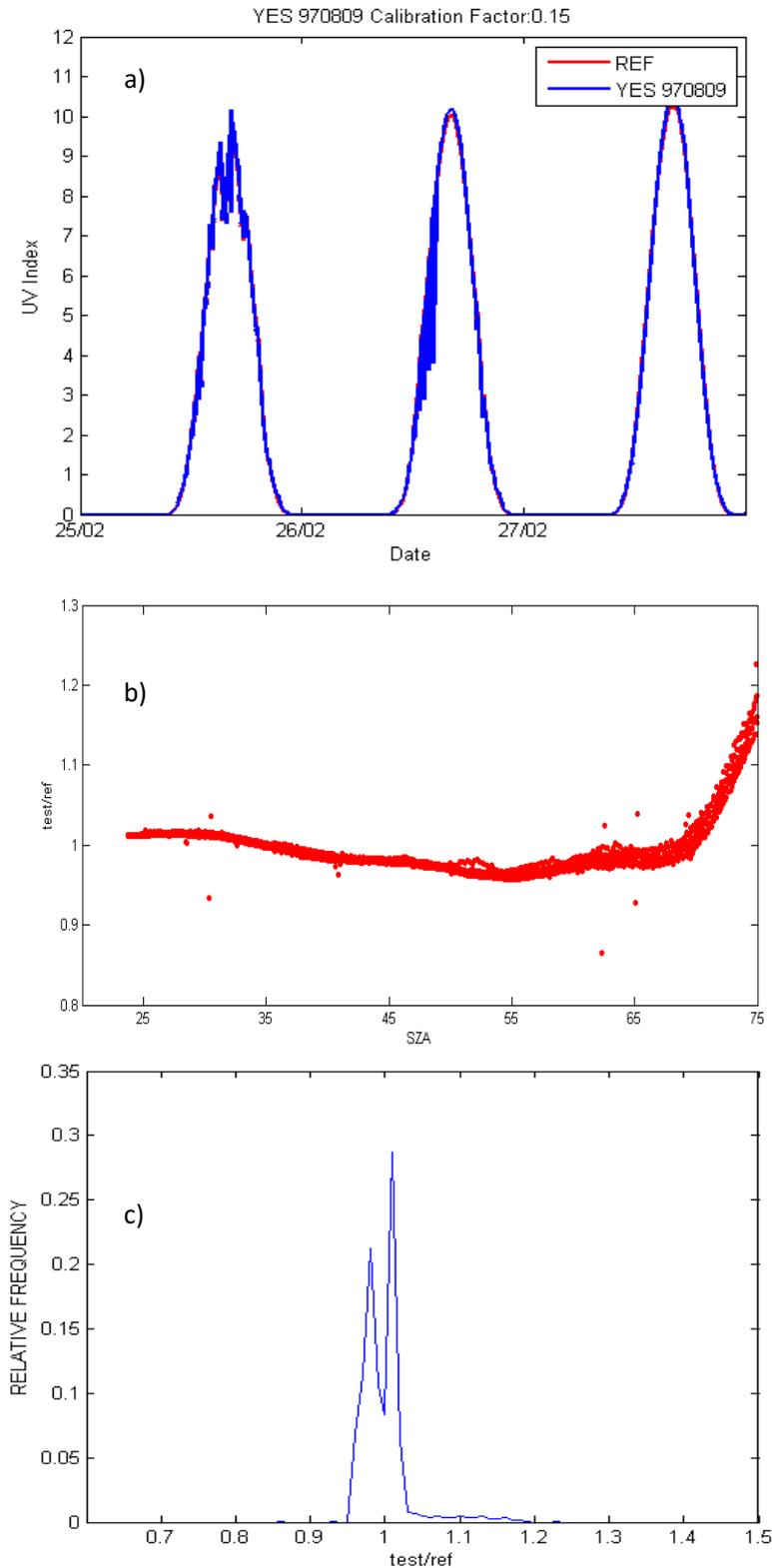


Fig. A.16: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES970809 en simultáneo para los días 25, 26 y 27 de febrero. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR YES 970811**

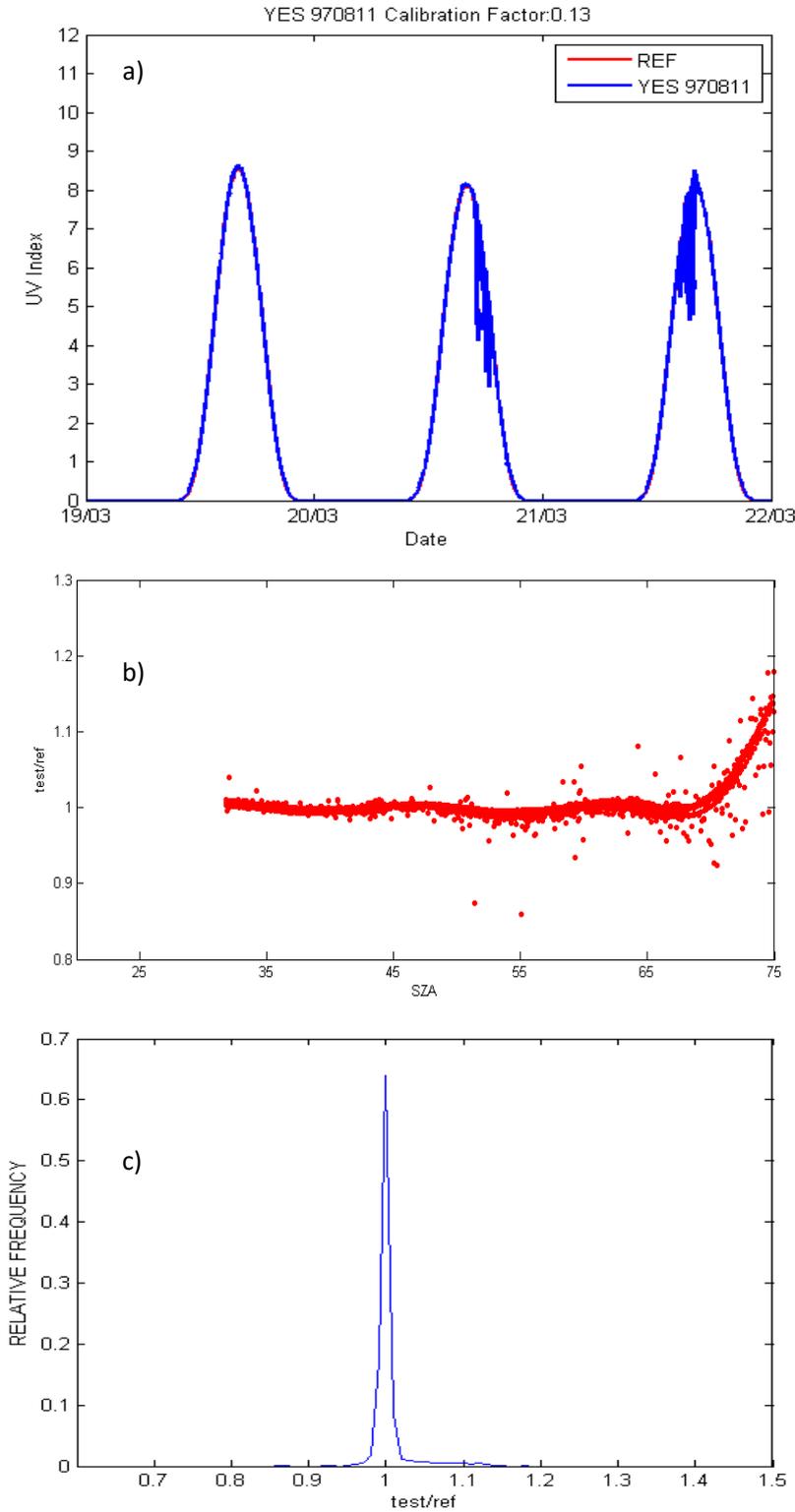


Fig. A.17: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el YES970811 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**ESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR K&Z 120059**

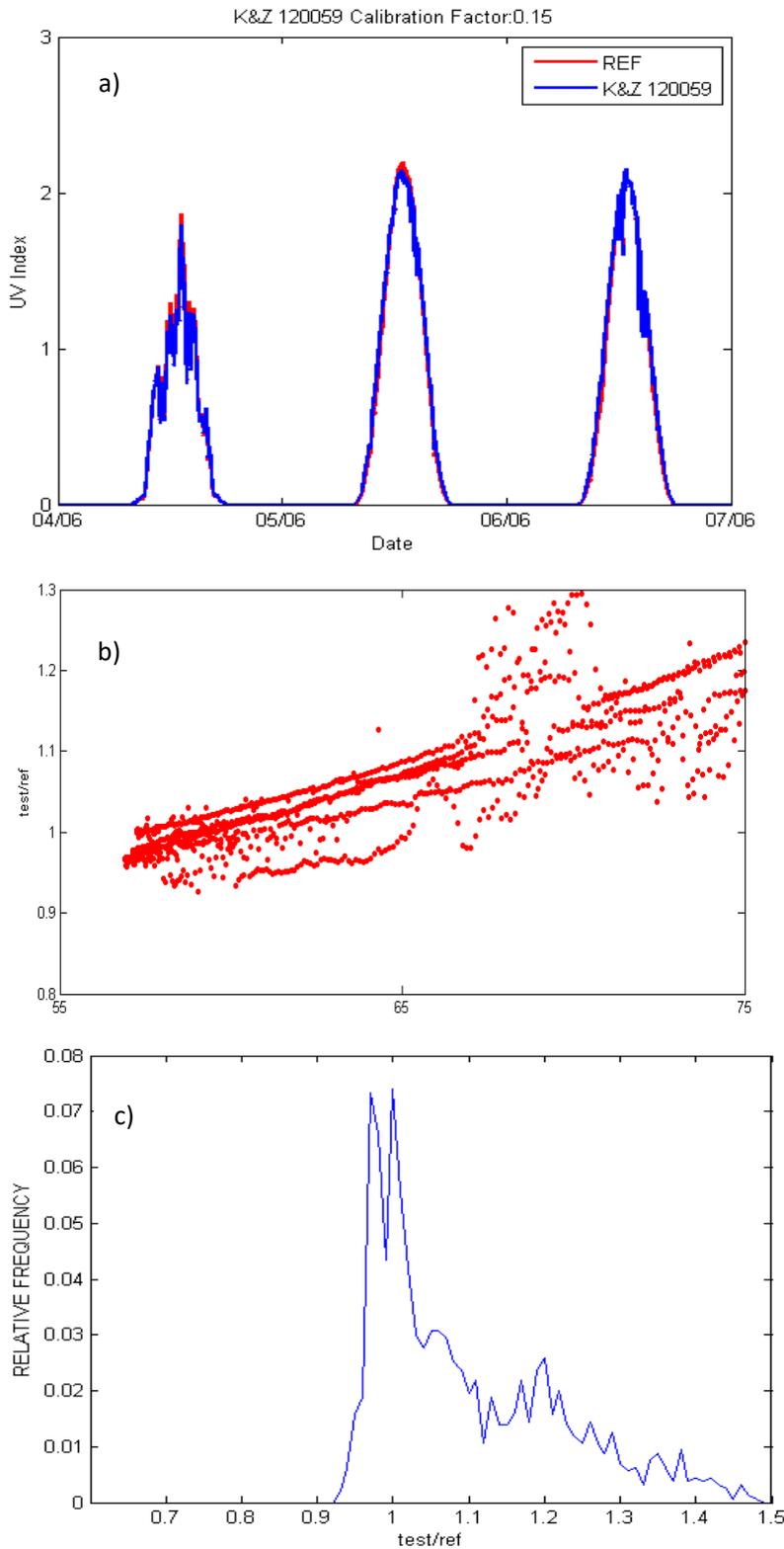


Fig. A.18: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el K&Z120059 en simultáneo para los días 4, 5 y 6 de junio. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR K&Z 170212**

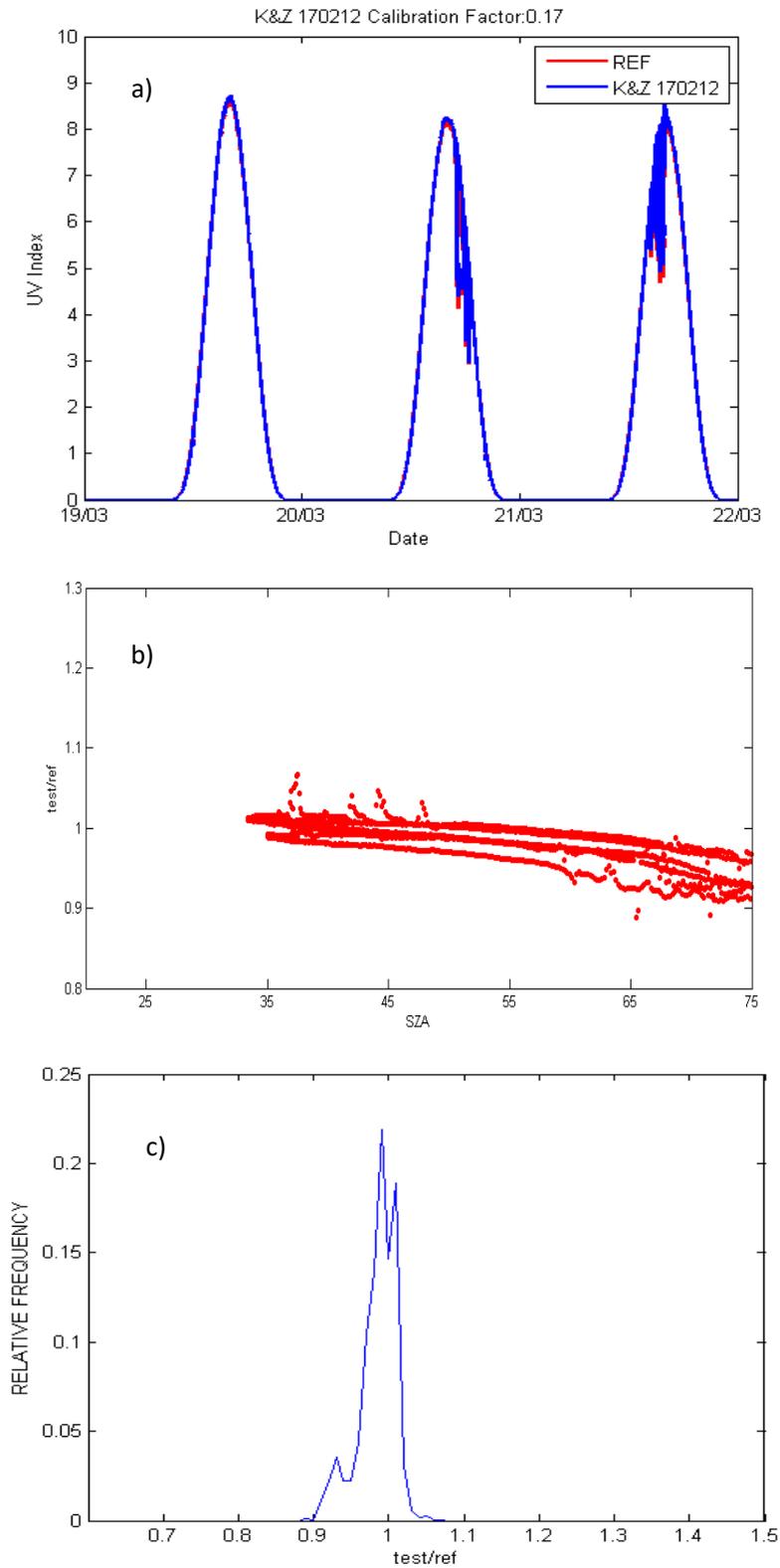


Fig. A.19: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el K&Z170212 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

**RESULTADOS OBTENIDOS PARA SENSOR K&Z 170213**

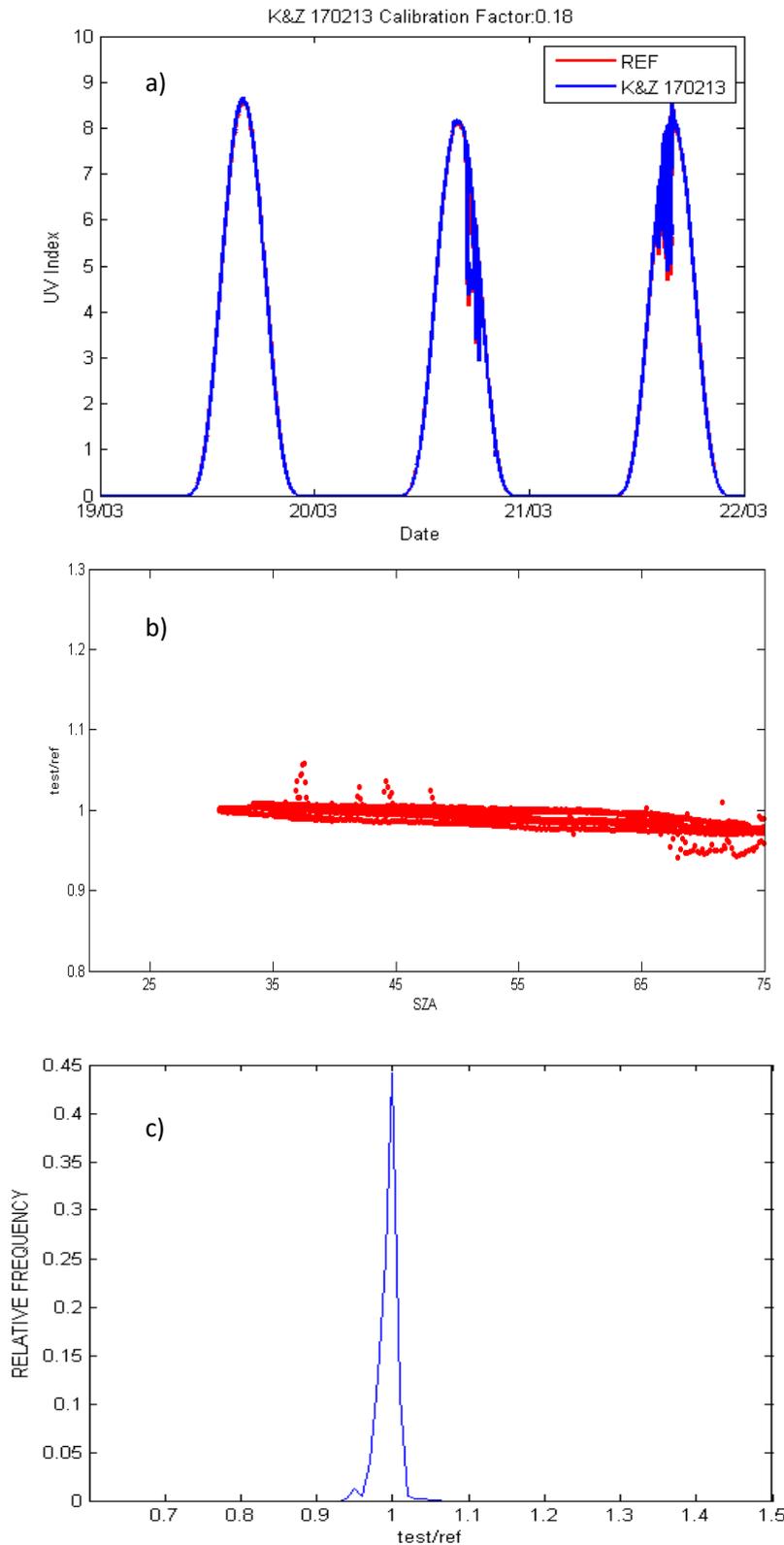


Fig. A.20: a) Índice UV medido por el instrumento patrón y el K&Z170213 en simultáneo para los días 19, 20 y 21 de marzo. b) Relación entre los valores corregidos de irradiancia para el sensor a calibrar ( $t_{test}$ ) y los valores obtenidos por el patrón ( $t_{ref}$ ). c) Frecuencia relativa de cada uno de los valores  $t_{test}/t_{ref}$ .

## 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)).