

CAMPAÑA INTERCOMPARACIÓN BREWER 2017: CALIBRACIÓN DEL BREWER #102

Sergio Fabián León Luis⁽¹⁾, Virgilio Carreño⁽²⁾, Alberto Redondas⁽³⁾,
Diamantino Henriques⁽⁴⁾, Linda Moniz⁽⁵⁾

⁽¹⁾Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center,
Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain, sleonl@aemet.es

⁽²⁾Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center,
Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain, vcarrenoc@aemet.es

⁽³⁾Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center, Agencia Estatal de
Meteorología, Tenerife, Spain, aredondasm@aemet.es

⁽⁴⁾Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Delegação Regional dos Açores, diamantino.henriques@ipma.pt

⁽⁵⁾Instituto Português do Mar e da Atmosfera. linda.moniz@ipma.pt

Resumen

En noviembre de 2003 y bajo el amparo de la Organización Meteorología Mundial (OMM) y el Programa para la Observación Global de la Atmósfera (GAW) se estableció el Centro de calibración Regional Brewer para Europa (RBCC-E) en el Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO) perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología. El RBCC-E es la referencia europea lo que le permite utilizar sus observaciones para calibrar estos Brewers. El RBCC-E organiza intercomparaciones anuales, que alternan su sede entre la estación de Radiosondeo El Arenosillo (Huelva) perteneciente al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el Observatorio Atmosférico de Arosa (Suiza) operado por Meteoswiss.

La XII Campaña de calibración se realizó en El Arenosillo entre los días del 29 de mayo al 7 de junio, 2017. En esta campaña participaron más de 20 Brewers pertenecientes a 11 organizaciones tanto servicios meteorológicos nacionales como instituciones privadas. Además, se pudo realizar una calibración espectral en el rango ultravioleta gracias a la participación de la referencia estándar viajera QASUME perteneciente al centro de calibración mundial para ultravioleta (WCC-UV).

En este trabajo se presenta una visión general del estado inicial y final de la calibración del Brewer#102, indicando los principales parámetros que han sido tenidos en cuenta en su calibración: lámpara estándar, corrección de filtros, resultados del test de dispersión y transferencia de la nueva ETC (Constante extraterrestre). También, y debido a que el instrumento es un Brewer de monocromador simple se calculó su corrección por stray light.

Introducción

La radiación solar ultravioleta posee la energía suficiente para descomponer las moléculas de oxígeno presentes en la atmósfera dando lugar a átomos excitados que se enlazan rápidamente con otra molécula de oxígeno. Este proceso genera una molécula triatómica conocida por ozono. Al mismo tiempo, la misma radiación solar ultravioleta es capaz de descomponerla dando lugar a un ciclo de formación-destrucción de ozono. Ambos procesos poseen una gran eficiencia, de manera que casi toda la radiación ultravioleta es absorbida en una pequeña región de la atmósfera conocida como “capa de ozono” debido a la alta concentración de este gas.

Históricamente, se pensaba que la presencia de ozono en esta capa era constante, salvo por sus fluctuaciones estacionales. Sin embargo, estudios realizados a partir de medidas hechas en la Antártida demostraron que esta idea era errónea, indicando además que se estaba reduciendo su densidad. El fuerte impacto negativo de un aumento de la radiación ultravioleta sobre la vida en la superficie de la Tierra provocó que un total de 197 países firmaran el Protocolo de Montreal en 1987 con el objetivo de eliminar la presencia de gases de origen antropogénico causantes de esta disminución, ya que su presencia alteraba el comportamiento normal del ciclo del ozono. Desde ese momento, la vigilancia y monitorización de la capa de ozono formó parte de las prioridades de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Esta tarea debe realizarse con instrumentos de gran precisión capaces de evaluar de una manera fiable el impacto del Protocolo de Montreal en la recuperación de la capa de ozono. Una parte de esta monitorización la realizan los espectrofotómetros Brewer los cuales miden la columna total de ozono a partir de observaciones de la radiación solar directa. En la actualidad, hay aproximadamente unos 250 Brewers distribuidos por la superficie terrestre, operados principalmente por los servicios meteorológicos nacionales.

Con el fin de emplear que los datos recabados en distintos puntos de la superficie terrestre puedan servir en estudios sobre la capa de ozono, la trazabilidad de las observaciones de estos instrumentos se referencia con respecto a la Tríada Brewer de Toronto, operada por el Servicio Canadiense de Meteorología y que se considera la referencia mundial. No obstante, y debido a las dudas sobre la posible continuidad de esta tríada en 2003, bajo el amparo de la Organización Mundial Meteorología (OMM) y el Programa para la Observación Global de la Atmósfera (GAW), se estableció el Centro Regional para la Calibración de Brewer en Europa (RBCC-E) en el Observatorio Atmosférico de Izaña (Tenerife, islas Canarias). El RBCC-E es la referencia europea para estos instrumentos. Debido a la enorme dispersión de los mismos por Europa, el RBCC-E organiza anualmente y de manera alterna campañas de intercomparación entre el Observatorio de Arosa (Suiza) y la estación española de radiosondeo El Arenosillo, Huelva (Cuevas, E. et al. 2015, Redondas et al. 2016).

La XII Campaña de calibración se realizó en El Arenosillo entre los días del 29 de mayo al 7 de junio, 2017. En esta campaña, como muestra la Figura 1, participaron más de 20 Brewers pertenecientes a más de 11 organizaciones, tanto servicios meteorológicos nacionales como instituciones privadas. Además, y gracias a la participación del QASUME perteneciente al World Calibration Center for UV (WCC-UV), la respuesta espectral de los equipos fue calibrada en el rango ultravioleta.

Cada campaña de calibración está programada en tres periodos, con objetivos y tareas bien definidos:

Comparación ciega: Los primeros días de las campañas se dedican a determinar el estado actual del instrumento comparando sus medidas a las del instrumento de referencia. En este caso, el Brewer #185, perteneciente a la tríada RBCC-E fue desplazado desde el Observatorio Atmosférico de Izaña hasta El Arenosillo. En este periodo, el instrumento a calibrar opera con la configuración que estaba empleado en su estación, y está prohibido el intercambio de datos entre los participantes.

Caracterización instrumental: Conocido el estado inicial del equipo, los siguientes días se dedican, según el caso, a realizar los ajustes necesarios (sustitución de piezas, mantenimiento). Además, de realizar la caracterización instrumental: Linealidad del detector (deadtime), estudio del comportamiento del equipo frente a cambios de temperatura, determinación de la atenuación de los filtros. Finalmente, se hace su calibración en longitud de onda para determinar el coeficiente de absorción de ozono del instrumento.

Calibración final: Una vez definidos los nuevos parámetros instrumentales del equipo, que formarán parte de su nueva configuración, las medidas reportadas del brewer son nuevamente comparadas respecto del instrumento de referencia.

Este resumen contiene una visión general del proceso de calibración del Brewer #102 perteneciente al Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) que estuvo instalado en el Observatório de Angra do Heroísmo (Isla Terceira – Azores) y que actualmente opera en la estación ENA (East North Atlantic) del programa ARM (Atmospheric Radiation Measurement) cerca del aeródromo de la isla de Graciosa (Azores).



Fig. 1.- Azotea de la estación de radiosondeo de El Arenosillo, perteneciente al Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) con los Brewers participantes.

El funcionamiento del Brewer

Como se indicó previamente, la radiación ultravioleta que llegar a la superficie terrestre guarda relación con la mayor o menor densidad de la capa de ozono. El método Brewer se basa en la Ley de Bee-Lambert-Bouguer, midiendo la atenuación de la radiación solar en la atmósfera en varias longitudes de onda asociadas a máximos y mínimos de absorción del ozono dentro del rango ultravioleta. En estos instrumentos, la rutina estándar encargada de realizar esta tarea, denominada DS (direct sun), mide la radiación en 6 longitudes de ondas $\lambda = \{303,6, 306,4, 310,1, 313,5, 316,8, 320,0 \text{ nm}\}$, donde las 4 últimas son empleadas para calcular la columna total de ozono.

La intensidad medida, en cuentas brutas, en cada longitud de onda puede ser expresada en términos de cuentas/segundo después de aplicar una serie de correcciones instrumentales, obtenidas durante la caracterización instrumental: dead time del detector, atenuación de los filtros, dependencia con la temperatura. También se tiene en cuenta el efecto del scattering Rayleigh sobre la radiación total observada por el instrumento.

Una vez aplicadas estas correcciones, la columna total de ozono puede ser determinada a partir de la expresión:

$$O_3 = MS9 - ETC / \mu \quad (1)$$

donde el término MS9 se denominó *double ratio* y es calculado a partir de la radiación medida en cuentas/segundo F_1 como sigue:

$$MS9 = 10^4 (\log F_3 - 0,5 \log F_4 - 2,2 \log F_5 + 1,7 \log F_6)$$

Mientras, el μ es el producto de la masa de aire y el coeficiente de absorción diferencial del ozono, respectivamente. Por último, la ETC (constante extraterrestre) debe ser calculada mediante la técnica Langley o ser transferida comparando las observaciones del instrumento respecto a uno de referencia. De ahí, la necesidad de realizar campañas de intercomparación de instrumentos.

Resultados y discusión. Calibración instrumental del Brewer #102

De manera habitual, para los instrumentos que operan en EUBREWNET (<http://rbc-ce.aemet.es/eubrewnet>) son calibrados cada 2 años, siempre que éste haya sido operado cuidadosamente. En cambio, los instrumentos que pertenecen a la NDACC (Network for the detection of Atmospheric Composition Change) son calibrados anualmente.

Entre intercomparaciones, la calibración operativa del Brewer se comprueba a diario midiendo una lámpara halógena que el instrumento posee. El standard lamp test (SL test) permite calcular un valor R6 asociado a una ficticia columna de ozono. Las pequeñas variaciones que experimenta R6 en el periodo entre intercomparaciones pueden ser representativas del cambio que está experimentando el instrumento. De manera que en el cálculo de la concentración de ozono (Eq.1), el valor de ETC (3947) se corrige asumiendo que los cambios observados en la R6 son de igual valor que para la ETC.

En el caso del Brewer #102 su última calibración disponible es del año 2007 estando, además, inoperativo los años anteriores a la intercomparación de El Arenosillo (mayo-junio 2017). La Figura 2 contiene los valores de R6 medidos durante los días de campaña, asignando al instrumento un valor de referencia de 2718 unidades. Estas mismas, medidas fueron utilizadas para estudiar la dependencia con la temperatura del instrumento. Desafortunadamente, la falta de medidas previas a la campaña impide estudiar adecuadamente la atenuación de los filtros. Por tanto, se optó por emplear los valores de la calibración anterior (2007).

Otra parte fundamental en el proceso de calibración es determinar el polinomio de dispersión del instrumento. Este polinomio relaciona la posición de los micrómetros (pasos de motor) que mueven las redes de difracción para una determinada longitud de onda (Figura 3). Este polinomio es obtenido midiendo lámparas de Cd, Hg y Zn que presentan líneas espectrales muy estrechas y con máximos de intensidad en longitudes de onda bien conocidas lo que permite obtener la relación polinómica entre estos máximos

y el paso de motor de los micrómetros. Una vez determinado este polinomio, se puede calcular el coeficiente de absorción de ozono que se introduce en la Eq.1. Se debe tener en cuenta que cada instrumento posee su propio polinomio de dispersión y, por tanto, tendrá un coeficiente de absorción propio.

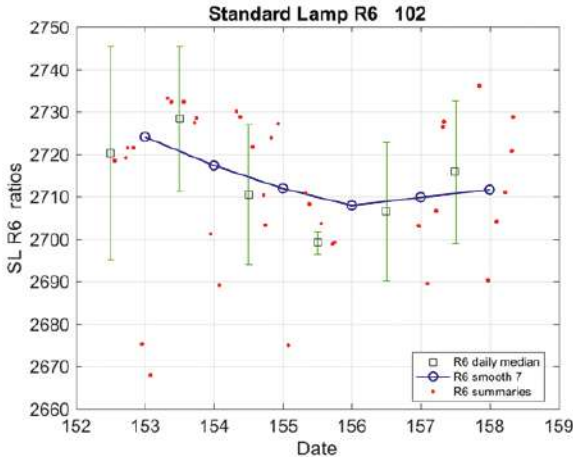
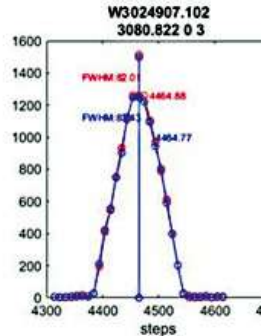
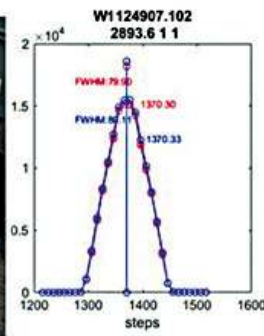


Figura 2. Valores de R6 y su desviación standard calculados a partir de los SL test realizados durante la XII intercomparación Brewer en El Arenosillo (mayo – junio 2017).

Figura 3. (Izq.) Lámpara de Cd colocada sobre el Brewer#102 para realizar el test de dispersión. (Der.) Líneas espectrales medidas y el paso del micrómetro donde se obtiene su máximo de intensidad.



Calibración final del Brewer#102

Una vez caracterizado instrumentalmente el Brewer, los parámetros que participan en la Eq. (1) son conocidos, excepto el valor de la constante extraterrestre ETC. El proceso de calibración final consiste en determinar este valor. Para ello, en la Eq. (1) se introducen los valores de MS9 obtenidos de las observaciones realizadas por el Brewer a calibrar, junto con su coeficiente de absorción de ozono. En este caso, se introduce el ozono observado por el equipo de referencia. Por tanto, para cada observación realizada

se obtiene un valor de ETC. La media de los valores obtenidos será utilizada en la calibración final (Figura 4). En el caso del Brewer#102, como en cualquier otro Brewer con monocromador simple, es importante indicar que no todas las observaciones pueden ser empleadas para determinar la ETC final, ya que estos instrumentos (por su diseño) desestiman la concentración de ozono para ángulos solares bajos (amanecer y atardecer). Esta dependencia angular puede ser corregida si se asume que la ETC no posee un valor constante sino que viene dada por un polinomio de la forma (corrección por stray light):

$$ETC_{Stray\ light} = ETC - k(OSC)^s$$

donde OSC es la ozone slant column y k y s dos parámetros a determinar mediante un ajuste por mínimos cuadrados.

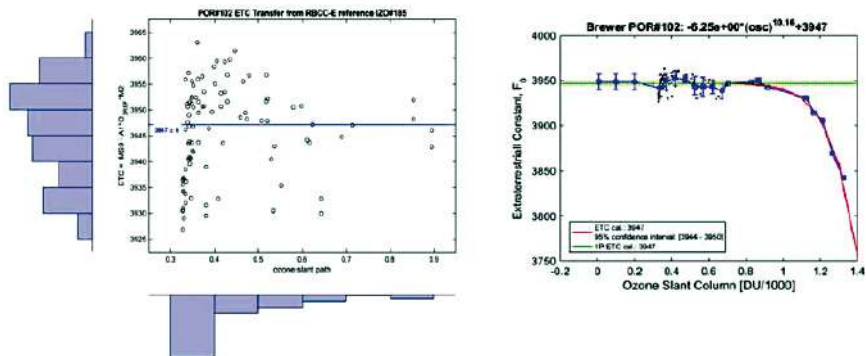


Figura 4. (Izq.) Valores individuales de ETC (círculos) en función de las medidas individuales y valor final (línea) introducido en la calibración final. (Der.) Valor de ETC calculado con la corrección de stray light.

La Figura 5 muestra los valores de ozono observados con la calibración inicial y final del instrumento.

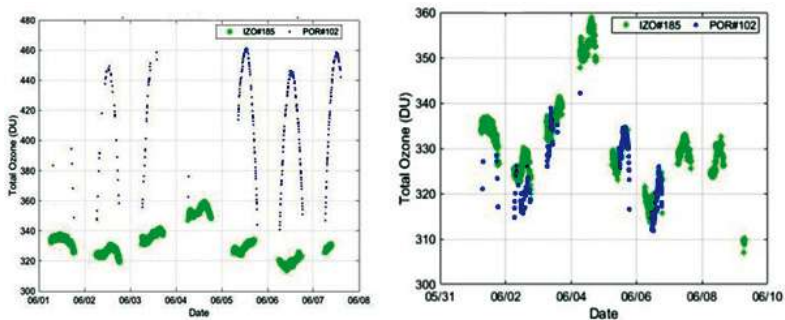


Figura 5. Valores de ozono medidos por el Brewer#102 utilizando la calibración inicial y final, comparándolos con los valores medidos por el instrumento de referencia Brewer#185.

Referencias

- Cuevas, E., Milford, C., Bustos, J. J., del Campo-Hernández, R., García, O. E., García, R. D., Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rodríguez, S., Romero-Campos, P. M., Schneider, M., Belmonte, J., Gil-Ojeda, M., Almansa, F., Alonso-Pérez, S., Barreto, A., González-Morales, Y., Guirado-Fuentes, C., López-Solano, C., Afonso, S., Bayo, C., Berjón, A., Bethencourt, J., Camino, C., Carreño, V., Castro, N. J., Cruz, A. M., Damas, M., De Ory-Ajamil, E., García, M. I., Fernández-de Mesa, C. M., González, Y., Hernández, C., Hernández, Y., Hernández, M. A., Hernández-Cruz, B., Jover, M., Kühl, S. O., López-Fernández, R., López-Solano, J., Peris, A., Rodríguez-Franco, J. J., Sálamo, C., Sepúlveda, E., and Sierra, M.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2012-2014, no. 219 in GAW Report, State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain, and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Final_GAW_Report_No_219.pdf, 2015.
- Redondas, A. and J. Rodríguez-Franco: Eighth Intercomparison Campaign of the Regional Brewer Calibration Center for Europe (RBCC-E) (El Arenosillo Atmospheric Sounding Station, Huelva, Spain, 10-20 June 2013), doi: 10.13140/RG.2.1.2304.7443, 2016