

**MEDIDA DE LA CANTIDAD TOTAL DE OZONO EN LA ATMOSFERA:
EL INSTRUMENTO BREWER COMO SUSTITUTO DEL DOBSON EN LA RED MUNDIAL**

A. Díaz, J.C. Guerra y P. Sancho*

**Dpto. Física Fundamental y Experimental, Universidad de La Laguna.
(38204) La Laguna. Tenerife. Islas Canarias. España.**

ABSTRACT

A method to calibrate the Brewer #25 spectrophotometer to be used as a SO₂ measurer is proposed. It was done using the Dobson #61 ozonometer as a standard calibrating instrument. Some results from previous intercomparisons are discussed under a new point of view. This analysis, together with our own results, allows to consider the Brewer as the ozone spectrophotometer to be used in the World Ozone Network.

KEY WORDS: Ozone, Dobson Spectrophotometer, Brewer Spectrophotometer, Calibration, Intercomparison, Sulphur Dioxide.

RESUMEN

Se estudia la respuesta del espectrofotómetro Brewer #25, calibrado respecto al Dobson #61. Se presenta un método de calibración del Brewer que conduzca a una correcta medida de SO₂. Se analizan, bajo una nueva perspectiva, algunos resultados de investigaciones de intercalibraciones previas, los cuales, junto a los obtenidos en este trabajo, permiten considerar seriamente al Brewer como el espectrofotómetro para medida de ozono total a emplear en la Red Mundial en un futuro próximo.

PALABRAS CLAVE: Ozono, Espectrofotómetro Dobson, Espectrofotómetro Brewer, Calibración, Intercomparación, Dióxido de Azufre.

INTRODUCCION

Las medidas de la cantidad total de ozono en una columna

* Actualmente en la Fac. de Veterinaria, C/. Fco. Inglott Artiles, 12A,
35016 Las Palmas de Gran Canaria.

vertical atmosférica pueden realizarse bien desde tierra o desde instrumentos colocados en satélites, dependiendo de las técnicas ópticas utilizadas. Las observaciones efectuadas desde tierra emplean técnicas de dispersión espectroscópica (instrumentos Dobson y Brewer) o de filtros ópticos (M-83 y M-124). Estas últimas son principalmente usadas en los países del Este de Europa y la URSS, utilizando filtros centrados en 304 y 330 nm y obteniéndose la cantidad de ozono a partir de la radiación observada en ambas bandas (1).

Instrumentos Dobson.- El método estándar vigente en la actualidad en la Red Internacional de medidas de ozono está basado casi exclusivamente en una técnica que fue originariamente sugerida por Fabry y Buisson (2-3) y luego modificada por Dobson (4-5), responsable del diseño original del espectrofotómetro (6). Este era básicamente el mismo que los Dobson actuales, los cuales han incorporado a lo largo de los años distintas mejoras derivadas de los avances tecnológicos de la electrónica y la óptica (7-11). Una descripción detallada del instrumento y del procedimiento de operación fue dada por Dobson en 1957 (12), y actualizada por Komhyr en 1980 (13).

El espectrofotómetro Dobson es básicamente un monocromador de doble prisma que compara los valores de irradiación a dos longitudes de onda diferentes separadas unos 20 nm, pertenecientes a la banda Huggins del espectro ultravioleta del ozono (300-340 nm). Se emplea un prisma óptico para reducir la intensidad de la radiación recibida en la longitud de onda correspondiente a la absorción más

débil. Un dispositivo de nulo (que incluye al fotomultiplicador), permite obtener la intensidad relativa, a partir de la cual se puede calcular la cantidad total de ozono en la columna vertical. Las longitudes de onda empleadas para cada par de medidas, así como los coeficientes de absorción y de dispersión son los que figuran en el trabajo de Komhyr de 1980 (13). Estos coeficientes son ligeramente diferentes de los obtenidos en el laboratorio para el ozono, habiendo sido modificados para tener en cuenta las características ópticas de cada instrumento.

El espectrofotómetro Dobson está diseñado como un instrumento estándar para las medidas de ozono total en la Red Mundial, y se usa para calibrar otros instrumentos de medida de ozono, como los Brewer e incluso aquellos que realizan medidas desde satélite.

La determinación del ozono total por el método Dobson está basado en un cierto número de suposiciones, las más importantes de las cuales tienen que ver con el modelo de la capa de ozono, la constancia de radiación UV extraterrestre solar, ausencia de otras sustancias absorbentes, comportamiento lineal respecto de la longitud de onda de la dispersión de la luz por aerosoles atmosféricos, etc.. El hecho de que no se cumplan totalmente ninguna de dichas suposiciones supone la aparición de diversos errores en la medida (13).

Instrumentos Brewer. - A principios de los años 60 se desarrolló en Canadá un espectrofotómetro especial para la medida de ozono atmosférico (14), el cual se caracteriza por poseer doble detector y una rejilla como red de dispersión. Dada su sensibilidad, se

utilizó para medir el ozono durante el invierno ártico usando como fuente la luz de las estrellas. Este instrumento, con un sólo detector, modernizado y automatizado, dio lugar al actual Brewer (15), que mejoraba la capacidad del Dobson para medir ozono en diferentes condiciones atmosféricas. Su bondad fue evaluada comparando las medidas de ozono total con las realizadas con un instrumento Dobson (16). A finales de los años 70, el Atmospheric Environment Service (A.E.S) del Canadá lo comercializó, pudiéndose encontrar diferentes configuraciones del mismo (17). Destaca la opción totalmente automatizada, la cual permite medir SO_2 y la intensidad de la radiación UV, además de la cantidad total de ozono.

Básicamente, el instrumento Brewer es un espectrofotómetro de red de dispersión, diseñado para medir la radiación solar a cinco longitudes de onda en el intervalo espectral 306-320 nm, con una resolución de 0.6 nm (para el Dobson es de 1-1.5 nm). La intensidad de la radiación luminosa para cada longitud de onda, es medida usando un sistema de pulso continuo, lo que elimina las dificultades inherentes a los sistemas de prisma óptico convencionales.

El sistema Brewer posee capacidades de calibración interna, pudiendo ser portátil. Además, el automatismo de este instrumento y la posibilidad de eliminar las interferencias debidas al SO_2 , entre otras cualidades, convierten al Brewer en un claro competidor del Dobson.

ASPECTOS TEORICOS

Si suponemos que los coeficiente de extinción (absorción, dispersión) fueran independientes del camino óptico de la luz que llega a la superficie terrestre, la intensidad de la radiación monocromática ultravioleta cumple la Ley de Beer:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) * 10^{-(\alpha(\lambda)*x + \beta(\lambda)*m + \gamma(\lambda)*p/p_0 + \delta(\lambda)*n')} \quad (1)$$

donde I_0 es la intensidad en la parte superior de la atmósfera (constante solar); $\alpha(\lambda), \beta(\lambda), \gamma(\lambda)$ son los coeficientes decimales de absorción, de dispersión molecular atmosférica de Rayleigh y de dispersión relativa para aerosoles, respectivamente; X es la cantidad total de ozono en la columna vertical medida en condiciones normales de presión y temperatura; μ, m y n' son, para una atmósfera esférica, los caminos ópticos relativos del haz solar, a través de la capa de ozono, de la capa de moléculas dispersantes y de la de aerosol, respectivamente; p y p_0 son las presiones medias en la estación y a nivel del mar.

El empleo de medidas simultáneas de la intensidad luminosa en 2 longitudes de onda próximas, donde el ozono absorba, es útil para minimizar las imprecisiones originadas por la incertidumbre en los coeficientes de dispersión por aerosoles (18). Así, la cantidad total de ozono en la columna atmosférica, vendrá dada por:

$$X = [N - (\beta - \beta') * m * p / p_0 - (\delta - \delta') \sec Z] / (\alpha - \alpha') \mu \quad (2)$$

donde $N = L_0 - L = \log(I_0/I'_0) - \log(I/I')$. Las variables sin primar se refieren a la longitud de onda corta y las primadas a la longitud

de onda larga.

Un conjunto de cinco pares de longitudes de onda, designadas como A,B,C,C' y D (Tabla 1), fue adoptado como estándar después de 1957 (Año Geofísico Internacional), con el fin de minimizar los efectos de la dispersión por aerosoles (18). Cada par está formado por una longitud de onda donde el ozono absorbe fuertemente y otra donde no absorbe prácticamente nada.

TABLA 1.

Par de Long. de Onda	Long.Onda (Corta)	Long.Onda (larga)
A	305.5 nm	325.4 nm
B	308.8 nm	329.1 nm
C	311.45 nm	332.4 nm
C'	332.4 nm	356.6 nm
D	317.6 nm	339.8 nm

La realización de medidas a las longitudes de onda correspondientes a dos pares (p.ej. AD), permite simplificar la ec.(2), quedando:

$$X_{12} = [N_1 - N_2 - [(\beta - \beta')_1 - (\beta - \beta')_2] \mu p / p_0] / [(\alpha - \alpha')_1 - (\alpha - \alpha')_2] \mu \quad (3)$$

donde 1 y 2 se refieren a los dos pares de longitudes de onda, habiéndose despreciado $(\delta - \delta')_1 - (\delta - \delta')_2$ sin cometer un gran error, dado que se trata de diferencias de los coeficientes de dispersión por aerosol para dos pares de λ próximas entre sí.

El instrumento Brewer hace uso de los mismos fundamentos

básicos que el Dobson para determinar la cantidad total de ozono. Sin embargo hay diferencias importantes entre estos dos tipos de instrumentos.

El Brewer emplea una rejilla de difracción holográfica de 1800 líneas/mm como elemento dispersor. La luz dispersa por la rejilla es reflejada por un espejo esférico y dirigida hacia un conjunto de 6 rendijas, tales que a través de cada una de ellas pasa radiación de diferentes longitudes de onda. Los pasabandas de estas rendijas están centrados en torno a $\lambda_0=302$ nm para calibración; $\lambda_1=306.3$ nm para SO_2 ; y $\lambda_2=310.1$ nm, $\lambda_3= 313.5$ nm, $\lambda_4= 316.8$ nm y $\lambda_5= 320.1$ nm para Ozono. Las intensidades de radiación medidas son I_0, I_1, \dots, I_5 , respectivamente.

Una lente Fabry se coloca detrás de las rendijas para colimar toda la radiación que las atraviesa en el mismo área del fotomultiplicador. El paso de la radiación por las rendijas es controlado por un obturador automático, permitiendo la medida secuencial de las intensidades correspondientes a cada λ .

La ecuación de partida para calcular la cantidad total de ozono es, como para el Dobson, la Ley de Beer, que, en forma logarítmica, es

$$\log I(\lambda) = \log I_0(\lambda) - \beta(\lambda) \cdot m p / p_0 - \delta(\lambda) \cdot \sec Z - \alpha(\lambda) \mu X - \alpha'(\lambda) \mu' X_{SO_2}$$

donde:

$\alpha'(\lambda)$ es el coeficiente de absorción del SO_2

μ' es el camino óptico relativo de la capa de SO_2

X_{SO_2} cantidad total de SO_2 en condiciones normales.

La cantidad total de ozono se determina en este caso a partir de la siguiente combinación lineal referida a las cuatro λ medidas, correspondientes al ozono (19-20):

$$F + \Delta\beta * m * p / p_0 = F_0 - \Delta\delta * \sec Z - \Delta\alpha * \mu * X - \Delta\alpha' * \mu * X_{SO_2} \quad (4)$$

con

$$F = \log I_2 - 0.5 * \log I_3 - 2.2 * \log I_4 + 1.7 * \log I_5$$

$$F_0 = \log I_{O_2} - 0.5 * \log I_{O_3} - 2.2 * \log I_{O_4} + 1.7 * \log I_{O_5}$$

$$\Delta\beta = \beta_2 - 0.5 * \beta_3 - 2.2 * \beta_4 + 1.7 * \beta_5$$

$$\Delta\delta = \delta_2 - 0.5 * \delta_3 - 2.2 * \delta_4 + 1.7 * \delta_5 \cong 0$$

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - 0.5 * \alpha_3 - 2.2 * \alpha_4 + 1.7 * \alpha_5$$

$$\Delta\alpha' = \alpha'_2 - 0.5 * \alpha'_3 - 2.2 * \alpha'_4 + 1.7 * \alpha'_5 \cong 0$$

Los coeficientes han sido seleccionados de tal forma que $\Delta\delta$ y $\Delta\alpha'$ se pueden desprestigiar, con lo que la cantidad total de ozono corregida por el efecto del SO_2 es:

$$(O_3)_B = X = (R_0 - C_{ET}) / (10\mu\alpha) \quad (5)$$

donde

$$R_0 - C_{ET} = F + \Delta\beta * m * p / p_0 - F_0, \text{ y } \alpha = -\Delta\alpha / 10.$$

Obsérvese que α no es un verdadero coeficiente de absorción. En la práctica, C_{ET} tampoco es una constante extraterrestre, pues incluye términos constantes, que tienen que ver con propiedades del instrumento Brewer y de la posición de la estación.

De igual modo, la cantidad de SO_2 se puede determinar eligiendo la siguiente combinación lineal:

$$S + \Delta'\beta^*m^*p/p_0 = S_0 - \Delta'\alpha^*\mu^*\Sigma - \Delta'\alpha'^*\mu'^*\Sigma' \quad (6)$$

donde

$$S = \log I_1 - 4.2 \cdot \log I_4 + 3.2 \cdot \log I_5$$

$$S_0 = \log I_{01} - 4.2 \cdot \log I_{04} + 3.2 \cdot \log I_{05}$$

$$\Delta'\beta = \beta_1 - 4.2 \cdot \beta_4 + 3.2 \cdot \beta_5$$

$$\Delta'\alpha = \alpha_1 - 4.2 \cdot \alpha_4 + 3.2 \cdot \alpha_5$$

$$\Delta'\alpha' = \alpha'_1 - 4.2 \cdot \alpha'_4 + 3.2 \cdot \alpha'_5$$

La cantidad total de SO_2 se puede determinar de la ec.(6):

$$(SO_2)_B = X' = (R_5 - C'_{ET}) / (10\mu\alpha'\alpha'') - (X/\alpha') \quad (7)$$

donde

$$R_5 - C'_{ET} = S + \Delta'\beta^*m^*p/p_0 - S_0; \quad \alpha'\mu = -(\Delta'\alpha')\mu'/10 \quad \text{y} \quad \alpha'' = -1/\Delta'\alpha$$

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los datos de este trabajo son los correspondientes a la intercalibración entre el Brewer #25 y el Dobson #61 realizada por A. Díaz et al.(21). Se analizan únicamente las observaciones para las cuales se supuso ausencia de SO_2 . Las discrepancias entre el Brewer y el Dobson se explican en base a la existencia de errores en los valores de la constante extraterrestre y el coeficiente de absorción. Así, unos valores de $(C_{ET})_0 = 3411$ y $\alpha_0 = 0.3297$ U.D.⁻¹, en la ec.(5), convierten al Brewer #25 en un instrumento medidor de ozono que simula al Dobson #61.

Calibración del Brewer respecto al SO_2 .

De las 359 observaciones simultáneas del programa de inter-

comparación (21), 310 correspondían a situaciones en las que el Brewer dio valores de $SO_2 \leq 0$, mientras que para 49 observaciones el Brewer dio valores de $SO_2 \geq 0$, todo ello cuando éste operaba con las constantes suministradas por A.E.S. (Canadá): para ozono, ec.(5), $C_{ET} = 3359$ y $\alpha = 0.3251$; para SO_2 , ec.(6), $C'_{ET} = 3652$, $\alpha' = 2.35$ y $\alpha'' = 1.0964$.

Análisis de las observaciones con $SO_2 \leq 0$.

Cuando el Brewer daba valores negativos de la cantidad total de SO_2 , se supuso que ésta era despreciable. Esto se justifica por la pureza del aire que llega a Boulder, habitualmente del Noroeste. En estas condiciones, no se han medido cantidades apreciables de SO_2 . Sin embargo, algunas veces llega a Boulder aire del Sureste, procedente de Denver, con cantidades apreciables de SO_2 .

La ec.(6) se transforma en este caso en:

$$[(SO_2)_B]_C = 0 = [R_5 - (C'_{ET})_O] / (10 * \mu * \alpha'') - [(O_3)_B]_C \quad (8)$$

donde $[(O_3)_B]_C$ son los valores que daría el Brewer, para la cantidad total de ozono, cuando se usan las nuevas constantes $(C_{ET})_O$ y α_O en la ec.(5). Obsérvese que en este caso (ausencia de SO_2), la constante α'_O se cancela en la ec.(7). Así, la ec.(8) se puede reordenar de la siguiente forma:

$$R_5 = (C'_{ET})_O + 10 * \alpha'' * \{ [(O_3)_B]_C * \mu \} \quad (9)$$

En la Fig.1 se representa R_5 frente a $\{ [(O_3)_B]_C * \mu \}$, donde se

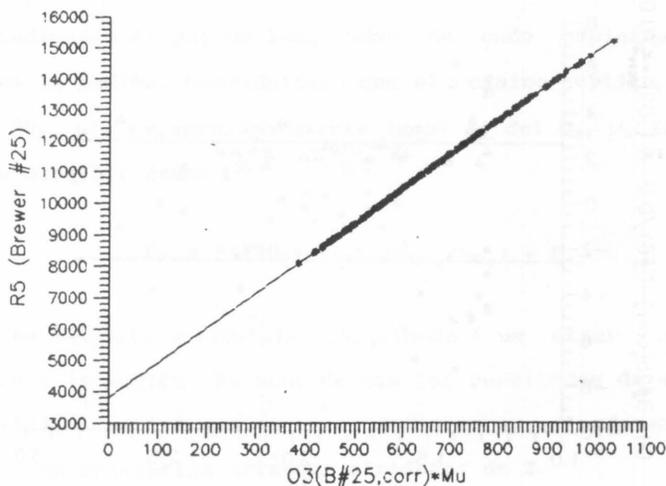


FIG. 1. - Función R5 del Brewer frente al producto de la cantidad de ozono (del Brewer calibrado) por μ .

aprecia la perfecta relación lineal entre estas magnitudes, obteniéndose los siguientes valores para las constantes:

$$(C'_{ET})_O = 3815 \text{ y } \alpha'_O = 1.1086 \text{ U.D.}^{-1} \quad (10)$$

Esta operación sirve como método de calibración del Brewer, como medidor de SO_2 . Sin embargo, no se puede determinar el valor de α'_O a partir únicamente de esta serie de datos.

Análisis de las observaciones con $SO_2 \geq 0$.

A partir de la ec.(7), se obtiene para este caso:

$$[(SO_2)_B]_C * \alpha'_O = [R_5 - (C'_{ET})_O] / (10 * \mu * \alpha'_O) - [(O_3)_B]_C \quad (11)$$

En la Fig.2 se representan los valores obtenidos de $[(SO_2)_B]_C * \alpha'_O$ y de las diferencias $D_C = [(O_3)_B]_C - (O_3)_D$ frente a μ , cuyos valores medios, dados por las dos líneas horizontales de la

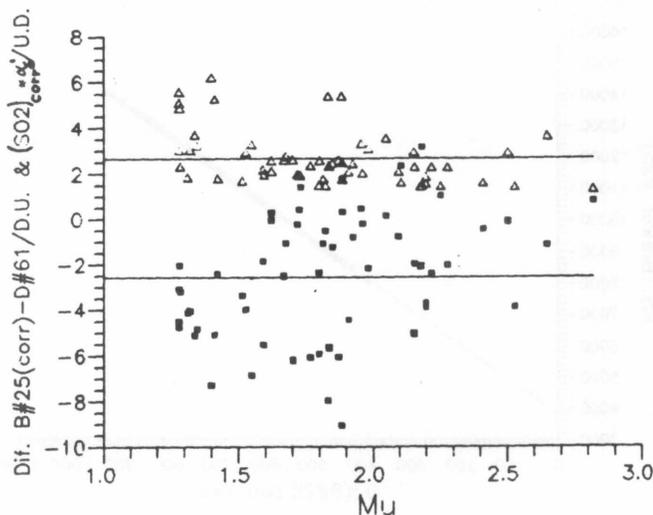


FIG. 2. - Valores del producto de cantidades totales de SO_2 (del Brewer calibrado) por α_0^i (Δ) y de la diferencia D_C (\blacksquare) frente a μ . Las líneas horizontales representan los valores medios de estas dos funciones.

figura, son

$$\langle [(\text{SO}_2)_B]_C * \alpha_0^i \rangle = 2.67 \text{ U.D.}; \quad \langle D_C \rangle = -2.56 \text{ U.D.} \quad (12)$$

Los anteriores resultados son coherentes con la existencia de cantidades no nulas de SO_2 . Dado que el Dobson mide como ozono la cantidad de SO_2 presente, $(\text{O}_3)_D$ será menor que $[(\text{O}_3)_B]_C$, por lo que el promedio de la diferencia entre estas magnitudes, $\langle D_C \rangle$ resulta negativo.

La cantidad de ozono total dada por el Dobson se puede corregir por la presencia de SO_2 , de la siguiente forma (40):

$$[(\text{O}_3)_D]_C = (\text{O}_3)_D - [(\text{SO}_2)_B]_C * (C_{\text{SO}_2} * \mu') / (C_{\text{O}_3} * \mu) \quad (13)$$

donde α_{SO_2} y α_{O_3} son los coeficientes de absorción del SO_2 y O_3 , correspondientes al par de longitudes de onda empleado por el Dobson en la medida. Considerando que el camino óptico relativo para el SO_2 , μ' , es aproximadamente igual al del O_3 , μ , la ec.(13) se puede escribir como:

$$D_C = -[(SO_2)_B]_C * (\alpha_{SO_2}/\alpha_{O_3}) + \varepsilon \quad (14)$$

puesto que $[(O_3)_B]_C = [(O_3)_D]_C + \varepsilon$, siendo ε un error accidental inherente a la medida. De acuerdo con los resultados de un trabajo previo (21), ε es tal que su valor medio es aproximadamente igual a cero, y su desviación estándar alrededor de 2.

Tomando valor medio en la ec.(14), y empleando los valores de los coeficientes de absorción para las medidas AD dados por Komhyr y Evans (40), $\alpha_{SO_2} = 2.13 \text{ cm}^{-1}$ y $\alpha_{O_3} = 1.388 \text{ cm}^{-1}$, se tiene:

$$\langle D_C \rangle = -1.53 * \langle [(SO_2)_B]_C \rangle \quad (15)$$

Y usando la ec.(12):

$$\alpha'_0 = 2.67 / \langle [(SO_2)_B]_C \rangle = 1.6 \text{ U.D.} \quad (16)$$

Con este valor y las constantes dadas por ec.(10), el Brewer está calibrado para medir SO_2 , y haciendo uso de la ec.(7):

$$[(SO_2)_B]_C = [R_5 - (C'_{ET})_0] / (10 * \mu * \alpha'_0 * \alpha''_0) - [(O_3)_B]_C / \alpha'_0 \quad (17)$$

Usando la ec.(17) se calcularon las cantidades de SO_2 total para todas las observaciones, Fig.3. Para las observaciones en las que el SO_2 se había supuesto ausente (* en la figura) se obtiene un valor medio $\langle [(SO_2)_B]_C \rangle = -0.003 \text{ U.D.}$, y una desviación estándar

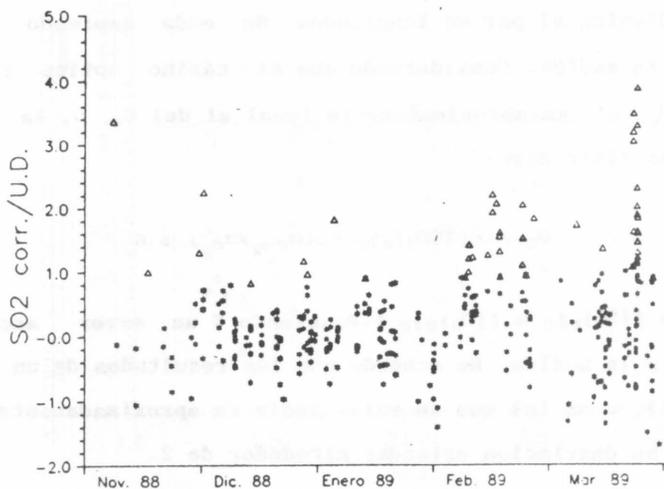


FIG. 3. - Valores de SO₂ total obtenidos con el Brewer calibrado: observaciones con cantidades de SO₂ significativas (Δ) y no significativas (*).

$\sigma_N = 0.53$ U.D., lo que indica que hay que considerar un error de ± 1 U.D. en la medida de SO₂. En una serie de observaciones (Δ en la figura), incluso suponiendo la anterior incertidumbre de las medidas, parece clara la existencia de cantidades apreciables de SO₂ (1-4 U.D.).

Los valores obtenidos deberían ser, dentro del error experimental, las verdaderas cantidades de SO₂. Lógicamente, la corroboración de esta calibración sólo puede realizarse por contrastación con otra técnica o aparato de medida.

Para un día de medida se realizó una intercomparación entre el espectrofotómetro estándar Dobson #83 (fijo en Boulder), el estándar itinerante Dobson #63, el Dobson #61 y el Brewer #25. En la Fig.4 aparecen representados los valores de la cantidad de

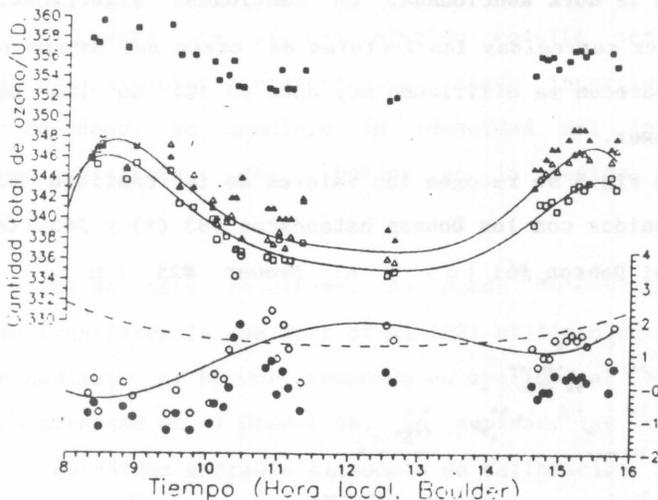


FIG. 4. - Observaciones correspondientes al día 24 de Marzo de 1989
 a) de la cantidad total de ozono obtenida con el Brewer #25 sin calibrar (■); con el Dobson #61 (▲); con el Brewer calibrado (□) y con el Dobson corregido por SO₂ (△).
 b) de la cantidad total de SO₂ obtenida por el Brewer #25 sin calibrar (●) y calibrado (○). La curva a trazos representa los valores de μ .

ozono dados originalmente por el Brewer (■) y por el Dobson (▲), así como los obtenidos después de la calibración del Brewer (□) y del Dobson #61 (△), una vez efectuadas las correcciones debidas a la presencia del SO₂. Asimismo figuran los datos originales de SO₂ dados por el Brewer (●) y los obtenidos después de la calibración (○) de SO₂.

Hasta alrededor de las 10 de la mañana, se observó una aceptable proximidad entre los valores de ozono suministrados por el Dobson y los obtenidos por el Brewer calibrado. A partir de entonces las discrepancias entre dichas medidas se hicieron ostensibles (hasta un 2%). Esto es consistente con la aparición,

después de la hora mencionada, de cantidades significativas de SO_2 . Una vez corregidas las lecturas de ozono del Dobson por este efecto, aparecen ya difiriendo muy poco ($\leq 1\%$) de las obtenidas con el Brewer.

En la Fig.5 se recogen los valores de la cantidad total de ozono obtenidos con los Dobson estándares #83 (*) y #63 (☆), así como por el Dobson #61 (Δ) y el Brewer #25 (□).

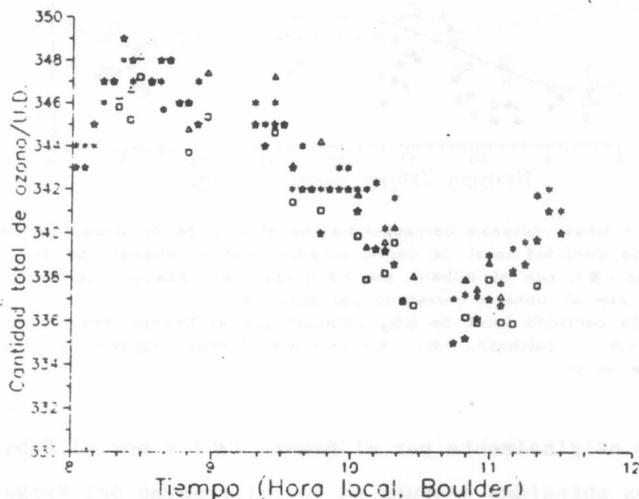


FIG. 5. - Observaciones correspondientes al día 24 de Marzo de 1969 obtenidas con los Dobson estándar #83 (*); #63 (☆); #61 (Δ); corregidos por SO_2 , y los obtenidos con el Brewer #25 calibrado, (□).

Se puede observar: a) que el Dobson #61 proporciona valores de ozono más próximos a los del Dobson #83 que el otro estándar Dobson #63; b) la proximidad entre los datos proporcionados por el Brewer #25 calibrado y el Dobson #61 es similar a la observada entre los dos estándares; c) los cuatro aparatos conducen al mismo valor de ozono total, dentro del error instrumental del 1%.

Teniendo en cuenta que el día elegido resultó ser de una apreciable contaminación atmosférica, que añade incertidumbres a la medida de ozono, se concluye la idoneidad del instrumento Brewer como sustituto del Dobson en la medida de ozono atmosférico.

A la vista de este resultado, se puede demostrar que la función de transferencia que Kerr et al (22) utilizan para simular el Dobson mediante el Brewer, responde en realidad al empleo de constantes erróneas en el Brewer #8. De emplear las constantes apropiadas, obtenidas mediante el modelo de calibración propuesto en este artículo y en (21), se reproducirían los valores del Dobson, eliminándose de este modo las aparentes dependencias con la cantidad total de ozono y con μ , reflejadas en dicha función de transferencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren mostrar su agradecimiento a la División Geophysical Monitoring for Climatic Change de la National Oceanic and Atmospheric Administration, del gobierno de los Estados Unidos de América, por la constante ayuda recibida en orden a desarrollar una línea de investigación atmosférica en las Islas Canarias. Asimismo, agradecen el apoyo de la Universidad de La Laguna a esta iniciativa, así como el de la Cátedra de Física del Aire de la Universidad Complutense de Madrid.

BIBLIOGRAFIA

- (1) J. London: "The Observed Distribution of Atmospheric Ozone and its Variations", en R.C. Whitten y S.S. Prasad (Ed.), "Ozone in the Free Atmosphere", Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 11-80. (1985).
- (2) C. Fabry y M. Buisson: L'absorption de l'ultraviolet par l'ozone et la limite du spectre solaire, J. Phys, 3, 196, (1913).
- (3) C. Fabry y M. Buisson: Etude de l'extrémité ultraviolet du spectre solaire, J. Phys Rad, 2, 197-226, (1921).
- (4) I.D.N. Harrison y G.M.B. Dobson : Measurements of the amount of ozone in the upper atmosphere, R. Meteorol. Soc. Q.J., 51, 363-369, (1925).
- (5) G.M.B. Dobson y I.D.N. Harrison : Measurements of the amount of ozone in the earth's atmosphere and its relation to other geophysical conditions, Part. I, R. Soc. (London) Proc., ser.A, 110, 660-693, (1926).
- (6) G.M.B. Dobson : A photoelectric spectrophotometer for measuring the amount of atmospheric ozone, Phys. Soc.(London) Proc., 43, 324-339, (1931).
- (7) R.A. Olafson., "Mercury rectifier for the Dobson Spectrophotometer", en Symposium sur L'ozone Atmospherique, (A Vassy, Ed.), 2-7 Sept, Centre National de la Recherche Scientifique, Monaco, 63, (1969).
- (8) C.V. Else, D.B.B. Powell y E.L. Simmons: And improved solid state amplifier for Dobson ozone spectrophotometer, Ann. Geophys., 25, 313-315, (1969).
- (9) W.D. Komhyr y R.D. Grass: Dobson ozone spectrophotometer modification, J. Appl. Meteorol., 11, 858-863, (1972).
- (10) J.A. Raeber: An automated Dobson spectrophotometer, Pure Appl. Geophys., 106-108, 947-949, (1973).
- (11) P.R. Westbury, A.J. Thomas y E.L. Simmons, "An ergonomic design of electronics for the Dobson spectrophotometer", Proc. of the Quadrennial International Ozone Symposium, (J. London, Ed.), Boulder, Colorado, U.S.A., pp 271-275, (1981).
- (12) G.M.B. Dobson, "Observers handbook for the ozone spectrophotometer", Ann. International Geophysical Year, vol.5, Pergamon, New York, pp. 46-89, (1957).
- (13) W.D. Komhyr y R.D. Evans: Dobson spectrophotometer total ozone measurements errors caused by interfering absorbing species such as SO₂, NO₂ y photochemically produced O₃ in polluted air, Geophys. Res. Lett., 7, 157-160, (1980).

- (14) D.I. Wardle: A new instrument for atmospheric ozone, *Nature*, 199(4899), 1117-1178, (1963).
- (15) A.W. Brewer: A replacement for the Dobson spectrophotometer, *Pure Appl. Geophys.*, 106,108, 919-927, (1973).
- (16) J.B. Kerr: Short-time period fluctuations in the total ozone, *Pure appl. Geophys.*, 106,108, 977-980, (1973).
- (17) W.F.J. Evans, H. Fast, A.J. Forester, G.S. Henderson, J.B. Kerr, R.K.R. Vupputuri y D.I. Wardle, "Stratospheric Ozone Science in Canada: An agenda for research and monitoring", Internal Report ARD-87-3 (A.E.S.), Canada, (1985).
- (18) R.P. Turco, "Stratospheric Ozone Perturbations", en R.C. Whitten y S.S. Prasad (Ed.), "Ozone in the Free Atmosphere", Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp. 195-242. (1985).
- (19) U. Köhler y W. Attmannspacher, Long Time Intercomparison Between Brewer and Dobson Spectrophotometers at the Hohenpeissenberg, *Beitr. Phys. Atmosph.*, 59, 85-96, (1986).
- (20) W.F.J. Evans, I.A. Asbridge, J.B. Kerr, C.L. Mateer y R.A. Olafson: "The effects of SO₂ on Dobson and Brewer total ozone measurements". *Proc. Quadrennial Int. Ozone Symposium*, (J. London Ed.), Boulder, Colorado, U.S.A., pp 48-56, (1980).
- (21) A. Díaz, J.C. Guerra, P. Sancho: Medida de la cantidad total de ozono en la atmosfera: el instrumento Brewer como sustituto del Dobson en la Red Mundial, *ESTA REVISTA*, (1990).
- (22) J.B. Kerr, I.A. Asbridge y W.F.J. Evans, Intercomparison of Total Ozone Measured by the Brewer and Dobson Spectrophotometers at Toronto, *J. Geophys. Res.*, 93, 11129-11140, (1988).