

¿COMO SE MIDE EL OZONO ATMOSFERICO?

Juan M^a Cisneros

Como la mayoría de los componentes atmosféricos, el ozono se puede medir, bien colocando el instrumento de medida en el lugar donde se quiere obtener el dato (medida "in situ"), o a distancia del lugar del que se desea obtener el valor de la medida (medida "a distancia" o "remota"). En general, puede decirse que la primera forma de medir corresponde a métodos químicos, mientras que la segunda se refiere fundamentalmente a los sistemas de medida que emplean la radiación electromagnética (métodos "ópticos"). El gran avance de la electrónica ha favorecido la utilización de los métodos de medida a distancia aunque, en muchos casos, todavía es necesario recurrir a los de observación "in situ" si se quiere alcanzar determinadas precisiones en las medidas.

Dos tipos de magnitudes tienen especial interés en la medida del ozono atmosférico: la medida de la concentración de ozono en un punto determinado y el espesor total de la columna atmosférica. En general, la medida del primer tipo de magnitudes se realiza mediante métodos de observación in situ, mientras que los métodos de medida más precisos del espesor total de la columna atmosférica del ozono son los ópticos. Desde hace unos quince años, se han venido desarrollando métodos ópticos para la medida de la concentración del ozono en un punto. Estos métodos suelen emplear el láser, si el instrumento se sitúa en el suelo o a bordo de aviones (LIDAR), o las emisiones y absorciones electromagnéticas en diversas longitudes de onda, si el instrumento se sitúa en un satélite. Tanto en un caso como en otro, estos instrumentos resultan extraordinariamente costosos, necesitando, además, ser validados comparando sus medidas con las de instrumentos tradicionales.

SISTEMAS DE MEDIDA E INSTRUMENTOS MAS UTILIZADOS

A) METODOS DE MEDIDA IN SITU

Papel ozonoscópico

Ya hemos visto que en Viena y en París, en el siglo pasado, se midió con continuidad el ozono atmosférico usando el "papel ozonoscópico". Este sistema de medida consiste en papel de filtro empapado en solución de yoduro potásico, almidonado y desecado. El ozono lo pone azul.

Decoloración de la tintura de índigo

Este sistema de medida se emplea para detectar concentraciones muy bajas de ozono. La tintura de índigo, que impregna la arena de diatomáceas (kieselguhr) contenida en un tubito calibrado, pasa del color azul al blanco al ser sometida al ozono contenido en el aire que se hace circular a través del tubito. El ozono convierte una cierta longitud del tubito en isatina (blanco) al reaccionar con el índigo (azul). Midiendo el volumen de aire que pasa a través del tubito y la porción de este decolorada, se puede obtener la concentración del ozono en el aire analizado.

Quimiluminiscencia

Algunas sustancias, tales como el etileno y la rodamina B, son luminiscentes en contacto con el ozono. Esta propiedad se ha empleado profusamente para medir la concentración del ozono, tanto junto a la superficie terrestre, como a diversas altitudes, mediante instrumentos especiales a bordo de globos (Aimedieu,) o de cohetes (Hilsenrath y otros, 1969; Krueger, 1973).

Absorción fotométrica

La capacidad que tiene el ozono de absorber de la radiación ultravioleta, se usa para calcular la concentración del mismo en

una muestra de aire. Este procedimiento se usa en los analizadores de ozono junto al suelo más utilizados. También se han usado fotómetros de ultravioleta a bordo de globos y cohetes para medir el ozono en diferentes alturas de la atmósfera.

Sonda electroquímica

El borbotado del aire a través de una disolución de yoduro potásico produce la oxidación de éste a yodo. Esta oxidación se debe, en cierta medida, al oxígeno y, sobre todo, al ozono. En la reacción se liberan dos electrones por cada molécula de yoduro potásico oxidada. Midiendo la corriente generada entre dos electrodos de platino, introducidos en la disolución, y descontando la corriente debida al oxígeno sólo, puede deducirse la concentración del ozono en el aire.

Aunque las variaciones de esta corriente se introducen en el circuito de radio de una radiosonda meteorológica convencional y son enviadas a un receptor en el suelo, el sistema de medida es un verdadero procedimiento de medida in situ, ya que el sensor se sitúa en el punto del que se obtiene la concentración de ozono.

Este método es el más utilizado actualmente para obtener la distribución vertical de la concentración del ozono en la atmósfera. El sistema funciona adecuadamente desde el suelo hasta la altura de alrededor de 30 km.

B) METODOS DE MEDIDA A DISTANCIA

Casi todos los métodos a distancia para medir la concentración de ozono en el aire, se pueden agrupar en fotométricos o espectrofotométricos y en los que usan el LIDAR.

Métodos fotométricos y espectrofotométricos

Estos métodos se emplean para obtener el espesor total reducido de la columna de ozono atmosférico (normalmente llamado "ozono total"), tanto con instrumentos situados en el suelo como a bordo de satélites. Emplean la luz solar

directa, o bien la reflejada por Tierra o difundida por la atmósfera. En determinados momentos, tales como los próximos a la salida y la puesta del Sol, pueden servir para calcular, también, la distribución vertical en la atmósfera de la concentración de ozono.

C) METODOS DE MEDIDA DESDE EL SUELO

Por su especial importancia, describiremos brevemente algunos de los instrumentos empleados en la red de estaciones de referencia para la vigilancia de la capa de ozono.

Fotómetro M-83

Emplea la banda de absorción del ozono de Huggins. Esta absorción produce la extinción de la luz solar de alrededor de 300 nm de longitud de onda en la superficie terrestre. Existen alrededor de 40 estaciones que emplean este tipo de instrumento para la medida. El M-83, empleado preferentemente en los países de la antigua Unión Soviética, usa dos filtros, cuyas máximas transmitancias se sitúan en 301 y 326 nm respectivamente, para la determinación del ozono total mediante medidas al sol directo y al cénit del cielo. Los valores de sus medidas han sido cuidadosamente corregidas para reducir las diferencias sistemáticas observadas con las medidas del instrumento Dobson, del que hablaremos a continuación. Sus medidas presentan una fuerte dependencia de la turbiedad atmosférica.

Espectrofotómetro Dobson

Es el principal instrumento que constituye la red mundial de referencia del ozono. Fue desarrollado por G.M.B. Dobson en los años 1920 (figs. 1 y 2). Emplea la banda de absorción de Huggins. Contiene un prisma monocromador doble que usa para seleccionar un par de longitudes de onda en esta región: una fuertemente absorbida por el ozono y otra poco absorbida. De su relación de intensidades se deduce el ozono total. Esto se obtiene por un método de anulación. Para ello se sitúa una cuña óptica en el camino del rayo de longitud de onda menos absorbida. Esta cuña se mueve manualmente hasta conseguir que la diferencia de la

respuesta del fotomultiplicador a las dos longitudes de onda sea nula (Dobson, 1957).

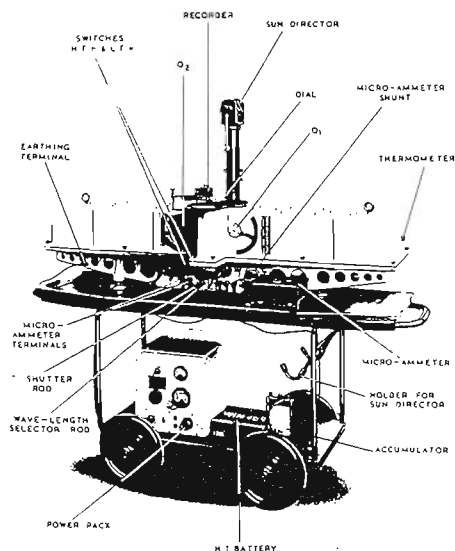


Fig.1.- Espectrofotómetro Dobson: Vista general

Los procedimientos de puesta en estación y de calibración del instrumento Dobson están muy bien establecidos. Todos ellos pueden llevarse a cabo en el laboratorio excepto la determinación de la "constante extraterrestre", éste es, la lectura que daría el instrumento si se encontrase situado fuera de la atmósfera terrestre. Para este cálculo hay que situar los instrumentos en estaciones donde se presenten cielos especialmente claros. La estación de Mauna Loa reúne condiciones especiales para estos fines. Quizá pueda decirse lo mismo de la estación de Izaña. Esto se verá a partir de los resultados de la próxima intercomparación mundial de instrumentos Dobson, que tendrá lugar en Izaña el próximo mes de junio.

Hasta ahora se han construido alrededor de 130 instrumentos Dobson, desde que, G.M.B. Dobson construyó el primero de ellos en Oxford. De todos ellos, alrededor de 80 continúan operativos. En nuestro país hay uno en la estación de El Arenosillo (Huelva), operativo desde 1975.

Espectrofotómetro Brewer

En 1973 fue diseñado un nuevo espectrofotómetro, semejante al Dobson, para la medida del ozono total (Brewer, 1973).

Este instrumento es más compacto que el Dobson, elimina la necesidad del

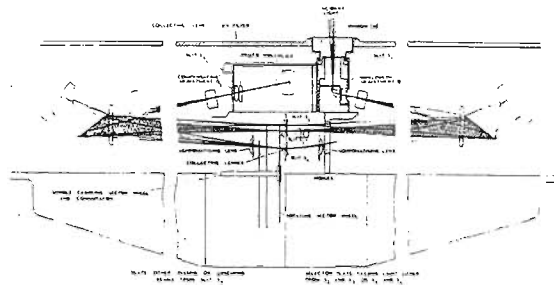


Fig.2.- Espectrofotómetro Dobson: sistema óptico

empleo de la cuña óptica usando un contador de pulsos y sus operaciones pueden programarse desde un ordenador de mesa, realizándose de forma completamente automática. Se espera que vaya sustituyendo al Dobson en las medidas de rutina de la red mundial del ozono (Kerr y otros, 1980).

Un instrumento de este tipo se encuentra instalado en la estación de vigilancia del ozono de Madrid desde 1989. En la estación de Izaña existe otro semejante desde 1992.

Los errores más probables de los espectrofotómetros Dobson y Brewer bien mantenidos pueden estimarse en alrededor del 1-2 %.

D) METODOS DE MEDIDA DESDE SATELITES

Las técnicas usadas en el suelo pueden usarse también a bordo de satélites mediante adaptaciones, a veces nada sencillas.

Los instrumentos BUV (Backscattered UV), SBUV (Solar Backscattered UV) y TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) se han usado en los satélites Nimbus 4 y Nimbus 7 (Heath y otros, 1973; Heath y otros, 1978). El instrumento TOVS (TIROS Operational Vertical Sounders) se ha usado en los satélites TIROS (Smith, 1979). En todos los casos, estos instrumentos necesitan ser calibrados con la red de instrumentos

tradicionales. El instrumento MFR (Multi-channel Filter Radiometer) emplea la irradiancia en el infrarrojo, lo que le permite las medidas nocturnas. En los instrumentos LRIR (Limb Radiance Inversion Radiometer) (Gille y otros 1975), LIMS (Limb Infrared Monitor of the Stratosphere), SMEIRR (Solar Mesosphere Explorer Infrared Radiometer) y ALS (Advanced Limb Scanner), se emplea la emisión del limbo de la Tierra.

El instrumento SAGE (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment) de los satélites mide perfiles verticales de concentración de ozono entre 10 y 50 km observando la atenuación de la radiación solar de 560 nm en la salida y la puesta del Sol.

E) OTROS METODOS DE MEDIDA A DISTANCIA DEL OZONO

Entre ellos se pueden citar el LIDAR, que se basa en la retrodifusión resonante en el ultravioleta próximo, producida por un láser sobre las moléculas de ozono, (generalmente 285-315 nm) y que se emplea para determinar la distribución vertical del ozono en la alta tropósfera y en la baja e intermedia estratósfera, y las medidas con microondas en la región espectral de 100-130 GHz, tanto por absorción como por emisión. Estas medidas pueden llevarse a cabo tanto durante el día como durante la noche, incluso en presencia de nubes densas.

También se han usado fotómetros multicanales con filtros de interferencia de banda estrecha.

BIBLIOGRAFIA

1) Brewer, A.W., *A replacement for the Dobson spectrophotometer*, PAGEOPH, **106-108**, 919-927, (1973).

2) Dobson, G.M.B., *Observer's handbook for the ozone spectrophotometer*, Ann. YGY, V, Part I, Pergamon Press, New York, 46-89, (1957).

3) Gille, John C., P.L. Bailey, F.B. House, R.A. Craig and J.R. Thomas, *The limb radiance inversion radiometer (LRIR) experiment the Nimbus 6 user's guide*, 141-161, (1980).

4) Hilsenrath, Ernest, L. Seiden and P.

Goodman, *An ozone measurement in the mesosphere and stratosphere by means of a rocketsonde*, J. Geophys. Res., **74**, 6873-6880, (1969).

5) Kerr, J.B., C.T. McElroy and R.A. Olafson, *Measurements of ozone with the Brewer ozone spectrophotometer*, Proceedings of the the Quadrennial International Ozone Symposium, Boulder, Colorado, 74-79, (1980).

6) Krueger, Arlin J., *The mean ozone distribution from several series of rocket soundings to 52 km at latitudes from 58°S to 64°N*, PAGEOPH, **106-108**, 1272-1282, (1973).

7) Smith, W.L., *The TIROS-N operational vertical sounder*, Bull. Am. Met. Soc. **60**, 1177-1187, (1979).