

metano, a causa también de los radicales OH (Seiler, Warneck). Contrastando con ésto, la proporción de mezcla del H<sub>2</sub> crece desde 0,5 ppm en la tropopausa a 0,8 pmm a 27 km (Ehhalt). Este comportamiento puede explicarse a partir del equilibrio entre la producción de metano, su desaparición lenta por medio de radicales OH y el transporte vertical por difusión turbulenta (Warneck). El N<sub>2</sub>O desaparece también en la estratosfera, produciendo anhídridos nitrogenados que se reincorporan a la troposfera. Las reacciones con radicales, específicamente con el OH, pueden producirse también en ésta, con efectos notorios en los ciclos de diversos gases residuales. Los radicales OH se originan del vapor de agua, cuando reacciona con el O (<sup>1</sup>D) que es generado fotoquímicamente a partir del ozono. La revisión de estas cuestiones (Warneck) hizo notar que puede estimarse el límite superior de la concentración efectiva del OH en la troposfera a partir de la cantidad de nitrato precipitado en la reacción en fase gaseosa  $\text{OH} + \text{NO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3$ . El límite superior obtenido para la concentración de OH,  $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$  es más bajo que el que se había estimado previamente. De ello se infiere que la oxidación del CH<sub>4</sub> por radicales OH en la troposfera (Ehhalt) no constituye un sumidero importante para el CH<sub>4</sub>. No obstante, la oxidación similar del CO por radicales OH (Weinstock), debido a su mayor velocidad, puede todavía constituir un notable proceso para la desaparición del CO. Visto ésto, no todos los problemas han sido resueltos, quedando algunos para futuras investigaciones.

### Conclusiones

Este breve informe no hace justicia a todas las valiosas contribuciones aportadas al simposio, ni puede, en particular, informar sobre el espíritu de las animadas discusiones que siguieron, tanto a los trabajos individuales como a las conversaciones de pasillo posteriores a las sesiones. Es de esperar, sin embargo, que podrán proporcionar algún conocimiento sobre las actividades actuales desplegadas dentro del campo de los gases residuales de la atmósfera a quienes no pudieron asistir a la conferencia.

P. WARNECK

## OSONO EN LAS CABINAS DE LOS AVIONES

Por L. MACHTA y W. D. KOMHYR (\*)

### Resumen

Con frecuencia se miden concentraciones de ozono superiores al 0,1 por millón en volumen (ppm), en las cabinas de algunos aviones con motores de chorro, subsónicos. Este ozono, de origen natural, entra en el aeroplano por medio del sistema de ventilación. El patrón de calidad del aire, para el ozono, es de 0,1 ppm. Los aviones subsónicos del futuro, que vuelen a mayores alturas, pueden contener una concen-

\* Los autores son funcionarios de los Laboratorios de Recursos Atmosféricos, de Silver Spring, Maryland y de Boulder, Colorado.

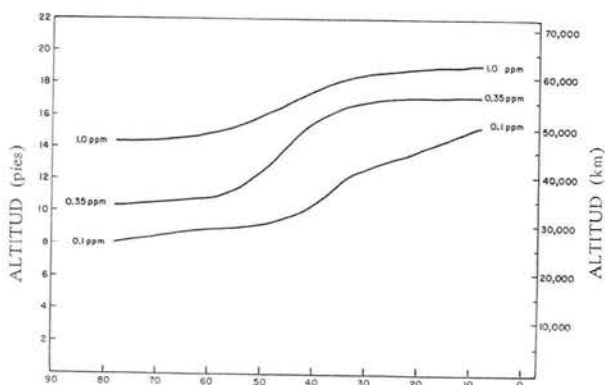
tración de ozono aún mayor que los aviones corrientes. Se sugiere que estas concentraciones desagradables de ozono se eviten haciendo pasar el aire a través de un filtro económico instalado en el sistema de ventilación.

Hace varios años Langlo (1965)\* publicó una breve exposición del contenido de ozono en las cabinas de los aviones comerciales, en un *Boletín de la OMM*. Este artículo desarrolla y pone al día los informes allí proporcionados.

### Ozono estratosférico

El ozono se origina en la estratosfera por el efecto fotolítico producido por la luz solar sobre la molécula de oxígeno, lo que implica una serie complicada de reacciones fotoquímicas (Crutzen, 1971). La distribución media del ozono, resultante de estas reacciones y de los movimientos atmosféricos, durante el verano y para el hemisferio Septentrional (según Hering y Borden, 1967) se indica en la *figura 1*. Superpuesta

*Figura 1* — Distribución media de la concentración de ozono, a lo largo de un meridiano, expresada en partes por un millón (ppm) en volúmenes, durante el verano. El corte vertical está basado en Estaciones de América Central y Septentrional (Hering y Border, 1967)



a esta distribución media está una gran variabilidad de día a día; las concentraciones de ozono son, además, mayores en primavera y menores en otoño, que en verano. La dilución debida a la mezcla descendente y a la destrucción en el terreno, produce concentraciones de ozono del orden de 0,03 ppm cerca de la superficie terrestre, lejos de las comarcas contaminadas. Sólo en raras ocasiones se observan concentraciones de ozono de origen natural, con concentraciones apreciablemente mayores. El ozono es el más importante de los oxidantes de origen fotoquímico y en algunas comarcas contaminadas son frecuentes valores en exceso de 0,1 ppm; la concentración de los oxidantes fotoquímicos se expresa normalmente mediante la concentración equivalente de ozono.

El ozono reacciona fácilmente con muchas sustancias y se destruye a temperaturas elevadas. El calentamiento debido a la compresión necesaria para mantener la presión normal en la cabina de los aviones podría quizá disociar el ozono entrante cuando los aviones actuales subsónicos vuelan

\* Véanse las referencias al final del artículo.

en regiones con concentraciones grandes de ozono; sin embargo, el lapso de calentamiento, de menos de 0,5 seg en el aire que entra (Brabet y otros), 1967) es, sin embargo, demasiado breve para producir la destrucción térmica del ozono, tan sólo a temperaturas inferiores a los 630° K (375° C) [Forney (1968) y Boberg y Levine (1961)]. La no destrucción de ozono en cantidades apreciables en el sistema de ventilación del avión Convair 990, por ejemplo, se confirmó recientemente midiendo simultáneamente las concentraciones de ozono en el aire exterior y en el aire de ventilación (Komhyr, 1971): las concentraciones de ozono eran idénticas, con un error del 10 por ciento; una vez en el avión, sin embargo, el humo,

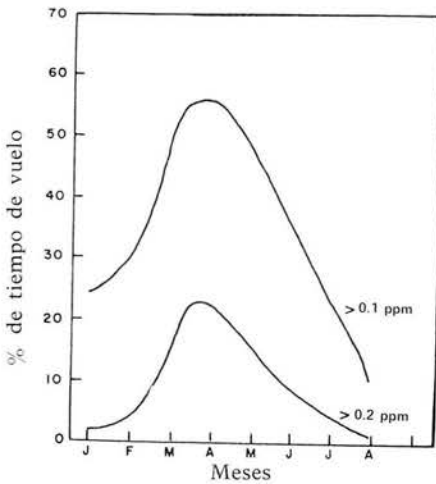


Figura 2 — Fracción del tiempo de vuelo (expresada en tanto por ciento) durante la cual la concentración de ozono en la cabina de los aviones comerciales excede de 0,1 ppm y de 0,2 ppm en vuelos realizados entre Nueva York y Europa septentrional, y entre Seattle y Anchorage (Brabets y otros, 1967)

los asientos, las paredes, la gente, los alimentos, los vapores, etc., reducen la concentración en la cabina a la mitad de la inicial (Bischof, 1973). De acuerdo con la Oficina Federal de Aviación de los EE. UU., en algunos tipos de aviones subsónicos el sistema de ventilación emplea hasta un 40 por ciento de aire interior, es decir, alrededor de un 60 por ciento del aire de ventilación viene del exterior; parece verosímil que el aire respirado por los pasajeros y la tripulación contenga cantidades de ozono que van desde la concentración correspondiente al aire exterior, cuando no hay recirculación y el aire sopla directamente a los ocupantes de la cabina, hasta las 3/10 partes de la concentración que hay en el exterior.

#### Observaciones realizadas en la cabina de los aeroplanos

Se ha efectuado un cierto número de medidas de ozono en las cabinas de los aeroplanos comerciales (Young, Shaw y Bates, 1962; Jaffe y Estes, 1963). Uno de los primeros estudios hechos, y aún de los más completos, fue emprendido por Brabets y otros (1967). Sus descubrimientos son mostrados, parcialmente, en la figura 2, como un resumen estadístico de la frecuencia en que la concentración de ozono excede los valores de 0,1 y 0,2 ppm al mes. En los últimos cinco años hemos observado, también, concentraciones superiores a 0,1 ppm en las cabinas de aeroplanos: 727, DC-8, Convair 990 y 747. Más recientemente, Bischof,

en 1973, midió el contenido de ozono en las cabinas de los DC-9, DC-8 y 747 durante 14 vuelos a grandes latitudes. Y dedujo que para un vuelo de ocho a diez horas, entre Copenhague y Seattle durante la primavera, puede esperarse que la concentración máxima de ozono llegue a ser desde 0,1 ppm durante siete y media horas, hasta 0,6 ppm durante una hora. Bischof estima que en el vuelo Copenhague-Seattle la concentración de 0,1 ppm se mantendrá durante un 75 por ciento al menos, del tiempo de vuelo. Como puede deducirse de las consideraciones de la distribución geográfica y estacional del ozono atmosférico, las concentraciones más elevadas de ozono se encuentran en el interior de los aviones cuando vuelan sobre las regiones circumpolares en primavera. Vuelos a menores latitudes presentan una menor frecuencia de concentración de ozono sobre la de 0,1 ppm. Clasificando los vuelos de los aviones de chorro comerciales según las latitudes, estimamos que las concentraciones de ozono en las cabinas, durante el 10 por ciento de las horas de vuelo en crucero a través de la troposfera superior o la parte baja de la estratosfera, pueden superar el valor de 0,1 ppm. Concentraciones notablemente más altas se producen con menos frecuencia, aunque pueden producirse en la cabina concentraciones de 1,0 ppm en ocasiones durante períodos de una hora (Bischof, 1973).

### *Vuelos supersónicos*

Aunque esta nota estudia principalmente los niveles de ozono en las cabinas de aviones subsónicos, publicamos a continuación las medidas efectuadas en aviones supersónicos experimentales de EE. UU. Con la ayuda de J. Ehernberger, de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, de los EE. UU. de NA, y de sus colaboradores, hemos realizado medidas a bordo de un avión supersónico, el XB-70, el 17 de diciembre de 1968. Al volar sobre el oeste de los EE. UU., llegó a una velocidad de 2,5 Mach y a una altitud de 20.400 metros. La concentración de ozono en la cabina del avión se mantuvo por debajo de 0,04 ppm durante el vuelo en crucero, aunque la aeronave atravesaba una capa atmosférica con una concentración de ozono superior a 1,0 ppm. La razón principal de la pequeña cantidad de ozono medido en la cabina era debida en primer lugar, al calentamiento extra producido por la sobrepresión producida por la gran velocidad del XB-70. La compresión ultrasónica calentaba el aire exterior hasta unos 480° K; unido al calentamiento debido a la compresión dentro de la máquina, se daba lugar a una elevación de temperatura suficiente para destruir el ozono aún en el breve tiempo de residencia en el circuito de ventilación. Cuando la aeronave disminuyó de velocidad, y se redujo la sobrepresión en el borde de ataque, estando aún el avión en la estratosfera, la concentración de ozono en el interior del aeroplano subió a cerca de 0,2 ppm. Esta experimentación durante el descenso y frenado del avión, hace sospechar que esta fase de vuelo es la más apta para que se produzcan concentraciones elevadas de ozono en el interior de los aviones de propulsión a chorro supersónicos. La extrapolación de los resultados anteriores a los aviones comerciales, supersónicos, debe ser hecha sin embargo, con precaución: sabemos que el aire de ventilación de la cabina del *Concorde* se calienta a temperaturas muy superiores que el del XB-70, de modo, que no parece probable que se encuentren concentraciones elevadas de ozono en su interior.

## *Efectos sanitarios*

Los efectos que, sobre la salud, tiene el ozono han sido muy estudiados debido a la exposición de los seres humanos a las nieblas tóxicas de origen fotoquímico, así como al encontrarse en atmósferas con una concentración elevada de ozono, producido artificialmente, como por ejemplo, cuando se suelda con arco eléctrico (Jaffe, 1967 y 1968). «La exposición a una concentración de 0,3 ppm durante unas ocho horas parece ser el umbral para la producción de irritaciones nasal y faríngea» en tanto que «la exposición a concentraciones de 0,6 a 1,0 ppm durante una a dos horas, puede producir daños a los pulmones...» (Servicio de Sanidad Pública de EE. UU., 1970). A concentraciones mayores se producen tos, desvanecimientos y fatiga. Schoettlin y Landau demostraron en 1961, mediante estudios epidemiológicos realizados en Los Angeles, que se registraban cantidades notablemente mayores de ataques de asma cuando el nivel de los oxidantes sobrepasaba la concentración de 0,25 ppm, que cuando era inferior a este valor. Análogamente, el rendimiento de los atletas se disminuye con concentraciones tan pequeñas como de 0,03 a 0,3 ppm mantenidas durante una hora (Wayne, Wehrle y Carrol, 1967). El ozono se considera también un agente radiomimético; perjudica a la materia viva tanto como lo hace la radiación atómica (Fetner, 1962; Brinkman, Lamberts y Veninga, 1964; Zelac y otros, 1967).

Las normas de calidad del aire exigen un margen de seguridad respecto a los niveles de concentración de los componentes atmosféricos que producen dañosos efectos para la salud. Tales factores de seguridad dependen del número de personas expuestas al aire, y de su estado de salud, así como de otras condiciones adversas tales como la baja presión que existe en la cabina de los aeroplanos, etc. Para los oxidantes fotoquímicos la Oficina de Protección contra el Ambiente, de los EE. UU. NA., ha publicado la siguiente norma: «El patrón nacional primario y secundario del nivel de calidad del aire ambiente, respecto a oxidantes fotoquímicos, medido y corregido de las influencias perturbadoras de los óxidos de nitrógeno y del anhídrido sulfuroso, por el método patrón descrito en el Apéndice D de esta parte, o por un método equivalente, es: 160 microgramos por metro cúbico (equivalente a 0,08 ppm) de concentración máxima durante una hora y que no debe sobrepasarse más que sólo una vez al año». A la presión reducida del aire existente en la cabina de los aviones, los 160 microgramos por metro cúbico se convierten en 0,1 más bien que en 0,08 ppm. El nivel relativamente reducido del contenido en ozono es debido a que hay pruebas de que aumentan los ataques de asma en sujetos predispuestos, cuando la concentración media horaria de los oxidantes fotoquímicos alcanzan un valor de 0,1 ppm. La Oficina de Protección del Ambiente (1971) ha declarado también que se producirán efectos importantes sobre la salud cuando los oxidantes fotoquímicos alcancen una concentración media de 0,4 ppm durante cuatro horas, 0,6 ppm durante dos horas ó 0,7 ppm en promedio durante una hora. La mayoría de los organismos estatales y de otros que estudian la contaminación atmosférica han elegido también el valor de 0,1 ppm como la concentración máxima de calidad del aire para el ozono u oxidantes fotoquímicos.

Los efectos perjudiciales de concentraciones elevadas de ozono (bastante superiores al valor de 0,1 ppm) sobre los pasajeros o las tripula-

ciones en vuelo, no han sido estudiados. Bennett (1962) informó que no había observado efectos dañinos debidos al ozono, pero sus lecturas de concentración no sobrepasaron las 0,12 ppm. Lagerwerff expuso en 1963, a unos voluntarios a concentración de ozono de 0,2 a 0,5 ppm durante varios períodos de tres horas cada uno, para imitar la situación que podrían encontrar los pilotos en los vuelos con aviones de chorro; sus resultados parecen indicar una pérdida de la visión nocturna. Lagerwerff, observó también, que un tercio de los sujetos sometidos a experimentación se quejaban de que la exposición al ozono les producía letargia y que experimentaban un aumento en la dificultad de concentrarse en su trabajo. Bischof (1973) informó que se producía irritación del sistema respiratorio, con toses y respiración dificultada, durante varios de los vuelos en los cuales la concentración del ozono en la cabina alcanzó los mayores valores encontrados durante sus vuelos experimentales. Aunque hace notar que la irritación podría ser debida, parcialmente, a la humedad relativa muy pequeña, los síntomas disminuían conforme la cantidad de ozono se reducía. Bischof, así como los pasajeros de otros vuelos, informaron haber oído el ozono en circunstancias en que las concentraciones de ozono que se midieron eran elevadas, o era muy probable que lo fuesen.

#### *Destrucción del ozono*

Petty, Jurkevich y Shen (1963) examinaron diversas posibilidades de destruir el ozono antes de que penetrase en la cabina de un aeroplano. Como es probablemente más fácil emplear sistemas de filtros destructores del ozono en el avión, que destruir el ozono por medio del calor, uno de nosotros (Komhyr) estudió diversos tipos de filtros y de materiales para emplear en posibles filtros, y dedujo que es posible emplear filtros para la destrucción del ozono en los aviones. Las pruebas más prometedoras se realizaron con un filtro, formado por un catalizador barato existente en el comercio, adherido a lana metálica por medio de una laca acrílica. Se observó una presión contraria de valor despreciable a través del filtro, cuando la corriente de aire era análoga a la que existe en los sistemas de ventilación de aviones de chorro comerciales de vuelos intercontinentales. Después de setenta horas de funcionamiento continuo, durante el cual el aire entrante tenía una concentración de ozono de 0 3 ppm, el filtro tenía aún un rendimiento del 80 por ciento; durante las primeras veinte horas destruyó más del 99 por ciento de ozono.

Un sistema de filtro de ozono impondrá, indudablemente, una carga al avión. Si se emplea el filtro mencionado más arriba, la lana metálica y el recipiente correspondiente pesarán unos 50 kgs, ocupará un metro cúbico de espacio en los conductos de ventilación y exigirá reemplazamientos periódicos. Sin embargo, es muy posible que la investigación ulterior dará lugar a una reducción de la carga impuesta al aeroplano, por debajo de la mencionada.

#### *Conclusión*

Las tendencias aeronáuticas actuales indican que los aviones de chorro subsónicos del futuro, volarán a altitudes mayores que las de hoy. Tales aeroplanos cruzarán por la atmósfera a niveles en los cuales la concen-

tración de ozono será bastante mayor y, a menos que se tomen medidas para reducir la concentración de ozono en la cabina, los pasajeros y las tripulaciones estarán sometidos a concentraciones mayores que las que respiran actualmente.

*Reconocimiento:* Agradecemos al Sr. N. Lieurance, anteriormente del Departamento Nacional Oceánico y atmosférico de los EE. UU., su lectura crítica de este trabajo.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENNETT, G. (1962): *Ozone contamination of high altitude aircraft cabins*. *Aerospace Medicine*, 33, pág. 969-973.
- BISCHOF, W. (1973): *Ozone measurements in jetliner cabin air*. *Water, Air and Soil Pollution*, 2, págs. 3-14.
- BOBERG, J. E., LEVINE, M. (1961): ASME Paper N.º 61-Av-2, Aviation Conf., Los Angeles, California.
- BRABETS, R. I., HERSH, C. K., KLEIN, M. J. (1967): *Ozone measurements in commercial jet aircraft*. *J. Aircraft*, 4, págs. 59-64.
- BRINKMAN, R., LAMBERTS, H. B., VENINGA, T. S. (1964): *Radiometric toxicity of ozonized air*. *Lancet*, 1, págs. 133-136.
- CRUTZEN, P. J. (1971): *Ozone production rates in an oxygen-hydrogen-nitrogen oxide atmosphere*. *Journ. Geophys. Res.*, 76, págs. 7311-7327.
- FETNER, R. H. (1962): *Ozone-induced chromosome breakage in human cell cultures*. *Nature*, 4830, págs. 793-794.
- FORNEY, A. K., Federal Aviation Administration, in memo T. Council to L. Machta, de fecha 17 de octubre de 1968.
- HERING, W. S., BORDEN, W. R. jr. (1967): *Ozone observations over North America*. AFCRL-64-40 (IV), Environm. Res. Paper No. 279, Bedford (Mass.).
- JAFFE, L. S. (1967 y 68): *Photochemical air pollutants and their effects on men and animals*. *Archiv. Environm. Health*, 15, págs. 782-789 y 16 págs. 241-254.
- JAFFE, L. S., ESTES, H. D. (1963): *Ozone toxicity hazard in cabine of high altitude aircraft — A review and current program*. *Aerospace Medicine*, 34, págs. 633-643.
- KOMHYR, W. (1971): No publicado.
- LAGERWERFF, J. M. (1963): *Space cabin atmosphere trace contaminants and their possible influence on visual parameters*. *Human Factors*, 285, págs. 285-295.
- LANGLO, K. (1965): *Atmospheric ozone and supersonic aircraft operations*. *Boletín de la OMM*, XIV, págs.
- PETTY, A. F., JURKEVICH, I., SHEN, S. P., (1963): *Final Report, Contract No. FA-WA-4181 to the Federal Aviation Administration, General Electric Co., Phil., Pa.*
- SCHOETTIN, C. E., LANDAU, E. (1961): *Air pollution and asthmatic stacks in the Los Angeles area*. *Public Health Reports*, 76, págs. 545-548.
- U. S. Environmental Protection Agency (1971): *Prevention of air pollution emergengy episodes*. *Federal Register*, 36, 20513.
- U. S. Government (1971): *National primary and secondary air quality standards*. *Federal Register*, 36, págs. 8186-8201.

- U. S. Public Health Service (1970): *Air quality criteria for photochemical oxidants*. NAPCA Pub. No. AP-63.
- WAYNE, W. S., WEHRLE, P. F., CARROLL, R. E. (1967): *Oxidant air pollution and athletic performance*. J. Amer. Med. Assoc., 199, págs. 901-904.
- YOUNG, W. A., SHAW, D. B., BATES, D. V. (1962): *Presence of ozone in aircraft flying at 35.000 feet*. Aerospace Medicine, 33, págs. 311-318.
- ZELAC, R. E., CROMROY, H. L., BLOCH, W. E., Jr., DUNVANT, B. G., BEVIS, H. A. (1971): *Inhaled ozone as a mutagen*. Environ. Res., 4, págs. 262-282 y 325-342.

## Vigilancia Meteorológica Mundial

### Sistema Mundial de Observación

#### *Grupo de trabajo sobre el Sistema Mundial de Observación*

La Comisión de Sistemas Básicos creó un grupo de trabajo cuyas misiones principales consisten en revisar constantemente el funcionamiento del sistema mundial de observación (SMO) y examinar las medidas tomadas para satisfacer las diversas demandas de datos hechas por los Estados Miembros. Este grupo celebró su primera sesión en las sede de la OMM, en Ginebra, en junio de 1973, bajo la presidencia del Dr. R. Czelnai (Hungria).

Una de las preocupaciones del grupo fue elaborar un proyecto del plan para el SMO a partir de 1975 y, con este fin, el grupo llevó a cabo una detallada revisión del estado de ejecución de los diversos programas del SMO y del propio plan para el período 1972-1975. Verdaderamente, la experiencia conseguida durante el año y medio último permitió ya al grupo sugerir una serie de modificaciones y ajuste para el próximo plan.

El tema de la unificación de las diversas técnicas de observación recibió atención especial. El grupo consideró que el desarrollo y la utilización de las nuevas técnicas de observación supone un problema, de gran amplitud, de las redes fijas y variables y de la distinta calidad de los parámetros medidos independientemente; se precisa realizar más estudios sobre la precisión y la representatividad relativa. Se llegó a la conclusión de que ningún componente del SMO debería ser reemplazado antes de que dichos estudios demuestren que las técnicas nuevas pueden satisfacer las necesidades al menos con la misma extensión, que los componentes primitivos.

Con respecto a las misiones principales del SMO, el grupo agregó la ayuda de la Vigilancia Meteorológica Mundial al Programa de Vigilancia Mundial de las Naciones Unidas que se orienta actualmente hacia la prevención y aviso de la contaminación del medio ambiente y a apoyar los programas de investigación, en particular para experimentos mundiales tales como el primer Experimento Global del GARP. Se pretendió también determinar una política más clara sobre la relación entre la VMM y el Sistema Global Integrado de Estaciones Oceánicas, haciendo