



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

SUBSECRETARÍA

DIRECCIÓN GENERAL
DEL INSTITUTO NACIONAL
DE METEOROLOGÍA

Nota Técnica número 3
del Observatorio Atmosférico de Izaña

**PROGRAMA DE OZONOSONDEOS
DEL OBSERVATORIO
ATMOSFÉRICO DE IZAÑA**

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA
Observatorio Atmosférico de Izaña
Nota Técnica N° 3
Grupo de Ozono y Ultravioleta (Ref. GOU-3)

**PROGRAMA DE OZONOSONDEOS
DEL
OBSERVATORIO ATMOSFÉRICO DE IZAÑA**



15 ABR 2002

Juan Manuel Sancho Avila
Sergio Afonso Gómez
Emilio Cuevas Agulló

Santa Cruz de Tenerife, 8 de Noviembre de 2001

*Nota Técnica n° 3 del Observatorio Atmosférico de Izaña
Instituto Nacional de Meteorología*

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Medio Ambiente ©

I.S.B.N.: 84-8320-196-8
NIPO: 310-01-019-X
Depósito Legal: M-2358-2002

Imprime: Centro de Publicaciones

Impreso en papel reciclado

Índice General

1	Introducción	3
2	Principio de Medida e Instrumentación	5
2.1	Principio de medida del sensor de ozono	5
2.1.1	Preparación de las soluciones del cátodo y el ánodo	6
2.1.2	Reacciones químicas en el sensor de ozono	7
2.1.3	Cálculo de los valores de Ozono	8
2.2	Instrumentación	13
2.2.1	Radiosonda RS80-15GE	13
2.2.2	Ozonosonda SPC-6A	17
2.2.3	Interface RSA11	18
2.2.4	Equipo de recepción en tierra DigiCORA-MW11.	18
2.2.5	Unidad TSC-1	21
2.2.6	Medidor de flujo	21
2.2.7	Balanza de precisión	24
2.2.8	Material de laboratorio	24
2.2.9	Cámara de aire limpio para la preparación de soluciones	24
3	Realización de un Ozonondeo	28
3.1	Primera preparación: 3-7 días antes del lanzamiento	28
3.2	Segunda preparación: el día del lanzamiento	30
3.3	El Sondeo.	33
3.3.1	Comprobaciones previas, embalaje y conexionado de la bomba.	33
3.3.2	Algunas recomendaciones para el correcto inflado y manipulación del globo.	41
3.3.3	Listas de chequeo (Checklist).	41
3.3.4	Adquisición y archivo de datos	41
3.4	Reutilización de una ozonosonda recuperada.	46

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	2
4 Control de Calidad	49
4.1 NDSC Ozonosonde PI Meeting (Potsdam, Junio 1998)	49
4.1.1 Propósito del Meeting	50
4.1.2 Prácticas de Preparación de Ozonosondas.	50
4.1.3 Conversión de Datos Brutos a Datos Geofísicos.	52
4.1.4 Control de Calidad de los Datos.	53
4.1.5 Formato de los Ficheros.	54
4.1.6 Nuevo Centro Regional Europeo de Datos de Ozonosondeos.	54
4.1.7 Envío de Datos en Tiempo Real al ECMWF.	55
4.1.8 Presentación de VAISALA.	55
4.1.9 Intercomparación entre Ozonosondas.	55
4.1.10 Conclusiones.	56
4.2 Proyecto THESEO	60
5 Ficheros de Salida	62
5.1 Ficheros binarios	62
5.1.1 Fichero "s"	62
5.1.2 Ficheros "e"y "z"	63
5.2 Ficheros ASCII	63
5.2.1 Fichero "txz"	63
5.2.2 Fichero "def"	65
5.2.3 Fichero "csv".	66
5.2.4 Fichero "nas".	69
6 Centros Mundiales de Datos de Ozonosondeos	71
6.1 World Ozone and Ultraviolet radiation Data Centre (WOUDC)	71
6.2 Norwegian Institute for Air Research (NILU)	72
6.3 Network for Detection of Stratospheric Change (NDSC)	*72

Capítulo 1

Introducción

El estudio de las características de la estructura vertical del ozono en la troposfera y baja estratosfera ha recibido una atención significativa en las últimas décadas.

De las diferentes técnicas existentes para la obtención de perfiles verticales de ozono, el uso de sondeos de ozono mediante sensores que ascienden en la atmósfera gracias a un globo es considerado actualmente el método más preciso para este tipo de medidas. Sin embargo, el elevado coste de este tipo de programa de medidas y el hecho de que la meticulosidad necesaria para la realización de los ozonosondeos requiera de un personal muy bien preparado hacen que sean muy escasos en el mundo los observatorios que llevan a cabo sondeos de ozono de forma rutinaria. La situación geográfica de la isla de Tenerife, en la Región Subtropical, en la cual son aún más escasas las medidas de perfiles verticales de ozono, hace que los datos obtenidos en esta estación sean excepcionalmente valiosos.

El programa de ozonosondeos del Observatorio Atmosférico de Izaña comenzó en Noviembre de 1992 con lanzamientos semanales a lo largo del año realizados todos los Miércoles. Los sondeos se realizan en la estación de Santa Cruz de Tenerife (36 m.s.n.m.), la cual dista 28 km. en horizontal del Observatorio Atmosférico de Izaña y han continuado de forma ininterrumpida hasta la actualidad. Además de estos ozonosondeos rutinarios, también tienen lugar campañas intensivas, en las cuales se realizan sondeos diarios de ozono (en algunos casos 2 en un mismo día) con el fin de abordar el estudio de determinados procesos de transporte que influyen de forma decisiva en la distribución vertical de ozono. La última campaña intensiva tuvo lugar durante los meses de Febrero, Marzo y Abril de 1999, en el marco del proyecto TRACAS (Transport of Chemical species Across the Subtropical tropopause). Durante esta campaña se realizaron 41 sondeos de ozono con el fin de estudiar los mecanismos de intercambio de ozono entre la troposfera y la estratosfera asociados al chorro subtropical. En el pasado, el Observatorio Atmosférico de Izaña ha participado en varios proyec-

tos internacionales de investigación, como los proyectos BOA (Budget of Ozone over the North Atlantic), THESEO (Third European Stratospheric Experiment on Ozone) y REVUE (Reconstruction of Vertical ozone distribution from Umkehr Estimates). Recientemente, en Julio de 2000, el programa de ozonosondeos del Observatorio Atmosférico de Izaña entra a formar parte de la red NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change). Esta prestigiosa red mundial de estaciones de alta calidad situadas en lugares remotos, está dedicada al estudio de la detección de posibles cambios en los estados físicos y químicos de la estratosfera. La inclusión del programa de ozonosondeos del Observatorio Atmosférico de Izaña en la NDSC supone el cumplimiento de unos estrictos controles de calidad y el seguimiento de una metodología en la realización de los ozonosondeos acordados por todos los responsables de las estaciones que forman parte de esta red internacional.

En el capítulo 2 se describirá el principio de medida del sensor de ozono, las instrucciones para la preparación de las soluciones, y los cálculos necesarios para la obtención de los valores finales de ozono. Finalmente, se describe la instrumentación necesaria para la realización de un ozonosondeo.

En el capítulo 3 se detalla el procedimiento completo para llevar a cabo un sondeo de ozono, siguiendo los métodos de trabajo acordados a nivel mundial.

En el capítulo 4 se describen los criterios para el control de calidad internacionalmente aceptados para la realización de ozonosondeos.

En el capítulo 5 se explica la estructura de los distintos ficheros de salida utilizados.

Finalmente, el capítulo 6 se dedica a la descripción de los centros mundiales de datos de ozonosondeos.

Capítulo 2

Principio de Medida e Instrumentación

2.1 Principio de medida del sensor de ozono

El sensor de ozono utilizado en una ozonosonda es una célula electroquímica consistente en dos electrodos de platino inmersos en 2 soluciones de Yoduro Potásico (KI) en diferentes concentraciones. Estas soluciones están contenidas en 2 cámaras separadas fabricadas de politetrafluoroetileno (resina de Teflón-PTFE). El electrolito en cada cámara contiene también Bromuro Potásico (KBr) y otros compuestos que funcionan como *buffer* cuya función es mantener el pH de las soluciones igual a 7, ya que la reacción química es fuertemente dependiente de este parámetro. Estos últimos compuestos se encuentran en idénticas concentraciones en ambas cámaras. Las cámaras están unidas por un puente de iones que sirve como vía de transporte de iones entre ambas cavidades y al mismo tiempo retarda la mezcla de las soluciones del ánodo y del cátodo, preservando de este modo las concentraciones de estas. Este tipo de sensor no requiere para su funcionamiento de una fuerza electromotriz externa. La fuerza electromotriz generada es debida a la diferencia entre las concentraciones de Yoduro Potásico entre ambas celdas. En la Figura 2.1 se muestra un esquema del sensor de ozono utilizado en las ozonosondas.

Cuando el ozono contenido en el aire ambiente fluye en la solución del cátodo se produce inmediatamente una reacción química de oxidación-reducción (Yodo-Yodo). La corriente que se genera (I) se puede medir cuando el circuito se cierra, siendo R la resistencia del circuito.

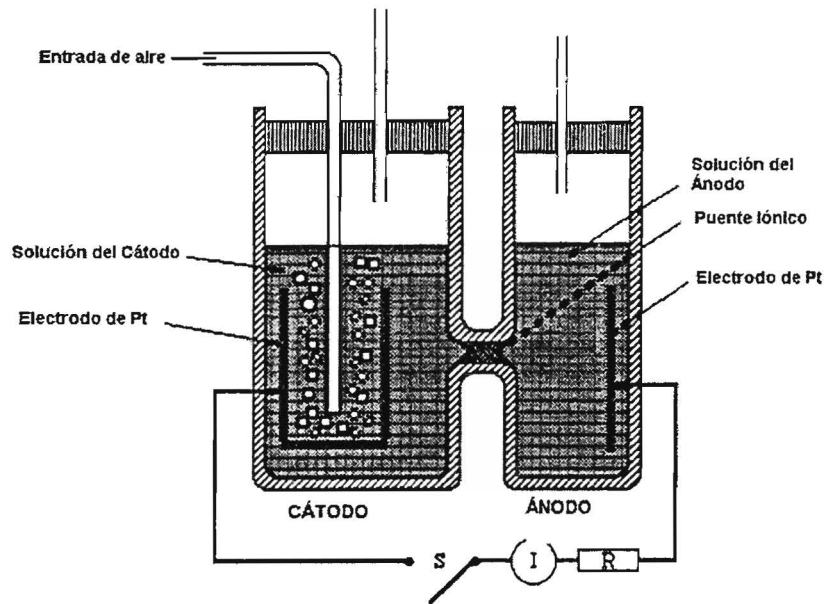


Figura 2.1: Esquema del sensor de ozono en una ozonosonda.

2.1.1 Preparación de las soluciones del cátodo y el ánodo

Los requisitos para la preparación de las soluciones del cátodo y el ánodo son muy estrictos, siendo imprescindible utilizar *agua bidestilada y compuestos químicos de alta calidad para análisis cuantitativo*. Las medidas de los compuestos químicos *se deben realizar con una balanza de precisión*, ya que la sensibilidad del sensor de ozono es muy dependiente de la concentración de las soluciones del cátodo y del ánodo.

Solución del Cátodo

Para obtener una solución del cátodo al 1% de KI, se procede de la siguiente manera:

A 500ml de agua bidestilada añadir:

- 10.00g de KI
- 25.00g de KBr
- 1.25g de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 5.00g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ o 3.73g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Agitar vigorosamente para disolver completamente estos compuestos y añadir agua bidestilada hasta conseguir 1000 ml de solución del cátodo.

Solución del Ánodo

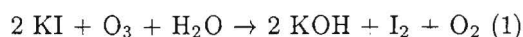
Para preparar solución del ánodo se añaden 90 g de KI a 50ml de solución del cátodo y se agita vigorosamente el recipiente hasta disolver el KI añadido. La solución estará saturada y por lo tanto no se podrá disolver todo el KI añadido.

Almacenamiento de las soluciones

Almacenar las soluciones del cátodo y el ánodo en la oscuridad y a una temperatura entre 20° y 25°. Las soluciones almacenadas en óptimas condiciones pueden durar de 4 a 6 meses aunque es el chequeo de los tiempos de respuesta del sensor durante las preparaciones previas al lanzamiento el que determina si las soluciones se encuentran en buen estado. Si se prevén tiempos de almacenamiento excesivamente largos, se debe contemplar la posibilidad de preparar cantidades de solución inferiores a las descritas anteriormente.

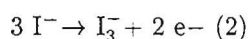
2.1.2 Reacciones químicas en el sensor de ozono

El esquema del sensor de ozono se muestra en la Figura 2.1. Los electrodos de platino son químicamente inertes y por lo tanto no intervienen en las reacciones químicas, las cuales se producen en la vecindad de estos. Tan pronto como el aire ambiente que contiene moléculas de O₃ fluye a través de la solución del cátodo la siguiente reacción química tiene lugar:

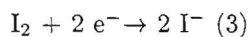


Como consecuencia de la anterior (1), la concentración de I₂ comienza a aumentar. Si el circuito se cierra, a la reacción anterior le siguen las siguientes:

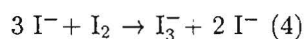
En la cámara del *ánodo*:



En la cámara del *cátodo*:



La reacción redox total es la siguiente:



Las reacciones en las cámaras del ánodo y el cátodo son diferentes debido a las diferentes concentraciones de Yodo en ambas celdas y la dirección de estas reacciones es la indicada debido al sentido de la *fuerza electromotriz (fem)* que se genera.

La *fem (E)* se puede calcular aproximadamente mediante la ecuación de Nernst:

$$E \approx -\frac{0.0591}{2} \log K \quad (5)$$

donde:

E = Fuerza electromotriz generada en la cámara (a 25 C°)

$$K = \frac{(a_1)_{I_3^-} (a_3)_{I^-}^2}{(a_4)_{I_2} (a_2)_{I^-}^3} \quad (6)$$

donde

a_1, a_2 son las actividades de I_3^- y I^- respectivamente, en la cámara del ánodo, y a_3, a_4 son las actividades de I^- y I_2 respectivamente, dentro de la cámara del cátodo.

En el equilibrio, $K \approx 1$.

En resumen, cuando el Ozono entra en la cámara del cátodo, tiene lugar la reacción (1) y la concentración de I_2 cambia, por lo que K no es igual a 1 y se genera una *fuerza electromotriz (fem)*.

Las reacciones (2) y (3) tienen lugar cambiando las concentraciones de I^- y I_3^- haciendo que K sea de nuevo 1.

Cada molécula de Ozono genera una corriente de 2 electrones.

Es importante tener en cuenta que estas reacciones ocurren no solo debido al Ozono, sino también a otros oxidantes, como el O_2 . Asimismo, las reacciones químicas descritas anteriormente, están afectadas por parámetros como las dimensiones del sensor, el flujo de aire, el volumen total de solución y la temperatura de esta, etc. Todos estos factores introducen un error intrínseco al sistema de medida.

2.1.3 Cálculo de los valores de Ozono

Como cada molécula de Ozono da lugar a una corriente de 2 electrones:

$$c = \frac{I t}{2 F 100} \quad (7)$$

donde:

c = concentración de ozono en mol l^{-1}

F = constante de Faraday $9.6487 \cdot 10^4 \text{C mol}^{-1}$

I = corriente medida en μA

t = tiempo requerido por la bomba para hacer fluir 100ml de aire (en segundos).

La presión parcial de ozono (P_3) es:

$$P_3 = c R T_{air} = \frac{R}{2 F 100} I T_{air} t \quad (8)$$

donde:

$$R = 8.31431 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \quad (9)$$

o lo que es lo mismo:

$$P_3 = 4.307 \cdot 10^{-4} (I - I_{BG}) T_p t C_{ef} C_{ref} \quad (10)$$

donde:

P_3 = presión parcial de ozono en mPa.

I = corriente medida debida al ozono en μA .

I_{BG} = corriente debida a otros oxidantes (principalmente O_2) en μA .

T_p = temperatura del interior de la bomba, en K.

t = tiempo que emplea la bomba en bombear 100 ml de aire, en segundos.

C_{ef} = factor de corrección debido a la disminución de rendimiento de la bomba por el cambio de la presión

C_{ref} = factor de corrección para corregir las medidas en el caso de disponer de un equipo de medida de ozono total (por ejemplo, un espectrofotómetro BREWER).

El tiempo t de bombeo de 100 ml de aire se mide durante los preparativos del día del lanzamiento, mediante un sensor de flujo de burbuja de jabón. La temperatura T_p es medida mediante el sensor de temperatura que se inserta en el agujero disponible en la bomba para este fin. Los modelos de sensor de ozono anteriores al SPC-6A no disponían de un orificio en la bomba de aire para la inserción del sensor de temperatura, por lo que la temperatura medida era la correspondiente al interior de la caja, la cual es solo un valor aproximado de la temperatura de la muestra de aire que entra en la cámara del cátodo. A partir de Septiembre de 1998 se utilizan sensores SPC-6A en todos los sondeos realizados.

La corriente de fondo I_{BG} es debida a otros oxidantes distintos al Ozono (principalmente O_2), por lo que debe ser función de la altura. Sin embargo, algunos grupos de investigación han cuestionado esta suposición considerando que esta corriente de fondo debe ser constante con la altura (ver Sección 4.1). Sin embargo, en las recomendaciones de operación de ozonosondeos dadas por el grupo de control de calidad del proyecto THESEO, se aconseja el método de corriente de fondo dependiente de la altura, con el fin de mantener la homogeneidad de la serie de ozonosondeos. Este es también el método utilizado en la estación de Ozonosondeos de Sta. Cruz de Tenerife desde el principio del programa de medidas.

Para el cálculo de la corriente I_{BG} se mide la corriente de fondo del sensor de ozono I_0 en los momentos anteriores al lanzamiento del ozonosondeo. Esta corriente es la obtenida cuando la muestra de aire se hace pasar previamente a través de un filtro de carbono activo para destruir completamente todo el ozono. Por lo tanto, la corriente medida en el laboratorio cuando se hace pasar una muestra de aire con ozono debe ser corregida por el valor de la corriente de fondo I_0 . La corriente de fondo I_{BG} es función de la presión atmosférica en cada nivel (P), de la corriente de fondo (I_0) y de la presión atmosférica en el laboratorio (P_0):

$$I_{BG} = \frac{(A_0 + A_1P + A_2P^2)}{(A_0 + A_1P_0 + A_2P_0^2)} I_0 \quad (11)$$

donde:

P = presión atmosférica en hPa.

$A_0 = 0.00122504$

$A_1 = 0.0001241115$

$A_2 = -2.687066 \cdot 10^{-8}$

La corrección por disminución de la eficiencia de la bomba debido al cambio en la presión atmosférica (C_{ef}) se realiza de acuerdo con los valores de corrección propuestos en 1986 por Komhyr y que son aplicados por el software de VAISALA por defecto (Komhyr, 1986). Aunque ha habido varios intentos de cambiar estos valores de corrección por otros más apropiados en base a experimentos de laboratorio llevados a cabo por distintos grupos, finalmente en la mayoría de las estaciones de ozonosondeos se ha optado por conservar los valores de 1986 con el fin de asegurar la homogeneidad de la serie de datos. Las estaciones que forman parte del proyecto THESEO utilizan sin exclusión estos valores de corrección. En la Tabla 2.1 se muestran los valores de C_{ef} en función de la presión atmosférica para un volumen de solución del cátodo de 3.0 cm^3 (los valores correspondientes a un volumen de 2.5 cm^3 son ligeramente diferentes).

Para la obtención de la corriente I debida al ozono, existen 5 canales conectados en paralelo a las medidas de los parámetros meteorológicos, con lo que se consigue una alta resolución. Durante la duración de un ciclo de medidas PTU (aprox. 1.5 s) se obtienen 5 medidas de la corriente eléctrica debida al ozono. Estas medidas son promediadas en un proceso posterior con el fin de reducir el ruido o eliminar las pérdidas de recepción por telemetría. Los canales adicionales de ozono no son escaneados en secuencia con los de PTU, ya que tienen su propio ciclo de medidas. La sincronización de los datos PTU y los de ozono se realiza por medio del receptor y procesador de señales recibidas, siguiendo el siguiente principio de operación:

1. Si han podido ser leídos varios valores de los canales durante un ciclo de lectura de PTU, se transmitirá la suma de todas las lecturas, indicando el número de

Presión Atmosférica (hPa)	C_{ef}
2.0	1.171
3.0	1.131
5.0	1.092
10.0	1.055
20.0	1.032
30.0	1.022
50.0	1.015
100.0	1.011
200.0	1.008
300.0	1.006
500.0	1.004
1000.0	1.000

Tabla 2.1: Tabla de valores de C_{ef} (Komhyr, 1986) para la corrección de la presión parcial de Ozono por pérdida de eficiencia de la bomba para un volumen de solución del cátodo de 3.0 cm³.

lecturas realizadas y sumadas, para que el equipo que procese esa señal sepa que tiene que dividir los valores por el número de muestras.

2. Si no se ha podido terminar una lectura completa, solo se transmitirá la señal de PTU.

Como norma general, diremos que se pueden leer unos cinco canales de la sonda de Ozono durante el ciclo típico de lectura de la señal PTU (de 1.2 s a 1.6 s).

Los datos brutos que se obtienen en un ciclo normal de medidas tienen el siguiente formato:

t	P	T	U	R	01	02	03	REF1	04	05	REF2	N
3950	1001.6	21.8	42	1533	2071	2071	2072	68	2072	2072	66	1
3951	1001.6	21.8	42	1533	2071	2071	2072	68	2072	2072	66	1
3954	1001.7	21.8	42									
3956	1001.6	21.8	43	1533	2071	2071	2072	68	2072	2072	66	1

donde:

t es el tiempo en segundos desde el comienzo del sondeo, definido este como el momento en que la presión comienza a disminuir.

P Presión atmosférica calibrada (hPa).

T Temperatura del aire calibrada (°C).

U Humedad relativa del aire calibrada (%).

R Lectura de la temperatura del interior de la bomba (sin calibrar). *Canal 1*

01 Corriente debida al ozono (sin calibrar). *Canal 2*

02 Corriente debida al ozono (sin calibrar). *Canal 3*

03 Corriente debida al ozono (sin calibrar). *Canal 4*

REF1 Valor de la tarjeta de interface. *Canal 5*

04 Corriente debida al ozono (sin calibrar). *Canal 6*

05 Corriente debida al ozono (sin calibrar). *Canal 7*

REF2 Valor de la tarjeta de interface. *Canal 8*

N número de ciclos recibidos.

Hay que tener en cuenta que si $N > 1$, se deberá dividir cada uno de los valores por N; y en el caso de que $REF1 < 500$, se debe sumar 4096 al valor de REF1.

El cálculo de la temperatura del interior de la bomba se calcula a partir del valor de R de la siguiente manera:

La resistencia del termistor (T_R) viene dada por la expresión:

$$T_R = \frac{R1 * R2 * (U22 - UT)}{R2 * (U11 + UT) + UT * R1} \quad (12)$$

donde:

$$UT = \frac{U22 * (R - REF2)}{REF1 - REF2} \quad (13)$$

$$U22 = U2 + (K0 + K1 * T_k + K2 * T_k^2) \quad (14)$$

$$U11 = U1 + (K0 + K1 * T_k + K2 * T_k^2) \quad (15)$$

siendo T_k el valor de la temperatura del interior de la bomba y $R1$, $R2(\Omega)$, $U1$, $U2$, $K0$, $K1$, $K2$ ($V/^\circ C$), valores específicos para cada interface que aparecen impresos en la misma.

La temperatura, T_k se puede calcular a partir de T_R realizando una interpolación utilizando la siguiente tabla:

$T_k(^{\circ}\text{C})$	$T_R(\Omega)$
-10	55330
0	32650
10	19900
20	12490
25	10000
30	8057
40	5327
50	3603
60	2488
70	1752

Como los valores de T_k son requeridos para el cálculo de T_R se deberá llevar a cabo un proceso iterativo para el cálculo del valor de la temperatura del interior de la bomba (T_k).

Finalmente, la expresión para el cálculo de la corriente de ozono (I_i) para cada uno de los 5 canales es la siguiente:

$$I_i = \frac{U22}{R3} \frac{O_i - REF2}{REF1 - REF2} \quad (16)$$

$$i = 1, 2, 3, 4, 5$$

donde:

U22 fue calculado en el paso anterior, siendo dependiente de T_k

R3 es un valor de una resistencia que es específico de cada interface concreta y que aparece impreso en esta.

O_i es la corriente sin calibrar debida al ozono correspondiente al canal i .

REF1 y REF2 son valores de la tarjeta de interface (Canales 5 y 8).

2.2 Instrumentación

2.2.1 Radiosonda RS80-15GE

Desde Octubre de 1997, cuando el sistema de navegación para la localización de la sonda y el cálculo del viento basado en la red de estaciones Omega fue clausurado, se utilizan radiosondas RS80-15GE, que incluyen un sistema GPS para el cálculo de la velocidad y dirección del viento.

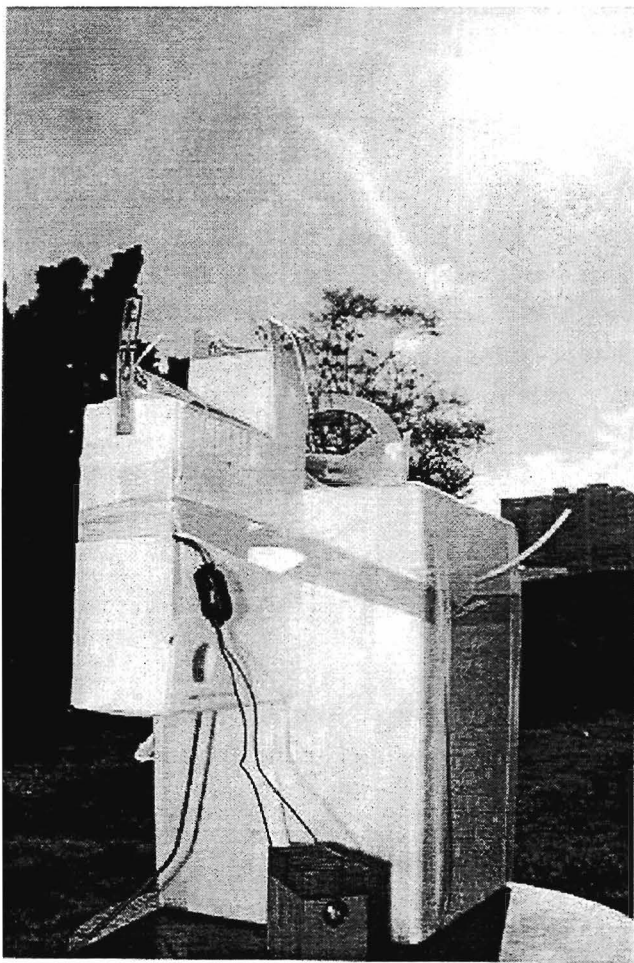


Figura 2.2: Ozonsonda momentos antes del lanzamiento.

La función de la radiosonda es la medida de los diferentes parámetros meteorológicos (presión, temperatura y humedad relativa) y el envío de esta información a un equipo receptor en tierra junto con los parámetros necesarios para el cálculo de la concentración de ozono, y la posición de la sonda.

Las radiosondas utilizadas para los sondeos de ozono incluyen una serie de modificaciones respecto a las utilizadas para los sondeos ordinarios PTU, como son la conexión para la interface (tipo MOLEX) y una batería de mayor tamaño.

Los sensores tienen las siguientes características:

Presión

- Tipo de sensor: Aneroide Capacitivo
- Escala de medición: 1060 a 3mb
- Resolución: 0.1mb
- Precisión (σ): ± 0.5 mb

Temperatura

- Tipo de sensor: Gota Capacitiva
- Escala de medición: +60 a -90°C
- Resolución: 0.1°C
- Precisión (σ): ± 0.2 °C
- Retraso (6m/s a 1000mb): 2.3s

Humedad

- Tipo de sensor: HUMICAP^R Capacitador de película fina
- Escala de medición: 0 a 100%
- Resolución: 1%
- Retraso (6m/s a 1000mb): 1s
- Precisión (σ): ± 2 %

Viento

La radiosonda incluye un sistema de posicionamiento para la determinación de la velocidad y dirección del viento basado en el sistema GPS (Global Positioning System). El sistema GPS es un sistema mundial de navegación mantenido por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, consistente en una constelación de 24 satélites de órbita baja que envían continuamente señales de navegación para uso civil y militar. El sistema de cálculo del viento está basado en el desplazamiento Doppler, detectado por la radiosonda, de las frecuencias que proceden de los satélites GPS. Estos satélites emiten en la frecuencia 1575 MHz y el desplazamiento Doppler detectado respecto a esta portadora es debido al movimiento relativo de la radiosonda respecto a los satélites. Este desplazamiento, del orden de ± 5 KHz, es enviado por la sonda al equipo receptor en tierra para el cálculo posterior del viento. Se requiere la recepción de la señal de al menos 4 satélites GPS para el cálculo de la dirección y velocidad del viento. Este sistema proporciona información muy precisa pero sufre todavía algunos defectos de desarrollo que dan lugar a fallos esporádicos en la recepción de los satélites GPS. Según VAISALA, estos fallos se deben principalmente al efecto de apantallamiento del globo sobre la antena del receptor GPS de la radiosonda, lo cual provoca fallos en la recepción de la señal de los satélites. Para evitar lagunas en las medidas del viento, se debe procurar que el hilo de sujeción de la ozonosonda al globo se desenrolle completamente en el momento del lanzamiento. Sin embargo, también han tenido lugar fallos en la recepción del viento aún cuando el hilo de sujeción se ha desenrollado totalmente.

La precisión en las mediciones de los parámetros meteorológicos no afectan a las medidas de presión parcial de ozono. Sin embargo, si se desean utilizar otro tipo de unidades para determinar la concentración de ozono, serán necesarias estas medidas y por lo tanto se debe tener en cuenta que la precisión de estas afectará a la de los valores de ozono.

La Figura 2.3 muestra el esquema de la radiosonda. Los diferentes sensores son seleccionados sucesivamente enviando su salida al circuito de medida.

- 1 Selector electrónico de sensor
- 2 Oscilador RC
- 3 Receptor VLF (recibe información de las estaciones Omega, no se utiliza actualmente)
- 4 Antena VLF (no se utiliza)
- 5 Transmisor FM (403MHz)
- 6 Antena del transmisor.
- 7 Modulo GPS111 (utilizado actualmente para el cálculo del viento).
- S sensor de temperatura del sensor de presión.

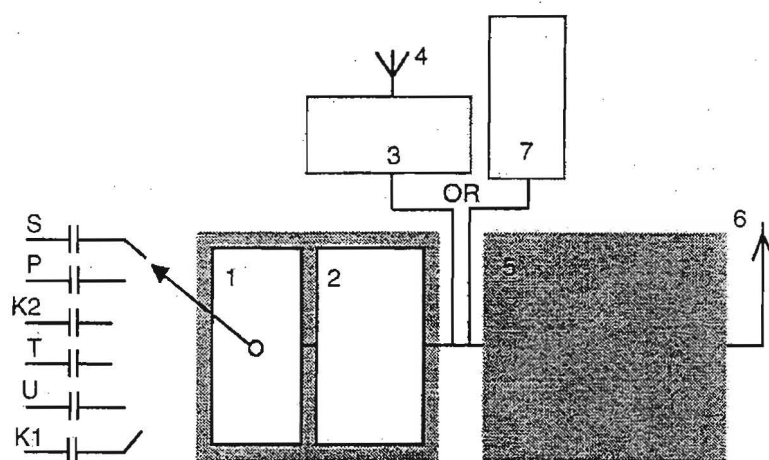


Figura 2.3: Esquema de la radiosonda RS80-15GE.

P sensor de presión.

K2 condensador de referencia 2

T sensor de temperatura

U sensor de humedad

K1 condensador de referencia 1

Los sensores capacitivos actúan de forma que los cambios en la capacidad debido a la variación de los parámetros medidos inducen cambios en la frecuencia del oscilador RC (2) que modulan la portadora de 403 MHz.

La duración de una secuencia de medida es de 1.2 a 1.6 s. Ver Figura 2.4. Una secuencia completa consiste en la medida de P, T y U así como de la medida de la temperatura del sensor de presión, S. Los condensadores de referencia 1 y 2 producen frecuencias constantes K1 y K2. Las señales GPS para el cálculo del viento son detectadas por el módulo GPS111 y los datos son posteriormente modulados en la portadora de 403 MHz.

En la Figura 2.5 se muestran los elementos principales que se requieren para realizar un sondeo PTU.

2.2.2 Ozonosonda SPC-6A

En la Figura 2.6 se muestra la ozonosonda SPC modelo 6A en la que se aprecia la bomba de aire, el sensor de ozono fabricado con resina de teflón y el sensor de temperatura que se inserta en el interior de la bomba. Antes de Agosto de 1998, se utilizaban ozonosondas SPC modelo 5A, las cuales eran muy similares a las utilizadas actualmente, salvo en el método de medida de la temperatura, ya que no disponían

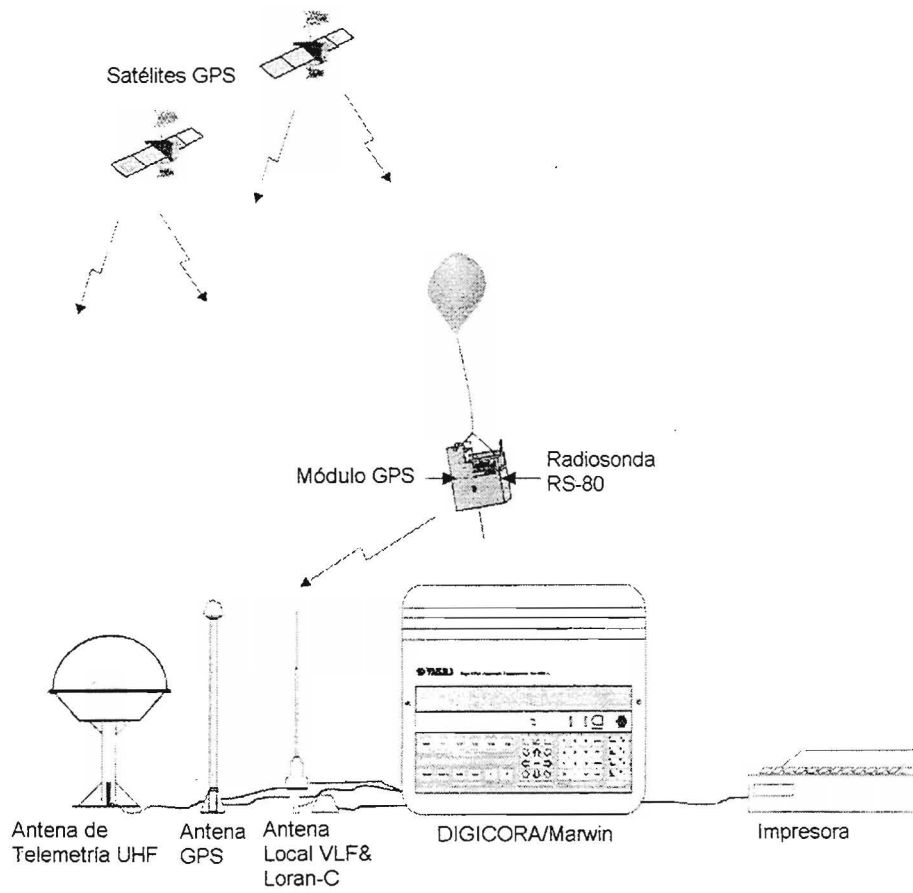


Figura 2.5: Elementos principales requeridos para la realización de un sondeo PTU.

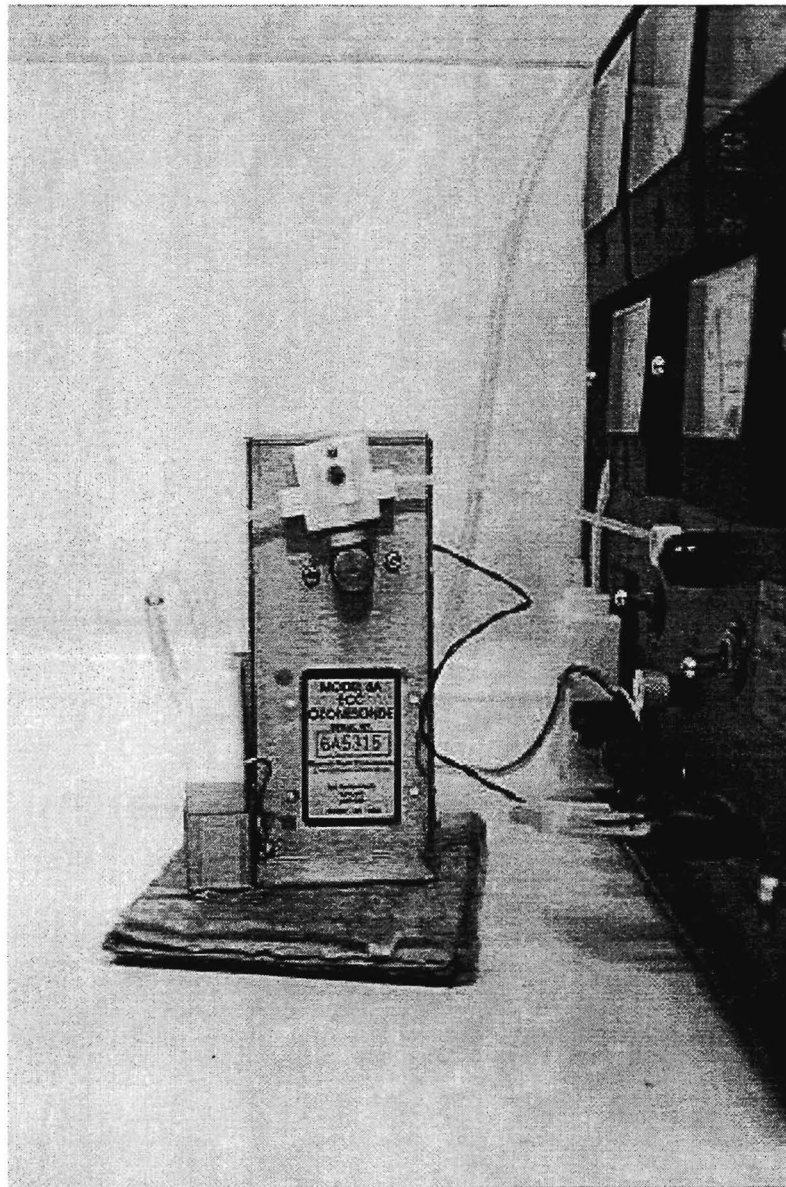


Figura 2.6: Ozonosonda SPC modelo 6A conectada a la unidad TSC-1 durante la medida del flujo de la bomba.

velocidad del viento y las 5 lecturas de corriente de los canales de ozono, junto con otros parámetros como el relacionado con la temperatura de la bomba. Este equipo está conectado a un PC via RS-232, y el programa METGRAPH 5.21, instalado en este, permite la adquisición y archivo de los datos PTU y Ozono. El receptor DigiCORA MW11 puede adaptarse fácilmente para recibir datos de sensores especiales junto a los de PTU y de GPS. Sólo es necesario instalar una tarjeta-filtro (URF-16) y activar la opción correspondiente en el programa SYSGEN.

2.2.5 Unidad TSC-1

La unidad TSC-1 de SPC es utilizada en el proceso de preparación de la ozonosonda en los pasos previos al lanzamiento. Se trata de un equipo que permite realizar un chequeo completo del funcionamiento de la ozonosonda para comprobar que esta funciona correctamente antes de iniciar el sondeo. También es imprescindible para la medida de la corriente de fondo necesaria para la corrección de los datos de la influencia de otros oxidantes (como el O_2) y es usada para la preparación de las ozonosondas de 3 a 7 días antes del lanzamiento.

Consta de los siguientes elementos:

- Fuente interna de ozono consistente en una lámpara de UV que emite en una longitud de onda capaz de disociar moléculas de O_2 y provocar por lo tanto la formación de O_3 . Se pueden generar altas concentraciones de O_3 para acondicionar la bomba de la sonda y el sensor de O_3 seco. También se pueden generar bajas concentraciones de O_3 para chequear el comportamiento de la sonda y acondicionar sensores recién cargados con solución.
- Un scrubber o filtro de carbono activo para destruir ozono y poder medir la corriente de fondo de la ozonosonda.
- Un sensor "calibrador" de ozono de las mismas características que el de la ozonosonda, necesario para el chequeo del comportamiento del sensor.
- Microamperímetros y Voltímetros para la medida de la señal de salida de los sensores de ozono y el voltaje de alimentación de los motores de las bombas (de la ozonosonda y el calibrador).

2.2.6 Medidor de flujo

El medidor de flujo utilizado para la medida del caudal de aire generado por la bomba, se basa en la medida del tiempo que requiere una burbuja de solución jabonosa en recorrer un volumen de 100 ml de aire.

Se compone de los siguientes accesorios:

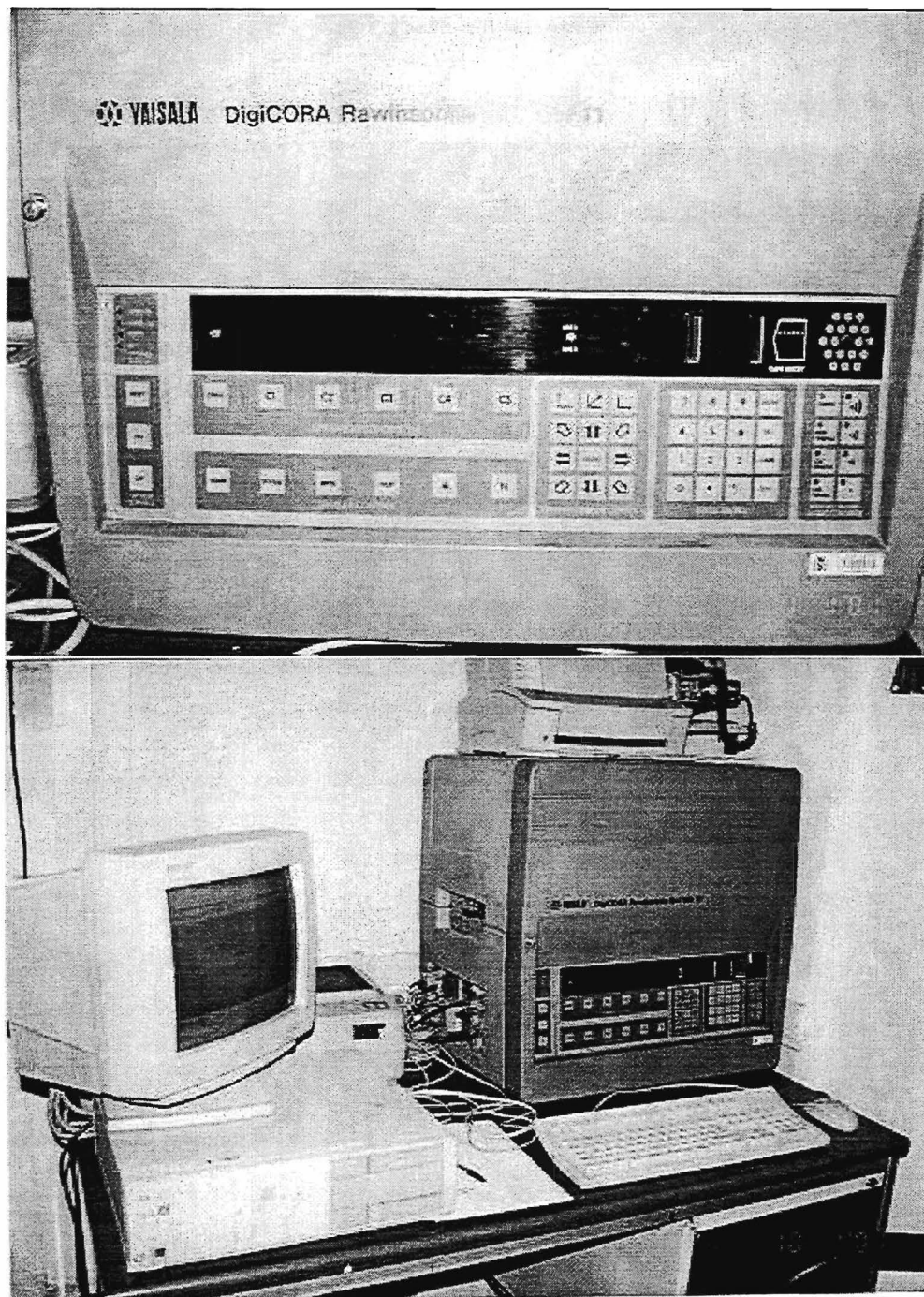


Figura 2.7: Equipo de recepción DigiCORA MW11 y PC utilizado para la adquisición de los datos del sondeo.

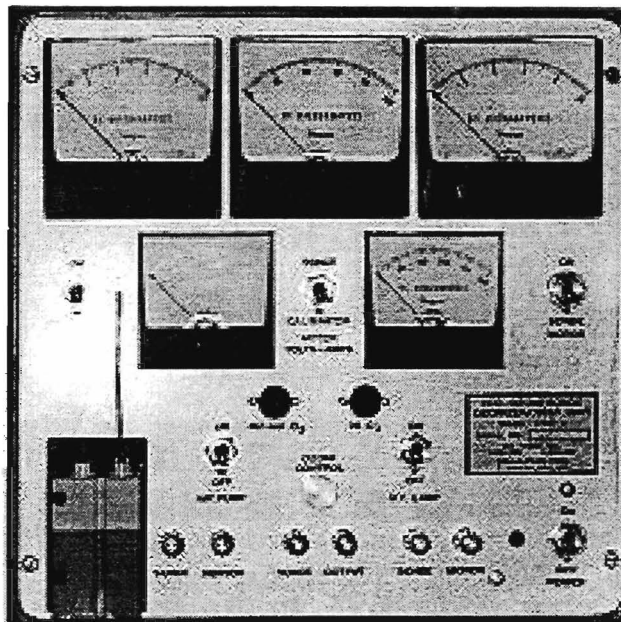


Figura 2.8: Unidad TSC-1 necesaria para acondicionar las ozonosondas y comprobar el correcto funcionamiento de estas antes del lanzamiento.

- Bureta graduada con tubo de entrada, con un volumen de 100ml.
- Bulbo de goma, capacidad aprox. 50-80 ml.
- Soporte de bureta con tuercas y pinzas.
- Juego de tubos conectores blandos de silicona o vinilo.
- Cronómetro de precisión. (Al menos 0.1 s.).
- Solución jabonosa que resulta de añadir una cucharadita de glicerina y otra de detergente a un litro de agua destilada.

La medida del flujo se realiza de la siguiente manera:

1. Realizar el montaje como muestra la Figura 2.9.
2. Llenar el bulbo de goma con solución jabonosa hasta la parte baja del tubo de llenado de la bureta.
3. Conectar el tubo de entrada de aire a la salida del cátodo del sensor.
4. Con el motor de la bomba en marcha, presionar el bulbo hasta que se formen burbujas y asciendan por el tubo. Repetir el proceso hasta que lleguen al final de la bureta sin romperse.

5. Formar una nueva burbuja y medir con el cronómetro el tiempo necesario para que ésta se desplace 100 ml.

Se realizan varias medidas de dicho tiempo con un cronómetro y se promedian los valores obtenidos para obtener el valor del flujo que es necesario para el cálculo de la presión parcial de ozono (Ver Sección 2.1.3). La Figura 2.9 muestra el momento de la medida del flujo de aire de la bomba durante la preparación de la ozonosonda en el día del lanzamiento.

2.2.7 Balanza de precisión

La medida de las cantidades de los compuestos químicos necesarios para la preparación de la solución del Cátodo requiere de una balanza de alta precisión, ya que como se indicó en la Sección 2.1.1, la sensibilidad del sensor de ozono es muy dependiente de la concentración de las soluciones del cátodo. En la Figura 2.10 se muestra la balanza de precisión utilizada en nuestra estación de ozonosondeos.

2.2.8 Material de laboratorio

Son necesarios botellas, recipientes y algunos utensilios para preparar y almacenar las soluciones, así como para la limpieza de sensores, bombas etc. Pueden conseguirse fácilmente en cualquier distribuidor de este tipo de material.

- Botellas con tapón de cristal oscuro 250 ml. De capacidad.
- Vasos de precipitado de cristal Pirex Vol 250ml.
- Matraces volumétricos de cristal Pirex con tapón Vol 250 ml.
- Embudos en cristal Pirex o polipropileno (diámetro de boca 80 mm.)
- Cubetas de cristal o polipropileno para pesar polvos.
- Jeringas desechables con agujas Vol 5 ml.
- Espátulas de polipropileno o acero.

2.2.9 Cámara de aire limpio para la preparación de soluciones

La preparación de las soluciones requiere de un ambiente extremadamente limpio, libre de cualquier tipo de contaminación. El momento de la carga de la ozonosonda es especialmente delicado, por lo que para evitar la contaminación de las soluciones por partículas en suspensión se utiliza una cámara de aire limpio diseñada y fabricada en el Observatorio Atmosférico de Izaña. Esta cámara consiste en una cavidad amplia,

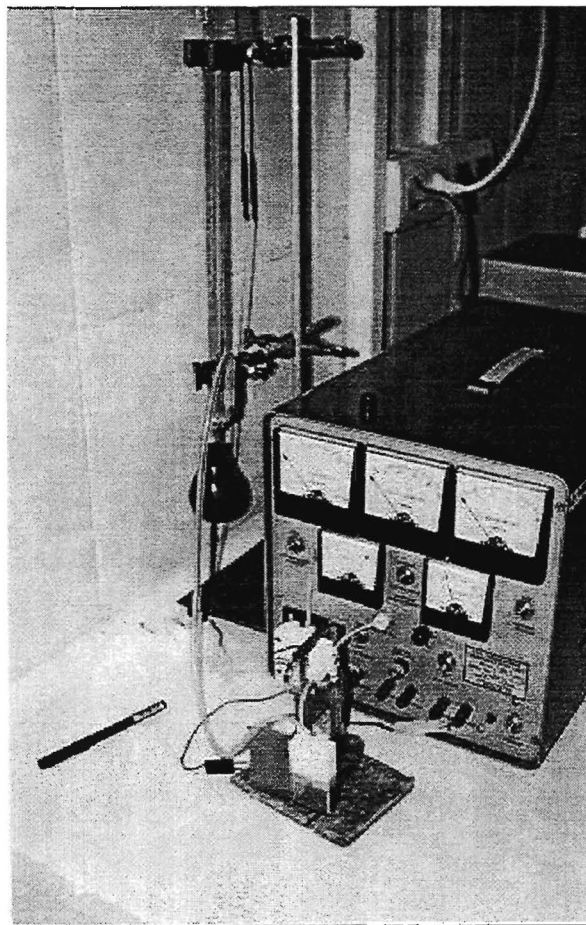
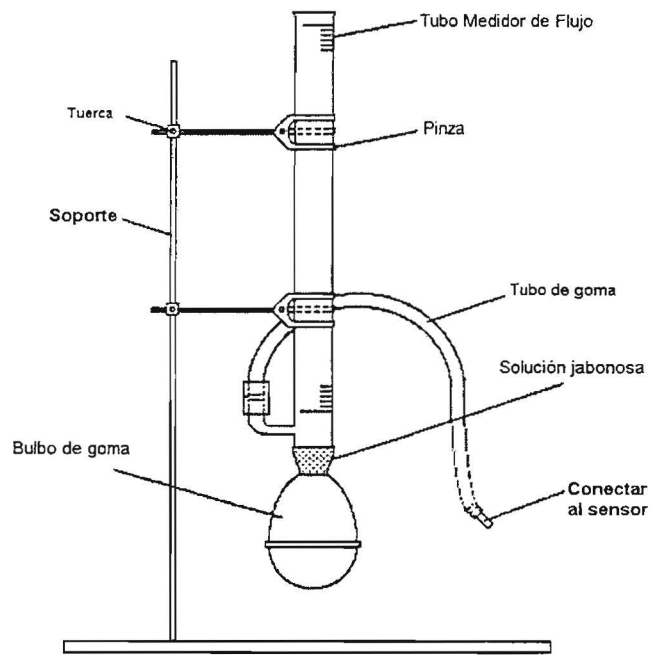


Figura 2.9: Esquema del medidor del flujo y configuración del sistema durante las medidas del caudal de aire generado por la bomba de la ozonosonda.

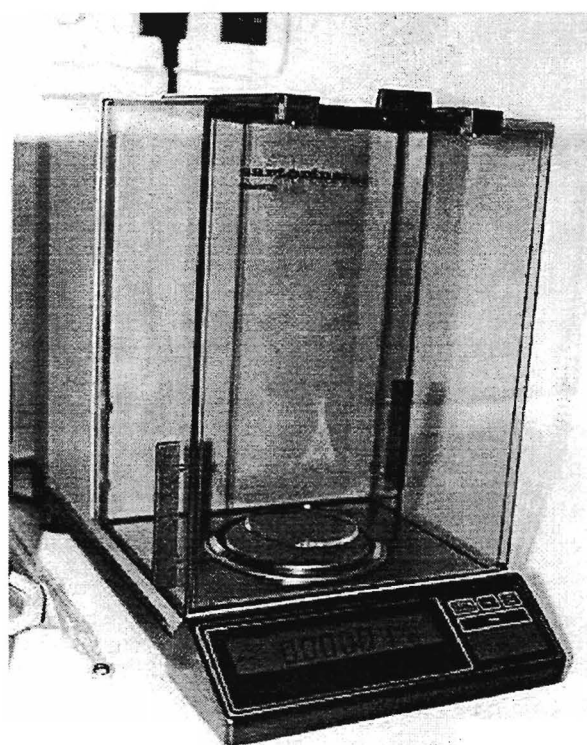


Figura 2.10: Balanza de precisión utilizada para la medida de las cantidades de los compuestos químicos necesarios para la preparación de la solución del cátodo.

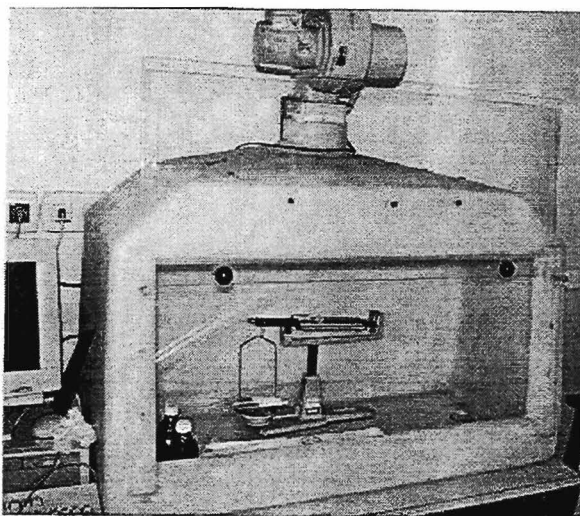


Figura 2.11: Cámara de aire limpio utilizada para la preparación de las soluciones.

que permite la manipulación y carga de la ozonosonda en su interior, provista de una potente bomba de aire en la parte superior que hace pasar un flujo de aire a través de un filtro de partículas, consiguiéndose de esta manera que el aire en el interior esté libre de partículas mientras dura el proceso de carga de la ozonosonda con las soluciones. En la Figura 2.11 se muestra dicha cámara de aire limpio, observándose en su interior la balanza utilizada para la preparación de la solución saturada de KI del ánodo.

Capítulo 3

Realización de un Ozonosondeo

La realización con éxito de un ozonosondeo es la culminación de un trabajo que comienza varios días antes del lanzamiento. El proceso completo consiste en numerosos pasos cuyo seguimiento requiere de gran experiencia, habilidad y cuidado para que finalmente los resultados sean satisfactorios. En algunas etapas del proceso los errores pueden ser decisivos ya que pueden provocar el fracaso absoluto del ozonosondeo. Por lo tanto, es muy importante conocer en detalle las distintas fases del proceso y cobrar cierta práctica sobre todo en los pasos que requieren algún entrenamiento por parte del operador, como pueden ser la carga de soluciones o la medida del flujo de la bomba, por citar solo dos ejemplos. En nuestra estación de ozonosondeos de Sta. Cruz de Tenerife contamos con el experto en ozonosondeos Sergio Afonso, el cual ha sido responsable de la preparación y lanzamiento de los sondeos de ozono desde Febrero de 1994. Su gran experiencia y demostrada profesionalidad garantizan un porcentaje de éxito muy elevado en los lanzamientos.

3.1 Primera preparación: 3-7 días antes del lanzamiento

Antes de utilizar una ozonosonda nueva, es necesario acondicionarla y comprobar su funcionamiento. A este proceso se denomina preparación. La primera preparación se realiza entre una semana y tres días antes del lanzamiento. Consiste en introducir aire con alta concentración de ozono en la bomba y el sensor sin soluciones con el fin de que el ozono reaccione con los posibles oxidantes que éstos elementos puedan contener. También se cargarán en esta fase el ánodo y el cátodo con sus correspondientes soluciones, pues para que el sensor funcione correctamente, es imprescindible que el flujo de electrones en el puente de iones sea "ágil" y, para ello, debe estar previamente

húmedo. Además, en esta etapa se comprobará el consumo del motor de la bomba y la eficiencia de la misma. Por último, se realizará un pequeño test de funcionamiento.

A continuación, se describe en detalle este proceso:

1. Extraer la ozonosonda de su caja de poliestireno y de la bolsa de plástico, extender completamente los cables del sensor y del motor y conectar el tubo de teflón de entrada de muestra a la aspiración de la bomba.
2. Anotar los datos de calibración impresos en la etiqueta de la ozonosonda en la hoja de checklist.
3. Conectar los cables del motor y sensor a los bornes del TSC-1 correspondientes y el tubo de entrada de aire al puerto de alto ozono .
4. Encender el interruptor principal (POWER), y el del motor de la bomba. Posteriormente encender la lámpara ultravioleta y extraer completamente el tubo de control para esta actúe con la máxima intensidad y genere una alta concentración de ozono. El interruptor de la bomba principal debe permanecer apagado. Mantener todo el sistema en este estado durante 30 minutos.
5. Transcurridos los 10 primeros minutos de la etapa anterior, comprobar el consumo del motor (debe ser menor de 115 mA) y las presiones de entrada y salida de la bomba.
6. Finalizado el período de “ozonización”, apagar la lámpara de UV, introducir completamente el tubo de control y parar el motor de la bomba.
7. Cambiar el tubo de entrada al puerto de CERO/BAJO ozono, encender el interruptor de la bomba principal y activar la bomba de la sonda, durante al menos 5 minutos para eliminar el exceso de ozono del sensor y la bomba.
8. Cargar el cátodo con 3 ml. de solución, utilizando una jeringa nueva.
9. Cargar el ánodo con 1.5 ml. de solución, utilizando otra jeringa nueva.
10. Arrancar la bomba. El microamperímetro registrará un pico de intensidad.
11. Transcurridos 5 minutos, la lectura deberá estar por debajo de $5 \mu\text{A}$. En caso contrario, desenchufar el sensor de la unidad TSC-1 y unir los dos cables (blanco y azul) durante 1 ó 2 horas.
12. Si la respuesta es normal ($<5 \mu\text{A}$), encender la lámpara y sacar parcialmente el tubo de control hasta que la lectura se estabilice en $5 \mu\text{A}$. La bomba principal debe estar en funcionamiento.

13. Apagar la lámpara y meter el tubo de control. La lectura debe empezar a caer lentamente. Mantener el flujo de aire sin ozono a través de la ozonosonda durante al menos 15 minutos.
14. Parar el motor de la ozonosonda y la bomba principal. Desconectar la ozonosonda de la unidad TSC-1 y volver a colocar los tapones de goma que protegen a los puertos de entrada para evitar la entrada de polvo en el interior.
15. Unir los cables del sensor (blanco y azul) con cinta adhesiva.
16. Volver a introducir la sonda en su caja y almacenarla en un lugar limpio y oscuro a una temperatura entre 20 y 25°C.

3.2 Segunda preparación: el día del lanzamiento

Esta preparación se realiza el mismo día y en las horas previas al lanzamiento. En esta fase, se acondicionará sólo la bomba con alto ozono, las soluciones serán renovadas y se comparará el funcionamiento del sensor con el sensor del calibrador de la unidad TSC-1. Asimismo se medirá el caudal que desplaza la bomba y se hará una primera valoración de la corriente de fondo.

A continuación se describen en detalle estos pasos:

1. Conectar el tubo de entrada al puerto CERO/BAJO ozono del TSC-1 y los cables del motor y del sensor en sus correspondientes bornes.
2. Encender el interruptor POWER, la bomba principal y la bomba de la sonda. Mantener el sistema en este estado durante 5 minutos.
3. Comprobar presiones de la bomba y consumo del motor. Anotar en el checklist.
4. Parar el motor y la bomba principal.
5. Cambiar el tubo de entrada al puerto de ALTO ozono.
6. *Desconectar el tubo que une la bomba con el cátodo* para evitar que el aire con alta concentración de ozono penetre en el sensor cargado.
7. Arrancar el motor de nuevo, encender la lámpara UV y sacar completamente el tubo de control. Mantener el sistema en este estado durante 10-20 minutos.
8. Apagar la lámpara de UV, meter el tubo y parar la bomba.
9. Encender la bomba principal.

10. Cambiar el tubo de entrada al puerto CERO/BAJO ozono y conectar el motor de la ozonosonda al menos durante 5 minutos.
11. Durante ese tiempo, desconectar los cables del sensor y separarlo de la carcasa de aluminio.
12. Quitar los tapones del ánodo y cátodo. Para ello, será necesario utilizar la hoja de un cuchillo o similar. Hay que prestar especial cuidado para no dañarlos.
13. Vaciar las soluciones volcando el sensor. Escurrirlo tanto como sea posible. La solución del ánodo no debe entrar en el cátodo y viceversa.
14. Colocar de nuevo los tapones teniendo en cuenta que en el fondo del cátodo hay un pivote que debe introducirse dentro del tubo del tapón.
15. Utilizar una jeringa con catéter para vaciar el cátodo del sensor del calibrador. Si fuera necesario cambiar también la solución del ánodo, habría que utilizar una jeringa diferente.
16. Con otro juego de jeringas nuevas, cargar los sensores: Primero el cátodo de la sonda (3 ml.). Posteriormente el cátodo del calibrador (3 ml.). Luego el ánodo de la sonda (1.5 ml.). Por último, si fuera necesario, el ánodo del calibrador (1.5 ml.)
17. Hacer fluir aire sin ozono por los sensores de la sonda y del calibrador durante 10 minutos. Transcurrido este tiempo, los microamperímetros deberían indicar intensidades inferiores a $0.2 \mu\text{A}$. (corriente de fondo). En caso contrario, renovar las soluciones y esperar otros 10 minutos.
18. Anotar los valores de corriente de fondo en la hoja de checklist.
19. Comenzar a acondicionar las soluciones de los sensores con bajo ozono. Para ello, encender la lámpara UV y extraer parcialmente el tubo de control hasta que las medidas de los microamperímetros se estabilicen en aproximadamente $5 \mu\text{A}$ y mantener el sistema en este estado durante 10 minutos. Si, por error, en algún momento se superaran los $8 \mu\text{A}$, las soluciones deben ser renovadas.
20. Mientras tanto, se medirá el caudal de ambas bombas usando el medidor de flujo de aire y el cronómetro siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 2.2.6. También se observarán las medidas de temperatura, presión y humedad relativa del laboratorio. Todos estos datos deben ser anotados en el checklist.
21. Transcurrido el intervalo de acondicionamiento con BAJO ozono, anotar el valor de las corrientes de salida (que deben ser próximos a $5 \mu\text{A}$). Ahora se podrá

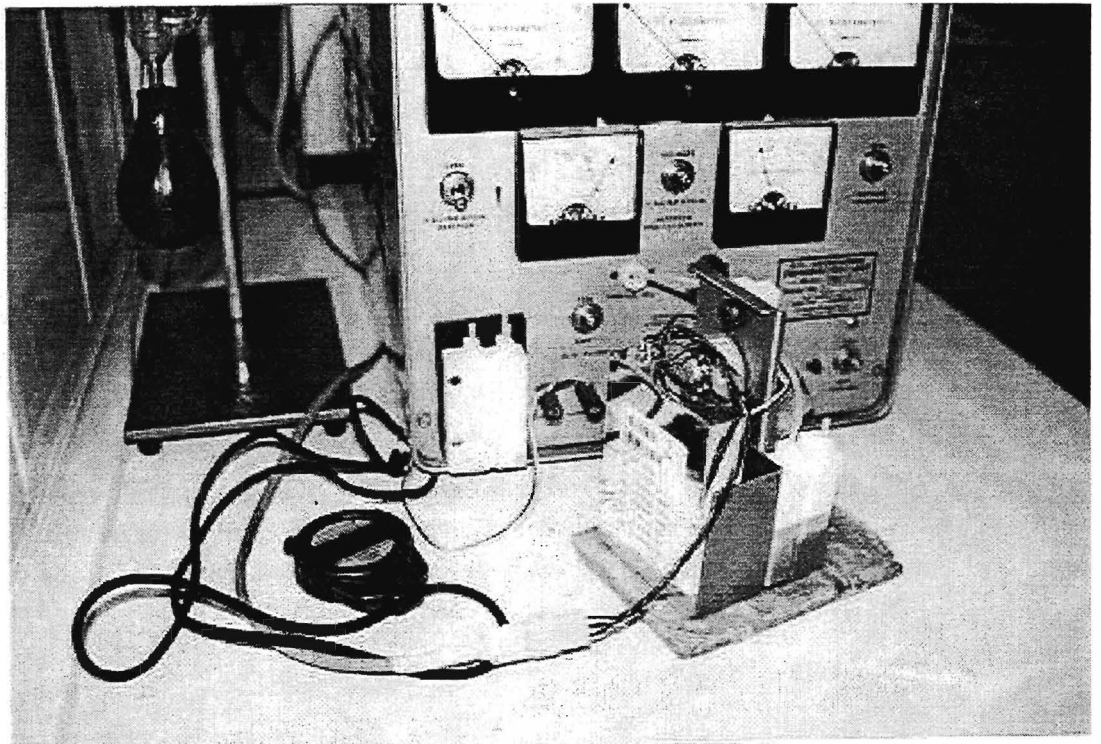


Figura 3.1: El comportamiento de la ozonosonda es comparado con el del sensor incorporado en la unidad TSC-1 para valores bajos de ozono ($\approx 5 \mu\text{A}$).

realizar la calibración utilizando la siguiente expresión:

$$(i_c - i_{bc})t_c \cong (i_s - i_{bs})t_s$$

donde:

i_c = corriente de salida del calibrador. ($\mu A.$)

i_{bc} = corriente de fondo del calibrador. ($\mu A.$)

t_c = flujo de la bomba del calibrador (seg.)

i_s = corriente de salida de la sonda. ($\mu A.$)

i_{bs} = corriente de fondo de la sonda. ($\mu A.$)

t_s = flujo de la bomba de la sonda. (seg.)

La discrepancia entre ambos productos no debe ser mayor de un 5%. En caso contrario, serían necesarias acciones correctivas.

22. Apagar la lámpara, introducir el tubo de control y poner en marcha el cronómetro. Anotar los valores de las corrientes de salida transcurridos 1, 2, 3 y 10 minutos.

23. Comprobar que los valores de las corrientes correspondientes al primer minuto (i_{1c} y i_{1s}) cumplen las siguientes condiciones:

$$i_{1c} < 0.2(i_c - i_{bc})$$

y

$$i_{1s} < 0.2(i_s - i_{bs})$$

Esto indica una respuesta satisfactoria de los sensores a los cambios de ozono.

24. Si, transcurridos los 10 minutos, la corriente de fondo es aceptable ($< 0.2 \mu A.$), la ozonosonda estará lista para ser lanzada.

3.3 El Sondeo.

3.3.1 Comprobaciones previas, embalaje y conexionado de la bomba.

Aproximadamente 30 minutos antes del lanzamiento:

- Encender el DigiCORA y esperar unos minutos hasta que haga el auto-check.
- Aceptar, si procede, la fecha y hora del sistema, esperar unos minutos y cargar el programa SOND.

- Colocar el radiosonda en la cámara de aire limpio y conectar la interface (usando el cable de extensión para evitar radiofrecuencias), activarlo utilizando una fuente de alimentación y arrancar el programa Metgraph en el PC.
- Pasar la cinta perforada de los coeficientes de calibración del radiosonda por el lector óptico del DigiCora MW-11 y esperar a que estabilicen los valores. Posteriormente, realizar el Ground-check.
- Realizar el test de viento, en el caso de radiosondas GPS.
- Introducir los parámetros solicitados por el programa Metgraph y comprobar el funcionamiento de la interface. (T-5)
- Conectar la interface a los cables del sensor, ubicarla en su posición dentro de la ozonosonda y colocar el termistor en el agujero que hay debajo del tubo de salida de la bomba.
- Hacer correr aire sin ozono durante 10 minutos y anotar la corriente de fondo que aparece en la ventana de monitoreo del Metgraph.
- Adosar el radiosonda a la caja de poliestireno por la cara marcada con una muesca, para ello podemos utilizar cinta adhesiva reforzada con fibra de vidrio, cuidando que los sensores de temperatura y humedad queden por encima del nivel de la tapa de la caja.
- Introducir el conjunto ozonosonda-interface en el interior de la caja. El tubo de entrada de aire debe ir al lado contrario del compartimento de la batería. Fijarlo a la caja con cinta adhesiva y conectar directamente la interface al radiosonda.
- Poner la tapa de forma que ajuste perfectamente sobre el borde y rodear la caja con cuatro tiras de cinta reforzada de manera que no pueda abrirse durante el vuelo.
- Atar el extremo de hilo del devanador a los tirantes de la caja de la ozonosonda y a los del radiosonda.
- Activar las baterías del radiosonda y de la bomba (15 minutos antes de lanzar, como máximo). Las baterías del RS80-15GE son más grandes que las normales por tanto hay que cuidar que las partes metálicas del radiosonda y los bornes de la batería no entren en contacto, también el radiosonda debe llevar un orificio en el compartimento de la batería para facilitar la salida de los gases. La de la bomba la meteremos en su bolsa de plástico a la que previamente le habremos practicado un agujero. La etiqueta de la pila nos indica la posición correcta en que debe quedar ubicada.

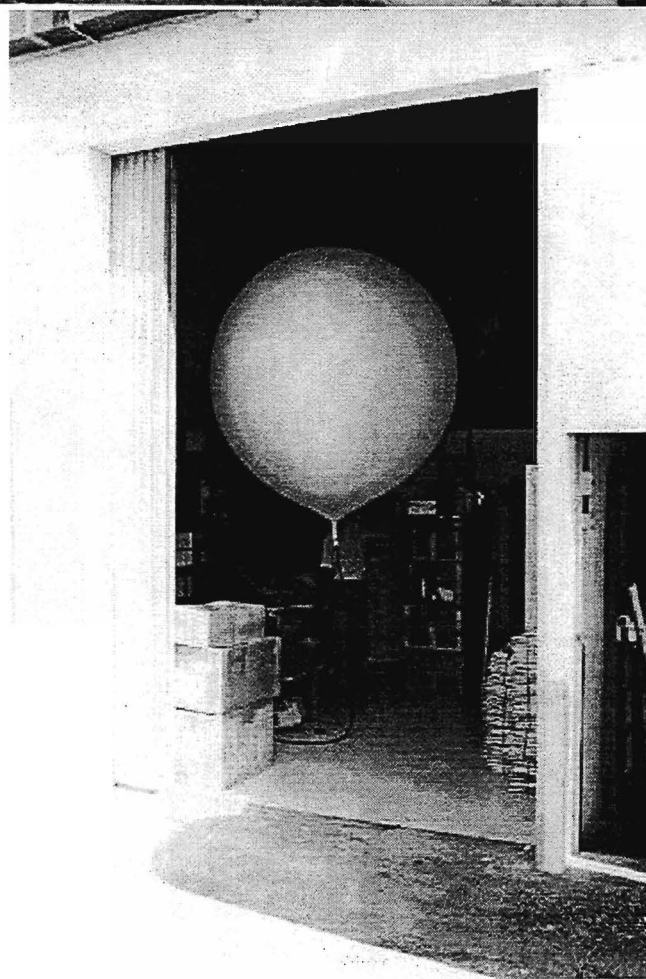


Figura 3.2: El globo es inflado en el hangar y permanece protegido del viento hasta el momento del lanzamiento.

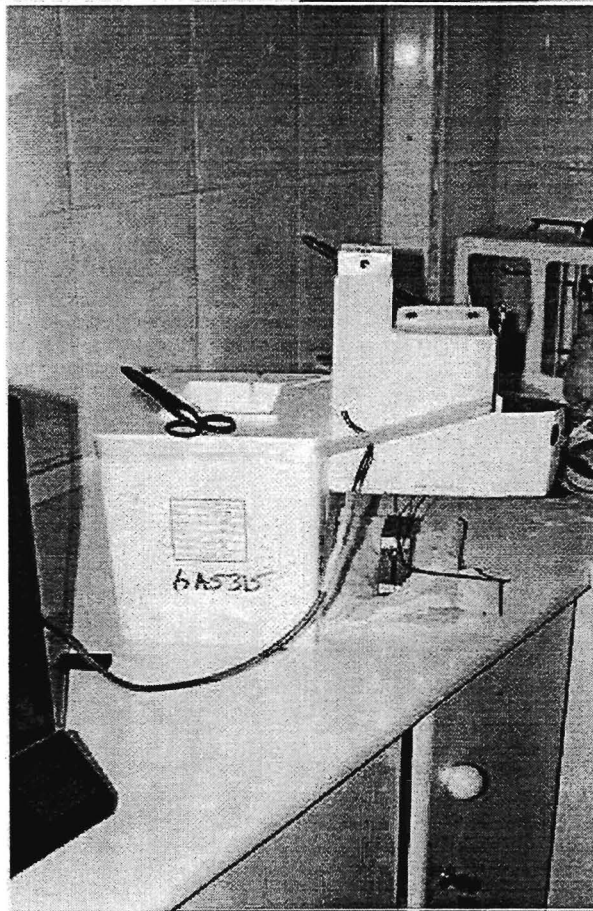
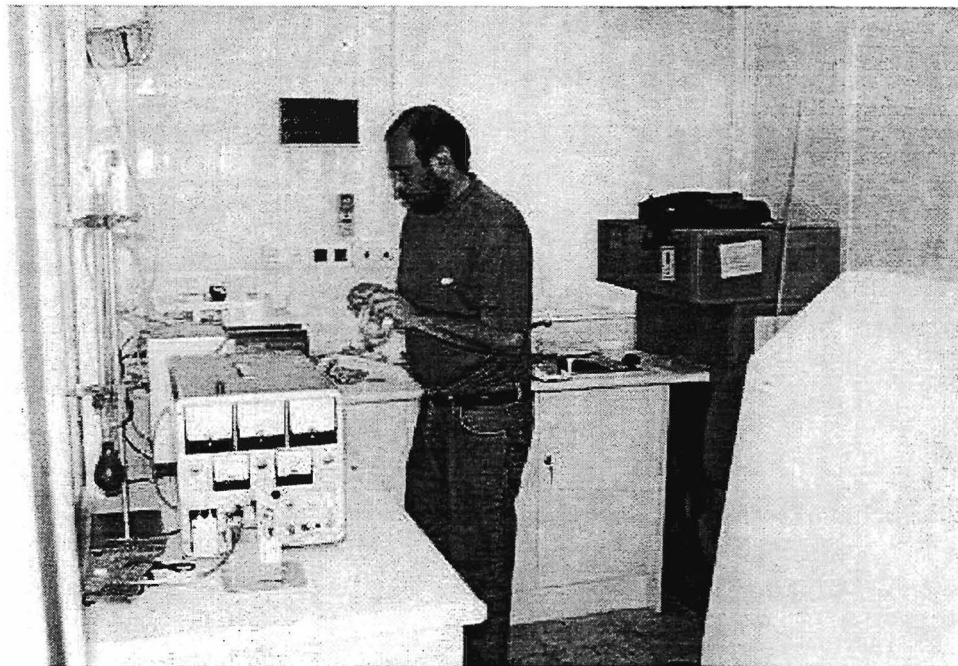


Figura 3.3: La radiosonda es adosada a la caja de poliestireno que aloja en su interior a la ozonosonda. En la figura inferior se puede apreciar el grosor necesario de esta caja para evitar el enfriamiento excesivo de las soluciones de la ozonosonda durante el ascenso.

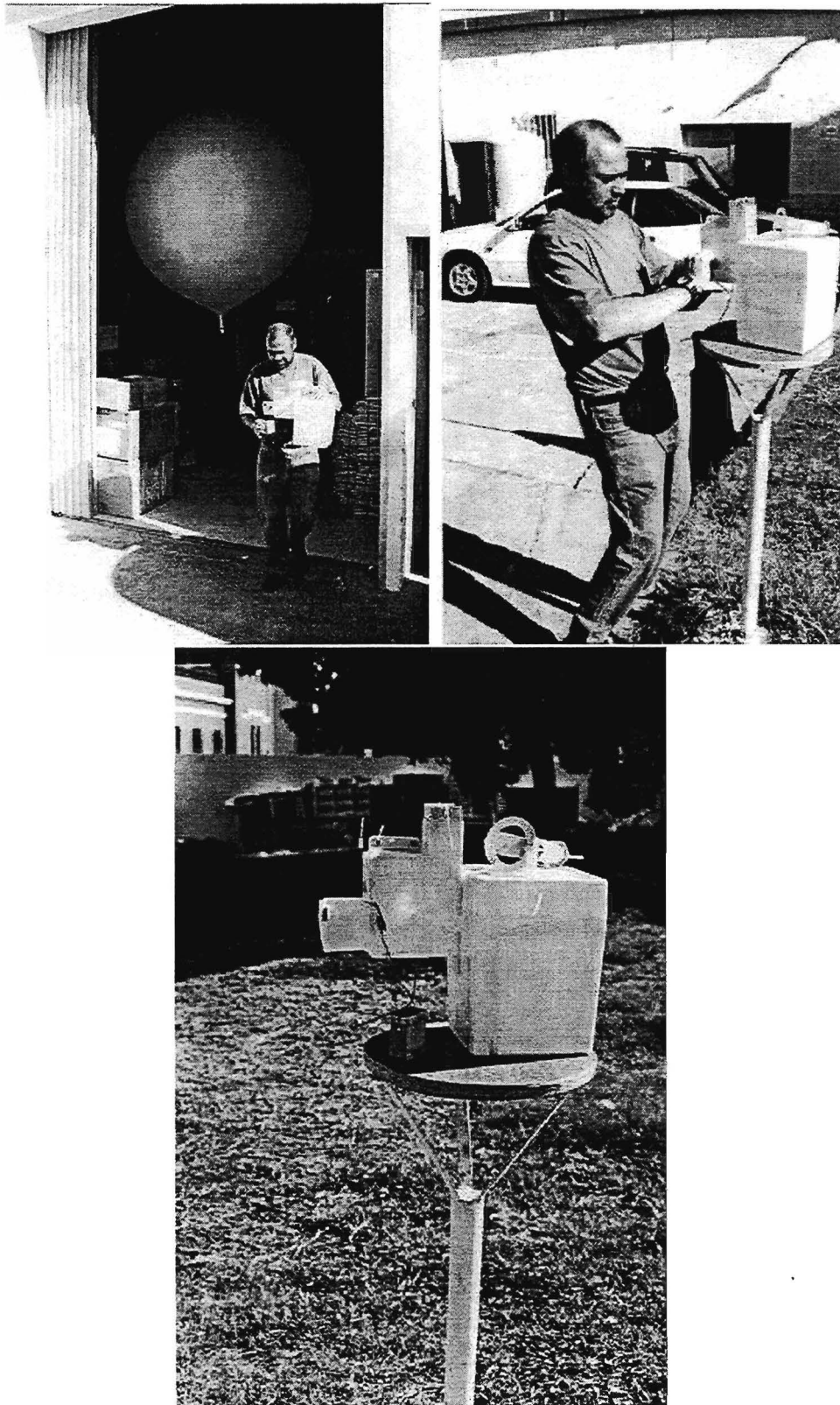


Figura 3.4: Una vez finalizadas las preparaciones en el laboratorio, la ozonsonda se traslada al lugar de lanzamiento en donde se ultiman los preparativos.



Figura 3.5: Momentos antes del lanzamiento, el globo es atado directamente al devanador de la ozonosonda. Esta operación se realiza mediante una sencilla técnica pero que requiere especial cuidado.

- Atar el globo directamente al devanador, para ello introducimos el cuello del globo por la ranura de la percha, hacemos un dobléz hacia arriba y lo anudamos varias veces, utilizando una cuerda resistente pero que no corte la goma (P. ej rafia).
- Conectar la batería de la bomba. Si el cable resulta muy largo será necesario fijarlo a un lateral de la caja con cinta adhesiva para evitar que se mueva durante el vuelo. Cuando el aire de la zona de lanzamiento no esté muy contaminado es conveniente esperar 4 ó 5 minutos para que la bomba adquiera su régimen de trabajo y se establezca el voltaje de la batería. También, durante ese tiempo, comprobaremos que se adquieren correctamente los datos editados en la ventana de Metgraph. Durante estos momentos previos al lanzamiento, se debe impedir la circulación de automóviles o motocicletas en las proximidades de la ozonosonda.
- Introducir los datos de superficie en el DigiCORA.



Figura 3.6: Cuando todo está preparado y la bomba de la ozonosonda se pone en funcionamiento, se comprueba la correcta adquisición de los datos PTU, viento y ozono. Si todo funciona perfectamente, se procede al lanzamiento de la ozonosonda.

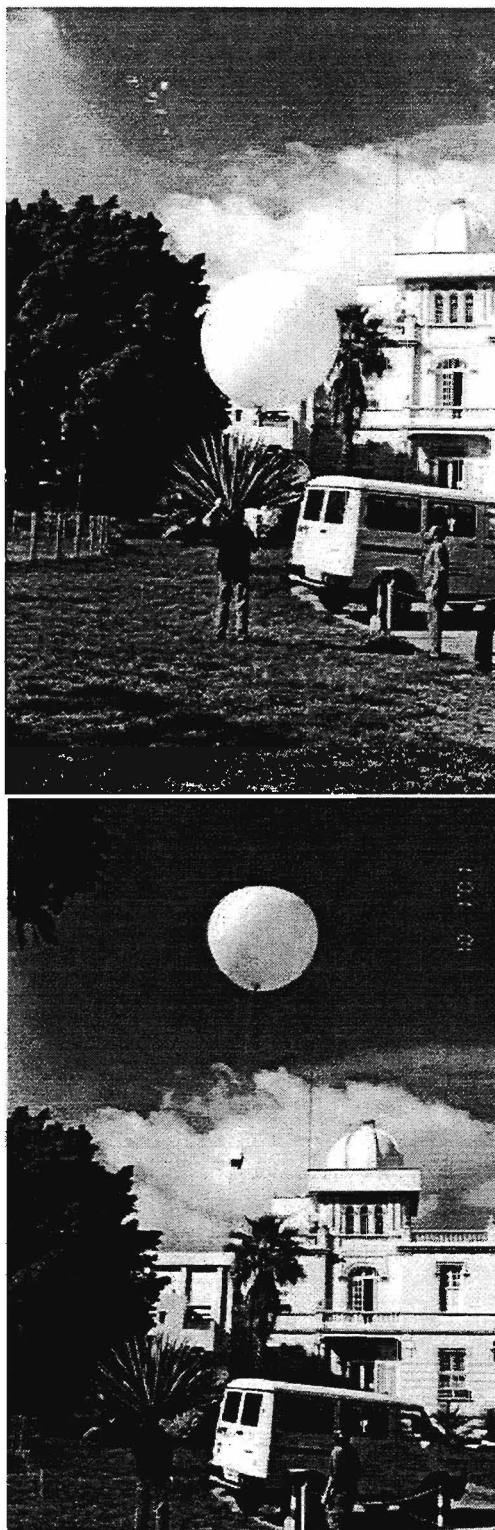


Figura 3.7: En el momento del lanzamiento se debe tener en cuenta la dirección del viento, con el fin de elegir el lugar apropiado de lanzamiento y cuidar que el devanador de la ozonosonda funcione perfectamente.

3.3.2 Algunas recomendaciones para el correcto inflado y manipulación del globo.

- Extraer el globo de la bolsa y extenderlo en un lugar plano y limpio. Hay que tener en cuenta que la película de caucho es muy fina y puede perforarse fácilmente, por lo que se recomienda utilizar guantes de lana para manipular los globos. En lugares muy fríos, es necesario mantener el globo cerca de una fuente de calor antes de ser inflado con el fin de que recupere su elasticidad.
- La tara necesaria para conseguir la máxima altitud de estallido posible, manteniendo una velocidad ascensional apropiada para la obtención de datos de viento en altura (300-320 m/min) es de 1900-2000 grs.
- El inflado se realizará lo más lento posible y *nunca en menos de 15 minutos*. Así se evitarán expansiones bruscas que puedan dañar el material.
- Almacenar los globos en un lugar oscuro, pues la exposición continuada a los rayos solares puede degradar el caucho.

3.3.3 Listas de chequeo (Checklist).

Es necesario anotar en estas hojas todos los parámetros y cálculos a medida que vamos ejecutando los pasos de las preparaciones y lanzamiento. También resultan muy útiles como guión para no olvidar ningún paso. También se apuntan las condiciones meteorológicas en el momento de lanzar, las correcciones del Ground-check, hora del lanzamiento, coeficientes de calibración, números de serie y otra información que pueda ser de utilidad a la hora de evaluar los datos obtenidos.

3.3.4 Adquisición y archivo de datos

El programa Metgraph incluye una aplicación específica para la adquisición y archivo de los datos obtenidos por los canales de sensores especiales (Ozono). Además, ofrece la posibilidad de controlar durante el vuelo los datos numéricos brutos y editados y proporciona presentaciones gráficas. Las nuevas versiones calculan al final del sondeo el ozono total y el ozono residual. Se han utilizado varias versiones de este programa, siendo la última versión (METGRAPH 5.21) implementada en Julio de 2000.

Procedimiento de ejecución:

- Con el radiosonda y la interface activados arrancar el programa y conectar al dispositivo adecuado (MW11, MW15....).

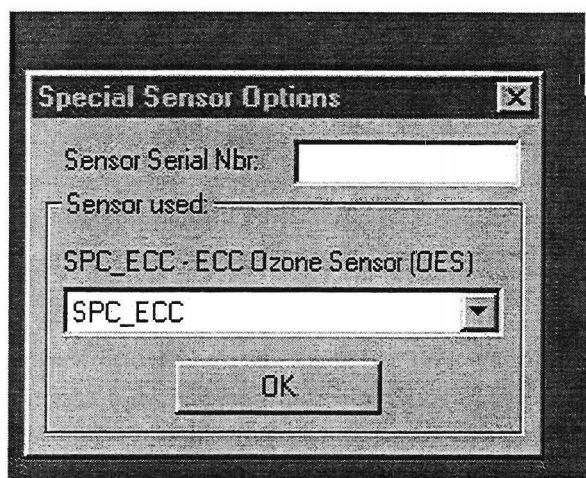


Figura 3.8: Ventana para la introducción del número de serie y tipo de ozonsonda.

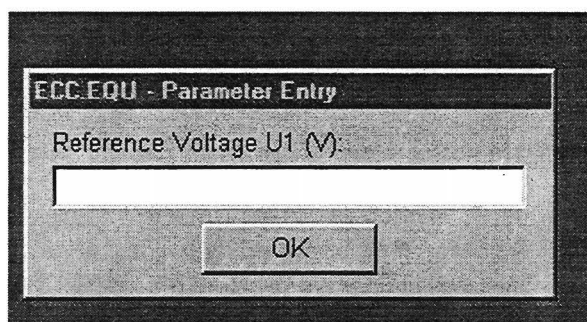


Figura 3.9: Introducción de parámetros

- Pasar la cinta de coeficientes de calibración del radiosonda por el lector óptico del DIGICora y al cabo de pocos minutos aparecerá la ventana mostrada en la Figura 3.8.

En esta ventana introduciremos el número de serie del sensor y elegiremos el tipo de sonda, en nuestro caso ECC. Aceptamos y nos pedirá los parámetros de calibración de la interface (Figura 3.9).

Se introducen cada uno de los parámetros y al final se mostrarán todos para permitir la confirmación de estos datos.

En el caso de que nos hayamos equivocado en alguno, lo marcaremos, escribiremos el valor correcto en la casilla Current Value y haremos click sobre el botón Set Value. Cuando esté todo correcto aceptamos y aparecerá la ventana mostrada en la Figura 3.10.

En ella se puede visualizar casi en tiempo real los valores de tiempo, PTU, voltajes

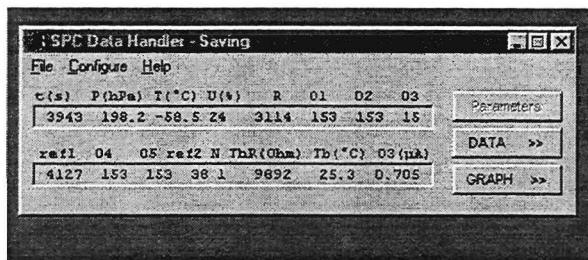


Figura 3.10: Ventana que muestra los valores PTU, y canales de Ozono

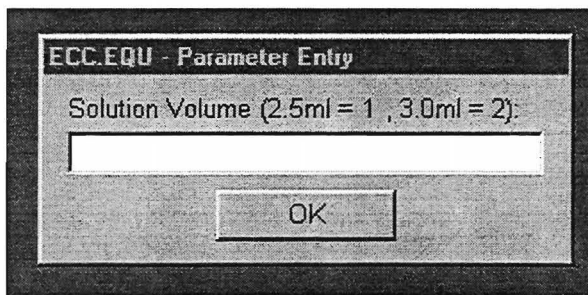


Figura 3.11: Elección del volumen de la solución del cátodo.

de referencia, valores de los canales, temperatura de la caja e intensidad producida por el sensor. Para comprobar el funcionamiento de la interface:

1. Los valores de ref1 y ref2 deben ser estables.
 2. No debe haber diferencia significativa entre los valores de los canales de ozono. (O1....O5)
 3. La temperatura de la caja debe mostrar un valor creible.
- Cuando la interface está conectada a la ozonosonda podemos ver la corriente de salida del sensor, lo que nos servirá para medir la corriente de fondo con más precisión que usando el microamperímetro analógico. Cuando lo hayamos hecho, haremos click en el botón Parameters y aparecerá la ventana mostrada en la Figura 3.11.
 - Escogeremos la opción 2 (3.0 ml.), aceptaremos y en la siguiente ventana introduciremos el valor de corriente de fondo que indicaba la ventana monitor y al aceptar aparecerá la ventana de la Figura 3.12.

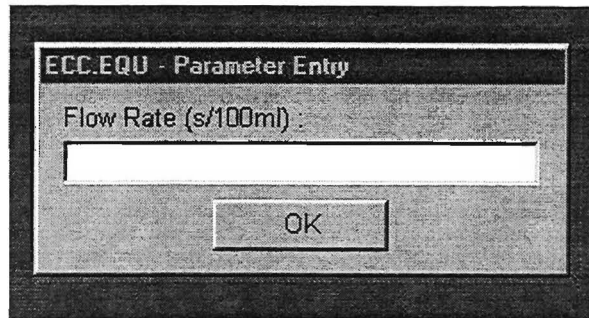


Figura 3.12: Introducción del valor del flujo de la bomba de la ozonosonda.

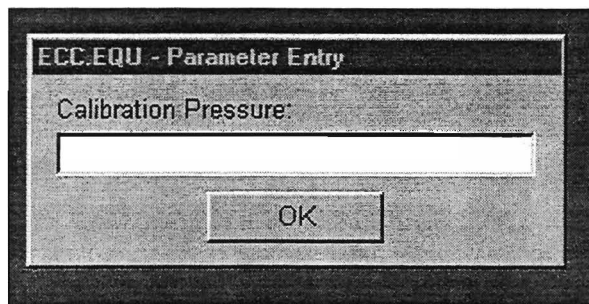


Figura 3.13: Introducción del valor de la presión de calibración.

Aquí pondremos el valor obtenido con el medidor de flujo durante la preparación. Y por último, la presión atmosférica de calibración (Figura 3.13).

Luego nos mostrará todos los parámetros para permitir la confirmación (Figura 3.14), y volveremos a la ventana monitor en la que al pulsar el botón *data* nos mostrará la ventana de datos editados (Figura 3.15):

En esta ventana se nos muestra el tiempo en segundos, los datos PTU, la altura en mgp y la presión parcial de ozono en cada nivel en mPa. También nos indica los valores de ozono total y residual integrados hasta el momento.

Cuando el programa detecta el final del sondeo, aparece automáticamente la ventana mostrada en la Figura 3.16.

Aquí introduciremos el nombre del operador y también disponemos de un espacio para anotar el promedio y tipo de nubes existentes y cualquier circunstancia ocurrida durante el sondeo que pueda ser interesante conocer para el proceso posterior de evaluación de los datos. Estos datos se grabarán en la cabecera del fichero de datos editados.

Aceptar y cerrar todas las ventanas de aplicaciones del programa (sensores especiales, gráficos, Temp-Pilot, PTU-Edt, etc.), dejar solo la principal.

Ahora, nuestros ficheros están almacenados temporalmente en el directorio de tra-

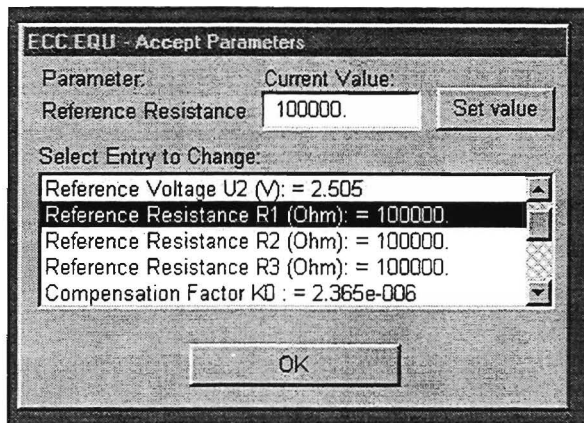


Figura 3.14: Confirmación de los valores de los parámetros introducidos.

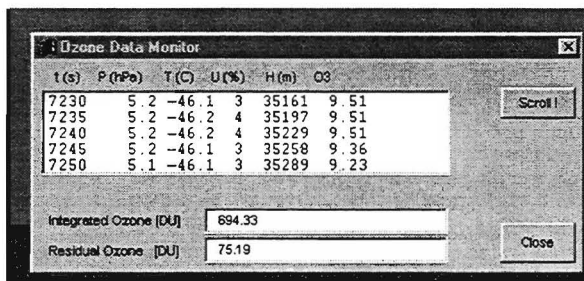


Figura 3.15: Ventana que muestra el tiempo desde el comienzo (s), los valores PTU, la altura geopotencial y el valor de Ozono.

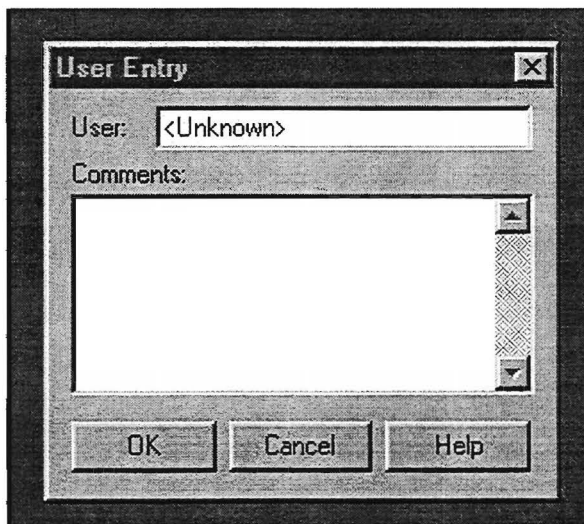


Figura 3.16: Introducción del nombre del operador y comentarios que serán anotados en la cabecera del fichero de salida.

bajo C:\METGRAPH\CURRENT con los nombres EDITED.SPF, SPECIAL.SPF y OZONE.SPF. Es necesario moverlos a un directorio de archivo donde queden grabados permanentemente, pues en caso contrario serían reemplazados en el siguiente sondeo. Para hacerlo, hay que desplegar el menú Archive y elegir la opción Archive Sounding. Esto produce el siguiente efecto:

- Mueve los ficheros del directorio de trabajo a otro directorio de archivo:

C:\METGRAPH\ARCHIVE\AAMMDD.NNN

Donde:

AA = Últimos dígitos del año.

MM = Mes en número.

DD = Día del mes.

NN = Un número secuencial que indica los sondeos archivados ese día.

- Renombra los ficheros de la siguiente forma:

EDITED.SPF pasa a llamarse AAMMDDHH.mmE

SPECIAL.SPF “ “ AAMMDDHH.mmS

OZONE.SPF “ “ AAMMDDHH.mmZ

Donde:

AA = Últimos dígitos del año.

MM = Mes en número.

DD = Día del mes.

HH = hora GMT. del lanzamiento.

mm = minutos.

En la Figura 3.17 se muestra la gráfico correspondiente a un ozonsondeo típico, en la que se representa la presión parcial de ozono, la temperatura y la humedad relativa en función de la altura.

3.4 Reutilización de una ozonosonda recuperada.

En el caso de que una ozonosonda lanzada en el pasado sea recuperada, tanto ésta como la interface pueden ser reutilizadas, si no han resultado demasiado dañadas después de la caída. Para ello, hay que acondicionarla según el siguiente procedimiento:

1. Separar la radiosonda y la batería y desecharlas.
2. Extraer la ozonosonda de la caja y separar la interface.
3. Desechar también el tubo de entrada de aire de muestra y sustituirlo por uno nuevo.

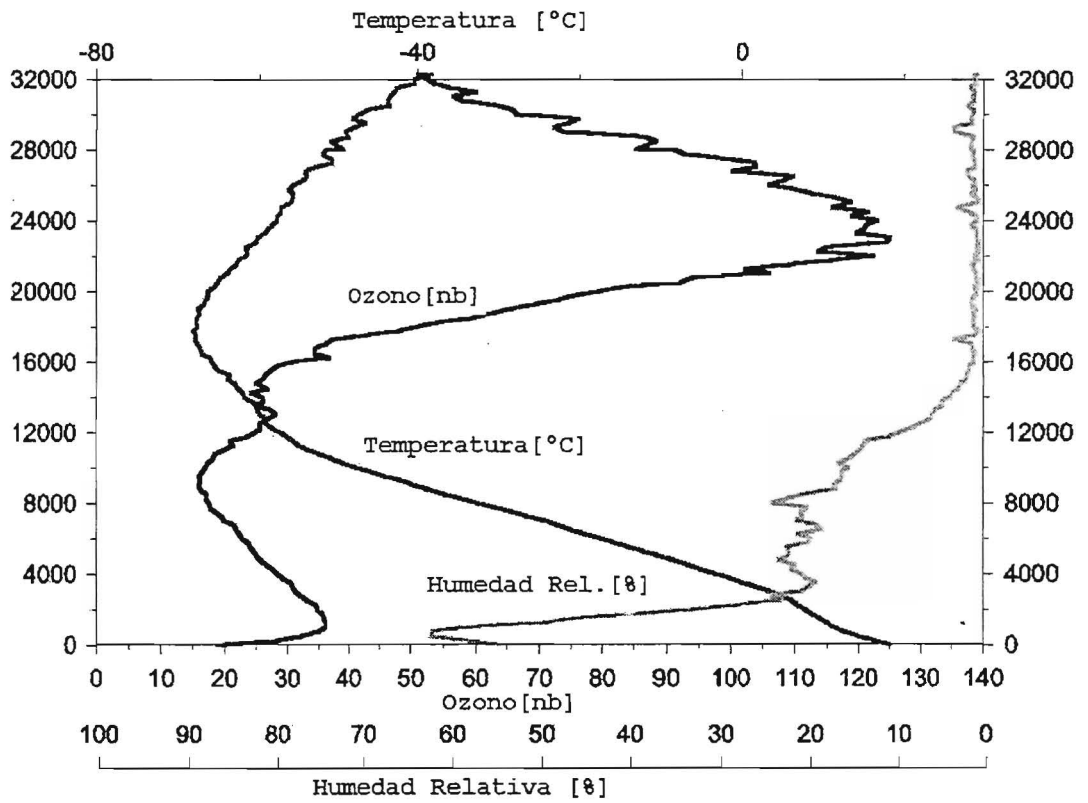


Figura 3.17: Representación gráfica típica de un sondeo de ozono. La capa de ozono en esta latitud se localiza centrada generalmente a una altura de 25 Km.

4. Extraer el sensor, vaciar las soluciones y llenar ambas cámaras con agua destilada. Dejar así el sensor durante una hora o más.
5. Continuar enjuagando con agua destilada varias veces más.
6. Tapar el sensor y colocarlo en la ozonosonda.
7. Desarmar la bomba, teniendo en cuenta la orientación del pistón con respecto al cilindro.
8. Lavar todas las piezas de teflón de la bomba: Primero con agua corriente, luego con agua destilada y por último con Metanol puro hasta hacer desaparecer todas las impurezas. Volver a montar la bomba según su configuración original. Activar el motor e introducir con una jeringa 1 ó 2 ml. de Metanol puro para la limpieza final.
9. Medir con un estroboscopio la velocidad del motor, ésta debería estar alrededor de 2400 r.p.m. con voltajes entre 12 - 15 V.
10. Finalmente utilizar el TSC-1 para comprobar el correcto comportamiento del sensor y la bomba.

Capítulo 4

Control de Calidad

4.1 NDSC Ozonosonde PI Meeting (Potsdam, Junio 1998)

En Junio de 1998 se celebró el “NDSC Ozonosonde PI Meeting” en el Instituto Alfred Wengler en Potsdam, Alemania. En este meeting se reunieron los investigadores principales de las estaciones que forman parte de la NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change). En esta reunión se sentaron las bases de los procedimientos y controles de calidad comunes para la realización de sondeos de ozono. Las conclusiones de este importante meeting son consideradas hasta el momento la referencia obligada de toda estación de ozonosondeos para el cumplimiento de los requisitos de calidad exigidos por la red NDSC.

Asistentes: Marc Allaart (Holanda), Matthias Alpers (Alemania), Anna Benesova (República Checa), Bojan Bojkov (Noruega), Rumen Bojkov (Suiza), Geir Braathen (Noruega), George Chronopoulos (USA), Hans Claude (Alemania), Jonathan Davies (Canada), Terry Deshler (USA), Dirk De Muer (Bélgica), Valery Dorokhov (Rusia), Bryan Johnson (USA), Rigel Kivi (Finlandia), Esko Kyrö (Finlandia), Ralph Lehmann (Alemania), Andrew Matthews (Nueva Zelanda), Ib Steen Mikkelsen (Dinamarca), Gerry Murphy (Irlanda), Bruno Nardi (USA), Roland Neuber (Alemania), Fiona O'Connor (Reino Unido), Sam Oltmans (USA), Françoise Posny (Francia), Eero Puhakka (Finlandia), Fabrizio Ravegnani (Italia), Markus Rex (Alemania), Juan Manuel Sancho (España), Astrid Schulz (Alemania), Thomas Seiler (Alemania), Kazuo Shibasaki (Japón), Pavla Skrivankova (República Checa), Herman Smit (Alemania), René Stübi (Suiza), Geraint Vaughan (Reino Unido), Claude Vialle (Francia), Peter von der Gathen (Alemania), Andrea Weiss (Suiza).

4.1.1 Propósito del Meeting

- El motivo principal para la convocatoria de este congreso es el hecho de que las ozonosondas (Tipo ECC) han sido seleccionadas como instrumentos NDSC. Esto implica la necesidad de una reunión de los investigadores principales en los programas de ozonosondeos para el intercambio de experiencias y el acuerdo de rutinas comunes para la preparación de sondas, la conversión de los datos brutos a datos geofísicos, y un formato de datos común.
- Otra razón para el congreso es la nueva creación del Centro Europeo de Datos de Ozonosondeos con su sede en NILU (Norwegian Institute for Air Research).
- Finalmente, el tercer motivo para esta reunión es la discusión formal de cuestiones prácticas relacionadas con el envío en tiempo real de datos de ozonosondeos al Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF).

En resumen, los objetivos son los siguientes:

1. Acordar prácticas comunes para la preparación de las ozonosondas.
2. Implementar algoritmos comunes para la conversión de los datos brutos.
3. Acordar rutinas de control de calidad.
4. Alcanzar un acuerdo en cuanto a un único formato común.
5. Discusión del nuevo método de envío de datos al WOUDC.
6. Implementar rutinas para la transferencia en tiempo real de los datos de los ozonosondeos al ECMWF.
7. Obtener una visión general sobre los resultados de las intercomparaciones realizadas entre diferentes sondas y entre sondas y otros instrumentos.
8. Contactar con VAISALA.
9. Discusión abierta sobre todos los temas.

4.1.2 Prácticas de Preparación de Ozonosondas.

Esta sesión fue abierta por Bryan Johnson (NOAA-CMDL), el cual expuso los resultados de los experimentos realizados en NOAA en cuanto a la preparación de las ozonosondas. En NOAA llevan a cabo tests con diferentes concentraciones en la solución del cátodo. La conclusión es que se debe continuar usando solución al 1% de KI en el cátodo y las cantidades prescritas de compuestos químicos que actúan como

buffer del PH, esto es 5.0g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 1.25g de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y 25g de KBr para 1 litro de solución. Esta es la misma composición que la recomendada por el manual de VAISALA. Resulta ser que el comportamiento de la sonda es mucho más sensible a la concentración de los compuestos químicos que actúan como buffer del PH que a la concentración de KI. Esto ocurre especialmente en el caso del $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ por lo que se debe tener especial cuidado en la medida de este componente y asegurarse que se utiliza una balanza con precisión mayor o igual que 0.01g.

Se recomienda así mismo usar 3.0 cm^3 de solución en el cátodo, ya que los efectos de la evaporación de la solución durante el vuelo son menores que si se utilizan 2.5 cm^3 . Es importante que la medida de la corriente de fondo se realice con una precisión mayor de $0.01 \mu\text{A}$. La NOAA utiliza sondas ECC-6A (SPC) y 1Z-ECC (ENSCI). Ambos fabricantes recomiendan procedimientos de preparación algo diferentes aunque similares en la mayoría de los aspectos. El día del lanzamiento se debe añadir la solución del cátodo antes que la del ánodo. En NOAA han descubierto que la humedad del aire juega un importante papel cuando se mide el flujo proporcionado por la bomba. El flujo medido por el fluxometro de burbuja de jabón puede ser infraestimado entre un 0 y un 4% dependiendo de la HR del laboratorio. El manual ENSI recomienda usar un aire humidificado para la medida del flujo. SPC usa una corrección basada en la HR y la temperatura. Así mismo, se recomienda hacer funcionar la sonda durante unos minutos (aprox. 5 minutos) en aire ambiente limpio en el exterior para que la sonda se equilibre con el entorno. En el caso de días de verano con altas temperaturas, este tiempo debe ser acortado para evitar el calentamiento excesivo del interior de la caja. Hubo un acuerdo general en cuanto a la necesidad de la elaboración de un Procedimiento de Operación Estandar para las sondas ECC. En este punto el Dr. Sam Oltmans destacó el hecho de que el control de calidad no solo debe tener en cuenta el perfil de Ozono sino también otros parámetros como por ejemplo la temperatura de la caja. El Dr. Bojan Bojkov entonces mencionó los graves problemas detectados en NILU con la temperatura de la caja. Después se abrió una discusión sobre la conveniencia del uso de solución al 0.5% o 1% en la celda del cátodo. El Dr. Sam Oltmans explicó que esta cuestión está muy estrechamente ligada con la corrección por eficiencia de la bomba que se aplican a los datos brutos: Varios grupos miden la eficiencia de la bomba para cada sonda individual antes de cada lanzamiento. Sin embargo, el método que utilizan no es necesariamente el mismo que el que Walter Komhyr utilizó para obtener las tablas de corrección por eficiencia de la bomba. Después de haber determinado la eficiencia de la bomba en función de la presión atmosférica, Komhyr experimentó con la concentración de la solución del cátodo hasta que obtuvo perfiles de ozono cuyo valor integrado concordaban de forma aceptable con las medidas Dobson. Esto significa que la concentración de la solución del cátodo y la eficiencia de la bomba están íntimamente ligadas. Por lo tanto, si se experimenta solo con una de ellas se

obtendrán resultados erróneos. El Dr. Sam Oltmans destacó que se deberían realizar más experimentos en la Cámara de Jülich antes de recomendar el cambio de alguno de los procedimientos existentes, como la concentración de la solución del cátodo.

4.1.3 Conversión de Datos Brutos a Datos Geofísicos.

Geir Braathen abrió esta sesión mostrando los diferentes sistemas en tierra y paquetes de software para el registro de datos de ozono y la conversión de los datos brutos de ozono (corriente generada por la celda) en datos geofísicos (p.e. presión parcial de ozono). Los 3 sistemas más usados son los siguientes:

- El sistema basado en la tarjeta interface TMAX.
- El sistema Vaisala con el viejo programa Ozone. Utilizado en Tenerife desde Octubre de 1992 hasta Mayo de 1994.
- El sistema Vaisala con el nuevo programa Metgraph.

Será imposible que todas las estaciones utilicen el mismo programa de conversión de datos brutos, pero se debe conseguir que todas utilicen los mismos algoritmos para el cálculo del ozono a partir de la corriente generada en la celda.

Se deben considerar los siguientes factores cuando se comparan diferentes algoritmos:

- Corrección de los datos de temperatura de radiación y ventilación.
- Tabla de corrección de la eficiencia de la bomba.
- Corrección de la corriente de fondo por las corrientes generadas por otros oxidantes aparte del ozono (NO_2 y SO_2). Algunos utilizan una corrección dependiente de la altura y otros una corriente de fondo constante.

Criterio de rechazo de datos erróneos.

El Dr. Bojan Bojkov continuó la sesión mostrando algunos problemas experimentados con el sistema METGRAPH en NILU:

- Bloqueos frecuentes del software.
- Fin de la adquisición de datos de Ozono sin motivo aparente.

Bojan Bojkov también mostró los problemas encontrados en la medida de la temperatura de la caja que inciden directamente en la medida del ozono. Mostró perfiles de la temperatura en el interior de la caja (Tbox) y de ozono en los que se apreciaban caídas súbitas de dicha temperatura después de las cuales se recuperaba hasta valores

normales. En algunos casos la temperatura de la caja alcanzaba rápidamente valores por debajo de 10°C. La investigación de los ficheros brutos después del meeting mostraron que el problema se debía probablemente a un defecto en la interfaz. No obstante se recomendó el chequeo rutinario de la temperatura de la caja como control de calidad.

4.1.4 Control de Calidad de los Datos.

El Dr. Esko Kyrö abrió la sesión presentando el trabajo de control de calidad llevado a cabo en los proyectos europeos OSDOC y THESEO-O3 LOSS. En Septiembre de 1996 se llevo a cabo una intercomparación de algoritmos. El FMI envió algunos ficheros brutos de datos que cada estación en la red OSDOC debía convertir a datos geofísicos. Las diferencias entre las estaciones eran muy pequeñas. Esto muestra el valor de una red homogénea usando aproximadamente el mismo software de conversión de datos. Posteriormente, en Diciembre de 1996 se envió un e-mail para armonizar los procedimientos en tierra.

Después Esko Kyrö presentó los resultados del control de calidad de los datos de Ozono. Este control de calidad se realizó en tiempo casi real. Se realizaron 2 chequeos:

- Se comparó el ozono total calculado a partir del ozonosondeo con el ozono total medido por el TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer). El FMI llevo a cabo sondeos con 2 sensores de temperatura dentro de la caja. Uno pegado en la bomba y el otro conectado al tubo de entrada de aire cerca de la celda. Normalmente las diferencias entre las medidas de ambos sensores eran del orden de 8-10K (aprox. 3%). Hubo una discusión acerca de que método se debe usar para el cálculo del ozono total a partir de los ozonosondeos. Un método es utilizar los datos climatológicos basados en la información proporcionada por los satélites para la parte por encima de la explosión del globo (altitudes superiores a los 32-34 km). Este método no es posible utilizarlo durante las noches polares.
- El otro método es la suposición de un valor de ozono constante a partir de la máxima altura del globo (cuando la presión mínima es menor que 20hPa). No hay razón para pensar que un método es mejor que otro, por lo que depende del investigador el decidir cual de ellos es más apropiado para el propósito del estudio que se está realizando.

Fiona O'Connor mostró una intercomparación de perfiles obtenidos en dos estaciones cercanas: Aberystwyth (Gales) y Valentia (Irlanda). Las sondas de Aberystwyth tenían 2 sensores para medir la temperatura de la caja (en la bomba y en el tubo de entrada). Las conclusiones de este estudio son:

- La localización del sensor de T en el tubo y no en la bomba implica una infravaloración del valor de la temperatura de la caja entre 1 y 4%.
- No se observaron discrepancias significativas entre Aberystwyth y Valentia cuando se utilizaban sondas SPC.
- No se observó ninguna tendencia entre ambas estaciones cuando en Aberystwyth se utilizaron sondas ENSCI.

4.1.5 Formato de los Ficheros.

La sesión fue abierta por Dr. Rumen Bojkov indicando la importancia de formatos comunes y fácilmente legibles. Después Bojan Bojkov (NILU) ofreció una visión general sobre los distintos formatos en uso. Se han utilizado 4 formatos NASA Ames desde 1988. También existen muchos subformatos, lo cual a llevado a muchos investigadores a protestar al utilizar estos datos. Un único formato implicaría una mayor facilidad en el trabajo de los usuarios y los centros de recogida de datos así como una mayor fluidez en la distribución de los datos.

Jonathan Davies continuó la sesión presentando el nuevo formato ExtCSV utilizado por el WOUDC (Centro Mundial de Datos de Ozono y Ultravioleta). Después de la exposición de Davies hubo una discusión acerca de la conveniencia de uno u otro formato en la red de estaciones. Se llegó al acuerdo de utilizar el formato NASA Ames 2160 con las especificaciones del FMI. Es importante que las distintas variables aparezcan en columnas fijas, de forma que el ozono siempre se encuentre en la columna 7. En el caso de nuevas actualizaciones del formato con la inclusión de nuevas variables, estas se añadirán a continuación de las existentes.

Bojan Bojkov y Jonathan Davies colaborarán para desarrollar una rutina para la conversión de los ficheros NASA Ames al formato ExtCSV.

4.1.6 Nuevo Centro Regional Europeo de Datos de Ozonosondeos.

Bojan Bojkov hizo una introducción sobre las razones de esta iniciativa. Desde finales de la década de los 80 han entrado en operación muchas nuevas estaciones de ozonosondeos. La creación del centro de datos en NILU impidió de alguna manera el envío de datos de ozono al WOUDC en Toronto por parte de algunas de estas nuevas estaciones. Para solucionar este problema la OMM contactó con NILU proponiéndole su actuación como Centro Europeo de Recogida de Datos de Ozonosondeos que a su vez garantizara el trasvase de datos al WOUDC. NILU contestó positivamente a la OMM y envió una carta a todos los Investigadores Principales en las estaciones europeas para conseguir su acuerdo con esta iniciativa. Hasta el momento todas las

respuestas han sido positivas y NILU sigue esperando la respuesta de algunas estaciones. Durante la discusión después de la exposición de Bojkov no hubo objeciones con respecto a esta idea.

4.1.7 Envío de Datos en Tiempo Real al ECMWF.

La sesión fue abierta por Bojan Bojkov dando una introducción sobre este tema. Rumen Bojkov y Marc Allaart proporcionaron información adicional. El ECMWF necesita datos de Ozono para mejorar las predicciones del tiempo a plazo medio. Los sondeos de ozono se utilizarán para verificar los datos proporcionados por el TOVS (TIROS-N Operational Vertical Sounder). Los datos de ozono se necesitan antes de 3 horas tras la finalización del sondeo. Se establecerán rutinas de control de calidad en NILU para asegurar una mínima calidad de los datos que son transferidos al ECMWF. NILU enviará los datos al ECMWF en el formato NASA Ames y el ECMWF los convertirá a su propio formato. Durante la discusión posterior a estas presentaciones hubo un consenso general en este tema. Sam Oltmans sugirió que alguien del ECMWF explicara la necesidad de la provisión de datos de ozonosondeos en tiempo real para la mejora de la predicción del tiempo. Esto se podría hacer en el próximo Symposium de Ozono, por ejemplo. También hubo acuerdo en que sería muy interesante que después de un tiempo desarrollando esta experiencia, el ECMWF proporcionara información acerca de la mejora conseguida con la incorporación de los datos de ozono en los modelos de predicción.

4.1.8 Presentación de VAISALA.

Eero Puhakka presentó los nuevos desarrollos de VAISALA. Concretamente mostró las nuevas sondas PTU RS90 de menor tamaño que las RS-80 y con ciertas mejoras referentes a la velocidad de los sensores PTU. Sin embargo aún no están disponibles sondas RS-90 compatibles con sensores especiales para medir otras variables como el ozono.

4.1.9 Intercomparación entre Ozonosondas.

Esta sesión fue abierta por René Stübi presentando los resultados de los sondeos simultáneos de sondas ECC y Brewer Mast realizados en Payerne. En Payerne se plantean cambiar las sondas BM por sondas ECC. Las ventajas serían las siguientes:

- Las sondas ECC requieren de una preparación más sencilla antes del lanzamiento.
- Las sondas ECC muestran un mejor comportamiento.

Los argumentos en contra son los siguientes:

- Ruptura de la homogeneidad de la serie de datos al cambiar radicalmente el método de medida.
- No hay un Procedimiento de Operación Estandar para las sondas ECC.
- Se necesitan más intercomparaciones entre sondas ECC y BM.

A continuación Herman Smit del KFA (Forschungszentrum Jülich, Alemania) expuso los resultados de la intercomparación JOSIE-96 (Jülich Ozonosonde Intercomparison Experiment). El informe acerca del JOSIE-96 ha sido enviado a la OMM para ser publicado como informe técnico de la OMM. Después de la intercomparación JOSIE-96 el KFA ha sido nombrado por la OMM Centro Mundial de Calibración de Ozonosondas (WCFO). Este centro tiene las encomendadas las siguientes tareas:

- Control de calidad para fabricantes de ozonosondas.
- Control de calidad para usuarios.
- Control de calidad para el desarrollo de SOPs (Standard Operating Procedures).

La intercomparación JOSIE-96 involucró varios tipos de sensores de ozono. Las conclusiones fueron las siguientes:

- Las sondas ECC muestran resultados más consistentes (5%) que las que no son ECC (15%).
- El tiempo de respuesta ($1/e$) para las sondas es aproximadamente 25 s.
- Las sondas corregidas individualmente de eficiencia de la bomba midieron mucho más ozono en la parte alta del perfil.
- Las que usaron las tablas de Kohmyr 1986 dieron mejores resultados.
- No se debe usar una corriente de fondo dependiente del Oxígeno.

A continuación Dirk De Muer del Instituto Meteorológico de Bélgica, presentó los resultados de sondeos simultáneos de sondas BM y ECC en Uccle (Bélgica). Utilizó nuevas correcciones para la bomba en las sondas BM que dependen de la temperatura y la presión. Esta nueva corrección implica un mejor acuerdo entre las sondas ECC y BM. Herman Smit sugirió que se podría utilizar una corrección de la bomba que dependa solo de la densidad, la cual ya depende a su vez de la temperatura y la presión.

4.1.10 Conclusiones.

El último día se hizo un repaso de cada una de los asuntos tratados en cada sesión para destacar las conclusiones más importantes de este congreso:

Solución del cátodo: La concentración de la solución del cátodo y la corrección por eficiencia de la bomba están íntimamente ligadas. Se necesitan más experimentos en laboratorio antes de recomendar algún cambio.

- Usar concentración de KI al 1% y las cantidades de compuestos químicos buffer descritas anteriormente.
- Usar las correcciones por eficiencia de la bomba en STOIC 1986.
- Usar 3.0 cm³ de solución del cátodo.
- Usar una balanza precisa para medir los 1.25g de NaH₂PO₄ H₂O.
- Guardar las soluciones en un lugar oscuro y frío y chequear la corriente de fondo para asegurarse de que la solución está en perfectas condiciones. Se deben desechar las soluciones que lleven preparadas más de 3 meses.
- Usar agua bidestilada para las soluciones.

Flujo:

- La medida del flujo depende de la humedad del aire. ENSCI recomienda usar aire humidificado y SPC recomienda la aplicación de una corrección basada en la HR y la T.
- Indicar en la cabecera del fichero la humedad y la temperatura del laboratorio.

Corriente de fondo:

- No se debe lanzar una sonda si la corriente de fondo no es suficientemente baja. No lanzar si $I_b > 0.12 \mu A$. Indicar en la cabecera del fichero I_b medida antes de exponer la sonda a valores altos de ozono y la obtenida justo antes del lanzamiento.

Evaporación de la solución:

- Se debe evitar la evaporación de la solución del cátodo no tanto debido al cambio en la concentración de KI sino más bien por el cambio en la concentración de los compuestos buffer del PH.
- No dejar la sonda funcionando durante mucho tiempo y no dejarla cargada con solución durante horas antes de lanzar.

SOP Los 2 fabricantes de sondas ECC recomiendan dos procedimientos de operación diferentes, por lo que existe la necesidad de unificar ambos procedimientos en un único SOP. Esko Kyrö y Herman Smit comprobarán si hay una necesidad inmediata de un SOP unificado. El WCFOS desarrollará un SOP a largo plazo.

Corrección por corriente de fondo

- Los resultados de experimentos realizados en cámaras especiales muestran que la corriente de fondo es constante con la altura.
- Usar una corrección por corriente de fondo constante para todo el perfil. Usar la pequeña corriente de fondo que es medida antes de la exposición de la sonda a altos valores de ozono.
- Usar un buen amperímetro con resolución mayor de $0.01\mu\text{A}$.
- ¿Dónde colocar el sensor de temperatura? Hubo cierta discusión acerca del mejor emplazamiento del sensor de temperatura. Por razones de continuidad se puede argumentar que debe ser colocado en un lugar cerca del tubo de entrada como antes. Sin embargo, como apuntó Sam Oltmans, solo hay un lugar correcto donde colocar el sensor de temperatura y es dentro de la bomba.
- Colocar el sensor de temperatura en el agujero en la bomba para tal fin.

Comparación entre sondas ECC-6 (SPC) y 1Z-ECC (ENSCI)

- Los experimentos realizados en Aberystwyth y Valentia con los dos tipos de sondas no muestran diferencias sistemáticas.
- No hay razones para preferir uno u otro tipo de sondas.

Conversión de datos brutos a datos geofísicos. Hay muchos tipos de equipos de tierra y muchos tipos de datos brutos diferentes. También hay varios paquetes de software para el cálculo del ozono a partir de los datos brutos.

- Las estaciones con el programa de Vaisala ozone usan el programa convert 6.0 de NILU para procesar los datos. Esperar a la actualización de 6.0 a 6.1 después de que se defina el nuevo formato.
- Las estaciones con el programa de Vaisala Metgraph deben usar el programa nasaconv del FMI.

Control de calidad de los datos. Las estaciones utilizan diferentes rutinas de control de calidad dependiendo del tipo de estudio que realizan con los datos. Existe la necesidad de un algoritmo de ozono total común con fines de control de calidad. Es importante controlar además del ozono otros parámetros como por ejemplo la temperatura de la caja.

- Los grupos con más experiencia en control de calidad de datos colaborarán en la puesta en común de tests básicos que se deberán llevar a cabo en cada estación.
- Acuerdo en un algoritmo común de cálculo de ozono total basado solo en el perfil de ozono.
- Todas las estaciones deben de forma rutinaria y como control de calidad chequear la temperatura de la caja en sus sondeos.

Formato de los ficheros. Hay muchos formatos en uso. Las discusiones durante el congreso llevaron al acuerdo de utilizar el formato NASA Ames 2160 para el intercambio de datos.

- Adoptar el formato NASA Ames 2160 de Esko Kyrö. El formato existente será ampliado un poco como resultado de este congreso.

Nuevo Centro Regional Europeo de Datos de Ozonosondeos. Se envió una carta por parte del director de NILU a todas las estaciones de Europa. Todas las respuestas fueron positivas. Los datos de las estaciones cuyos investigadores principales han respondido son enviados al WOUDC (Toronto).

Intercomparación entre ozonosondas.

- En cuanto a la corrección por corriente de fondo, JOSHIE-96 muestra que la corriente de fondo (I_b) es constante. Por lo tanto, se debe usar un valor constante de I_b para el cálculo de ozono.
- Corrección por eficiencia de la bomba. JOSHIE-96 muestra que las correcciones por eficiencia de la bomba individuales dan valores de ozono demasiado altos en la parte alta de los perfiles. Las tablas de 1986 dan mejores resultados. Usar las tablas de 1986 (las mismas que incluye Vaisala).

Intervalo de muestra.

- ¿Qué frecuencia de muestreo necesitamos en nuestros ficheros? Sam Oltmans opinó que es suficiente una resolución de 10s para la mayoría de los estudios. Así

mismo recomendó una frecuencia de muestreo de 1s para estudios relacionados con el control de calidad de las sondas, ya que de esta forma se pueden estudiar variaciones rápidas, etc.

- Para enviar datos a los centros de recogida 10s de frecuencia de muestreo es suficiente.
- Esko Kyrö advirtió a aquellos que utilizan los sistemas Microcora y PP-12, que en estos hay un desplazamiento de 6 ciclos entre la señal PTU y el ozono.

4.2 Proyecto THESEO

El proyecto THESEO (THird European Stratospheric Experiment on Ozone) tiene como principal objetivo mejorar la comprensión de las causas que provocan la disminución de la capa de ozono sobre Europa y otras regiones de latitudes medias en donde durante los últimos 20 o 30 años se ha observado una degradación paulatina del ozono estratosférico. Hasta ahora se ha establecido como principal causa de este deterioro la emisión de CFCs y otros componentes relacionados con la destrucción del ozono estratosférico, pero la incorporación en los modelos de estos efectos subestiman la destrucción de ozono, por lo que se hace necesaria la búsqueda de otras causas que se sumen a la contribución de dichos componentes. Un importante frente de investigación es el estudio de los procesos de transporte entre la estratosfera de latitudes medias y la estratosfera subtropical. Es en este punto donde juega un papel muy importante la serie de datos de ozono de la estación de ozonosondeos de Sta. Cruz de Tenerife, ya que son muy escasas las estaciones situadas en latitudes subtropicales.

A continuación se exponen las recomendaciones para la unificación de métodos de operación de las estaciones de ozonosondeos que están involucradas en el proyecto europeo THESEO.

Recomendaciones del Grupo de Control de Calidad del Proyecto THESEO

1. Después de la preparación previa de la ozonosonda (de 3 a 7 días antes del lanzamiento), *los conectores del sensor deben ser cortocircuitados antes de almacenar la ozonosonda hasta el día del lanzamiento.* De acuerdo con el Dr. Walter Komhyr, el inventor de las sondas ECC, esta operación ayuda a la acción de limpieza durante el tiempo en que el sensor está almacenado, lo cual da lugar a valores inferiores en la corriente de fondo y menores picos en los datos de ozono.
2. En el comienzo de la preparación del día del lanzamiento y antes de llenar la celda del cátodo con la solución definitiva, es recomendable *llenar completamente dicha celda con otros 3 cm³ de solución del cátodo y vaciar posteriormente el*

sensor. Con esto se limpian los pequeños residuos de partículas de Yodo (I) depositadas en las paredes de la celda del cátodo durante el almacenaje.

3. Se recomienda que *la temperatura de la caja se mida en el interior de la bomba, alojando el sensor en el agujero disponible para este fin.* Si no existe este agujero se debe unir con cinta adhesiva el sensor de temperatura a la base de la bomba. Las diferencias relativas entre las temperaturas de la bomba y el tubo son del orden del 1-4% y dicha diferencia se transfiere directamente a los valores de ozono medidos. Por este motivo, es importante informar en la cabecera de los ficheros del método utilizado para la medida de la temperatura.
4. Se recomienda el *uso de 3 cm³ de solución del cátodo.* En los manuales de las sondas EN-SCI se recomienda el uso de 2.5 cm³ de solución del cátodo con el objeto de reducir el tiempo de reacción del sensor. Sin embargo, la utilización de globos de plástico en estaciones polares incrementa el tiempo del sondeo hasta 2 horas o incluso más, por lo que el uso de 2.5 cm³ se muestra inapropiado debido a la evaporación de la solución durante el vuelo.
5. Es recomendable el uso de la *solución del cátodo al 1% de KI*, o en otras palabras, 10 mg de KI por 1000 ml de solución.
6. La corriente de fondo I_b se suponía debida principalmente a la sensibilidad del sensor de ozono al oxígeno diatómico, y que por tanto esta corriente debía ser dependiente de la altitud. Las conclusiones de JOSHIE-96 que se expusieron en el congreso de Potsdam muestran, sin embargo una corriente de fondo constante con la altura. A pesar de estos resultados, y con el objeto de mantener la homogeneidad de la serie de datos de ozono de este proyecto europeo, *se recomienda continuar considerando la dependencia altitudinal en la corriente de fondo.*

Capítulo 5

Ficheros de Salida

En la sección 3.3.4 se describió el funcionamiento del programa Metgraph 5.21, que se utiliza para la adquisición y archivo de los datos obtenidos durante un ozonosondeo. Este programa, además de ofrecer la posibilidad de controlar durante el sondeo los datos numéricos brutos y editados y de proporcionar presentaciones gráficas del ozonosondeo en tiempo real, crea una serie de ficheros de salida conteniendo los datos PTU, viento, y ozono. A continuación se describe el formato de dichos ficheros y de otros derivados de estos que son los necesarios para el envío de información a los Centros Mundiales de Datos de Ozonosondeos.

5.1 Ficheros binarios

5.1.1 Fichero "s"

El fichero "s" es un fichero binario que contiene los datos brutos del ozonosondeo. A partir de los ficheros "s" es posible simular sondeos de ozono mediante el programa METGRAPH con el fin de recalcular los datos de ozono con unos parámetros de entrada diferentes. Esto es necesario, por ejemplo, si se desea reevaluar sondeos de ozono con una tabla diferente de corrección de los datos por eficiencia de la bomba.

La estructura de los ficheros "s" se muestra en la Tabla 5.1.

donde:

- 11-14 Lectura sin calibrar de la temperatura del interior de la bomba (Canal 1).
- 15-18 Lectura sin calibrar de la corriente debida al ozono (Corriente 01; Canal 2).
- 19-22 Lectura sin calibrar de la corriente debida al ozono (Corriente 02; Canal 3).
- 23-26 Lectura sin calibrar de la corriente debida al ozono (Corriente 03; Canal 4).
- 27-30 Lectura del primer parámetro de la interface (REF1; Canal 5).
- 31-34 Lectura sin calibrar de la corriente debida al ozono (Corriente 04; Canal 6).

Byte	Datos	Unidad	Comentarios
1-2	Tiempo	s	Tiempo desde el inicio del sondeo
3-4	Presión en escala logarítmica	hPa	$4096 \cdot \ln(P)$
5-6	Temperatura	0.1K	
7-8	Humedad	%	
9-10	Número de sensores especiales		Numero de sensores que siguen
11-50	Datos de los sensores especiales		Lectura de la corriente sin calibrar de los sensores

Tabla 5.1: Estructura del fichero "s"

35-38 Lectura sin calibrar de la corriente debida al ozono (Corriente 05; Canal 7).

39-42 Lectura del segundo parámetro de la interface (REF2; Canal 8).

43-46 Número de ciclos recibidos (N).

47-50 No utilizado.

5.1.2 Ficheros "e"y "z"

Los ficheros "e"y "z" son los ficheros binarios que contienen los datos editados de PTU y Ozono respectivamente. Son los utilizados por el programa METGRAPH para la obtención de los ficheros ASCII "txt"y "txz". Su estructura de muestra en la Tabla 5.2.

5.2 Ficheros ASCII

5.2.1 Fichero "txz"

Este fichero es obtenido por el programa Metgraph a partir del fichero binario de extensión .??z. Se trata de un fichero ASCII con el siguiente formato:

En la cabecera de este fichero aparecen los siguientes datos:

- Fecha y hora (UT) de inicio del sondeo.
- Número de identificación y coordenadas geográficas de la estación.
- Tipo de radiosonda, nivel de ruido de la telemetría y estadística de datos PTU aceptados.
- Estadística de recepción de datos de viento (GPS).
- Razón de finalización del sondeo, número de la ozonosonda.
- Nombre del operador y comentarios.
- Parámetros y ecuaciones para el cálculo de la concentración de ozono.

El bloque de datos tiene el siguiente aspecto:

Byte	Datos	Unidad	Comentarios	Fichero
1-4	Tiempo	s	Tiempo	"e" y "z"
5-6	Presión en escala logarítmica	hPa	$4096 \cdot \ln(P)$	"e" y "z"
7-8	Temperatura	0.1K		"e" y "z"
9-10	Humedad	%		"e" y "z"
11-12	Componente N del viento	0.01m/s	> 0 si del N.	"e" y "z"
13-14	Componente E del viento	0.01m/s	> 0 si del E.	"e" y "z"
15-16	Altura sobre el nivel del mar	m	restar 30000	"e" y "z"
17-18	Presión	0.1 hPa		"e" y "z"
19-20	Temperatura de rocío	0.1 K		"e" y "z"
21-22	Proporción de mezcla de WV	0.01 g/Kg		"e" y "z"
23-24	Dirección del viento	deg		"e" y "z"
25-26	Velocidad del viento	0.1 m/s		"e" y "z"
27-28	Azimut de la sonda	deg		"e" y "z"
29-30	Distancia horizontal a la sonda	100 m		"e" y "z"
31-32	Longitud de la sonda	0.01 deg		"e" y "z"
33-34	Latitud de la sonda	0.01 deg		"e" y "z"
35-36	Clave de punto significativo	patrón de bit		"e" y "z"
37-38	Clave de punto significativo recalculada	patrón de bit		"e" y "z"
39-40	No utilizado			"e" y "z"
41-44	Valor de Ozono	según nUnitScale		"z"
45-46	Marcas especiales		No utilizado.	"z"

Tabla 5.2: Estructura de los ficheros "e" y "z". Los ficheros "z" incluyen los bytes 41-46, mientras que los ficheros "e" terminan cada bloque de datos en el byte 40.

Time Pressure Height Temperature RH VirtT DPD LRate AscRate Ozone[mPa]
 min s hPa gpm deg C % C C C/km m/sOzone [mPa]

0 0	1019.9	36	19.6	56	21.1	9.0	0.0	0.0	2.58
0 10	1011.5	107	17.9	49	19.1	10.8	23.9	7.1	2.52
0 20	1005.1	161	17.5	51	18.7	10.2	7.4	5.4	2.44
0 30	998.7	216	16.9	51	18.0	10.2	10.9	5.5	2.41
0 40	992.4	270	16.1	54	17.2	9.3	14.8	5.4	2.36
0 50	986.6	319	15.4	56	16.5	8.7	14.3	4.9	2.52

Donde:

Time: tiempo desde el lanzamiento del sondeo (minutos y segundos).

Pressure: presión atmosférica (hPa).

Height: altura en metros geopotenciales.

Temperature: temperatura del aire (°C).

RH: humedad relativa (%).

VirtT: Temperatura virtual (°C).

DPD: Depresión del punto de rocío (°C).

LRate: Gradiente vertical de temperatura (°C/km).

AscRate: Velocidad de ascenso de la ozonosonda (m/s).

Ozone [mPa]: Presión parcial de ozono.

5.2.2 Fichero “def”

Los ficheros de salida “.def” se generan a partir de los ficheros binarios generados por el programa Metgraph con extensión “.??z”. Se trata de ficheros que contienen diversos parámetros derivados que pueden ser útiles para posteriores estudios relacionados con la estructura vertical de ozono.

El programa en lenguaje PERL que genera los ficheros “.def” es el *sonozo.pl*, el cual solo requiere proporcionar en la línea de comandos el directorio en el que están los ficheros “.??z” que se pretenden procesar y el programa genera los ficheros “.def” recursivamente. El formato de estos ficheros es el siguiente:

**Pres[mbar], h[km], Tpot[K], T[°], dd[°], vv[m/s], u[m/s], v[m/s], Hr[%],
 Td[°], q[g/kg], Brunt-Vais[s-2]x1e-4, Vp[vpu], O3[mPa], O3[ppb], O3int[DU],
 t[s]** 1016.2, 0.036, 290.36, 18.7, 95, 1.5, 1.49, -0.13, 64, 11.8, 8.43, 7.0531, , 2.4, 23.6, 0.00, 0
 1012, 0.071, 289.01, 17.0, 91, 1.6, 1.63, -0.03, 53, 7.4, 6.26, -13.0797, , 2.44, 24.1, 0.08, 5
 1009.3, 0.094, 289.03, 16.8, 91, 1.7, 1.75, -0.03, 56, 8.0, 6.55, 0.3160, , 2.59, 25.7, 0.13, 10

 Ozono Residual=47.53 DU

Ozono Total= 269.29 DU

Donde:

Pres[mbar]: Presión atmosférica.

h[km]: Altura.

Tpot[K]: Temperatura potencial.

T[°C]: Temperatura del aire.

dd[°]: Dirección del viento.

vv[m/s]: Velocidad del viento.

u[m/s]: Componente E-W del vector viento.

v[m/s]: Componente N-S del vector viento.

Hr[%]: Humedad relativa del aire.

Td[°]: Temperatura de rocío.

q[g/kg]: Proporción de mezcla de vapor de agua.

Brunt-Vais[s⁻²] $\times 10^{-4}$: Frecuencia de Brunt-Vaisala (índice de estabilidad).

Vp[vpu]: Vorticidad potencial.

O3[mPa]: Presión parcial de ozono.

O3[ppb]: Concentración relativa de ozono.

O3int[DU]: Cantidad de ozono integrado hasta cada nivel atmosférico en Unidades Dobson.

t[s] : Tiempo desde el inicio del sondeo en segundos.

En el caso de que el ozonosondeo supere el nivel de 15 hPa, se calcula el ozono residual estimado por encima de este último nivel. Esto se hace suponiendo una razón de mezcla constante para niveles superiores al máximo alcanzado. En estos casos los ficheros .def incluyen al final 2 líneas más proporcionando el ozono residual calculado y el ozono total resultante de la suma del ozono integrado y el residual.

La inclusión del valor de la Vorticidad Potencial (Vp) en este fichero facilita estudios relacionados con el transporte de ozono en las distintas capas atmosféricas. Suponiendo que las masas de aire se mueven sin intercambio de calor (aproximación adiabática) es útil el uso de un parámetro como la Vorticidad Potencial que es un invariante en los desplazamientos adiabáticos de las masas de aire.

5.2.3 Fichero “csv”.

Los ficheros “.csv” contienen los datos de los ozonosondeos en el formato requerido para ser enviados al WOUDC. Este formato se denomina *extended Comma Separated Values (extCSV)*. La generación de estos ficheros se realiza con el programa SNDPRO desarrollado por Jonathan Davies (jonathan.davies@ec.gc.ca), Experimental Studies Division, Toronto.

Los ficheros “.csv” están estructurados en diferentes bloques de información. Cada uno de estos bloques comienza por el símbolo #.

A continuación se detalla la información que aparece en cada uno de ellos:

#CONTENT Class, Category, Level, Form

Class: Tipo general de información que contiene el fichero. WOUDC.

Category: Subgrupo de datos contenidos: OzoneSonde.

Level: Nivel de los datos. Nivel 0: datos brutos; Nivel 1: datos procesados.

Form: Versión del formato de los datos. Comienza adquiriendo el valor 1 que se incrementa si se añaden columnas adicionales.

#DATA_GENERATION Date, Agency, Version, ScientificAuthority

Date: Fecha en que el fichero fue generado. La fecha se expresa en el formato ISO 8160: yyyy-mm-dd. Ejemplo: 1999-08-22.

Agency: Siglas del observatorio que produce los datos. INME-IZO.

Version: Versión de los datos especificada por el observatorio que produce estos.

ScientificAuthority: Persona responsable de la calidad de los datos.

#PLATFORM Type, ID, Name, Country

Type: Tipo de estación. En tierra (STN), en Aeronave (FLT), en barco (SHP) etc.

ID: Número de identificación del observatorio asignado por el WOUDC.

Name: Nombre de la estación

Country: País en el código de 3 letras: ISO-3166. España: ESP.

#INSTRUMENT Name, Model, Number

Name: Nombre del instrumento. Por ejemplo: ECC.

Model: Modelo.

Number: Número de serie del instrumento.

#LOCATION Latitude, Longitude, Height

Latitude: Latitud de la estación en grados.

Longitude: Longitud de la estación en grados.

Height: Altura de la estación en metros sobre el nivel del mar.

#TIMESTAMP UTCOffset, Date, Time

UTCOffset: Tiempo que se resta a la hora local para obtener la hora UTC (UTCOffset=time-UTC). Se expresa en el formato ISO-8601: hh:mm:ss.

Date: Fecha del día de la observación. yyyy-mm-dd.

Time: Hora de la observación en el formato ISO-8601: hh:mm:ss.

En el caso de ficheros con datos de ozonosondeos aparecen los siguientes bloques adicionales:

***SOFTWARE: SNDPRO 1.3** Software utilizado para la generación del fichero “.csv”.

***TROPOPAUSE IN MB** Nivel de la tropopausa.

#FLIGHT_SUMMARY IntegratedO3, CorrectionCode, SondeTotalO3

IntegratedO3: Ozono total integrado hasta el momento de la finalización del sondeo.

CorrectionCode: 0 si no se aplica corrección alguna a los datos.

SondeTotalO3: Ozono total integrado teniendo en cuenta una estimación de ozono residual.

#AUXILIARY_DATA MeteoSonde, ib1, ib2, PumpRate, , SampleTemperatureType,

MeteoSonde: Modelo de radiosonda.

ib1: Corriente de fondo antes de probar la sonda con baja concentración de ozono.

ib2: Corriente de fondo después de probar la sonda con baja concentración de ozono.

PumpRate: Tiempo que emplea la bomba en segundos para un volumen de 100ml de aire.

SampleTemperatureType: Lugar donde se coloca el sensor de temperatura de la muestra de aire.

#PUMP_CORRECTION Pressure_Level,Correction

Aparece la tabla aplicada para la corrección de los datos debido a la pérdida de eficiencia de la bomba por la variación de la presión con la altura.

#PROFILE Pressure,O3PartialPressure,Temperature,WindSpeed,WindDirection,LevelCode,Duration

RelativeHumidity,SampleTemperature

Pressure: Presión en mb.

O3PartialPressure: Presión parcial de Ozono en mb.

Temperature: Temperatura en °deg.

WindSpeed: Velocidad del viento en m/s.

WindDirection: Dirección del viento en °deg.

LevelCode: Level 0: Datos primarios o brutos; Level 1: Datos procesados

Duration: Tiempo transcurrido del sondeo en segundos.

GPHeight: Altura en metros.

RelativeHumidity: Humedad relativa.

SampleTemperature: Temperatura de la muestra de aire (en el interior de la bomba).

5.2.4 Fichero “nas”.

Los ficheros “.nas” contienen los datos de los ozonosondeos en el formato NASA AMES, que es el requerido para el envío de datos a NILU (Norwegian Institute for Air Research). La generación de estos ficheros se realiza también con el programa SNDPRO desarrollado por Jonathan Davies (jonathan.davies@ec.gc.ca), Experimental Studies Division, Toronto.

La cabecera de los ficheros NASA AMES consiste en 3 bloques diferenciados.

En el *primer bloque*, se proporciona la información concerniente a la identificación de la estación, persona responsable de los datos, tipo de medidas y fechas del lanzamiento y procesado del fichero.

En el *segundo bloque* se explica la estructura del bloque de datos PTU y ozono. Esta estructura es la siguiente:

Columna 1: Tiempo desde el lanzamiento (s).

Columna 2: Altura geopotencial (m).

Columna 3: Temperatura (C).

Columna 4: Humedad Relativa (%).

Columna 5: Temperatura en el interior de la bomba (C).

Columna 6: Presión parcial de ozono (mPa).

Columna 7: Dirección del viento (°).

Columna 8: Velocidad del viento (m/s).

En el *tercer bloque* de información de la cabecera se explica el contenido de la primera línea del bloque de datos:

- Número total de niveles de presión.
- Ozono integrado (UD).
- Ozono residual (UD).
- Factor de corrección.
- Hora de lanzamiento (UT en horas decimales).
- Longitud de la estación (°).
- Latitud de la estación (°).

- Velocidad del viento en superficie en el momento del lanzamiento (m/s).
- Temperatura en superficie en el momento del lanzamiento (C).
- Año.
- Mes.
- Día.

Capítulo 6

Centros Mundiales de Datos de Ozonosondeos

6.1 World Ozone and Ultraviolet radiation Data Centre (WOUDC)

El Centro Mundial de Datos de Ozono y radiación Ultravioleta (World Ozone and Ultraviolet radiation Data Centre, WOUDC; www.msc-smc.ec.gc.ca/woudc/) es uno de los seis centros mundiales de datos reconocidos en todo el mundo por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Estos centros mundiales de datos forman parte del programa de Vigilancia Atmosférica Mundial (Global Atmosphere Watch, GAW) de la OMM.

El WOUDC se encuentra en el Experimental Studies Division of the Meteorological Services of Canada (MSC), en Toronto y comenzó su andadura en 1960 como Centro Mundial de datos de Ozono (World Ozone Data Centre, WODC). Es a partir de Junio de 1992, cuando se atiende la petición de la OMM para la inclusión de las medidas de radiación Ultravioleta, adquiriendo a partir de ese momento su nombre actual WOUDC. Este centro lo constituyen dos componentes: el Centro Mundial de datos de Ozono (WODC) y el Centro Mundial de Datos de radiación Ultravioleta (World Ultraviolet Data Centre, WUDC).

El WODC dispone de una base de datos científica que proporciona datos de ozono a la comunidad científica internacional procedente de estaciones distribuidas por todo el mundo. Hay más de 300 estaciones representadas en el archivo, algunas de las cuales con series de datos de más de 35 años. La información disponible en este Centro incluye los datos de ozono total en columna, ozonosondeos, medidas realizadas con lidar y perfiles de ozono obtenidos mediante la técnica Umkehr.

Los datos archivados en el WODC se consideran preliminares siendo los responsables de los datos en cada estación los que deben ser contactados para recibir información detallada de los mismos.

La persona de contacto en el WOUDC responsable de la base de datos, de los controles de calidad y de las publicaciones del WOUDC relacionadas con los datos es Mr. Edward W. Hare (Ed.Hare@ec.gc.ca).

Los datos de los ozonosondeos realizados en la estación de Sta. Cruz de Tenerife se envían al WOUDC en el formato *extended Comma Separated Values (extCSV)* con una frecuencia bimensual. Para la submisión de esta información, se requiere una clave de usuario y una password para el acceso a la siguiente dirección existente en el WODC: ftp.tor.ec.gc.ca.

6.2 Norwegian Institute for Air Research (NILU)

NILU (Norwegian Institute for Air Research), es un importante instituto atmosférico de investigación dedicado al estudio de los problemas relacionados con la contaminación del aire a todas las escalas.

Este instituto fue reconocido por la OMM como Centro Europeo de Datos de Ozonosondeos. La base de datos mantenida en NILU se denomina NADIR (NILU's Atmospheric Database for Interactive Retrieval) y se ha convertido en una importante base de datos mundial para el control de la composición química de la atmósfera.

NADIR funciona también como base de datos en proyectos europeos como THE-SEO (THird European Stratospheric Experiment on Ozone).

Nuestros datos de los ozonosondeos se envían a NADIR en el formato *NASA AMES* con una frecuencia bimensual. Para la submisión de esta información, se requiere una clave de usuario y una password para el acceso a la siguiente dirección : zardoz.nilu.no.

6.3 Network for Detection of Stratospheric Change (NDSC)

La Network for Detection of Stratospheric Change (NDSC) está formada por una red de estaciones de ozonosondeos de alta calidad distribuidas por todo el mundo con el objeto de observar y comprender los estados químicos y físicos de la estratosfera. Además del Ozono, también son controlados otros compuestos relacionados con la química de esta importante molécula.

La NDSC comenzó a funcionar de forma operativa en 1991 después de 5 años de planificaciones y diseño instrumental.

Los objetivos principales de la red NDSC son los siguientes:

- Realizar observaciones encaminadas a comprender los cambios en los estados físicos y químicos de la estratosfera y en particular identificar con la mayor rapidez posible los cambios en la capa de ozono, discerniendo la causa de estos cambios.
- Proporcionar los datos necesarios para la calibración de instrumentación en satélites.
- Obtener datos que sirvan para comprobar y mejorar los modelos químicos y dinámicos multi-dimensionales de la estratosfera.

El programa de ozonosondeos del Observatorio Atmosférico de Izaña, cumpliendo todos los requisitos de calidad exigidos por la NDSC, entró a formar parte de esta importante red mundial de estaciones en Julio de 2000.

Los datos de los ozonosondeos son enviados a la NDSC en el formato NASA AMES con una frecuencia bimensual. Para poder acceder a la base de datos de la NDSC es necesario disponer de una clave de usuario y una password en ndsc.wwb.noaa.gov (140.90.198.160). Existen programas que se pueden ejecutar de forma remota para facilitar la comprobación de los datos que se envían antes de su inclusión definitiva en la base de datos (p. eg. dataex). En el documento "NDSC Database User's Manual" (NOAA, 2000), se explica de forma detallada el formato adecuado para el envío de los datos de los ozonosondeos, el procedimiento para el control de la calidad de los mismos, y la forma de acceso y envío de los datos a la NDSC.

Bibliografía

- [1] *DigiCORA MW11A, MARWIN MW12A User's Guide*; VAISALA, 1997.
- [2] *METGRAPH User's Guide*; VAISALA, 1995.
- [3] *NDSC Database User's Manual*, NOAA Document, September 2000.
- [4] *Ozonesonde User's Guide*; VAISALA, 1988.
- [5] *Ozone Data Submission Summary Supplement to the Guide to WMO/GAW World Ozone Data Centre; Atmospheric Environment Service (AES)*; Canada 1998.
- [6] Afonso, S., *Curso de Iniciación a Ozonosondeos 3-4 Julio de 2000*, Sta. cruz de Tenerife 2000.
- [7] Braathen, G., *Minutes of NDSC ozonesonde PI meeting*. 1998.
- [8] Braathen, G., *The Ozonesonde Working Group: Report to the NDSC Steering Committee*; Île de la Reunión, December 1998.
- [9] Braathen, G., *Ozonesondes activities: Report to the NDSC Steering Committee*; Sapporo, October 1999.
- [10] Cuevas, E. *Datos de radiosondeo: 1993*; Sta. Cruz de Tenerife 1994.
- [11] Komhyr, W.D., *Operations handbook-ozone measurements to 40 km altitude with Model 4A Electrochemical Concentration Cell (ECC) ozonesondes*; NOAA Publication, 1986.
- [12] Sancho, J. Izaña: *Station Report submitted to NDSC*; July 2000.

