

**MANUAL DE OPERACIONES
OBSERVACIONES DE OZONO CON UN ESPECTROFOTOMETRO
DE DOBSON**

Por

W. D. Komyr

Preparado para el Proyecto de Monitoreo e Investigación del Ozono Global de la Organización
Meteorológica Mundial

Junio 1980

Revisado Septiembre 2006

Roberto D. Evans

División de Monitoreo Global NOAA/ESRL

Tabla de Contenidos

	Pág.
Prefacio	
1. Introducción	4
2. Principios y Teoría de la Medida de Ozono	6
2.1 Observaciones de Ozono Total	6
2.2 Observaciones de Distribución Vertical de Ozono (Umkehr)	8
2.3 Principios de Operación del Espectrofotómetro	8
3. Calibración del Espectrofotómetro de Dobson	11
3.1 Calibración Relativa	11
3.1.1 Ajuste de la Óptica	11
3.1.2 Calibración Q	11
3.1.3 Calibración de la Cuña Óptica	11
3.2 Calibración Absoluta	12
3.3 Mantener un Espectrofotómetro Calibrado	12
4. Pruebas y Mantenimiento de Rutina del Espectrofotómetro	13
4.1 Propósito de las pruebas del Espectrofotómetro	13
4.2 Frecuencia de las pruebas	13
4.3 Registro de los Datos de las pruebas	13
4.4 Procedimiento de las pruebas	14
4.4.1 Pruebas de Lámpara de Mercurio	15
4.4.2 Pruebas de Lámpara Estándar	16
5. Mantenimiento y Reparación del Instrumento	19
5.1 Ajuste de la Electrónica del Instrumento	19
5.2 Disminución en la Velocidad del Motor del Shutter	19
5.3 Interferencia de Radiofrecuencia	20
5.4 Puesta a tierra y otros problemas	20
5.5 Como evitar los golpes	20

5.6 Control de la Temperatura del Instrumento	21
5.7 Cambiando el Desecante	21
5.8 Limpiando las Componentes Ópticas	21
5.9 Exposición del Fotomultiplicador a la Luz Intensa	22
5.10 Reemplazando las Lámparas Estándar	22
5.11 Reemplazando el Fotomultiplicador	23
6. Observaciones	24
6.1 Casilla de Observación	24
6.2 Observaciones de la Cantidad de ozono total	24
6.2.1 Tipos de Observaciones	24
6.2.2 Horas de las Medidas Rutinarias de Ozono	26
6.2.3 Registrando los Datos Observados	27
6.2.4 Métodos de Observación	28
6.2.4.1 Observaciones AD-DSGQP	29
6.2.4.2 Observaciones AD-DSGQP*	31
6.2.4.3 Observaciones CD-DSGQP	31
6.2.4.4 Observaciones AD-ZB	31
6.2.4.5 Observaciones AD-ZC	31
6.2.4.6 Observaciones CD-ZB y CD-Z	32
6.2.4.7 Observaciones CC'-ZB y CC'-ZC	32
6.2.4.8 Observaciones AD-DSFI y CD-DSFI	32
6.2.4.9 Observaciones AD-RMFI y CD-RMFI	33
6.3 Observaciones Umkehr	33
6.3.1 Horas de Observación	34
6.3.2 Registro de los Datos Observados	34
6.3.3 Procedimientos de Observación	34
6.4 Observaciones Especiales	35
6.4.1 Observaciones para Controlar la Calibración del Espectrofotómetro	
Calibración a longitudes de onda A, C, y D	35
6.4.2 Observaciones para Corregir las cartas Empíricas	
o Polinomios cenitales	35
6.4.3 Determinación de las Correcciones de Imagen Focal	36
6.4.4 Factores de Multiplicación Utilizados en la reducción de los	
Valores CDDSGQP a nivel ADDSGQP	36
7. Reducción de los Datos de Ozono	38
7.1 Cálculo de Ozono Total a partir de Medidas de Sol Directo o Luna	39
7.1.1 Coeficientes de Absorción del Ozono	40
7.1.2 Coeficientes de Difusión de Rayleigh	40
7.1.3 Coeficientes de la Difusión de Partículas	41
7.1.4 Cálculo del μ	41
7.1.5 Valores de m y p/p_0	42
7.1.6 Cálculo del Coseno (Angulo Cenital) para el sol y la luna	42
7.2 Cálculo de las Cantidades de Ozono a partir de Medidas cenitales	
con Cielo Claro	42
7.2.1 Observaciones AD-ZB	43
7.2.2 Observaciones CD-ZB	43
7.2.3 Observaciones CC'-ZB	43
7.3 Cálculo de las Cantidades de Ozono a partir de Medidas cenitales	
con Cielo Cubierto	44
7.3.1 Observaciones AD-ZC	44
7.3.2 Observaciones CD-ZC	44
7.3.3 Observaciones CC'-ZC	44

7.4 Reducción de los datos Umkehr	45
8. Codificación y Archivo de los Datos de Ozono	47
Referencias	48
Agradecimientos	50
Lista de contactos para asistencia	51
Apéndice A. Determinación de las Tablas Q para las Long. de Onda Estándar	53
Apéndice B. Corrección de las Tablas de Q	59
Apéndice C. Calibración de la Cuña Óptica del Espectrofotómetro de Dobson	61
Apéndice D. Calibración de un Espectrofotómetro en una Escala Absoluta	69
Apéndice E. Determinación de las Correcciones de las Tablas N a partir de los Datos de las pruebas de la lámpara estándar	74
Apéndice F. Cálculo del Coseno Z y μ para el Sol y la Luna	76
Apéndice G. Introducción a los principios de Astronomía	82
Apéndice H. Concepto del Tiempo	88

OBSERVACIONES DE OZONO CON UN ESPECTROFOTOMETRO DE DOBSON

Lo que sigue es la introducción original del Informe Nro. 6:

Es imposible escribir un manual como éste sin reconocer la contribución extraordinaria por parte de G.M.B. Dobson en el campo de la espectrofotometría de ozono. Mucha de la información contenida en este manual ha sido obtenida, con el permiso generoso de Pergamon Press, Inc. (Londres, Nueva York, París), a partir de un par de manuales preparados por Dobson (1957a, 1957b). Estos últimos han servido como fuentes primarias de información para los operadores de los espectrofotómetros de Dobson desde el Año Geofísico Internacional (1957-1959).

En años recientes, se ha acumulado una cantidad considerable de experiencia obtenida en el trabajo por parte de un cierto número de investigadores que operan los instrumentos Dobson en todo el mundo. Se han desarrollado mejores calibraciones de los instrumentos y métodos de reducción de datos; se han estandarizado los procedimientos de observación; los componentes electromecánicos en muchos de los instrumentos han sido reemplazados por componentes electrónicos; y es mucho lo que se ha aprendido con respecto al cuidado de los instrumentos. Al hacer un bosquejo de los métodos de operación, calibración y cuidado de los espectrofotómetros de Dobson y para la reducción de los datos de ozono total y la distribución vertical del ozono (Umkehr), se ha provisto este manual con información nueva y actualizada. El objetivo es continuar la tradición establecida en los manuales de Dobson en brindar una guía para estandarizar los procedimientos de operación de los espectrofotómetros dentro de la red global de estaciones que miden ozono total.

A pesar de que este manual constituye en sí mismo un compendio de instrucciones para los operadores de los Instrumentos Dobson, se hace referencia en el mismo a los dos manuales de Dobson del año 1957 con los cuales los observadores de ozono deben familiarizarse. Existe una publicación de Dobson y Normand (1962) en la cual se puede encontrar información valiosa y adicional con respecto a la exactitud de las observaciones realizadas con los espectrofotómetros Dobson. Los observadores encontrarán también de utilidad una serie de trabajos realizados por Dobson los cuales han sido editados por Walshaw para el Instituto de Geofísica de la Academia Polaca de Ciencias (Walshaw, 1975).

Estas palabras son tan verdaderas hace 25 años cuando fueron escritas como ahora. El adelgazamiento de la capa de ozono y la reacción del mundo en forma de los Protocolos de Montreal

(<http://www.undp.org/seed/eap/montreal/montreal.htm>) han hecho posible que las futuras observaciones efectuadas con estos instrumentos sean tan importantes como en el pasado. Los instrumentos siguen siendo los mismos en sus componentes ópticos pero el progreso en la electrónica y en particular, el poder de la informática, permitieron la implementación de instrumentos automáticos y semiautomáticos. El manual de 1980 seguirá siendo la base para las operaciones del instrumento pero con agregados y comentarios basados en la experiencia acumulada durante los últimos 25 años y los cambios del mundo, como lo muestra el link de una página web anteriormente mencionado. El nuevo Informe "Nro.6" tendrá una componente dinámica, en la web

(<http://www.chmi.cz/meteo/ozon/dobsonweb/welcome.htm>)

1 Introducción

Este manual cumple varias funciones, explica:

- Como operar el instrumento y verificar que esté funcionando correctamente. “Operar” significa que hace, como encenderlo, como verificar que esté funcionando correctamente, etc. y esa es la función de un operador.
- Como hacer las medidas para llegar a los valores totales de ozono. Esta también es la función de un observador.
- Como procesar e informar las observaciones usando algoritmos unificados y convalidados y herramientas de programas en la PC. Esta es la función tanto de un observador como de un programador.
- Como combinar la operación del instrumento, el análisis de las medidas y luego relacionar estas medidas con los otros instrumentos y medidas en la red mundial. Esta es la función del programador.

MEDICION DE OZONO, PRINCIPIO Y TEORIA

2.1 Observaciones de Ozono Total

Las observaciones de ozono total se efectúan con un espectrofotómetro de Dobson midiendo las intensidades relativas de pares seleccionados de longitudes de onda ultravioleta, denominadas longitudes de onda A, B*, C, C' y D, las cuales provienen del sol, la luna o la luz cenital. El par A, por ejemplo, consiste en una longitud de onda de 3055 Å fuertemente absorbida por el ozono, mientras que la longitud de onda mas intensa de 3254 Å permanece relativamente no afectada por el ozono. Fuera de la atmósfera de la tierra la intensidad relativa de estas dos longitudes de onda permanece esencialmente fija. Sin embargo, al atravesar la atmósfera y llegar al instrumento, ambas longitudes de onda pierden intensidad debido a la difusión de la luz provocada por las moléculas de aire y las partículas de polvo; además la longitud de onda de 3055 Å se encuentra fuertemente atenuada al pasar por la capa de ozono mientras que la atenuación de la longitud de 3254 Å es relativamente débil. Por lo tanto, la intensidad relativa del par de longitud de onda A vista por el instrumento varía con la cantidad de ozono presente en la atmósfera puesto que a medida que la cantidad de ozono aumenta, la intensidad observada de la longitud de onda 3055 Å disminuye, mientras la intensidad de la longitud de onda 3254 Å permanece prácticamente inalterada. De esta manera, midiendo las intensidades relativas de pares de longitudes de onda adecuadamente seleccionadas en el instrumento Dobson, es posible determinar cuanto ozono se encuentra presente en una columna de aire vertical que se extiende desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la atmósfera en las cercanías del instrumento. El resultado se expresa en función del espesor de una capa de ozono puro a una temperatura y presión estándar.

Comentario: * [Las observaciones efectuadas en el par de la longitud de onda B no son necesarias para las determinaciones del ozono total, pero son útiles para investigar la exactitud de las medidas de ozono. El par de longitud de onda B también es afectado por otros contaminantes atmosféricos de absorción y el uso de este par ya no se utiliza en la red global de los Dobson]

La información detallada relativa a la derivación de las ecuaciones matemáticas usadas en la reducción de los datos de medidas de ozono total obtenidas a partir de observaciones de sol directo o luna se encuentran en otro trabajo (Dobson, 1957a). Seguidamente, se especifica un resumen de las ecuaciones más importantes.

Para las observaciones de ozono efectuadas en un par único de longitudes de onda como el par A, B, C o D, la ecuación de reducción de datos generales es

$$X = \frac{[N - (\beta - \beta') \frac{mp}{P_0} - (\delta - \delta') \sec(SZA)]}{(\alpha - \alpha')\mu}$$

Donde

X = cantidad de ozono total expresada en Unidades Dobson (1 UD = 10⁻⁵ de ozono puro STP) o en atmo-cm;

$$N = L_0 - L = \log(I_0 / I'_0) - \log(I / I')$$

I₀ y I'₀ = intensidades fuera de la atmósfera de la radiación solar en longitudes de onda corta y larga, respectivamente, del par de longitud de onda;

I y I' = intensidades medidas en la superficie de la radiación solar en longitudes de onda corta y larga, respectivamente.

β y β' = coeficientes de difusión (scattering) del aire en longitudes de onda corta y larga, respectivamente.

m = razón de los caminos reales y verticales de la radiación solar a través de la atmósfera, considerando la refracción y la curvatura de la tierra: aeromasa;

p = presión observada en la estación;

p_0 = presión media al nivel del mar;

δ y δ' = coeficientes de dispersión de las partículas de aerosol en las longitudes de onda corta y larga, respectivamente;

SZA = ángulo cenital del sol – distancia cenital angular del sol;

α y α' = coeficientes de absorción del ozono en longitudes de onda corta y larga, respectivamente;

μ = La relación entre el camino real y la vertical de la radiación solar a través de la capa de ozono; la altura media de la capa de ozono se puede considerar a 22 Km. si no se la aproximado por la latitud de la estación.

Surge una dificultad al usar la ecuación (1) dado que no se encuentra a disposición ningún método satisfactorio para estimar el coeficiente de dispersión del aerosol (δ - δ'). Por lo tanto, en la práctica, las observaciones normalmente se efectúan en un doble par de longitudes de onda, por ejemplo: las longitudes de onda AD. Debido a que los pares de longitudes de onda A y D se encuentran aproximadamente dispersos con la misma intensidad en la atmósfera, el efecto de dispersión se encuentra casi anulado de manera que la absorción por parte del ozono se convierte decididamente en el factor de mas peso que afecta las intensidades relativas del doble par de longitudes de onda en las cuales se llevarán a cabo las observaciones.

Para las observaciones del ozono efectuadas en base de combinaciones de pares de longitudes de onda como es el caso para el par AD, BD, CD o AC, la ecuación general de reducción de datos es

$$X_{12} = \frac{(N_1 - N_2) - [(\beta - \beta')_1 - (\beta - \beta')_2] \frac{mp}{p_0} - [(\delta - \delta')_1 - (\delta - \delta')_2] \sec(SZA)}{[(\alpha - \alpha')_1 - (\alpha - \alpha')_2] \mu}$$

donde los subíndices 1, 2 se refieren a los dos pares de longitudes de onda y se da por sentado $(\delta - \delta')_1 (\delta - \delta')_2$ es igual a cero. Aquí también se puede usar la presión media de la estación para p sin cometer un error significativo.

Las cantidades de ozono total también se pueden deducir a partir de observaciones cenitales efectuadas con un cielo despejado o nublado. Los datos de observaciones cenitales se pueden reducir por medio de curvas empíricas construidas o por medio de ecuaciones desarrolladas estadísticamente que relacionan los valores N , μ y X del instrumento. Dichos diagramas o ecuaciones se construyen usando datos obtenidos quasi simultáneamente a partir de observaciones de sol directo y observaciones cenitales con cielo despejado o nublado. Se han desarrollado otros métodos detallados usando las estadísticas de datos quasi simultáneos. En las Secciones 6.2.4 y 7.3 de este manual se presenta información detallada relativa a los métodos y reducción de datos.

2.2 Observaciones de la Distribución Vertical del Ozono (Umkehr)

Si con el espectrofotómetro de Dobson, en un día de cielo despejado, se efectúan observaciones cenitales durante la mitad de un día y los valores de N observados son graficados con respecto al tiempo (hora) se observará que poco después de la salida y de la puesta del sol tendrá lugar un valor máximo en los valores de N. Esta inversión (o “Umkehr”) en la curva graficada está relacionada con la altura efectiva en la atmósfera donde fueron dispersadas las longitudes de onda en las que se efectuaron dichas observaciones. Combinada con la información de perfiles de ozono estándar y el conocimiento de la cantidad de ozono total, los datos de Umkehr se pueden analizar para que brinden información de la distribución vertical de ozono, lo cual revela cambios en el ozono asociados con las condiciones del estado del tiempo día a día así como también con las tendencias estacionales y de largo plazo.

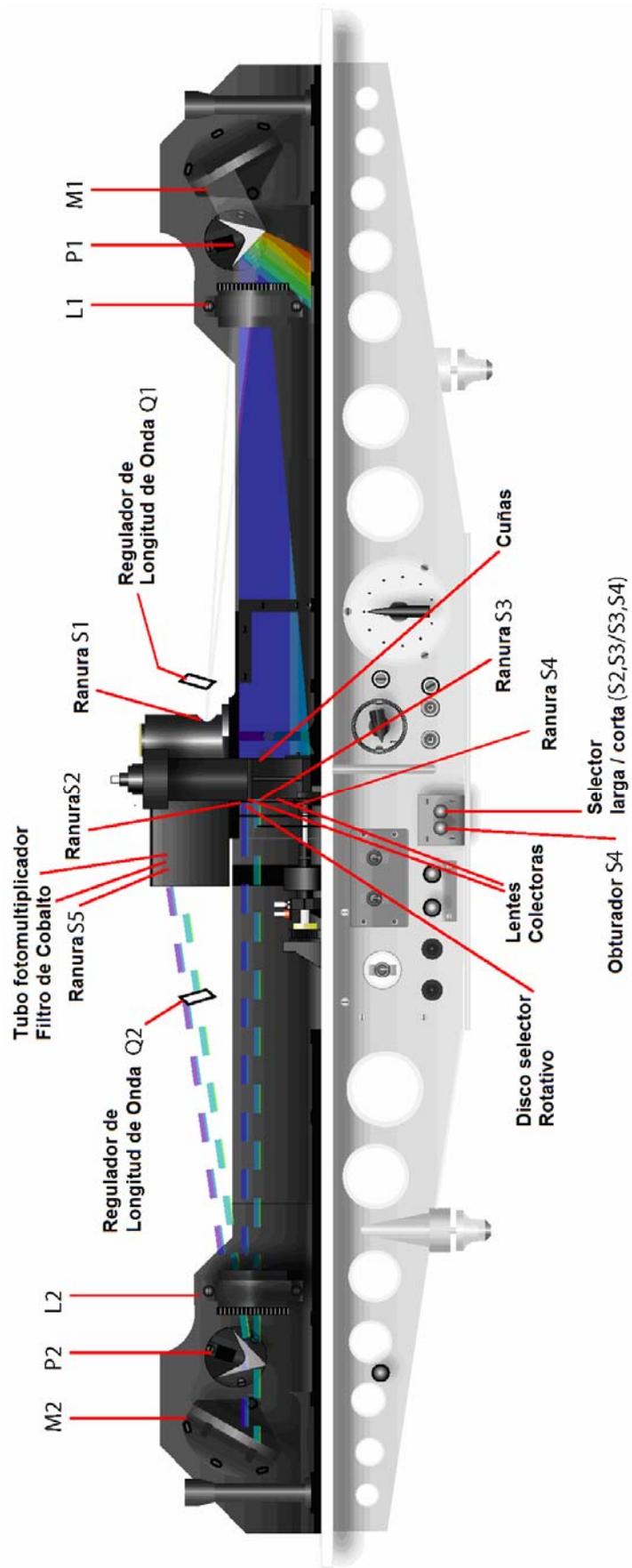
Las medidas de Umkehr continúan siendo un uso importante del instrumento en un programa de observación. A principios de la década del 80, la NOAA/CMDL automatizó completamente siete instrumentos especialmente para que realicen medidas de Umkehr. La Agencia Meteorológica Japonesa (JMA) también usa instrumentos completamente automatizados para las medidas Umkehr.

El perfil de ozono resultante derivado a partir de la reducción de estas medidas es completamente dependiente del algoritmo usado. El método de análisis de los datos Umkehr ha sido originariamente desarrollado por Götz , Meetham y Dobson (1934). En años recientes, el método ha sido perfeccionado por Ramanathan y Dave (1957) y Mateer y Dütsch (1964). El algoritmo más común es I. Petropavlovskikh y P.K. Bharia (2004) (<http://www.srrb.noaa.gov/research/umkehr/>)

Actualmente, los datos observados de Umkehr se envían en forma rutinaria al Centro Mundial de Datos de Ozono (WOUDC) (<http://www.woude.org/>), Servicio Meteorológico de Canadá, Downsview, Ontario, para su procesamiento de acuerdo a técnicas estándar. Tantas veces como se actualiza el algoritmo a medida que el conocimiento de la física radiativa se perfecciona, los datos son reprocesados. Tenga en cuenta que la medida del efecto Umkehr no se limita sólo a los instrumentos Dobson.

2.3 Principio de Operación del Espectrofotómetro

El principio de operación del espectrofotómetro de Dobson se puede explicar mejor por medio de la Figura 1. La luz entra al Instrumento a través de la ventana que se encuentra en la parte superior del instrumento y después de su reflexión en un prisma de ángulo recto, incide en la ranura S1 que se encuentra en un espectroscopio. Este último consiste en un lente de cuarzo que hace que la luz resulte paralela, un prisma que descompone la luz en sus colores espectrales y un espejo que refleja la luz haciéndola volver de nuevo al prisma y las lentes de manera tal que forma un espectro en el plano focal del instrumento. Las longitudes de onda involucradas se aíslan por medio de las ranuras S2, S3 y S4 ubicadas en el plano focal del instrumento.



En la base del espectrofotómetro se encuentran montadas dos palancas de obturación. La palanca S4 que se encuentra a la izquierda, se usa solamente cuando se efectúan pruebas en el espectrofotómetro y deben ser introducidas completamente dentro del instrumento cuando se realicen las medidas de ozono. La palanca selectora de longitud de onda que se encuentra a la derecha bloquea la luz que pasa por la ranura S2 o S4. Cuando esta ranura se fija en la posición SHORT, solamente las ranuras S2 y S3 se encuentran abiertas de manera que las observaciones se pueden hacer en los pares de longitudes de onda A, B, C o D. Cuando la palanca selectora de longitud de onda se encuentra en la posición LONG, solamente las ranuras S3 y S4 se encuentran abiertas de manera que se pueden efectuar observaciones en las longitudes de onda en C'. De no hacerse las medidas en el par C', estas palancas deben encontrarse trabadas en su lugar correspondiente para evitar un desplazamiento accidental de la palanca que se encuentra a la derecha.

La selección de las longitudes de onda A, B, C, C' o D cuando se efectúen medidas de ozono se logra rotando las palancas a las posiciones Q1 y Q2 especificadas en la Tabla de Posiciones de Q que es provista con el instrumento. Las placas gruesas y planas de cuarzo montadas inmediatamente en el frente de la primera y última ranura (S1 y S2) se encuentran fijadas a las palancas Q. De acuerdo a la dirección con respecto a la cual las placas de cuarzo sean giradas, el haz de luz que pasa a través de las mismas es refractada hacia arriba o hacia abajo, permitiendo de esta manera la selección de la longitud de onda. Los cambios en el índice de refracción de los prismas de cuarzo del espectrofotómetro debido a los cambios en la temperatura del instrumento logran corregirse mediante pequeños ajustes en las posiciones de Q1.

Una cuña óptica, la cual está formada por dos láminas chatas de cuarzo cubiertas con cromo, se encuentra montada dentro del instrumento en frente de la ranura S3. La posición de la cuña óptica se controla haciendo girar un disco graduado que se encuentra en la parte externa superior del instrumento. Estando el disco posicionado en 0°, la parte delgada de la cuña óptica se encontrará ubicada en frente de la ranura S3 de manera que la luz pase a través de la cuña óptica y la ranura S3 sin que se verifique prácticamente ninguna pérdida de la intensidad. Por otra parte, cuando el disco se encuentra posicionado en 300°, el haz de luz S3 es casi completamente absorbido por la parte gruesa de la cuña óptica. Se deduce entonces que existe un posicionamiento de "equilibrio" de intensidades en alguna parte del disco entre los 0° y los 300° en la cual el haz de luz que pasa a través de la cuña óptica y la ranura S3 habrá sido reducida al nivel de intensidad del haz de la longitud de onda S2 (o el haz de longitud de onda S4 si las observaciones se han efectuado en las longitudes de onda C'). Ahora, en cualquier posición dada del disco, la intensidad de la luz que pasa a través de la cuña óptica se reduce a una razón definida la cual se determina durante la calibración original del espectrofotómetro. Para medir la intensidad relativa de las dos longitudes de onda en las cuales se efectúan las observaciones es por lo tanto solamente necesario poder determinar la detección de la posición de equilibrio del disco.

La indicación de la posición de equilibrio del disco se realiza de la siguiente manera: Asumiendo que el disco se encuentra inicialmente posicionado fuera de equilibrio de manera que los haces de luz que parten de la ranura S1 o la ranura S2 (o la ranura S4) son de distinta intensidad. En este caso, los haces de luz pasan a través de la rueda giratoria (el disco selector rotativo) la cual se encuentra siendo girada por un motor, ésto provoca que los haces de luz sean divididos permitiéndoles atravesar en forma alternada dentro de un segundo monocromador y, finalmente, incidir sobre el fotomultiplicador ubicado detrás de la ranura S5. (El propósito del segundo monocromador es el de eliminar la luz dispersa y dirigir las imágenes de las ranuras al tubo fotomultiplicador de manera que las imágenes incidan en la misma parte del cátodo). Puesto que los dos haces de luz que inciden alternativamente en el fotomultiplicador son de intensidad desigual, los mismos dan lugar a una corriente de electrones pulsante la cual se deriva desde el fotomultiplicador hacia el resto del circuito. Esta corriente es amplificada por medio de un amplificador de corriente alterna, rectificadora por un conmutador, y produce una deflexión en la aguja de un micro amperímetro de corriente continua. La rectificación produce una lectura

positiva en el micro amperímetro si la intensidad es diferente en un sentido (por ejemplo $I_{S2} > I_{S3}$) y una lectura negativa si la diferencia de la intensidad es en el sentido opuesto. Si en este punto el disco se coloca en la posición de equilibrio, los dos haces de luz que inciden alternadamente en el fotomultiplicador serán de igual intensidad. Entonces los mismos dan lugar a una corriente constante y continua que no puede ser amplificada por medio del amplificador de corriente alterna. Puesto que no existe una corriente pulsante para amplificar o rectificar, el micro amperímetro acusa una lectura de 0 (cero). De esta manera, una lectura de corriente 0 (cero) del micro amperímetro, indica que el dial (disco graduado que maneja las cuñas) se encuentra en la posición de equilibrio. Las intensidades relativas de las dos longitudes de onda en las cuales se efectúan las observaciones pueden entonces obtenerse a partir de la lectura de la posición de equilibrio del disco y las tablas de calibración provistas con el instrumento.

CALIBRACION DE UN ESPECTROFOTOMETRO DE DOBSON

3.1 Calibración relativa

La calibración de un espectrofotómetro de Dobson en base a una escala relativa implica una ejecución cuidadosa de las Operaciones descriptas a continuación.

3.1.1 Ajuste de las Ópticas

Todos los componentes ópticos, es decir: las lentes, los prismas, las ranuras, etc. deben encontrarse en un estado de ajuste perfecto. La experiencia ha demostrado que los componentes ópticos de los espectrofotómetros de Dobson a menudo acusan diferentes grados de desajuste debidos ya sea a errores cometidos durante la fabricación del instrumento o a fallas que se desarrollan en el instrumento con el correr del tiempo. Por ejemplo, las fallas que se observaron en el pasado son:

- a) distorsión del eje óptico del instrumento;
- b) lentes de vidrio en vez de lentes de cuarzo, usados en el camino de los haces de longitudes de onda S2 y S3;
- c) ancho de la ranura que no han sido fijados de acuerdo a las especificaciones de tolerancia;
- d) ancho de la ranura que no han sido fijados lo suficientemente paralelos entre si;
- e) las cuñas ópticas flojas en sus fijaciones;
- f) las lentes de enfoque montadas al revés;
- g) los haces ópticos S2 y S3 parcialmente obstaculizados por las partes mecánicas del instrumento;
- h) la posición del espejo influenciada por la temperatura (con histéresis) debido a que el espejo se encuentra demasiado ajustado en su montura.

En otros trabajos se encuentran detalladas las explicaciones relativas a las ópticas del espectrofotómetro

(Dobson, 1957b, <http://www.chmi.cz/meteo/ozon/dobsonweb/messages/archie00.pdf>)

Solamente se debe permitir a un técnico avezado realizar los ajustes de alineamiento óptico. Los encargados de programas que necesiten ayuda en esa tarea, pueden disponer de ayuda de parte de expertos en varios países a través la OMM.

3.1.2 Calibración de Q

Las observaciones de ozono se realizan en pares de longitudes de onda designadas como A, B, C, C' y D. Girando dos palancas Q1 y Q2 en el instrumento, se pueden seleccionar las longitudes de onda deseadas para las observaciones. Las posiciones de Q (o longitud de onda) varían con respecto a la temperatura debido al cambio del índice de refracción del cuarzo con la temperatura y la dilatación o contracción del metal del instrumento. (Las posiciones de Q también dependen de la temperatura dado que el índice de refracción del cuarzo en el aire varía con respecto a la presión (vea el Apéndice B)). Por lo tanto, es necesario establecer un tabla correcta de las posiciones de Q vs. la temperatura del espectrofotómetro. El procedimiento para establecer la tabla de posiciones de Q se encuentra explicada en el Apéndice A.

3.1.3 Calibración de la Cuña Óptica

La transmisión relativa a lo largo de la cuña óptica del espectrofotómetro debe ser conocida con precisión para poder estimar, con un alto grado de precisión, la intensidad relativa de los dos haces de longitud de onda en las cuales se efectúan las observaciones. La calibración de la cuña óptica implica la determinación de las tablas de densidad de la cuña que se relaciona con la

lectura del disco-R del instrumento: con la razón logarítmica de las intensidades del haz de la longitud de onda, o simplemente, las tablas R vs. $\log(I/I') + K$ en la cual K es una constante del instrumento. Los procedimientos que deben ser seguidos para las calibraciones de la cuña óptica con el método de las dos lámparas y en la reducción de los datos experimentales, se encuentran descritos en el Apéndice C.

3.2 Calibración Absoluta

No es posible usar un espectrofotómetro para medir las cantidades de ozono correctamente aunque haya sido calibrado con precisión en una escala relativa puesto que es necesario conocer la “constante extraterrestre” (ETC) para el instrumento, es decir el valor del $\log(I_0/I'_0) + K$ que sería encontrado para cada par de longitud de onda para cada instrumento Dobson si las medidas fueran hechas con la luz solar fuera de la atmósfera de la tierra. La determinación de la “constante extraterrestre” con respecto a la densidad de la cuña óptica para la tabla de las longitudes de onda A, B, C y D consiste en calibrar el espectrofotómetro en una escala absoluta. Las tablas de densidad de la cuña modificadas son entonces denominadas “Tablas N” *. Los valores de N son simplemente valores de $\log(I_0/I'_0) - \log(I/I')$.

Nota * [Por comodidad, los valores de N en las tablas se definen a menudo en $100 * [\log(I_0/I'_0) - \log(I/I')]$

La calibración absoluta de un espectrofotómetro puede ser efectuada de tres maneras: intercomparando dos instrumentos directamente; efectuando tipos especiales de observaciones de sol directo (vea la Sección 6.4.1) y usando lámparas para transferir la calibración a partir de un instrumento calibrado correctamente a otro el cual no ha sido calibrado. En el Apéndice D se encontrará una descripción de los tres métodos.

3.3 Mantener Calibrado un Espectrofotómetro

Cada espectrofotómetro que ha sido calibrado debe tener asociado al mismo un juego de tablas de referencia llamadas Tablas de Posiciones de Q, Pruebas de lámpara estándar, Pruebas de Calibración de las Cuñas y Pruebas de Sensibilidad los cuales representan las constantes de calibración presentes del instrumento definida en la última campaña de calibración. Siempre que a el espectrofotómetro se le efectúen pruebas de rutina descritas en la Sección 4, los datos experimentales obtenidos deben ser comparados con los datos presentados en las tablas de referencia ya mencionadas. Si los dos juegos de datos concuerdan dentro de los límites de tolerancia, significa que el nivel de calibración del espectrofotómetro ha permanecido sin cambio. Sin embargo, si algunos de los datos experimentales y de referencia no concuerdan, quiere decir que ha ocurrido un cambio ya sea en las características espectrales del instrumento o al hacer las pruebas en el aparato. En este caso, es necesario seguir ciertos pasos para determinar la fuente del error y corregirlo.

Los gerentes de programación encontrarán la utilidad de mantener siempre graficados los datos de las pruebas de rutina del espectrofotómetro puesto que los cambios en la calibración del instrumento se pueden detectar más fácilmente a partir de esos gráficos. Las acciones correctivas que se deben tomar, de ser necesarias, se describen en la Sección 4. Solamente un técnico calificado puede ajustar las componentes ópticas del espectrofotómetro así como llevar a cabo otras calibraciones importantes.

PRUEBAS DE RUTINA Y MANTENIMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO

4.1 Objetivos de las Pruebas del Espectrofotómetro

Es posible que las características espectrales de un espectrofotómetro cambien con el pasar del tiempo de manera tal que la calibración original del instrumento no pueda aplicarse. Con el objeto de detectar tales cambios y permitir que tengan cabida, ya sea aplicando correcciones a los datos observados registrados o haciendo ajustes a las constantes de calibración del instrumento (Tablas N, Tablas Q), es necesario efectuar dos tipos de pruebas al instrumento en forma periódica, es decir la prueba de lámpara de mercurio y la prueba de lámpara estándar.

El esquema para las pruebas de mantenimiento para los instrumentos Dobson es aproximadamente mensual, con el agregado de pruebas adicionales dos veces por año y una intercomparación cada cuatro años frente a un instrumento de referencia nacional, regional secundario o primario. También, una inspección sobre la marcha y la evaluación de los datos le informará al encargado del programa acerca de los problemas que no han podido ser identificados por las pruebas realizadas al instrumento.

4.2 Frecuencia de las Pruebas

Los test de lámpara estándar y de mercurio deben ser realizados por lo menos una vez al mes en un cronograma adecuado a los cálculos e informes de los datos. Generalmente, es suficiente realizar solamente un juego de pruebas; sin embargo, si los datos de la prueba indican que ha ocurrido algún cambio en las características espectrales del instrumento, puede ser necesario repetir una o más de las pruebas después de tomar algunas medidas correctivas, las cuales serán descriptas más adelante.

4.3 Registro de los Datos de las Pruebas

Los datos de las pruebas del espectrofotómetro pueden ser registrados en un formulario similar al del ejemplo mostrado en la figura 2. Los formularios deben ser numerados consecutivamente o provistos de fecha con el objeto de ver claramente el orden en el cual las pruebas fueron realizadas. Cualquier método organizado que permita revisar la historia de las pruebas y las reparaciones con facilidad es aceptable. En los comentarios se deben describir todos los ajustes hechos en el espectrofotómetro o el trabajo de mantenimiento. Con las computadoras modernas, hoy en día es posible hacer hojas de trabajo que permitan ingresar la información en este formulario haciendo los cálculos directamente a medida que se ingresan los datos. Es importante que todos los registros de los datos de las pruebas sean grabados en una manera organizada y que la historia de los cambios sea estudiada.

Page: _____	Instrument No. _____																																																
LAMP TEST FORM																																																	
Mercury Test Date: _____ Time: _____ Inst. Temperature Start: _____ End: _____ Mean: _____																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">2</td> <td style="width: 15%;">3</td> <td style="width: 15%;">4</td> <td style="width: 15%;">5</td> </tr> <tr> <td>Q1 up</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q1 down</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Average:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			1	2	3	4	5	Q1 up						Q1 down						Average:																													
	1	2	3	4	5																																												
Q1 up																																																	
Q1 down																																																	
Average:																																																	
Test Mean: _____ Table Value at Mean Temperature: _____ Difference: _____																																																	
Table Date: _____																																																	
Mercury Test Date: _____ Time: _____ Inst. Temperature Start: _____ End: _____ Mean: _____																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">2</td> <td style="width: 15%;">3</td> <td style="width: 15%;">4</td> <td style="width: 15%;">5</td> </tr> <tr> <td>Q1 up</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q1 down</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Average:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			1	2	3	4	5	Q1 up						Q1 down						Average:																													
	1	2	3	4	5																																												
Q1 up																																																	
Q1 down																																																	
Average:																																																	
Test Mean: _____ Table Value at Mean Temperature: _____ Difference: _____																																																	
Table Date: _____																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Standard Lamp Name: _____</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Time: _____</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">2</td> <td style="width: 15%;">3</td> <td style="width: 15%;">mean</td> <td style="width: 15%;">N-value</td> <td style="width: 15%;">N-ref</td> <td style="width: 15%;">Delta N (N-ref - N-test)</td> </tr> <tr> <td>Test A:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test C:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8">Inst. Temperature: _____</td> </tr> </table>		Standard Lamp Name: _____				Time: _____					1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)	Test A:								Test C:								Test D:								Inst. Temperature: _____							
Standard Lamp Name: _____				Time: _____																																													
	1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)																																										
Test A:																																																	
Test C:																																																	
Test D:																																																	
Inst. Temperature: _____																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Standard Lamp Name: _____</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Time: _____</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">2</td> <td style="width: 15%;">3</td> <td style="width: 15%;">mean</td> <td style="width: 15%;">N-value</td> <td style="width: 15%;">N-ref</td> <td style="width: 15%;">Delta N (N-ref - N-test)</td> </tr> <tr> <td>Test A:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test C:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8">Inst. Temperature: _____</td> </tr> </table>		Standard Lamp Name: _____				Time: _____					1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)	Test A:								Test C:								Test D:								Inst. Temperature: _____							
Standard Lamp Name: _____				Time: _____																																													
	1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)																																										
Test A:																																																	
Test C:																																																	
Test D:																																																	
Inst. Temperature: _____																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Standard Lamp Name: _____</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Time: _____</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="width: 15%;">1</td> <td style="width: 15%;">2</td> <td style="width: 15%;">3</td> <td style="width: 15%;">mean</td> <td style="width: 15%;">N-value</td> <td style="width: 15%;">N-ref</td> <td style="width: 15%;">Delta N (N-ref - N-test)</td> </tr> <tr> <td>Test A:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test C:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Test D:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8">Inst. Temperature: _____</td> </tr> </table>		Standard Lamp Name: _____				Time: _____					1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)	Test A:								Test C:								Test D:								Inst. Temperature: _____							
Standard Lamp Name: _____				Time: _____																																													
	1	2	3	mean	N-value	N-ref	Delta N (N-ref - N-test)																																										
Test A:																																																	
Test C:																																																	
Test D:																																																	
Inst. Temperature: _____																																																	
COMMENTS: 																																																	

Figura 2. Ejemplo de formulario para registrar las calibraciones.

4.4 Procedimientos de las pruebas

Las pruebas del espectrofotómetro deben realizarse cuidadosamente de acuerdo a las instrucciones dadas en las Secciones 4.4.1 a 4.4.4. Al realizar las pruebas, el instrumento debe encontrarse en equilibrio térmico.

Notas: Evite mirar dentro de la lámpara de mercurio directamente dado que tiene un espectro de luz peligroso. Evite tocar el bulbo (cobertura) de cuarzo dado que la grasa de la piel puede provocar manchas que degradan la lámpara.

4.4.1 Pruebas de Lámpara de Mercurio

Las longitudes de onda que inciden en las ranuras S2, S3 y S4 pueden cambiar debido a una deformación lenta de la estructura del espectrofotómetro, la compresión de la goma entre la base y la tapa o el desplazamiento de algunos componentes ópticos. Para determinar si la tabla de posición de Q es correcta (es decir que las observaciones de ozono se están efectuando en las longitudes de onda correctas), se deben realizar pruebas de lámpara de mercurio. La lámpara de mercurio provista con el instrumento puede ubicarse sobre la ventana de ingreso para iluminar la ranura S1. Para los chequeos de rutina, es suficiente medir el valor de Q1 cuando la longitud de onda efectiva de 3129 Å incide en el centro de la ranura S2. Se deben realizar pruebas a diferentes temperaturas para chequear la dependencia de la temperatura en la posición de la palanca Q. El procedimiento de la prueba es el siguiente:

- (1) Encienda la lámpara de mercurio, usando (de ser posible) una fuente de voltaje regulada y déjela calentar durante 5 minutos.
- (2) Coloque el filtro difusor de cuarzo sobre la ranura S1.
- (3) Encienda el espectrofotómetro y fije el control de sensibilidad del fotomultiplicador en la sensibilidad mínima.
- (4) Coloque la lámpara de mercurio sobre la ventana de ingreso de manera que ilumine el filtro difusor de cuarzo.
- (5) Fije la varilla del selector de la longitud de onda en posición SHORT y posicione el disco del espectrofotómetro en 300 grados (o todo a lo que pueda llegar en dirección contraria a las agujas del reloj). (Esto significa que en efecto solamente la ranura S2 se encuentra abierta y que la deflexión del micro amperímetro será una medida de la luz que pasa a través de aquella).
- (6) Fije las palancas Q1 y Q2 para la longitud de onda de mercurio para 3129 Å usando la Tabla de Posiciones de Q del instrumento.
- (7) Ajuste la sensibilidad del instrumento de manera que el micro amperímetro acuse una lectura cercana al valor máximo de la escala. (En caso que el micro amperímetro no disponga de una llave inversora, puede ser necesario invertir las conexiones en el micro amperímetro). En caso que la deflexión del micro amperímetro sea demasiado grande, con el control de sensibilidad busque la mínima sensibilidad del instrumento, se puede hacer disminuir la intensidad de la luz que ingresa al espectrofotómetro colocando sobre la placa de cuarzo una o dos hojas de papel pequeño de limpieza de lentes. Como alternativa, se puede instalar un atenuador permanente de luz dentro del portalámparas de mercurio. La deflexión del microamperímetro no debe ser reducida por medio del shunt del microamperímetro, puesto que en este caso el amplificador podría sobrecargarse y perder linealidad.
- (8) Lea y registre la temperatura del instrumento en el grado mas cercano a 0.1.
- (9) Ajuste Q1 como para obtener la lectura máxima del microamperímetro.

- (10) Desplace la palanca Q1 hacia arriba para reducir la lectura del microamperímetro hasta la mitad del valor máximo. Lea y registre este valor de Q1.
- (11) Desplace la palanca Q1 hacia abajo como para obtener, nuevamente, la deflexión máxima del microamperímetro pero en el otro extremo del valor máximo. Lea y registre este valor de Q1.
- (12) El valor medio de las lecturas de Q1 de (10) y (11) muestra la posición de la palanca Q1 en la cual la línea de mercurio 3129 Å incidirá centralmente en S2. Registre dicho valor medio.
- (13) Repita los pasos de (9) a (12) cuatro veces más. Los valores de Q1 deben concordar dentro de aproximadamente 0.2 grados.
- (14) Lea y registre la temperatura del instrumento.
- (15) Haga el cálculo y registre los valores medios de Q1.
- (16) Usando la Tabla de Posición de Q, lea y registre la posición de Q1 para la línea Hg-3129 Å en el valor medio de la temperatura del instrumento.
- (17) Obtenga la diferencia entre los valores de Q1 de (15) y (16).

La diferencia debe ser inferior a 0.3 grados. En el caso que se verifique que sea superior a 0.3 grados, repita la prueba de la lámpara de mercurio un día después, asegurándose que el espectrofotómetro se encuentra en equilibrio térmico. Una indicación de buen funcionamiento de la prueba de la lámpara de mercurio es que la diferencia de las lecturas de Q1 para los puntos de la mitad superior e inferior es de 7.0 grados.

Si la diferencia en los valores de Q persistiera, debe ser interpretado como que algo le ha sucedido al espectrofotómetro de manera que la Tabla de Posiciones de Q usada con el instrumento ya no es válida. De persistir el problema, se deben tomar medidas para corregir la Tabla de Posiciones de Q con el objeto de asegurar que las observaciones de ozono a efectuarse en el futuro sean realizadas en las longitudes de onda correcta. En el Apéndice B se encuentran las instrucciones para corregir las posiciones erróneas de la Tabla Q.

Un desplazamiento repentino y grande (mas de 1.0 grado) en los resultados de la prueba puede indicar un cambio en el alineamiento óptico del instrumento. En el caso que este desplazamiento fuera verificado por medio de otras pruebas, el encargado del programa debe contactar a un experto en alineación óptica de Dobson para poder ayudar en este problema.

4.4.2 Prueba de Lámpara Estándar

Las pruebas de lámpara estándar se realizan para confirmar que el nivel de calibración del espectrofotómetro ha permanecido constante. También, cuando ocurra un cambio permanente en las características espectrales del instrumento, los datos de la prueba de lámpara pueden ser usados para determinar las correcciones a aplicar a los datos de ozono.

**Nota: Evite tocar el bulbo de cuarzo con los dedos puesto que los aceites de la piel pueden causar manchas que degradan la lámpara.
No tome la lámpara con los dedos cuando está caliente debido a la alta temperatura.**

Las lámparas de tungsteno-halógeno (por ejemplo: las lámparas de 8.33 amperes, 24 voltios, 200 vatios fabricadas por G.E.C. Ltd, Casilla de Correo 17, East Lane, Wembley, Middlesex, Inglaterra HA 9-7PG) son las más apropiadas para ser usadas en la realización en las pruebas de lámpara estándar. Esta lámpara específica no se encuentra disponible, pero existen lámparas similares disponibles por parte de otros fabricantes. Una pequeña cantidad de estas lámparas, así como también las especificaciones para fabricar los portalámparas se puede obtener de la NOAA, CMDL, Boulder, Colorado. (Las especificaciones se basan en un diseño de portalámpara realizadas por R.A. Olafson del Servicio del Medio Ambiente Atmosférico de Canadá, Downsview, Ontario). Se recomienda que estas lámparas sean operadas en 24.0 voltios debiéndose monitorear el voltaje de la lámpara con precisión y mantenerla estable entre ± 0.1 voltios de manera que los errores en la lectura del disco del espectrofotómetro no sobrepasen los 0.1 grados.

Las lámparas de alógenas de tungsteno pueden ser operadas con una corriente de 8.33 amperes c.a., manteniéndose la corriente constante dentro ± 0.03 amperes. Este modo de operación requiere del uso de un costoso amperímetro de alta calidad para medir la corriente. Existen otras lámparas que se encuentran en uso en el presente para realizar test de lámparas, por ejemplo: lámparas de tungsteno transparentes de vidrio y de luz ultravioleta que operan en 100 voltios c.a., lámparas similares que operan en 200 voltios C.A., etc.

Cada espectrofotómetro debe ser provisto de al menos tres lámparas estándar que en las instrucciones siguientes se encuentran identificadas como las lámparas A, B, C, etc. Antes de ser usadas por primera vez, cada lámpara debe ser operada en el voltaje correspondiente durante 24 horas con el objeto que las características espectrales se estabilicen. Las pruebas de lámpara deben ser realizados todos los meses usando la misma lámpara estándar; por ejemplo la lámpara A. La lámpara B debe ser mantenida como reserva y usada solamente como control de los resultados de la prueba obtenidos con la lámpara A. Cuando la lámpara se quema, debe utilizarse la lámpara B para todas las pruebas y la lámpara C debe pasar a ser empleada para los test de control mensual, etc. Obtenga un reemplazo para la lámpara A.

La prueba de lámpara estándar debe efectuarse inmediatamente después de la prueba de lámpara de mercurio. Es importante posicionar la lámpara sobre el instrumento exactamente de la misma manera cada vez, especialmente con respecto a la orientación del filamento de la lámpara. Lea la temperatura del instrumento con la precisión 0.5 grados Celsius y fije los tornillos de tope de la palanca Q1 para el par de longitudes de onda A y D de acuerdo a los valores de la Tabla de Posiciones de Q. Los tornillos de tope para Q2 se encuentran siempre fijados en los valores de la tabla que corresponden a la temperatura de 15°C. Las posiciones de Q para el par para la longitud de onda C se determinan de manera similar.

El método de lectura para la posición del disco R depende del nivel de automatización del instrumento. La lectura en la prueba de lámpara estándar es la misma que la que usa durante las observaciones normales.

El procedimiento de la prueba es el siguiente:

- (1) Coloque el filtro difusor de cuarzo en la posición usual sobre la ventana de ingreso.
- (2) Coloque la lámpara estándar en la posición correcta dentro del portalámparas y coloque la unidad de la lámpara sobre la ventana de ingreso del espectrofotómetro. Debe utilizarse un cobertor para cubrir la lámpara y el filtro difusor de cuarzo para que no incida ninguna otra luz brillante como, por ejemplo, la luz diurna. Como última medida de precaución, las pruebas de

lámpara estándar deben ser siempre realizadas en un ambiente cerrado y no al aire libre en la plena luz del sol. De lo contrario, la luz diurna puede afectar las lecturas de lámpara en forma apreciable aunque la lámpara se encuentre cubierta parcialmente con un protector. Se recomienda adjuntar una pantalla vertical en un lado de la lámpara para evitar que la luz directa de la lámpara encendida llegue directamente a los ojos. La lámpara de cuarzo emite luz ultravioleta, de manera que no se recomienda mirarla directamente.

- (3) Ajuste el voltaje o la corriente de la lámpara en el valor correcto, usando, de ser posible, energía regulada para la entrada de la alimentación de la fuente. Mantenga la lámpara encendida por lo menos durante 5 minutos.
- (4) Empuje la varilla S1 del shutter (es decir la varilla de la izquierda) completamente dentro de la base del espectrofotómetro. La varilla selectora de la longitud de onda debe ser fijada en la posición SHORT (completamente fuera) cuando se efectúen mediciones en las longitudes de onda A, C y D y en la posición LONG cuando se efectúen mediciones en la longitud de onda C'.
- (5) Con el instrumento apagado, verifique el cero mecánico del microamperímetro y, de ser necesario, corregirlo.
- (6) Fije las palancas Q1 y Q2 para las longitudes de onda del par A de acuerdo a los datos de la Tabla de Posiciones de Q. La posición de Q1 se determina leyendo la temperatura del instrumento y encontrando el valor de Q1 para el par A.
- (7) Aumente la sensibilidad del microamperímetro girando el potenciómetro completamente en dirección de las agujas del reloj. Aumente la sensibilidad del instrumento en su punto justo.
- (8) Verifique y ajuste el voltaje o corriente de la lámpara. Encienda las llaves del Dobson.
- (9) Obtenga y registre una lectura de la posición R del disco.
- (10) Fije las longitudes de onda para C, C' y D, una después de la otra, verificando el voltaje de lámpara en cada posición, obteniendo y registrando una lectura de la posición del disco R para cada par.
- (11) Repita los pasos de (6) a (10) dos veces más.
- (12) Calcule los valores medios de las lecturas del disco para las longitudes de onda A, C, C' y D.
- (13) Compare los datos experimentales obtenidos con los datos de referencia para la misma lámpara dados en la tabla de calibración del instrumento llamada Lecturas de los Datos de la Lámpara de Referencia y el registro histórico de los resultados de la lámpara estándar. Los valores experimentales de RA, RC y RD no deben diferir con respecto a los valores de referencia en más de ± 1.0 grado y los valores de RC deben concordar dentro de los ± 2.5 grados.
- (14) Si los datos experimentales no concuerdan con los datos de referencia dentro de los límites especificados en el punto (14), debe proceder de la siguiente manera:

- a) Retire el filtro difusor de cuarzo del portalámparas. Lave filtro difusor de cuarzo con agua y jabón, séquelo y coloquelo nuevamente en el portalámpara. Si el portalámpara estuviese dañado, de manera que la placa no puede ser retirada, lave toda la unidad con agua y jabón, enjuáguela completamente con alcohol isopropílico y déjela secar.
- b) Limpie la ventana de cuarzo de ingreso de luz ubicada debajo del filtro difusor de cuarzo con papel de limpieza de óptica de poca pelusa, empañándolo primero con el aliento.
- c) Verifique la condición del silicagel. De ser necesario reemplácelo con silicagel seco.
- d) Realizar pruebas de lámpara estándar un día después usando las lámparas A, B y C. De persistir lecturas discrepantes con respecto a las lámparas estándar, pida asesoramiento a un experto en Dobson.

MANTENIMIENTO Y REPARACION DEL INSTRUMENTO

El propósito de esta sección es describir la correcta operación del instrumento.

El instrumento normalmente tiene tres secciones relacionadas con la electrónica. El motor del shutter, el circuito amplificador y rectificador de fase y el circuito de alto voltaje y el Tubo Fotomultiplicador. Normalmente, cada una de estas secciones tiene su propia llave de encendido como ayuda en el caso que existan problemas para poner en marcha el instrumento.

5.1 Ajuste de la Electrónica del Instrumento

Para que el espectrofotómetro de Dobson funcione en un nivel óptimo durante las calibraciones y observaciones es necesario que el sistema electromecánico del instrumento se encuentre ajustado correctamente. En el caso de los espectrofotómetros equipados con electrónica original (R. & J. Beck, Ltd.), existen una serie de sugerencias relativas al mantenimiento que fueron provistas por Dobson (1957a). En años recientes, para el instrumento Dobson han sido diseñados algunos sistemas electromecánicos nuevos, como ser sustitutos mejorados para el circuito del tubo catódico original y el rectificador mecánico (Olafson, 1968; Komhyr y Grass, 1972). Procedimientos únicos para ser aplicados en caso de haber problemas en el arranque se aplican a cada uno de estos sistemas. Los observadores que usen espectrofotómetros equipados con los nuevos sistemas electromecánicos deben consultar la documentación adecuada cuando reparen los instrumentos. La electrónica de Komhyr y Grass ha sido actualizada con componentes más modernos en 1999.

5.2 Disminución en la velocidad del motor del obturador

Suponiendo que la velocidad del motor es la correcta, el rectificador mecánico y electrónico ubicado dentro del espectrofotómetro rechazará la componente de ruido de 50 ó 60 Hz provocado por el ciclo de la corriente alterna que se encuentra invariablemente presente en la señal de salida del amplificador. En el caso de que el motor se debilite y disminuya su velocidad, la rectificación de la corriente de 50 ó 60 ciclos causará una lenta oscilación de la aguja del microamperímetro. Esta oscilación es mas notable durante el test de lámpara de mercurio puesto que la salida de la lámpara tiene una fuerte componente de la tensión de línea. Las lámparas estándar o las lámparas de mercurio que operan en corriente Corriente Continua no tienen esa componente y no presentan ésta oscilación.

En la siguiente tabla se encuentran especificadas las velocidades del motor, la relación del engranaje del motor y las frecuencias de desdoblamiento del haz de luz para los instrumentos operados en 50 Hz y 60 Hz.

Tabla 1. Especificaciones del motor del obturador

Frecuencia	Velocidad del motor	Relación de transmisión	Velocidad del Obturador	Frecuencia del Barrido del haz de luz
50 Hz	1500 r.p.m.	0.55	825 r.p.m.	27.5 Hz
60 Hz	1800 r.p.m.	0.55	990 r.p.m.	33 Hz

Los motores débiles que no operan correctamente en 1500 o 1800 r.p.m. deben reemplazarse. Se puede hacer una reparación provisoria con el propósito de incrementar la velocidad del shutter al valor correcto en espectrofotómetros equipados con motores originales (R & J Beck, Ltd.) y poleas de fricción enrollando la rueda de tracción con una o mas vueltas de cinta para electricidad de plástico en el eje del motor para engrosar el diámetro. La cinta debe ubicarse debajo de la banda de goma que se encuentra arriba de la rueda de tracción. Esta reparación debe considerarse

solamente provisoria. El método mejor para medir la velocidad del shutter es por medio de un estroboscopio: es un instrumento que despiden una luz fuerte en forma de flash a una velocidad constante y regulable. Es posible observar el funcionamiento del mecanismo del shutter y también se pueden detectar cojinetes (bujes) gastados o flojos.

5.3 Interferencia de Radio frecuencia

Si el espectrofotómetro está siendo operado cerca de un transmisor, pueden ocurrir deflexiones espurias (positivas o negativas) en la aguja del microamperímetro. Es posible eliminar o disminuir la magnitud de estas deflexiones utilizando los dos cables que se conectan al microamperímetro que sean lo más cortos posible y entretejiendo los cables. Puede también ser de ayuda para eliminar la interferencia de radiofrecuencia el conectar a tierra la carcasa del espectrofotómetro. En algunos instrumentos la tapa no hace contacto eléctrico con la base del instrumento. Esta falta de contacto puede causar problemas entre la fuente de energía la interferencia de radiofrecuencia. El contacto eléctrico entre la base y la tapa puede mejorarse colocando una arandela “estrella” debajo de una de las tuercas que se conectan con los tornillos roscados que pasan desde la base hacia la tapa. Verifique que las conexiones – positivo, neutro y tierra- de la corriente alterna sean las correctas. Es posible que el instrumento funcione con una deficiente conexión del neutro o de tierra y puede ser muy sensible a la interferencia eléctrica.

5.4 Puesta a tierra y otros problemas

La caja del instrumento ha sido construida con una aleación de aluminio la cual es auto-anodizante. Las conexiones que van directamente a la caja pueden desarrollar una gran resistencia y hasta un efecto de diodo. Una evidencia de problemas como éstos es la deflexión de la aguja del microamperímetro cuando el motor del shutter del instrumento y el amplificador se encienden mientras que la alta tensión está apagada. Otra indicación es que el microamperímetro se desvía cuando las llaves para el motor del shutter del instrumento, el amplificador y la alta tensión están encendidos pero la tapa de entrada luz se encuentra en su lugar. Observe que en valores altos de voltaje del fotomultiplicador, esporádicamente éste dispositivo conducirá a partir de electrones térmicamente activos en el cátodo. El resolver problemas de masa eléctrica es un proceso que presenta dificultades, ya que existen muchas causas. La solución puede requerir el reemplazo completo de los cables del instrumento. Procure la asistencia de un especialista electrónico.

Los instrumentos fueron producidos desde la década del 30 hasta principios de los 90. Las soldaduras envejecen y aumentan su resistencia eléctrica. Las resistencias de precisión en el circuito del fotomultiplicador son del tipo “cable enroscado”; consiste en un cable muy largo y delgado. Los capacitores, las resistencias de carbón y otros componentes electrónicos, todos ellos se deterioran con el uso y el calor. Es lógico tener que reparar y renovar la electrónica del instrumento. Si una resistencia en el circuito del fotomultiplicador se abre, debe ser reemplazada por otra del tipo correcto para ese circuito. Las resistencias de carbón de bajo costo pueden generar ruido de bajo nivel en el circuito del fotomultiplicador, el cual entonces será amplificado junto con la señal. Una vez más, la asistencia de un ingeniero electrónico es útil cuando se trate de resolver este tipo de problemas.

5.5 Como evitar Golpes

Se deben tomar todas las precauciones necesarias para evitar la exposición del instrumento al golpes para evitar el desplazamiento de sus componentes ópticos. La tapa no debe ser retirada a menos que sea estrictamente necesario. Se debe tener mucho cuidado cuando se vuelva a colocar la tapa en su sitio para asegurarse que el soporte del disco y la columna del cursor no se dañen.

Los instrumentos montados en camillas con ruedas que son transportados para hacer las mediciones diarias requieren un cuidado especial de manera que los mismos no caigan al piso.

5.6 Control de la temperatura del instrumento

Con los instrumentos que se sacan afuera para hacer observaciones, se debe usar las mantas con acolchados provistas con los mismos. En climas fríos se puede obtener un control adicional de la temperatura envolviendo los instrumentos con frazadas eléctricas controladas termostáticamente. Practique aperturas adecuadas en la frazada para poder tener acceso a los controles del instrumentos. La manta acolchada provista con el espectrofotómetro debe ser colocada sobre el instrumento y la frazada. Las mantas eléctricas deben construirse especialmente para el instrumento y diseñadas para mantener una temperatura como máximo de 30 grados centígrados.

5.7 Cambiando el silicagel

El interior del instrumento debe mantenerse seco con el objeto de mantener un buen aislamiento eléctrico y para evitar que la humedad condense las partes ópticas del instrumento. De producirse una condensación la misma hará que todas las lecturas sean falsas. Se recomienda enfáticamente el uso de secadores externos en todos los instrumentos. Estos secadores deben suministrar lentamente aire seco y limpio dentro del instrumento. Al estar fuera del instrumento, el secador puede ser monitoreado con facilidad y ser cambiado sin necesidad de abrir el instrumento. El minimizar la apertura y cierre del instrumento, minimiza también el polvo que entra dentro del mismo. Por otra parte el aire limpio que entra dentro del instrumento por medio de la bomba, sale fuera de este último evitando que entre el polvo. Se debe usar un indicador como el silica gel que cambia de color cuando se humedece. Un ejemplo es el del tipo que cuando está seco es de color azul: cuando está humedecido es de color rosa. El silicagel húmedo puede ser secado calentándolo en un horno durante una o dos horas a una temperatura entre 200 y 300 grados centígrados.

5.8 Limpiando los componentes ópticos

Con la electrónica moderna y obturadores ópticos sincronizados y secadores externos (sección 5.7) , la necesidad de limpiar el interior de la óptica ha disminuido. La limpieza debe ser realizada solamente por alguien que se encuentre familiarizado con la óptica y la óptica de los instrumentos que operan en la región del UV. De ser posible, la limpieza del instrumento debe ser limitada sólo a ocasiones en la cuales se controla la calibración con respecto a un instrumento de referencia, de manera que se pueda evaluar el efecto de la limpieza con respecto a los datos existentes.

En los pocos casos en el que se necesite limpiar las partes ópticas, se debe tener sumo cuidado en no desplazar los prismas, las lentes y los espejos. En general, será suficiente para liberar las superficies ópticas de pelusa y polvo efectuar un ligero cepillado con un cepillo de pelo de camello y soplar con una perilla de goma. Si es necesaria una limpieza adicional, el procedimiento recomendado es limpiar en primer lugar con papel para lentes libre de pelusa humedecido con un reactivo de alcohol metílico, luego de lo cual se debe limpiar con papel para lentes humedecido con agua destilada y, finalmente, lustrar con papel para lente seco. Este último procedimiento debe ser aplicado como último recurso en el caso de los espejos M1 y M2 del espectrofotómetro cubiertos con capa de plata. De ser necesario limpiar un espejo, este último debe ser en primer lugar retirado del instrumento. Al volver a colocar el espejo en el instrumento debe verificarse la alineación óptica. Si los espejos se ensucian en forma extrema, se los puede limpiar muy suavemente con algodón natural bien humectado en primer lugar con agua destilada y luego con alcohol. También se puede usar éter tomando las precauciones debidas.

¡TENGA MUCHO CUIDADO EN NO RAYAR LA SUPERFICIE DE LOS ESPEJOS!

El interior del espectrofotómetro debe ser mantenido libre de grasa y aceite. No engrase los carriles de la cuña óptica, excepto en los casos indicados mas adelante. Si el disco se atasca, use una perilla para soplar el polvo del metal fuera de los carriles de las cuñas. La presencia de aceite en los componentes ópticos puede provocar un pronunciado cambio en la calibración del espectrofotómetro dado que ciertos tipos de aceite absorben fácilmente la luz ultravioleta. Las superficies de contacto del instrumento se desgastan. Si las superficies de contacto anodizadas originales se han desgastado, se puede producir un atascamiento local por el rozamiento denominado aspereza. De ser posible, las partes corredizas de la cuña y las superficies de contacto de la palanca Q, deben ser reemplazadas con una versión más duradera y del tipo auto lubricante. Una solución menos deseable es la de lubricar con grasa de la que se utiliza para bombas de alto vacío. Una grasa adecuada, por ejemplo, es la Apiezon (<http://www.apiezon.com/>).

Periódicamente se debe controlar el director solar para verificar si está limpio. Remueva el polvo acumulado en el mismo. Limpie las lentes y el prisma usando, de ser necesario, alcohol, agua destilada y papel para la limpieza de lentes. En el caso de que el prisma sea retirado para limpiarlo, la orientación del mismo debe ser anotada cuidadosamente de manera que pueda ser vuelto a colocar en su posición original. Los prismas de cuarzo son bi-refractantes, excepto a través de una cara.

Periódicamente retire el filtro difusor de cuarzo de su sitio y lávelo con agua y jabón. Enjuáguelo bien con agua y séquelo con una tela o papel limpio antes de volver a colocarlo en su montura. Evite tocar el filtro difusor de cuarzo con los dedos dado que puede quedar residuo de aceite. Muchos de los filtros difusores de cuarzo no pueden ser retirados de su porta-filtro. Para limpiar todo el conjunto, lávelo con jabón suave, luego enjuáguelo con alcohol isopropílico y déjelo secar.

5.9 Exposición del fotomultiplicador a la luz intensa

Si el fotomultiplicador es expuesto a la luz fuerte, sus características espectrales pueden alterarse en forma temporaria lo cual puede provocar lecturas erróneas en el disco. Es necesario, por lo tanto, obscurecer la habitación lo mejor posible antes de abrir la tapa del instrumento. Por la misma razón, las observaciones del tipo de imagen focal no deben ser realizadas cuando el ángulo cenital del sol es menor a aprox. 67° . La luz intensa puede dañar el cátodo foto sensitivo del fotomultiplicador. Asimismo, nunca retire la cubierta del fotomultiplicador o las tapas de la cubierta antes de apagar la fuente de poder de alto voltaje del fotomultiplicador, puesto que de lo contrario el fotomultiplicador se puede dañar permanentemente.

Si el fotomultiplicador se expusiera accidentalmente a la luz intensa, deben realizarse pruebas de lámpara estándar en intervalos de varios días hasta que las lecturas de la lámpara se estabilicen.

5.10 Reemplazando las lámparas estándar

El espectrofotómetro normalmente debe ser provisto con dos o mas lámparas estándar, A, B, C etc. la cuales son usadas periódicamente para chequear el estado de calibración del instrumento. Si la lámpara A o la lámpara B se quemaran o si se rompieran accidentalmente, se debe solicitar otra nueva.

Es importante que la nueva lámpara sea colocada correctamente sobre la ventana de ingreso de luz del espectrofotómetro antes de usarla, especialmente si la lámpara es del tipo de bulbo de cuarzo con filamento de tungsteno en forma de C (estas lámparas son raras de hallar en la actualidad). El correcto posicionamiento de la lámpara se logra aplicando un pequeño voltaje a través de la lámpara de manera que el filamento se haga visible y ajustar la lámpara en el portalámpara de manera que el filamento en forma de C se encuentre situado simétricamente sobre la ventana de ingreso de luz al espectrofotómetro con la parte posterior de la C apuntando hacia abajo. Hacer una marca de esta posición de la lámpara practicando un pequeño agujero con un taladro en la base de la lámpara en línea con el agujero existente en el portalámpara. Todas las

pruebas que se realicen en el futuro con la nueva lámpara deben ser realizados estando la lámpara correctamente posicionada porque de lo contrario se producirán datos erróneos.

Después de haber conectado la lámpara para su uso, hágala funcionar durante 10 horas en el voltaje o corriente calculada con el objeto de estabilizar sus características espectrales. Después de varios días, realice las pruebas de lámpara estándar usando las lámparas nuevas y las restantes. Cuando se realicen los test de lámpara estándar de rutina las veces subsiguientes, todas las lámparas deben usarse nuevamente puesto que es importante obtener datos comparativos válidos y suficientes para las nuevas lámparas antes de incorporar dichas lámparas dentro del programa de rutina de las pruebas del espectrofotómetro.

5.11 Reemplazo del fotomultiplicador

El fotomultiplicador del espectrofotómetro se encuentra ubicado en una caja “a prueba de luz” cuya tapa no debe ser quitada excepto cuando sea necesario reemplazar la válvula. Tampoco debe ser modificada la posición de la válvula dentro de su caja puesto que en este caso la calibración total del instrumento puede sufrir cambios. El reemplazo del fotomultiplicador debe ser realizado como una reparación después que se hayan agotado todas las posibilidades. El fotomultiplicador es del tipo de cátodo frío y no falla como los de cátodo caliente, como es el caso de las válvulas utilizadas en aplicaciones amplificadores de radio.

Los fotomultiplicadores utilizados en los espectrofotómetros han sido especialmente seleccionados para obtener una alta ganancia y por su relación señal-ruido. Puesto que ya no se realiza la prueba de sensibilidad, se necesita una prueba diferente para detectar una reducción en la sensibilidad causada por un fotomultiplicador defectuoso. El voltaje necesario para realizar la prueba de lámpara de mercurio es una indicación de la sensibilidad. La calidad de los componentes ópticos constituye también un factor determinante en la sensibilidad del instrumento, como en el caso de la alineación óptica correcta. Un desplazamiento en algún componente óptico puede provocar un cambio repentino en la sensibilidad del instrumento.

Cuando se instale un nuevo fotomultiplicador en un instrumento, es importante posicionar el tubo correctamente con respecto al rayo de luz que incide en el cátodo. A pesar de que los ajustes tanto en las direcciones verticales y horizontales son posibles, el posicionamiento vertical correcto del tubo es sumamente importante. Para posicionar el fotomultiplicador correctamente en la dirección vertical, proceda de la siguiente manera:

- 1) Inserte el nuevo fotomultiplicador dentro del zócalo y fíjelo firmemente en su lugar usando el soporte provisto. (tenga cuidado de no manipular el bulbo del tubo con los dedos puesto que es posible que un residuo de aceite quede en el vidrio lo que puede afectar más adelante en la calibración del instrumento). Vuelva a colocar la tapa de la caja a prueba de luz así como también la tapa del espectrofotómetro.
- 2) Prepare el instrumento como cuando realiza una prueba de lámpara de mercurio de rutina.
- 3) Después de esperar 10 minutos para que la lámpara de mercurio se caliente, fije la palanca Q2 en aproximadamente en 84° y la palanca Q1 en la deflexión máxima del microamperímetro, digamos aproximadamente 16 microamperes.
- 4) Ahora mueva la palanca Q2 lentamente hacia arriba mientras se observa cuidadosamente la lectura del microamperímetro. Si la lectura se incrementa hasta un nuevo valor máximo en alguna lectura del disco inferior a Q, digamos, 76° , el fotomultiplicador debe desplazarse hacia abajo.
- 5) De no observarse ningún nuevo punto (o valor) máximo, mueva la palanca Q2 lentamente hacia abajo, comenzando en 84° . Si entonces la lectura del microamperímetro se incrementa a un nuevo valor máximo en alguna lectura del disco más alta, digamos, 95° , el fotomultiplicador debe ser desplazado hacia arriba.

- 6) El desplazamiento del tubo fotomultiplicador en dirección vertical se logra aflojando los cuatro tornillos que mantienen la caja del tubo a prueba de luz en la estructura del instrumento.
- 7) Repita los pasos (3) a (6) hasta que tenga lugar la lectura máxima del microamperímetro estando la palanca Q2 fijada en aproximadamente 84° . Esto es una señal de que el fotomultiplicador se encuentra en la posición correcta. Generalmente se observa que la posición óptima del fotomultiplicador tiene lugar cuando la caja del tubo se encuentra ubicada lo más abajo posible.
- 8) Después de completar el paso (7), realice una prueba para corroborar la posición correcta del fotomultiplicador realizando la prueba 12 descrita en los procedimientos de alineación óptica por Dobson (1957b). De fallar esta prueba, será necesario realizar un nuevo ajuste de la posición del fotomultiplicador.

El reemplazo del fotomultiplicador dentro del espectrofotómetro resultará necesariamente en un pequeño cambio de las características espectrales del instrumento en general. Para compensar ese cambio determinando las correcciones apropiadas que deben ser aplicadas a las tablas N_A , N_C y N_D , se debe realizar una prueba de lámpara después de que el nuevo tubo haya sido instalado y repetir la prueba nuevamente algunos días más tarde. El procedimiento que debe ser usado para determinar las correcciones apropiadas a las tablas N se encuentra esbozado en el Apéndice E.

OBSERVACIONES

6.1 Refugios para Observaciones

Los espectrofotómetros Dobson de ozono generalmente son sacados fuera de los refugios por medio de carritos con ruedas cada vez que se desea efectuar una observación. Con el objeto de minimizar los cambios de temperatura, los instrumentos pueden ser cubiertos con mantas y cubiertas acolchadas termostáticamente controladas por calentamiento eléctrico.

Un procedimiento adecuado que evita el transporte del instrumento y el traqueteo resultante para este último es el de albergar los espectrofotómetros en refugios permanentes. En los EE.UU, se utilizan refugios provistos con domos astronómicos los cuales pueden ser girados y tienen escotillas que pueden abrirse permitiendo realizar medidas de sol directo, de luna y cenitales. Dichos domos están montados en bases de cemento armado, además están aislados, poseen aire acondicionado y en climas tropicales están equipados con deshumificadores. Para poder ser operados convenientemente, los espectrofotómetros que se encuentran dentro de los refugios con domo están montados en bases giratorias. Otras organizaciones como la del Servicio Meteorológico de la Argentina han construido techos deslizantes que permiten la realización de medidas efectuadas de una manera similar a la descrita anteriormente.

En las Regiones Polares, los espectrofotómetros se encuentran generalmente ubicados en estructuras bien aisladas, de forma rectangular y con techo chato que además disponen de ventanas que se pueden abrir para realizar observaciones de sol o de luna y una escotilla que, abriendo la cual, se pueden efectuar medidas de cielo cenitales. La necesidad de abrir las ventanas en climas fríos cuando se efectúan observaciones de sol directo o de luna pueden, sin embargo, evitarse usando un periscopio el cual ha sido diseñado por R. A. Olafson y que puede conducir la luz desde arriba del techo del refugio del espectrofotómetro dentro del instrumento. Las especificaciones para fabricar el periscopio se encuentran a disposición de los interesados dirigiéndose al Servicio Meteorológico de Canadá, 4905 Dufferin St., Downsview, Ontario. Un dispositivo similar se usa en la estación Arrival Heights, operado por el Instituto Nacional de Nueva Zelanda para el Agua e Investigación Atmosférica en Antártida.

6.2 Observaciones de la Cantidad de Ozono Total

6.2.1 Tipos de Observaciones

Una observación es una combinación de medidas de la diferencia de intensidad de pares de longitud de ondas seleccionadas y diseñadas para ser analizadas para cantidades de ozono atmosférico (vea la Tabla 5). A, C y D son los pares de longitudes de onda usadas en las observaciones normales.

Una observación única no es tan confiable como lo son dos observaciones. Las observaciones efectuadas solamente una vez al día no son tan útiles como varias observaciones efectuadas durante el día ya que estas últimas permiten conocer los cambios diarios del ozono total y la estabilidad de la atmósfera (por ejemplo, la cantidad de aerosoles). Algunos tipos de observaciones (Sol Directo) son analizadas usando las propiedades físicas conocidas de la medida pero en otras (Cenitales) el análisis se basa en estadísticas formadas a partir de la comparación de Sol Directo (Sol directo, DS) con Observaciones Cenitales (Zenith Observations, ZB o ZC) efectuadas "cercanas" en el tiempo (vea la Sección 7). Los resultados de las observaciones AD y CD generalmente no coinciden. Esto es un problema basado en el conocimiento de los coeficientes de absorción del ozono y la aplicación de esos valores determinados en el laboratorio a la atmósfera real. Para usar el instrumento en el mas alto rango posible de μ (la masa de aire óptica de la capa de ozono), las medidas AD se hacen con un μ bajo; las medidas CD se hacen con un μ alto y con un rango de μ entre ambos se efectúan los dos tipos de medidas. En este

rango medio de μ , las observaciones AD y CD deben ser tomadas en pares de manera que la diferencia pueda ser entendida y usada en el análisis de los datos.

Las observaciones del par doble AD con sol directo con un filtro de cuarzo pulido en la ventana de entrada (observaciones AD-DSGQP) se definen como las más confiables y las más usadas. Sin embargo, una variedad de otras clases de observaciones rutinarias, presentadas en forma de lista en la Tabla 2, se pueden realizar con un instrumento Dobson. Los tipos de observaciones que deben ser realizadas en un momento dado dependen de las condiciones del cielo, el Angulo Cenital Solar (SZA) del sol y de las características del instrumento. Por ejemplo, las observaciones fundamentales AD-DSGQP se pueden efectuar solamente cuando el sol no se encuentra oscurecido por nubes y cuando se encuentra alto en el cielo (el μ es inferior a 3.0 o el SZA es menor que aproximadamente 70 grados). Cuando la elevación del sol es mayor de 80° (SZA 10° o μ 1.015), el director solar (periscopio) del instrumento resulta inútil y las observaciones AD-DSGGQP no se pueden hacer.

En general, las observaciones del tipo DSGQP no deben hacerse con μ alto puesto que cuando el sol está bajo (alto SZA) el brillo del cielo en las cercanías del sol pueden ser comparables al brillo del disco para cortas longitudes de onda. Puesto que la luz del cielo tiene una composición espectral diferente de la luz del sol, las lecturas del espectrofotómetro pueden ser afectadas en forma adversa. (También, para las longitudes de onda del par A, los errores debidos a la luz difusa dentro del instrumento ocurren con μ alto). Las limitaciones en las lecturas del disco para las observaciones del tipo DSGQP pueden ser determinadas tomando una serie de observaciones cuando el sol sale o se pone, calculando las cantidades de ozono total y graficándolas con respecto a N. En algún valor de N que no debe ser sobrepasado durante las medidas de rutina, las cantidades de ozono comenzarán aparentemente a disminuir. Por otro lado, las observaciones del tipo de imagen focal (FI) no deben ser hechas con un sol muy bajo puesto que se presentan errores debido a la difusión de la luz dentro del instrumento. Con μ alto, la intensidad de la longitud de onda corta es extremadamente pequeña comparada a la de la longitud de onda larga de cada longitud de onda del instrumento Dobson y puede ser comparable a la intensidad de luz falsa difundida por las superficies ópticas del instrumento. Finalmente, el tipo de observaciones ZB (Zenith Blue) y ZC (Zenith Cloud) no deben ser hechas cuando el sol esta bajo en el cielo puesto que los resultados no son confiables.

Tabla 2. Posibles Tipos de Observaciones de Ozono Total

Tipo de Obs.	Par de Long. De Onda	Fuente de Luz	Rango de observación
AD-DSGQP	A y D	Sol directo, utilizando GQP	$1.15 < \mu < 3.0$
AD-DSGQP*	A y D	Sol directo, utilizando GQP*	$1.015 < \mu < 1.15$
CD-DSGQP	C y D	Sol directo, utilizando GQP	$2.4 < \mu < 3.5$
AD-DSFI	A y D	Imagen Focal del Sol	$2.5 < \mu < 4.0$
CD-DSFI	C y D	Imagen Focal del Sol	$2.5 < \mu < 6.0$
AD-ZB	A y D	Cenit despejado	$1.15 < \mu < 4.0$
CD-ZB	C y D	Cenit despejado	$1.8 < \mu < 5.8$
CC'-ZB	C y C'	Cenit despejado	$1.0 < \mu < 4.4$
AD-ZC	A y D	Cenit cubierto	$1.15 < \mu < 2.4$
CD-ZC	C y D	Cenit cubierto	$1.8 < \mu < 5.8$
CC'-ZC	C y C'	Cenit cubierto	$1.0 < \mu < 4.4$
AD-RMFI	A y D	Imagen Focal de Luna	$1.15 < \mu < 3.0$
CD-RMFI	C y D	Imagen Focal de Luna	$1.15 < \mu < 3.5$
D-RMFI	D	Imagen Focal de Luna**	$3.0 < \mu < 5.0$

*[La lente debe ser quitada del periscopio (ver Sección 6.2.4.1).]

**[Esta Observación es realizada solamente en regiones Polares (Ver Sección 7.1).]

6.2.2 Horas de las medidas de ozono rutinarias

Las medidas de rutina deben ser consideradas como una “serie”: varias observaciones de tipos diferentes. Por ejemplo, en una mañana de invierno con cielo despejado con $\mu \sim 2.5$, la serie de observaciones deber consistir de dos ADDSGQP, CDDSGQP y una variedad de observaciones cenitales.

Con las computadoras modernas, y con instrumentos automatizados o semiautomatizados, es posible obtener un valor de ozono inmediatamente después de una observación, lo cual permite evaluar la calidad de la misma. Dos observaciones del mismo tipo son más confiables que una única observación, especialmente si los resultados concuerdan con una diferencia no superior al 1%.

Las observaciones rutinarias de ozono total deben ser hechas todos los días cerca del mediodía local aparente (M.L.A) así como también durante las “ventanas de observación” definidas por las horas de ocurrencia en la mañana y en la tarde de los rangos de μ^* especificados como sigue:

$$1.015 < \mu < 1.2$$

$$1.5 < \mu < 2.0$$

$$2.5 < \mu < 3.0$$

$$3.5 < \mu < 5.8^*$$

A medida que las estaciones avanzan del verano hacia el invierno, una o mas de una de las ventanas de observación se acercan al tiempo M.L.A (mediodía local aparente) y deben ser omitidas para las horas de acercamiento menores de alrededor de media hora. Como se indicó en la sección anterior, una limitación adicional para hacer observaciones es que las observaciones de sol directo no son posibles para $\mu < 1.015$ ya que cuando el sol se encuentra por encima de nuestras cabezas, no es posible la utilización del director solar (periscopio). También, las observaciones de ozono del tipo cenitales (zenith sky) hechas con el Sol alto resultan ser poco confiables.

NOTA: * [No es necesario realizar observaciones durante $\mu 3.5 < 5.8$ siempre que las medidas fueran realizadas durante al menos uno de los otros intervalos de μ de observación especificados mas bajo]

En las estaciones en las que debe cumplirse un plan regular de observaciones durante todo el año o en las estaciones situadas en altas latitudes donde el valor de μ cambia lentamente en el tiempo, es menos satisfactorio pero aceptable hacer observaciones durante el M.L.A (mediodía local aparente) y en las mañanas o en las tardes en horas simétricas alrededor del M.L.A y espaciadas dos o cuatro horas separadas en el tiempo. El motivo por el cual las horas de observación exactas pueden no estar especificadas es que puede ocurrir que un observador no esté disponible para efectuar las observaciones en horas regulares debido a otros trabajos que este último debe realizar. Además, puede ocurrir que el observador quiera avanzar o retrasar la hora de una observación con el objeto de hacer medidas mas precisas, digamos, con el sol directo o cielo claro antes que con nubes.

Para asegurar que los observadores no malgasten el tiempo haciendo medidas de ozono total que no puedan producir datos que puedan ser utilizados, es útil proveer a cada estación una tabla llamada Horas de Medidas Rutinarias de la Cantidad de Ozono Total. Un modelo de dicha tabla consiste en una lista de los intervalos de tiempo aproximados durante las horas en las que hay luz cuando se pueden hacer varios tipos de observaciones de ozono y de una clasificación de las diferentes observaciones en orden de prioridad. El observador debe siempre consultar la tabla de las Horas de Medidas Rutinarias de la Cantidad de ozono total antes de efectuar una medida de ozono con el objeto de determinar que tipo de observación corresponde hacer.

Como alternativa se pueden proveer a las estaciones tablas de μ (para cada minuto de cada día) generadas por computadoras con el objeto de ayudar a los observadores a planificar sus programas de observación. Dichas tablas son útiles especialmente en aquellos lugares en los que los datos observados se procesan en el lugar, es decir mediante el software de Dobson desarrollado por los expertos del Instituto Hidrometeorológico Checo (Vanicek y Stanek, 2000).

En las Regiones Polares se deben hacer observaciones AD-RMFI y CD-RMFI cada dos o tres horas cuando la luna se encuentre desde la media luna llena a la luna llena, siempre que exista una sensibilidad adecuada en el instrumento. En las regiones de latitudes mas bajas, no es necesario hacer observaciones con la luna siempre que se puedan obtener datos de Sol Directo o cenitales confiables, excepto en aquellos casos en que se lleven a cabo investigaciones especiales. Cuando se efectúen medidas con la luna, es preferible hacerlas en las longitudes de onda del par doble AD. En general, se ha descubierto que las observaciones CD-RMFI se pueden hacer con la luna llena con la sensibilidad del espectrofotómetro por debajo de $\mu \sim 4.5$ cuando la cantidad de ozono total es baja. Se pueden también hacer observaciones de luna en las Regiones Polares solamente con las longitudes de onda del par D.

6.2.3 Registrando los Datos Observados

Las lecturas del disco del espectrofotómetro y la hora, así como también cualquier otra información pertinente, deben ser registradas de manera tal que permita la organización de las medidas y el cálculo del ozono. Las horas ingresadas deben ser correctas: deben ser controladas con referencia a una base de tiempo como el sitio nist.time.gov (+/- 5 segundos). La forma de registro puede ser por medio de un formulario de papel o directamente dentro de un programa de computadora. Los cálculos de μ y la cantidad de ozono total pueden ser realizados directamente en el formulario, por medio del programa con los datos ingresados tomados del formulario o ingresados directamente a medida que se hace la observación, como se hace con los instrumentos equipados con elementos automatizados para registrar las observaciones. Puesto que los instrumentos han llegado a ser más automatizados, especialmente en los métodos de registro de datos, el formato es menos importante. Las formas convencionales de registro deben ser continuadas con el objeto de hacer que los datos sean compatibles con los datos históricos. Puesto que el valor de ozono calculado a partir de las observaciones depende del conocimiento real de la atmósfera y las propiedades del ozono, los datos observados deben salvados y protegidos. En el futuro puede requerirse una determinación más precisa de la información en lo que respecta a la atmósfera real y las propiedades del ozono y ello requerirá una completa reevaluación de los datos.

Escriba Notas que indiquen la condición del cielo en la hora en la que hace la observación de acuerdo al siguiente código (Estos últimos se encuentran en los archivos como marcadores para la selección de datos):

(a) Cielo sin nubosidad cercana al Sol, Luna, o sobre el cenit:

C - Clear

H - Hazy

VH - Very hazy

(b) Cielo Cubierto (Sólo cuando realice observaciones cenitales):

Altura de Nubes

L - Bajas

M - Medias

H - Altas

Espesor de las Nubes

TN - Delgadas

M - Mediana

TK - Gruesa

Luminosidad

U - Uniforme

V - Variable

P - Muy Variable

6.2.4 Métodos de Observación

Para medir la diferencia de intensidad de un par de longitud de onda determinado, los selectores de longitud de onda del instrumento (las cuñas Q) deben fijarse en la posición para dicho par de acuerdo a la temperatura del instrumento. El voltaje del fotomultiplicador se ajusta de acuerdo a la sensibilidad correcta. El atenuador óptico se mueve girando el dial R hasta que el microamperímetro indique cero: esto significa que el instrumento “ve” cada longitud de onda del par como si tuvieran la misma intensidad. La señal es a menudo ruidosa (la aguja del microamperímetro vibra alrededor de un pequeño arco) y la señal a menudo se retrasa con respecto al dial R. El método original para registrar la posición del dial R era con una punta de aguja impulsada con un sistema de relojería y una placa ahumada. El operador giraba el disco R de manera tal que el “ruido” de la aguja del microamperímetro estuviera completamente a un lado del cero y luego retrocedía de manera tal que el “ruido” estuviera de la otra parte. La aguja marcaba la posición mientras el operador repetía esta operación durante algunos segundos. La marca hecha en la placa ahumada permitía al operador determinar el promedio de la posición y éste se tomaba como lectura. La primera mejora fue reemplazar la placa ahumada por discos de papel cubiertos con cera.

El método de observación ha cambiado un poco con la mejora de la electrónica y las computadoras. Existen alrededor de 12 instrumentos completamente automatizados; el instrumento se encuentra completamente controlado por una computadora. Otro grupo de instrumentos son semiautomáticos; el operador controla el instrumento mientras la posición del atenuador (cuña) es registrada por una computadora. El número de instrumentos que todavía tienen versiones de la punta de aguja accionada por un sistema de relojería es desconocido. La mayoría de los programas que utilizan instrumentos manuales en la actualidad toman la medida como una simple lectura.

Los instrumentos semiautomáticos usados por NOAA/CMDL usan un encoder relativo y cada lectura es el promedio de la posición a medida que el operador controla el disco R como en el método original. Otras organizaciones usan un elemento similar.

La llave de control del voltaje del tubo del Fotomultiplicador (“sensibilidad”), ha sido cambiada en muchos instrumentos habiéndose implementado otros métodos. Una versión común consiste en que el voltaje del fotomultiplicador sea controlado por resistencias variables.

La hora de la observación debe ser registrada con precisión y exactitud. El elemento que se utilice para medir el tiempo debe estar sincronizado con una exactitud de +/- 5 segundos con respecto a una referencia como transmisiones radiales para la navegación, servidores de tiempo transmitidos por Internet o por medio de un receptor de Sistema de Posición Global.

Esta sección describe en detalle los procedimientos que deben ser seguidos para hacer varios tipos de medidas de ozono total con un instrumento operado manualmente. Observe que las observaciones AD-DSGQP son fundamentales; otro tipo de medidas se hacen en forma similar con pequeñas variaciones.

Mas allá del tipo de observaciones que se hagan, el espectrofotómetro de ozono debe estar preparado para realizar las operaciones de (1) a (4) especificadas abajo. El no realizar estas operaciones en el orden presentado puede dañar el microamperímetro o al fotomultiplicador.

- 1) Libere el movimiento del microamperímetro y, de ser necesario, lleve el microamperímetro a cero.

- 2) Controle que el derivador (“shunt”) del microamperímetro se encuentra en un extremo en la posición de la menor sensibilidad del microamperímetro.
- 3) Controle y asegúrese que el voltaje del fotomultiplicador se encuentra fijado en la posición de menor sensibilidad del fotomultiplicador.
- 4) Encienda las fuentes de alimentación del espectrofotómetro.

6.2.4.1 Observaciones AD-DSGQP

- 1) Realice las operaciones de (1) a (4) especificadas anteriormente.
- 2) Retire la tapa de la ventana de ingreso de luz al espectrofotómetro y coloque el filtro de cuarzo en la misma.
- 3) Coloque el director solar (periscopio) en la ventana de ingreso. Las lentes del director solar deben encontrarse en la posición más baja. **IMPORTANTE:** Cuando use el periscopio, asegúrese que el tubo que impide que la luz del cielo ingrese por el tubo del director solar a través de las ranuras que se encuentran en los costados, cerciórese que se encuentra en la posición adecuada; de lo contrario una cantidad apreciable de luz proveniente del cielo puede ingresar al instrumento causando lecturas erróneas, especialmente cuando se realizan observaciones de Sol Directo con sol bajo. También por este motivo, la abertura (ventana) del periscopio que permite observar el filtro de cuarzo que se encuentra debe estar siempre cerrada cuando se efectúen observaciones. El propósito de las lentes es incrementar la intensidad de la luz disponible y por lo tanto la sensibilidad del instrumento cuando el sol está bajo ($\mu \sim 3$) y permitir la realización de observaciones con imagen focal. En el caso de los instrumentos Dobson equipados con fotomultiplicadores y electrónica sensibles y que se encuentran instalados en lugares en los cuales no se realizan observaciones de imagen focal, el uso de las lentes dentro del director solar se pueden obviar. Al retirar las lentes se incrementa el tamaño del cuadrado de luz proyectada sobre el filtro de cuarzo, permitiendo que las observaciones sean más parecidas para ángulos cenitales solares bajos (μ alto). **NOTA:** Las estaciones que se encuentren en latitudes menores de 45° y que utilicen un instrumento sensible deben retirar las lentes. Sin embargo y dado que la absorción diferencial de la luz en los pares de longitud de onda A, C y D pueden ocurrir dentro de las lentes dependiendo de la calidad óptica del cuarzo del cual estas últimas están hechas, se debe tener cuidado en determinar las diferencias en los valores de N que pueden surgir cuando las observaciones se realicen con las lentes o sin las mismas. En este caso, se deben aplicar correcciones apropiadas al procesar los datos observados.
- 4) Introduzca todo lo posible la varilla del shutter S4 dentro del espectrofotómetro. Fije la varilla selectora de la longitud de onda en la posición SHORT (es decir: corta). La misma debe estar extraída todo lo posible hacia fuera.
- 5) Lea la temperatura del instrumento con una aproximación de 0.5 grados Celsius y ajuste los topes de la varilla Q1 para las longitudes de onda A y D de acuerdo a los valores especificados en la Tabla de Posición de Q. Los topes de la varilla Q2 (en todos los pares) deben fijarse de acuerdo a los valores especificados en la tabla para la temperatura de 15°C .
- 6) Oriente el instrumento de manera tal que su eje largo apunte hacia el sol; el sol debe estar hacia la derecha de la mano del observador (es importante alinear el instrumento cuidadosamente con respecto al sol; de no observarse este procedimiento, pueden surgir errores en la medida. De realizarse varias medidas una después de la otra, se debe controlar y corregir la orientación del instrumento periódicamente).
- 7) Encienda el motor que mueve la rueda del shutter.
- 8) Ajuste el prisma del periscopio de manera que el rectángulo de luz solar quede centrado dentro del filtro de cuarzo.
- 9) Fije las palancas Q1 y Q2 para las longitudes de onda del par A e incremente la sensibilidad del microamperímetro haciendo girar el potenciómetro del shunt completamente en dirección de las agujas del reloj. De ser necesario, incremente el

- voltaje del fotomultiplicador hasta que se verifique una deflexión del microamperímetro. Gire el disco R hasta que el microamperímetro indique cero y gradualmente incremente el voltaje del fotomultiplicador hasta obtener suficiente sensibilidad tal como se indica con una pequeña inestabilidad de la aguja del microamperímetro. Ajuste la posición del disco R como para mantener la lectura del microamperímetro en cero. En un cierto punto de este procedimiento, el incremento del voltaje del fotomultiplicador hace que la aguja resulte más ruidosa, pero la posición del disco R se mantiene en el mismo valor. Esta es una indicación que la sensibilidad es la correcta. Memorice la posición del potenciómetro que regula el voltaje del fotomultiplicador y la posición del disco R.
- 10) Reduzca el voltaje del fotomultiplicador al mínimo y fije las palancas Q1 y Q2 para la longitud de onda del par D. Como en el paso (9), incremente el voltaje del fotomultiplicador a medida que lleve el microamperímetro a cero y mientras está obteniendo la sensibilidad adecuada. Una vez más, anote la sensibilidad que controla la llave de punto y la lectura aproximada del disco R.

El espectrofotómetro ha sido ya preparado para hacer la medición AD-DSGQP. Realice la observación de acuerdo a lo siguiente:

- 11) Fije las palancas Q1 y Q2 para las longitudes de onda del par A, fije el disco R y el voltaje del fotomultiplicador en los valores aproximados encontrados en el punto (9).
- 12) Puesto que es una costumbre buena comenzar la observación al inicio del minuto, eche un vistazo al cronómetro (o cualquier otro elemento que le indique el tiempo exacto) y mantenga en su mente la hora en la que comenzará la observación o en su defecto registre dicha hora en un borrador.
- 13) Varios segundos antes de la hora de inicio, fije el cuadrado de luz solar en la parte central del filtro y cierre la puerta del director solar a través de la cual puede ver el cuadrado de luz. El cuadrado de luz se va desplazar durante la observación y va a ser necesario un reajuste (ver el paso (18)). Con la experiencia, el desplazamiento debido a al movimiento aparente del sol puede ser estimado de manera que el cuadrado iluminado estará en el centro del filtro en la mitad de la observación.
- 14) A la hora de inicio, haga la medida moviendo el disco R de manera que el microamperímetro indique cero y registre la posición del disco R con referencia a la marca en la columna o índice.
- 15) Reduzca la sensibilidad en la intensidad y elija una apropiada para la longitud de ondas del par D. Esto es importante: Si las palancas Q se desplazan a la posición del par D con el voltaje del fotomultiplicador usado para el par A, el fotomultiplicador puede sobrecargarse y momentáneamente no responder. Esto se verifica especialmente para valores de μ grandes.
- 16) Fije las palancas Q1 y Q2 para las longitudes de onda del par D mientras al mismo tiempo se ajusta el disco R para la lectura esperada (vea el paso (10)). La secuencia para esta maniobra es bajar la palanca Q2 a la posición para el par D. El instrumento de hecho se encuentra "sin respuesta". Gire el disco R a la posición esperada para la lectura del par D y luego baje la palanca Q1 para la posición del par D. Ahora el instrumento está listo para la medida del Par D.
- 17) Haga la medida moviendo el disco R de manera que el microamperímetro indique cero y registre la posición del disco con respecto a la columna o índice.
- 18) Coloque las palancas Q1 y Q2 en la posición correspondiente para las longitudes de onda del par A mientras gira el disco R en la posición correcta. La secuencia para esta maniobra es subir la palanca Q2 a la posición A. Ahora el instrumento se encuentra "sin respuesta". Gire el disco R a la posición esperada para la lectura del par A y luego suba la palanca Q1 a la posición del par A. Ajuste el voltaje del fotomultiplicador en la sensibilidad adecuada: anote este valor después del momento de las palancas Q. Haga las medidas moviendo el disco de manera que el microamperímetro indique cero y registre la posición del disco R con respecto a la columna o índice. De ser necesario, ajuste el

- director solar de manera que el rectángulo luminoso incida justo en el centro del GQP (filtro difusor).
- 19) Repita las operaciones de (16) a (18). La observación ADADA está ahora completa. Dé un vistazo al cronómetro y registre en un borrador el tiempo en horas, minutos y segundos cuando finalizó la observación.
 - 20) Para apagar el espectrofotómetro, en primer lugar fije la llave de sensibilidad en el paso 1. Luego disminuya la sensibilidad del microamperímetro a cero girando el potenciómetro del shunt (derivador). Finalmente, apague el motor del disco ranurado y las fuentes de alimentación, retire el periscopio y vuelva a colocar la tapa en la ventana de entrada de luz.

6.2.4.2 Observaciones AD-DSGQP*

Las observaciones de este tipo se hacen solamente cuando el sol esta muy alto en el cielo, es decir $1.015 < \mu < 1.15$. El procedimiento es el mismo que para la observación normal de AD-DSGQP con la salvedad de que la lente debe ser retirada del director solar. Al sacar la lente, el rectángulo de luz solar que ilumina el filtro de cuarzo se hace más grande (consulte también el comentario en la Sección 6.4.2.1).

6.2.4.3 Observaciones CD-DSGQP

Estas observaciones se hacen de la misma manera que las medidas AD-DSGPQ con la diferencia que los topes de las palancas Q1 y Q2 se fijan para las longitudes de los pares de onda C y D.

6.2.4.4 Observaciones AD-ZB

Las medidas AD-ZB se realizan en el cono de luz de 7 grados que proviene del cenit. El procedimiento de observación es el mismo que para las medidas AD-DSGQP con la salvedad de que no se usan ni el director solar y ni el filtro. Durante la medida se debe tener la precaución de asegurar que el cono de luz (el ángulo de visión) que entra dentro del espectrofotómetro no se encuentra obstaculizado. En el caso de que las observaciones se realicen dentro de un edificio, esto se logra centrando el instrumento con precisión debajo de la escotilla.

6.2.4.5 Observaciones AD-ZC

Las observaciones AD-ZC y AD-ZB se hacen exactamente de la misma manera. Para que las medidas resulten precisas, es necesario realizar las medidas de A y de D con una nube muy similar. Se debe observar atentamente el cielo cenital constantemente durante el procedimiento de la medida. Si las medidas deben tomarse con nubes variables o aisladas, deben hacerse dos o tres observaciones del tipo ADADA una a continuación de la otra para determinar un solo valor de ozono.

Las medidas AD-ZC también se pueden hacer cuando llovizna o nieva en el caso de que el espectrofotómetro este protegido dentro de un refugio de observación. Un ventilador montado al lado de la escotilla de este último puede ser usado para alejar de la ventana del espectrofotómetro las gotas de lluvias o copos de nieve durante las observaciones. Tenga en cuenta que las observaciones hechas cuando llueve son más propensas a producir resultados de valores de ozono mucho más altos de lo razonable. Esto podría deberse ya sea al ozono producido en las nubes de lluvia o bien por los múltiples caminos de la luz que el instrumento ve a través de la nube. Si el objetivo es medir el contenido de la columna total de ozono, estos valores no son representativos del contenido estratosférico “real” y no deben ser informados en los reportes.

6.2.4.6 Observaciones CD-ZB y CD-ZC

Estas observaciones se hacen de la misma manera que las observaciones de AD-ZB y AD-ZC con la única diferencia que las palancas Q1 y Q2 deben fijarse para las longitudes de onda del par C y D. Las observaciones deben ser hechas para el rango de μ de 1.8 a 5.8 y son útiles en principio para las altas latitudes en aquellas horas del año en las cuales el sol está bajo en el cielo.

6.2.4.7 Observaciones CC'-ZB y CC'-ZC

Estas observaciones se hacen de la misma manera que para las medidas AD-ZB y AD-ZC con la diferencia que las palancas Q se fijan para las longitudes de onda del par C siendo mantenidas en esa posición. Las secuencias de las observaciones es CC'CC'C. Las observaciones para las longitudes de onda del par C se hacen con la varilla de selector de la longitud de onda en la posición SHORT mientras que las observaciones en las longitudes de onda del par C' se hacen con la varilla en la posición LONG. La varilla del shutter S4 debe ser introducida completamente dentro del espectrofotómetro y mantenida en esa posición durante toda la observación. Como en el caso de las medidas AD-ZC, se debe tener la precaución que las lecturas para el par C y C' se hagan con una nube muy similar. Si las medidas deben ser hechas con una nube variable o aislada, deben hacerse dos o tres observaciones una a continuación de la otra las cuales constituyen una única observación.

6.2.4.8 Observaciones AD-DSFI y CD-DSFI

Las medidas AD-DSFI y CD-DSFI son similares a las medidas AD-DSGQP y CD-DSGQP, respectivamente, con la diferencia de que no se utiliza el filtro de cuarzo y que una imagen focal del sol se proyecta en la ranura S1 por parte del director solar. Se hace una marca al lado del director solar para señalar la posición correcta de las lentes en las que una imagen definida del sol se proyecta en S1 en longitudes de onda de alrededor de 3200 Å. Si dicha marca no se ha hecho, se la puede hacer como sigue. Usando un filtro verde, encuentre la posición del director solar cuando la imagen bien definida del sol se forma en S1. La posición de un enfoque definido en 3200 Å se encontrará 15 mm debajo del correspondiente a la luz verde.

Ya que no es fácil ver la ranura S1 a través del orificio de inspección en la base del director solar, se ha instalado un pequeño prisma de vidrio de inspección debajo del prisma de cuarzo. Además, se han inscripto pequeñas marcas en las mordazas de la ranura lo que permite el posicionamiento de la imagen solar en sentido aproximadamente central a lo largo de la longitud de la ranura. Se verá que si la imagen del sol se mueve longitudinalmente a la ranura, las lecturas del disco cambiarán, pero generalmente se verá que existe una región cerca del centro en la cual un pequeño movimiento de la imagen a lo largo de la ranura no producirá cambios significativos en las lecturas. Deben hacerse pruebas para encontrar esta posición y la imagen del sol debe estar siempre fija en este punto durante la observación.

Es necesario fijar la imagen del sol con mucho cuidado en la ranura y dejar espacio para el movimiento del sol de manera que la ranura cortará la imagen del sol en la mitad de la observación. Se debe realizar una prueba preliminar para ver cuanto se mueve la imagen del sol, digamos, en 20 segundos. La observación no debe continuar más de 30 segundos sin volver a fijar la imagen del sol en la ranura, al menos que un segundo observador esté presente manteniendo la imagen del sol continuamente en el centro de la ranura.

Hay una gran diferencia en la intensidad de luz para las longitudes de onda en el par C y el par D cuando el sol está bajo. Después de haber hecho la observación en las longitudes de onda del par C, la sensibilidad del instrumento debe ser disminuida considerablemente antes de cambiar para la longitud de onda del par D. A menudo la sensibilidad en las longitudes de onda del par D es demasiado grande aún con el voltaje más bajo en el fotomultiplicador y, por lo tanto, la salida del voltaje de la fuente de poder del fotomultiplicador debe ser reducida.

Se deben hacer por lo menos tres observaciones independientes ADADA o CDCDC una a continuación de la otra.

Las observaciones con la imagen focal son útiles en las altas latitudes. La imagen del sol se mueve rápidamente fuera de la ranura con latitudes de menos de 50°.

¡ATENCIÓN! Para no dañar el fotomultiplicador, las observaciones DSFI no deben ser practicadas cuando el sol está alto en el cielo ($\mu < 2.5$)

6.2.4.9 Observaciones AD-RMFI y CD-RMFI

Estas observaciones se hacen de una manera parecida a las medidas AD-DSFI y CD-DSFI con la salvedad que la luna que va de la media luna llena a la luna llena se usa como fuente de luz. El poder de la señal es muy bajo y para obtener resultados repetibles se requiere práctica. La utilización de la imagen focal con sol bajo en altas latitudes dará al observador la habilidad y el conocimiento para hacer estas observaciones. El conocimiento del punto en la ranura con la más alta sensibilidad se puede obtener en estas observaciones y puede ser aplicado a las observaciones de luna.

En las estaciones ubicadas en una latitud baja cuando la luna se encuentra casi por encima de nuestras cabezas, el periscopio no proyectará una imagen satisfactoria de la luna en la ranura S1 (es decir que se producirá una imagen oblicua a causa del ángulo oblicuo con el cual los rayos de la luz de la luna darán en la cara del prisma del prisma). Para ver una imagen apropiada, cada espectrofotómetro viene muñado de un prisma de director lunar el cual debe ser incorporado al director solar toda vez que se realicen medias con una luna alta. (En el trópico las observaciones lunares son extremadamente raras).

6.3 Observaciones de Umkehr

Las observaciones de Umkehr brindan información muy útil de la distribución vertical del ozono en la atmósfera. El cálculo de la observación Umkehr en un perfil de ozono requiere un algoritmo complejo que incluye un conocimiento de las propiedades radiativas de la atmósfera real. Este conocimiento cambia y con él cambia el algoritmo. Los datos de la observación deben ser archivados de manera que puedan ser analizados nuevamente cuando se los necesite.

Una observación de Umkehr estándar consiste en unas series de medidas de longitud de onda del par C hechas, durante la mañana o la tarde, mediciones cenitales con cielo claro. Las medidas comienzan unos pocos minutos antes de la salida del sol y continúan hasta que el sol se encuentra a una altura no menor de 20 grados o bien comienzan en la tarde cuando el sol se encuentra a una altura de no menos de 20 grados y continúan hasta poco después de la puesta del sol. Para hacer medidas de Umkehr, el cenit debe estar libre de nubes por un período de media hora a una hora cerca de la salida o puesta del sol. Esto se debe verificar especialmente en las estaciones ubicadas en bajas latitudes en las cuales el sol sale o se pone rápidamente. En otras circunstancias, es deseable que el cenit esté libre de nubes aunque es permisible que las nubes crucen el cielo periódicamente durante los intervalos cuando no se

practiquen las mediciones. Las observaciones de Umkehr no se pueden hacer en una estación polar o estaciones ubicadas en altas latitudes durante el verano cuando el sol no se pone bajo el horizonte.

Para poder calcular la distribución vertical de ozono, es necesario conocer la cantidad de ozono total presente a la hora de las observaciones. Deben hacerse, por lo tanto, algunas mediciones de ozono total durante la mañana o la tarde especialmente si la cantidad de ozono cambia bastante rápido. Las mediciones deben incluir una observación de ozono con $\mu \sim 3.0$.

6.3.1 Horas de observación

Las mediciones estándar de Umkehr implican la determinación de los valores de N_C cuando el sol se encuentra en posiciones discretas en el cielo, es decir cuando el ángulo solar (SZA) es 60, 65, 70, 74, 75, 77, 80, 83, 84, 85, 86.5, 88, 89 y 90 grados. Las observaciones de Umkehr reducidas implican la determinación de los valores de N_A , N_C y N_D cuando el SZA es 80, 83, 85, 86.5, 88 y 89 grados. Es conveniente preparar las tablas (ver el ejemplo de la Tabla 4) especificando las horas aproximadas durante el año en una estación en particular cuando tienen lugar los ángulos cenitales solares específicos. Observe que las horas que aparecen en la Tabla 4 son aproximadas. El objetivo es ayudar al observador a planificar de manera efectiva el programa de las observaciones. Las horas aproximadas son también útiles cuando se realicen los cálculos manualmente (ver la Sección 4, Apéndice F) para obtener las horas exactas durante cualquier mitad del día cuando el sol se encuentra en un SZA 60, 65, 70 grados, etc.

Por lo general no es suficiente hacer solamente una observación para cada ángulo SZA cenital de Umkehr específico. Más bien, se deben hacer varias medidas con el objeto de lograr una alta precisión en las mismas.

NOTA para los operadores que manejan instrumentos automatizados o semiautomatizados: el algoritmo para el cálculo de los datos está en proceso de mejoramiento, verifique los sitios en la Web de WOUDC y IOC. La información obtenida en una medida del efecto Umkehr en las tres longitudes de onda, dentro de todos los ángulos cenitales posibles en el rango de 59 a 92, puede ser utilizada para permitir el progreso en el desarrollo de este algoritmo.

OBSERVACIONES UMKEHR MATINALES													
(Tiempos Aproximados de Observación, T.A.O)													
Estación: Sterling, Virginia (78.48W. 38.98N)													
	90°	89°	88°	86.5°	85°	83°	80°	77°	74°	70°	65°	60°	Luna
Enero.													
1	734	740	746	755	804	817	837	858	921	954	1050	na	1214
6	734	740	746	755	804	817	837	857	920	953	1045	na	1216
11	733	739	745	754	803	816	835	856	917	949	1039	na	1218
16	732	738	743	752	801	814	833	853	914	945	1032	1202	1220
21	729	735	741	750	759	811	829	849	909	939	1023	1131	1221
26	726	732	737	746	755	807	825	844	904	933	1014	1111	1223
31	722	728	733	742	750	802	820	838	858	925	1005	1055	1223

6.3.2 Registro de los datos observados

Las lecturas del disco y las horas en la cuales las distintas mediciones deben ser registradas considerando los requerimientos de la sección 6.2.3. De existir información proveniente de otros instrumentos en lo que respecta a la claridad del cenit, la misma debe ser registrada con los datos del Dobson. Dicha información relativa a los aerosoles, la bruma, al vapor de agua y otros agentes contaminantes y la nubosidad, ayudan a evaluar el perfil resultante del Umkehr.

6.3.3 Procedimientos para las Observaciones

El cálculo normal de las observaciones Umkehr se efectúa usando la información del par de la longitud de onda C pero las observaciones de Umkehr que usan los pares A, C y D son útiles a medida que el proceso de transferencia radiativa mejora. Las observaciones deben ser hechas continuamente cuando el sol se está elevando o poniendo rápidamente, cerca de la salida o puesta del sol (es decir, cuando el ángulo solar SZA es aproximadamente mayor de 78 grados). El procedimiento real depende del método real para hacer la medida en el programa de observaciones. Uno de los procedimientos consiste en obtener un registro de 20 segundos de una observación en la longitud de onda del par A, comenzando el registro 10 segundos antes del minuto. Rápidamente determinar el valor R_A y registrarlo junto con la hora de la observación, ajustar los controles del instrumento para la longitud de onda C y comenzar una observación en las longitudes de onda del par C comenzando 10 segundos antes del próximo minuto. Proceder de manera similar para obtener la observación del par D comenzando 10 segundos antes del tercer minuto. Repetir la secuencia, comenzando 10 segundos antes del cuarto minuto, etc.

Para los ángulos solares inferiores a los 78 grados, las observaciones de los pares de longitudes de onda A y D pueden ser interrumpidos pero pueden ser continuados usando los longitudes de onda del par C para obtener los datos estándar de Umkehr. De ser posible, la continuación de las observaciones en la longitud de onda A y D dará información a quienes desarrollan algoritmos de cálculos de datos mejorados. Tan pronto como la velocidad de ascenso o descenso del sol ha disminuido, la frecuencia de las observaciones en la longitud de onda del par C puede reducirse a una por cada 2 minutos y más adelante a una por cada 5 o 10 minutos. (Alternativamente, las medidas pueden ser hechas en intervalos de un minuto en horas de SZA de interés solamente, comenzando 2 o 3 minutos antes de que ocurra un ángulo cenital en especial y terminando 5 ó 6 minutos mas tarde). Para los instrumentos automatizados o semiautomatizados, las mediciones se hacen fácilmente en forma casi ininterrumpida.

6.4 Observaciones Especiales

6.4.1 Observaciones Hechas para Controlar la Calibración del Espectrofotómetro para las Longitudes de Onda del par A, C y D

Las mediciones consisten en las usuales observaciones AD-DSGQP y CD-DSGQP hechas durante la mitad de un día cuando las condiciones meteorológicas son estables (es decir, cuando la cantidad de ozono total no cambia) y el cielo está relativamente libre de polvo, humo y partículas de bruma. Puesto que un cielo claro y las condiciones meteorológicas estables pueden ocurrir relativamente con poca frecuencia, se recomienda hacer la mayor cantidad de observaciones especiales posibles.

Las observaciones pueden ser hechas durante la mitad de un día, en una hora cuando el sol está lo suficientemente bajo en el cielo ($2.5 < 3.2$) y también cuando la elevación del sol es alta ($1.15 < \mu < 1.5$). Cada grupo de observaciones debe consistir de tres medidas CDCDC-DSGQP seguidas inmediatamente por tres medidas ADADA-DSGQP, en el caso que hagan

antes del mediodía. En la tarde las observaciones en las longitudes de ondas AD deben ser hechas primero, seguidas a continuación por las observaciones en las longitudes de onda CD. Se debe tener especial cuidado en asegurarse que las medidas sean realizadas con la mayor precisión posible.

Registre los datos de la misma manera en que rutinariamente son registrados los datos de ozono total observados. El método de análisis de los datos para controlar el estado de calibración del espectrofotómetro se describe en el Apéndice D.

6.4.2 Observaciones realizadas para corregir las Cartas Empíricas o los Polinomios Cenitales

Las mediciones cenitales realizadas se analizan para producir valores de ozono total usando un procedimiento no basado en la física de la medida, puesto que es difícil determinar el camino real a través de la atmósfera de la luz que se está observando y el efecto de la luz UV difusa con respecto a la luz UV absorbida. El procedimiento inicial era el de hacer series de observaciones casi simultáneas, una observación de sol directo seguida inmediatamente cercana en el tiempo por una observación cenital. A partir de esta base de datos, se determinó una relación empírica para que los resultados promedios de las medidas cenitales fueran igual a los resultados de las mediciones Sol Directo. Originalmente, esto se hizo para un instrumento y en un lugar en particular y se desarrollaron gráficos para permitir al observador buscar un valor de ozono basado en los resultados de la observación (Komhyr, 1960). Puesto que en la actualidad las computadoras se utilizan con frecuencia, los cálculos estadísticos de polinomios cenitales empíricos han reemplazado a los gráficos en muchos lugares (Asbridge, Stanek y Vanicek, 1996). Los procedimientos descritos más adelante son aplicables a los métodos estadísticos así como al método del gráfico. La confiabilidad del método elegido debe ser evaluada en forma regular, especialmente con respecto al ciclo de calibración del instrumento. La incorporación de observaciones quasi simultáneas en la rutina normal de las observaciones de la estación facilitará estas evaluaciones.

Cada observatorio de ozono debe ser provisto de Tablas con Gráficos Cenitales AD, CD y C: un Gráfico de Correcciones de Nubes para el Gráfico C y una Tabla de Correcciones de Nubes para el Gráfico AD entregados juntos con los instrumentos a cada estación por parte del fabricante. Los gráficos y la tabla se usan para deducir las cantidades totales de ozono a partir de observaciones cenitales hechas con cielo claro y con nubes. Los gráficos y la tabla provistos a una estación recientemente instalada requerirá algunas modificaciones para adecuarse a la localidad donde se efectúan las observaciones puesto que la distribución vertical del ozono así como también el albedo proveniente de la superficie pueden ser diferentes en la estación nueva con respecto a la distribución del ozono y el albedo de la estación en la que se hicieron el gráfico y la tabla. En los gráficos puede ser necesario, además, establecer los valores de la ordenada o de la absisa. En una estación ya asentada, puede ser necesario realizar correcciones para mejorar los gráficos. Todos los cálculos de ozono determinados a partir de medidas cenitales deben, por lo tanto, ser considerados como provisorios. El observador debe hacer todo lo posible para acumular una cantidad lo suficientemente grande de datos comparativos de Sol Directo y Cenitales los cuales permitirán la modificación de los gráficos y tablas de manera apropiada.

Dado que las observaciones AD-DSGQP son fundamentales, los tipos de medidas de comparación quasi-simultáneas son los siguientes:

AD-DSGQP vs. AD-ZB
AD-DSGQP vs. CD-ZB
AD-DSGQP vs. CC'-ZB
AD-DSGQP vs. AD-ZC
AD-DSGQP vs. CD-ZC
AD-DSGQP vs. CC'-ZC

Observe que los primeros tres juegos de estas observaciones pueden ser efectuadas generalmente dentro de unos pocos minutos una de otra. Por otra parte, puede ocurrir que las medidas de Sol Directo y Cenital Nublado (Direct Sun y zenith cloud) tengan que ser hechas con una diferencia de 1 o 2 horas. Cada comparación debe consistir en por lo menos dos observaciones independientes de sol directo seguidas de por lo menos dos medidas independientes hechas con cielo claro o nublado. Las observaciones deben ser hechas dentro de un rango lo mas ancho posible de X (cantidad de ozono total) y μ de manera que haya disponibles suficientes datos para la corrección de los gráficos y las tablas.

6.4.3 Determinación de las Correcciones para Imagen Focal

Generalmente se encuentra que los valores de ozono obtenidos a partir de medidas hechas con Sol Directo usando el filtro de cuarzo pulido difieren de los valores quasi-simultáneos determinados a partir de las observaciones de Imagen Focal. En el caso de longitudes de onda de un solo par, la diferencia puede ser muy grande la cuál debe ser tenida en cuenta. Las diferencias para el par de longitudes de onda doble, por ejemplo CD son muy pequeñas y pueden llegar a ser insignificantes.

6.4.4 Factores de Multiplicación Usados en el cálculo de los Valores CD-DSGQP al Nivel AD-DSGQP

Los coeficientes de absorción del ozono incorporados en las ecuaciones (3) a (7) especificados en la Sección 7.1 son los coeficientes de 1992 IAMAP (International Association of Meteorology and Atmospheric Physics). Los adoptados para ser usados con los espectrofotómetros de Dobson por recomendación de la Comisión Internacional de Ozono (CIO) son los frecuentemente denominados coeficientes “Bass-Paur” (<http://www.cmdl.noaa.gov/ozwv/dobson/papers/coeffs.html>). Cuando se efectúan medidas de ozono quasi-simultáneas con sol directo o luna usando las longitudes de onda AD y CD, el análisis puede mostrar que cada tipo de medida da un resultado diferente. Dichas diferencias se deben a incertidumbres en los coeficientes de absorción del ozono usados en la reducción de los datos, así como también factores instrumentales y a las condiciones de observación (por ejemplo, la carga de aerosol atmosférico). Para que todos los valores de ozono sean comparables, es necesario determinar los factores de multiplicación con respecto a los valores de ozono calculados a partir de medidas realizadas en las longitudes de onda CD por cuyos resultados pueden ser reducidos al nivel AD-DSGQP. La necesidad de determinar este factor de multiplicación depende de la latitud de la estación. Las estaciones situadas en el trópico raramente ofrecen resultados CDDS, mientras que las estaciones localizadas en latitudes altas ofrecen observaciones CDDS por un largo período de tiempo. Los factores de multiplicación X_{AD} / X_{CD} son derivados de un gran número de observaciones quasi-simultáneas que cubren un rango ancho de valores de μ superiores a 2.0 y μX . El análisis con respecto a μX ayudará a evaluar los límites de las lecturas del par A debidos a la luz dispersa dentro del instrumento.

CÁLCULO DE LOS DATOS DE OZONO

Los procedimientos necesarios para calcular las cantidades de ozono total obtenidas con el espectrofotómetro a partir de mediciones hechas con aire relativamente limpio, son simples. Por lo tanto, se solicita encarecidamente a los observadores que calculen la cantidad de ozono total inmediatamente después de cada observación y que examinen los resultados corroborando si son razonables. Si la cantidad de ozono calculada no es confiable, se debe hacer otra observación con el objeto de mejorar o verificar el resultado obtenido en la primer observación. Las computadoras actuales permiten que éste procedimiento sea mucho más simple de lo que era en el pasado y muchos sistemas brindan un valor de ozono directamente al finalizar la observación. A menudo el programa de la computadora dispone de una serie de criterios para aplicar a la observación y puede rechazar esta última por ser muy variable o valor absurdo. Estos programas posteriormente sugieren los motivos posibles y las soluciones. Los observadores pueden hacer dos observaciones y fácilmente comparar los resultados. Si los resultados de dos o más observaciones concuerdan dentro de +/-1% éstas últimas son consideradas confiables.

Las mediciones de ozono total hechas en atmósferas muy contaminadas pueden ser afectadas por gases de traza tales como SO₂ y NO₂ que tienen espectros de absorción en la región de las longitudes de onda en las que opera el instrumento Dobson, o bien por el ozono producido fotoquímicamente cerca del nivel de la superficie en el aire contaminado (Komhyr y Evans, 1980). Se solicita encarecidamente a los encargados de programas, cuyos instrumentos Dobson están localizados en aire altamente contaminado, de llevar a cabo investigaciones para determinar las cantidades de gases de traza presentes que puedan interferir y hacer estimaciones de las posibles mediciones de ozono total erróneas. Las estaciones situadas en lugares en los que el aire está contaminado presentan problemas especiales. El aire contaminado a menudo no está bien mezclado y no es consistente cambiando además con el flujo del aire y la luz solar. Dado que la región que produce los contaminantes cambia con el pasar de los años, se puede introducir una tendencia falsa en el récord de los datos (De Muer, 1992). Algunas estaciones están sujetas al aire contaminado dependiendo de las condiciones del tiempo. Otras mediciones realizadas en el lugar pueden ser utilizadas para determinar si la estación se encontraba bajo la influencia del aire contaminado.

El análisis de las observaciones Sol Directo (DS) realizado para obtener la cantidad total de ozono, se encuentra basado completamente en la física de la medida. El análisis de las observaciones realizadas con la luz cenital se encuentra basado en las estadísticas de observaciones de Sol Directo y Cenitales quasi-simultáneas. Éste método obliga a que los resultados promedios de las observaciones cenitales a largo plazo concuerden con los del Sol Directo. Este resultado es probablemente falso con respecto a los resultados de las observaciones de cenit nublado (Cenit Cloud), puesto que las condiciones atmosféricas que posibilitan las mediciones DS-ZB quasi-simultáneas son diferentes con respecto a las condiciones con cielo cubierto. En lo que respecta a las medidas realizadas con la luz que procede del cenit, el conocimiento de los procesos de transferencia radiativa se ha incrementado en el tiempo desde el desarrollo del instrumento, pero las condiciones nubosas todavía constituyen un problema - no solamente para las observaciones de Dobson - sino también para todos los instrumentos que miran hacia la luz del cielo bajo condiciones de nubosidad intentando deducir el ozono total. Los encargados de programas deben investigar el análisis llevado a cabo por otros gerentes (DeBacker, 1998).

Hay paquetes de software disponibles para el cálculo de las observaciones de ozono total los cuales permiten la inspección de los resultados de diferentes maneras. Contacte con el Centro de Calibración Regional correspondiente a su estación para que lo asista en la obtención de los citados paquetes. Es muy recomendable que los gráficos cenitales originales que han sido provistos con los instrumentos sean reemplazados por otros métodos más modernos calculados por software.

El método del gráfico descrito más adelante tiene las estadísticas incorporadas. Ésta técnica data de una época cuando los cálculos complejos eran más difíciles y llevaban más tiempo realizarlos. La relación puede ser descrita por medio de un juego de ecuaciones polinomiales. Los coeficientes se determinan a partir de medidas quasi-simultáneas (Asbridge, Stanek y Vanicek, 1996). Los coeficientes dependen de la estación y deben ser **verificados en forma continua** puesto que la atmósfera sobre la estación cambia a largo plazo debido a otros factores (por ejemplo, el calentamiento debido al incremento de CO₂, cambios en la circulación, etc.)

Los resultados del análisis dependen de suposiciones usadas en el método de análisis. Estas suposiciones y sus efectos deben ser comprendidos cuando los valores de ozono de los otros instrumentos se comparan con los resultados del Dobson.

Existen limitaciones en la capacidad del instrumento Dobson para medir correctamente la diferencia de la intensidad, especialmente cuando la luz es de baja intensidad. (Basher, 1982). Esto es evidente en el caso del par A. Una indicación de la intensidad de la luz es el término μX , el producto matemático de la cantidad de ozono total X y μ . Las estaciones que hacen observaciones con valores de μ altos, deben investigar la respuesta del instrumento con respecto a μ y μX . Las medidas CD son mucho menos dependientes de μX y pueden ser usadas como línea de base para evaluar las limitaciones de las medidas AD con sol bajo y alta cantidad de ozono.

7.1 Cálculos del Ozono Total a partir de medidas con Sol Directo o Luna.

Las ecuaciones generales usadas para deducir las cantidades de ozono total a partir de las observaciones realizadas con un espectrofotómetro Dobson con Sol Directo o Luna se encuentran en la Sección 2.1 de este manual. La inserción dentro de estas ecuaciones de valores numéricos para los coeficientes de absorción del ozono (alfa) y para los coeficientes de difusión molecular de la atmósfera clara (beta), producen las siguientes ecuaciones a partir de las cuales se computan las cantidades de ozono total:

$$X_A = \frac{N_A}{1.806\mu} - 0.63 \frac{mp}{\mu p_0} - \frac{(\delta - \delta')_A}{1.806} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \quad (1)$$

$$X_B = \frac{N_B}{1.192\mu} - 0.93 \frac{mp}{\mu p_0} - \frac{(\delta - \delta')_B}{1.192} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \quad (2)$$

$$X_C = \frac{N_C}{0.833\mu} - 0.131 \frac{mp}{\mu p_0} - \frac{(\delta - \delta')_C}{0.833} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \quad (3)$$

$$X_D = \frac{N_D}{0.374\mu} - 0.278 \frac{mp}{\mu p_0} - \frac{(\delta - \delta')_D}{0.374} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \quad (4)$$

$$X_{AD} = \frac{(N_A - N_D)}{1.432\mu} - 0.007 \frac{mp}{\mu p_0} - \left[\frac{[(\delta - \delta')_A - (\delta - \delta')_D]}{1.432} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \approx 0 \right] \quad (5)$$

$$X_{BD} = \frac{(N_B - N_D)}{1.818\mu} - 0.009 \frac{mp}{\mu p_0} - \left[\frac{[(\delta - \delta')_B - (\delta - \delta')_D]}{1.818} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \approx 0 \right] \quad (6)$$

$$X_{CD} = \frac{(N_C - N_D)}{0.459\mu} - 0.011 \frac{mp}{\mu p_D} - \left[\frac{[(\delta - \delta')_C - (\delta - \delta')_D]}{0.459} * \frac{Sec(SZA)}{\mu} \approx 0 \right] \quad (7)$$

En estas ecuaciones, utilizadas para el cálculo de las mediciones del par de longitud de onda doble, se asume que el tiempo medio de las medidas para el par de longitud de onda A (o C) y D son iguales. A menudo las observaciones se hacen en la secuencia CDA, ya sea durante la intercomparación de los instrumentos o para investigar la diferencia en los resultados de las observaciones AD y CD. Para estos tipos de medidas y suponiendo que la absorción por los aerosoles es la misma en los pares A, C y D (siendo, de esta manera, el término del aerosol cercano a cero), las ecuaciones son:

$$X_{AD} = \frac{(N_A/\mu_A - N_D/\mu_D)}{1.432} - 0.007 \frac{p (m_A + m_D)}{p_0 (\mu_A + \mu_D)} \quad (8)$$

$$X_{CD} = \frac{(N_C/\mu_C - N_D/\mu_D)}{0.459} - 0.011 \frac{p (m_C + m_D)}{p_0 (\mu_C + \mu_D)} \quad (9)$$

Las medidas AD-DSGQP han sido recomendadas por la Comisión Internacional de Ozono (IOC) como estándar. Todas las otras observaciones, por lo tanto, deben ser reducidas al nivel AD antes de la publicación de los datos finales. Como se indicó en la Sección 6.4.4, por ejemplo, las observaciones CD-DSGQP generan datos de ozono total ligeramente diferentes de las cantidades de ozono total determinados a partir de las observaciones ADDSGQP. Esta diferencia debe ser determinada por medio de medidas especiales como las descritas en la Sección 6.4.4 y los valores X_{CD} ajustados al nivel X_{AD} antes de la publicación de los datos. Las determinaciones de X_A , X_B , X_C y X_D normalmente no se hacen puesto que los valores numéricos de los coeficientes de dispersión de las partículas asociadas con estas observaciones en general no están disponibles. Una excepción la constituye las observaciones con la luna en longitudes de onda D en las Regiones Polares en las que el aire es muy límpido. Cuando la luna se encuentra bien baja en el cielo, puede ocurrir que el instrumento no tenga la suficiente sensibilidad para hacer las observaciones usando el par de longitud de onda A y C, aunque existe una respuesta adecuada para las longitudes de onda mas largas D. La reducción de los datos entonces hace necesario usar la ecuación (4), con la suposición que $(\delta - \delta')_D = 0$

7.1.1 Coeficientes de Absorción del Ozono

Los coeficientes de absorción del ozono 1992 IOC usados en la reducción de los datos generados por el espectrofotómetro de Dobson se encuentran especificados en la Tabla 5. Estos datos fueron desarrollados a partir de los coeficientes de absorción del ozono 1985 Bass-Paur para ser usados con los espectrofotómetros de Dobson [Komhyr y otros, 1993]. La descripción del proceso por

medio del cual se obtuvieron estos valores se pueden encontrar en: <http://www.cmdl.noaa.gov/ozwv/dobson/papers/coeffs.html>.

Al calcular los coeficientes de absorción del ozono, se consideró la temperatura del ozono en la atmósfera (se dio por sentado que la misma era de -44°C) y el ancho de banda finita de las longitudes de onda pasadas por el monocromador. Los anchos equivalentes del las ranuras del monocromador son:

$$S1=9 \text{ \AA} \quad S2=9 \text{ \AA} \quad S3=38 \text{ \AA}$$

El peso de los coeficientes de absorción para las diferentes longitudes de onda es el que se muestra en la Figura 6.

Tabla 5. Coeficientes de Absorción del Ozono y de Dispersión Molecular para utilizar con el espectrofotómetro de Dobson a partir del 1 de enero de 1992

Long. De Onda (nm)	α (atm-cm) $^{-1}$	β (atm) $^{-1}$	$(\beta)/(\alpha)$ (atm-cm/atm)
305.5		0.489	
325.0		0.375	
A	1.806	0.114	0.063
308.9		0.466	
329.1		0.355	
B	1.192	0.111	0.093
311.5		0.450	
332.4		0.341	
C	0.833	0.109	0.131
317.5		0.414	
339.9		0.310	
D	0.374	0.104	0.278
AD	1.432	0.010	0.007
BD	0.818	0.007	0.009
CD	0.459	0.005	0.011

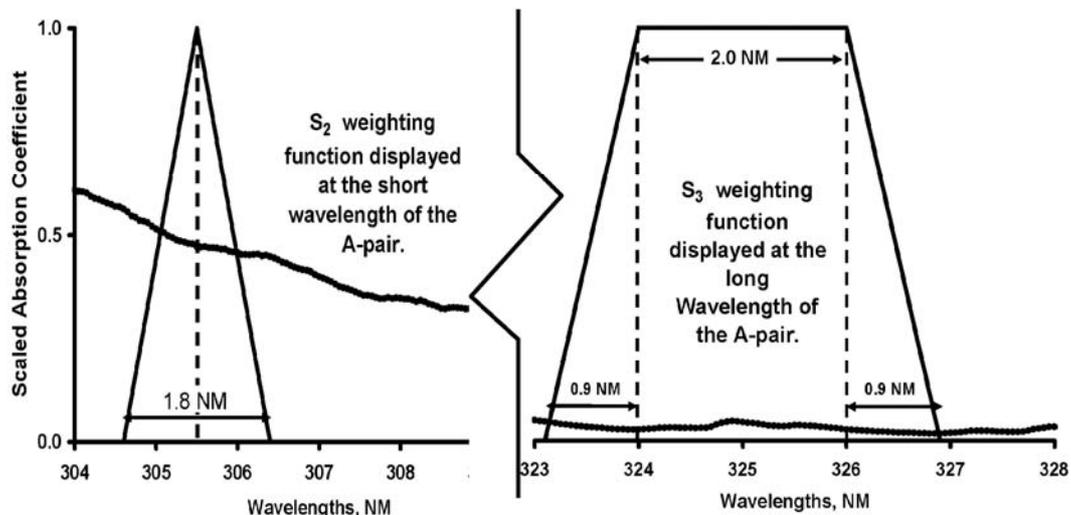


Figura 6. Funciones para las ranuras S1 y S2 mostradas con una representación de los Coeficientes de Absorción del ozono.

7.1.2 Coeficientes de Dispersión de Rayleigh

Los coeficientes de difusión molecular incorporados anteriormente en las ecuaciones de (3) a (9) se muestran en la Tabla 5.

7.1.3 Coeficientes de Dispersión de Partículas

Al calcular los datos de ozono a partir de observaciones realizadas con el par de longitudes de onda doble como las longitudes de onda AD y CD, las diferencias entre los coeficientes de difusión de partículas

$$\begin{aligned} & [(\delta - \delta')_A - (\delta - \delta')_D] \\ & [(\delta - \delta')_C - (\delta - \delta')_D] \end{aligned}$$

Se suponen que son igual a cero.

Excepto durante las condiciones atmosféricas muy claras que pueden presentarse en las regiones polares, por encima de los océanos, en la cima de las montañas, etc. los coeficientes del par de longitud de onda $(\delta - \delta')_A$, $(\delta - \delta')_C$ y $(\delta - \delta')_D$ no son cero. Por lo tanto, las medidas de ozono no se deben hacer utilizando las longitudes de onda de un solo par (ver también la Sección 7.1). Una investigación útil sobre las observaciones DS es calcular el ozono a partir de un solo par así como también de pares dobles, usando en las ecuaciones la presión atmosférica real. Puesto que el término de dispersión del aerosol es pequeño, aunque no cero, el ozono calculado a partir de un solo par debe ser ligeramente más alto que el de los pares dobles. Las diferencias grandes, especialmente si son negativas, constituyen un motivo como para rechazar las observaciones o hacer más investigaciones.

7.1.4 El Cálculo de μ

La magnitud μ representa la razón de la longitud del camino real de un rayo de luz a través de la capa de ozono comparada con la longitud del camino vertical. Se calcula a partir de la ecuación:

$$\mu = \frac{(R + h)}{\sqrt{(R + h)^2 - (R + r)^2 \sin^2(SZA)}}$$

En la cual

R= el radio medio de la tierra (6371.229 Km.);
r = altura de la estación sobre el nivel del mar;
h = altura de la capa de ozono sobre el promedio del nivel del mar en la estación;
SZA = ángulo solar cenital. (Ver Apéndice F)

No se introducen errores significativos en los cálculos de μ usando el radio medio de la tierra para R en vez del radio real de la tierra correspondiente a la ubicación de la estación. Sin embargo, es importante incorporar en la ecuación (10) los valores correctos correspondientes a la altura de la estación sobre el nivel medio del mar, r , y la altura de la capa de ozono, h , sobre el nivel medio del mar correspondiente a la ubicación de la estación. Es bien sabido que la altura de la capa de ozono sobre el nivel medio del mar disminuye en dirección al polo. Para resolver la ecuación (10) es suficiente usar los valores de h dados más adelante en la tabla, la cual relaciona la altura de la capa de ozono sobre el nivel medio del mar con la latitud de la estación.

Latitud de la estación, ϕ en grados	Altura h de la Capa de Ozono Sobre nivel del mar en Km.
± 0	26
± 10	25
± 20	24
± 30	23
± 40	22
± 50	21
± 60	20
± 70	19
± 80	18
± 90	17

7.1.5 Valores de m y p/p_0

El símbolo que aparece en las ecuaciones de (3) a (9) representa la longitud del camino de la luz solar o lunar a través de la atmósfera de la Tierra teniendo debida consideración de la refracción y la curvatura de esta última. Los valores de m vs. Coseno (Angulo Cenital) (Bemporad, 1907) se encuentran tabulados en el Apéndice G. Los valores de m pueden también determinarse a partir de la siguiente aproximación polinomial a los valores de Bemporad (Hiltner y Hardie, 1962):

$$m = \text{Sec}(Z) - 0.0018167 * [\text{Sec}(Z) - 1] - 0.002875 * [\text{Sec}(Z) - 1]^2 - 0.0008083 * [\text{Sec}(Z) - 1]^3 \quad \text{Ecuación 11}$$

Al calcular las cantidades de ozono a partir de las observaciones en el par de longitudes de onda doble AD o CD, es suficiente usar la presión media p de la estación en las ecuaciones de (7) a (9). Sin embargo, al calcular las cantidades de ozono correspondientes a las longitudes de onda del par único A, C o D usando las ecuaciones de (3) a (6), surgen errores significativos en el caso que se usen las presiones medias y no las reales cuando en la estación tienen lugar desviaciones extremas de la presión.

7.1.6 Cálculo del Coseno (Angulo Cenital) para el Sol y la Luna

En el Apéndice F se muestran detalles de cálculos manuales y por software de los ángulos solares y lunares (SZA y LZA) y, por lo tanto, de μ . También en este Apéndice, se trata la importancia de la incorporación de las correcciones de paralaje horizontal en los cálculos de $\text{COS}(LZA)$ para las observaciones lunares. En el Apéndice H y el Apéndice I, se suministra información astronómica adicional útil relacionadas con la esfera celeste y el concepto de tiempo.

7.2 Cálculo de Cantidades de Ozono a partir de Medidas cenitales hechas con cielo Claro (ZB)

Originalmente, los datos de ozono cenitales observados se reducen por medio de gráficos construidos empíricamente que relacionan los valores N del instrumento, el μ y el X . Dichos gráficos se construyen normalmente usando datos obtenidos quasi simultáneamente a partir de observaciones AD-DSGQP y observaciones con el cenit claro o nublado. Las observaciones casi simultáneas de sol directo y cielo cenital azul y claro (ZB) se pueden obtener fácilmente. Sin embargo, cuando el cielo está nublado a veces es necesario comparar las observaciones de sol directo y cenit nublado (ZC) que fueron realizadas con varias horas de diferencia. El proceso es el mismo con los modernos programas para definir los correctos parámetros para una estación específica. La evaluación simultánea de observaciones DS, ZB y ZC de ozono total han sido presentadas recientemente en trabajos presentados ej: [Vanicek et al., 2003]

La forma actual de conversión de las lecturas de ozono total depende del software específico y no es presentado aquí.

Los gráficos de reducción de los datos mostrados en las secciones siguientes fueron calculados en Canadá a fines de la década de los años 50 del siglo pasado (Komhyr, 1961; Kinisky et al., 1961) y pueden ser aplicados en latitudes medias. Hay copias de gráficos disponibles solicitándolas a NOAA Air Resources Laboratory, Boulder, Colorado, para ser usadas preliminarmente en cualquier observatorio de ozono. Es importante observar que los gráficos no pueden ser usados universalmente, puesto que las formas de las curvas de los mismos son una función de la distribución vertical del ozono, el albedo de la Tierra, la claridad de la atmósfera y factores instrumentales. Por lo tanto, a pesar de que los gráficos pueden servir como herramientas útiles para comenzar un cálculo preliminar de los datos, es necesario que cada estación obtenga un número suficiente de observaciones de sol directo y cielo cenital para corregir los gráficos o desarrollar polinomios cenitales propios de manera que los gráficos puedan producir datos de buena calidad en el lugar en el que se encuentra la estación.

7.2.1 Observaciones AD-ZB

Los datos AD-ZB observados se calculan convirtiendo las lecturas del disco R del instrumento a valores $(N_A - N_D)$, calculando el Coseno (SZA) y el μ a partir del conocimiento de las horas de las observaciones, determinando los valores $(N_A - N_D)/\mu$ y luego leyendo las cantidades de ozono total directamente del Gráfico AD. En la Figura 7 se ofrece una copia de muestra.

Komhyr ha dado alguna indicación sobre la calidad de los datos que se pueden obtener a partir de las observaciones de la longitud de onda AD cenitales con cielo claro demostrando que cuando 177 valores casi simultáneos ADDS y ADZB fueron comparados en Moosonee, Canadá, durante los años de 1957 a 1959, en un amplio rango de μ y X , las frecuencias del error resultante para las observaciones de cielo cenital eran las siguientes:

Error:	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$
Frecuencia:	54%	78%	95%

7.2.2 CD-ZB

Se calculan de manera similar a la que es usada en el cálculo de las observaciones AD-ZB.

7.2.3 Observaciones CC'- ZB

Aquí, nuevamente, las lecturas R_C y $R_{C'}$ se convierten primero a N_C y $N_{C'}$, se calcula el μ y usando los valores de μ y $N_{C'}$ se lee un pequeño factor de corrección por bruma, generalmente negativo, ΔN_C , para nubes bajas, del Gráfico de Corrección por Nubes C'. Una muestra de este último se ofrece en la Figura 9. ΔN_C se suma entonces al valor observado N_C y el nuevo valor N_C y el μ correspondiente se usan finalmente en el cálculo de la cantidad de ozono directamente del Gráfico C. Una muestra del mismo se encuentra en la Figura 10.

Si el cielo está perfectamente despejado, la corrección de ΔN_C debe ser igual a cero. En la práctica, a pesar de que puede parecer que el cielo está muy claro, se puede apreciar que el ΔN_C es pequeño, ya sea positivo o negativo. No se conoce el motivo de la dispersión observada; no puede ser atribuida completamente a un error del instrumento. Al calcular los datos, los valores positivos de ΔN_C se los considera equivalentes a cero.

Los valores de abscisa mostrados en el gráfico C' del Gráfico de Corrección por Nubes de la Figura 9 se aplican a un espectrofotómetro de Dobson específico. Para otro instrumento, estos valores serán normalmente desplazados por una constante. Para determinar la constante de desplazamiento, es necesario realizar muchas observaciones cenitales con cielo claro en las longitudes de onda C' (para $1.015 < \lambda < 4.4$). Adecuar los valores $N_{C'}$ resultantes a la curva $\Delta N_C = 0$ del Gráfico de Corrección por Nubes permite establecer los valores de abscisa del gráfico para el instrumento específico que se está usando.

Existen algunas indicaciones de la calidad de los datos que se obtienen de las medidas de longitud de onda CC' cenitales con cielo claro a partir de las observaciones hechas en Moosonee, Canadá. Cuando se compararon los 201 valores casi simultáneos ADDS y CC'ZB durante 1957 y 1959 en un rango amplio de μ y X, las frecuencias de error resultantes para las observaciones cenitales fueron las siguientes:

Error:	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$
Frecuencia:	60%	82%	92%

7.3 Cálculo de la Cantidad de Ozono a partir de Medidas obtenidas con Cielo Nublado

7.3.1 Observaciones AD-ZC

Al principio, los datos de ozono se calculan exactamente de la misma manera que la utilizada para las observaciones con cielo claro. Sin embargo, las observaciones con nubes tienden a producir valores que son ligeramente más altos, especialmente con altos valores de μ . Los valores de X_{AD} leídos del Gráfico AD deben disminuirse de acuerdo a las cantidades mostradas en la Tabla de Correcciones por Nubes para las Observaciones AD. Las correcciones por nubes se utilizan solamente para nubes de grosor medio-espeso o espeso.

Existen algunas indicaciones de la calidad de los datos que se obtienen de las medidas cenitales de longitud de onda AD realizadas con cielo nublado a partir de las observaciones hechas en Moosonee, Canadá. Al compararse 136 valores casi simultáneos ADDS y ADZC durante los años que van de 1957 a 1959 en un rango amplio de μ y X, las frecuencias de errores resultantes para las observaciones cenitales resultaron los siguientes:

Error:	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	$\leq 4\%$
Frecuencia:	32%	55%	76%	91%

7.3.2 Observaciones CD-ZC

Los datos de ozono se obtienen exactamente de la misma manera que para las mediciones hechas con cielo claro. Luego existe un trabajo ulterior para determinar si es necesaria una tabla de correcciones por nubes (similar a la que es utilizada en la obtención de los datos AD-ZC) para mejorar la calidad de las observaciones del tipo CD-ZC.

7.3.3 Observaciones CC'- ZC

Las observaciones se calculan de manera similar a la que es utilizada para obtener los datos observados de CC'ZB. Sin embargo, la corrección por nubes (obtenida del Gráfico C') que debe ser aplicada a los valores N_C ahora es donde desaparece para las nubes bajas pero no así para las nubes medias o altas.

Existen algunas indicaciones de la calidad de los datos que se obtienen de las medidas cenitales CC'-ZC a partir de las observaciones hechas en Moosonee, Canadá. Al compararse 300 valores casi simultáneos de ADDS y CC'-ZC durante los años que van desde 1957 a 1959 en un amplio rango de μ y X , las frecuencias de error resultantes para observaciones cenitales fueron las siguientes:

Error:	$\leq 1\%$	$\leq 2\%$	$\leq 3\%$	$\leq 4\%$
Frecuencia:	33%	66%	81%	89%

Dobson (1957 a) presenta un método alternativo para aplicar las correcciones por nubes a las observaciones del tipo CC'-ZC. Sin embargo, la aplicación de este método, es algo más tedioso que el descripto más arriba y no lleva a datos notablemente mejorados. La evaluación de las observaciones de ozono total de Dobson ZB y ZC ha sido también presentada en algunos trabajos recientes, por ej. (Vanicek et al, 2003).

7.4 Reducción de los Datos Umkehr

Al procesar los datos estándar de Umkehr para las longitudes de onda C, los valores N_C de interés son los que corresponden a los ángulos cenitales solares de 60° , 65° , 70° , 74° , 75° , 77° , 80° , 83° , 84° , 85° , 86.5° , 88° , 89° y 90° . Para extraer la información necesitada de todo el paquete de datos observados, el método consiste en graficar las lecturas R_C del disco del instrumento Vs. Tiempo Medio de Greenwich (Greenwich Mean Time; GMT es lo mismo que el tiempo UTC) como se muestra en el gráfico de la Figura 7. Luego las horas de ocurrencia de los valores SZA pertinentes se calculan haciendo las cuentas usuales a la inversa (ver el Apéndice F). Los valores R_C , correspondientes a las horas computadas, son luego extraídos de los datos graficados y convertidos en los valores de N_C requeridos. Los valores N_A y N_D de Umkehr corto o reducido se obtienen de manera similar a los gráficos de R_A y R_D Vs. la Hora Media de Greenwich.

Los datos de observaciones Umkehr deben ser codificados y enviados de acuerdo a las instrucciones especificadas por el Centro Mundial de Datos de Ozono y UV (WOUDC), Downsview, Ontario, Canadá para el procesamiento con el objeto de obtener distribuciones verticales de ozono atmosférico procesadas con los algoritmos más actuales. El código para la reducción de las medidas Umkehr a perfiles se encuentra disponible pero los datos reales observados son enviados y archivados, de manera que todos los perfiles existentes pueden ser determinados nuevamente cuando el algoritmo sea actualizado.

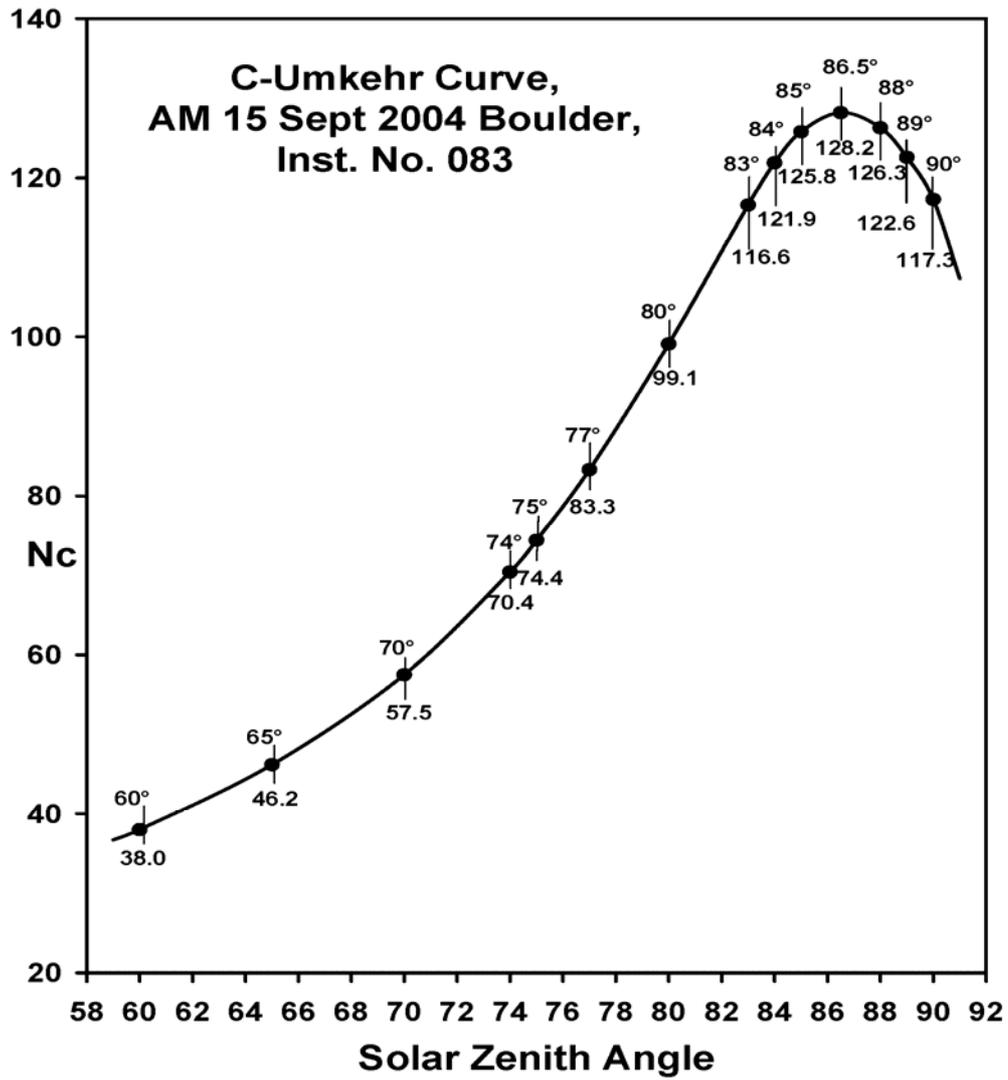


Figura 7 ejemplo de gráfico de datos Umkehr

CODIFICACIÓN Y ALMACENADO DE LOS DATOS DE OZONO

El concepto de hacer disponibles los valores del ozono calculados a partir de los resultados de las observaciones con el Espectrofotómetro de Dobson a los investigadores por medio de los archivos de datos centralizados ha resultado ser muy útil. El Centro Mundial de Datos de Ozono (en inglés: WODC) fue creado en 1960 y se encuentra ubicado en Toronto, Ontario, Canadá. El Centro de Datos es operado por la División de Estudios Experimentales del Servicio Meteorológico de Canadá (en inglés: MSC), Medio Ambiente de Canadá. El agregado los datos de radiación ultravioleta al centro de datos hizo necesario un cambio de nombre: el centro se pasó denominar Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación Ultravioleta (en inglés: WOUDC). Los estándares para el envío de datos se encuentran disponibles solicitándolos al centro de datos. La dirección de Internet es <http://www.woudc.org/>. La información de contacto es la siguiente:

Dirección de Correo:

World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre
Meteorological Service of Canadá
4905 Dufferin Street
Toronto, Ontario
CANADA
M3H 5T4

Número de teléfono: +1-416-739-4635

Número de Fax: +1-416-739-4281

Dirección de correo electrónico: woudc@ec.gc.ca

REFERENCIAS

- Basher, R.E., Review of the Dobson Spectrophotometer and Its Accuracy, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 13, December 1982.
- Bemporad, A., Saggio di una nuova formola empirica per rappresentare il modo di variare della radiazione solare col variare dello spessore atmosferico attraversato dai raggi, *Rand. Acc. Lincei.*, Roma, Ser. 5, 16, 66-71, 1907.
- DeBacker, H., Zenith observations of total ozone in Uccle. Scientific Technical Publication No. 006, by Royal Meteorological Institute of Belgium, 1998
- Dobson, G. M. B., Observers' handbook for the ozone spectrophotometer, in *Annals of the International Geophysical Year*, V, Part 1, 46-89, Pergamon Press, 1957a.
- Dobson, G. M. B., Adjustment and calibration of the ozone spectrophotometer, *ibid.* V, Part I, 90-113, Pergamon Press, 1957b.
- Dobson, G. M. B., and C. W. B. Normand, Determination of the constants etc. used in the calculation of the amount of ozone from spectrophotometer measurements and of the accuracy of the results, *ibid.*, XVI, Part II, 161-191, Pergamon Press, 1962.
- Else, C. V., D. B. B. Powell, and E. L. Simmons, An improved solid state amplifier for the Dobson ozone spectrophotometer, *Proc. Symp. Sur L'Ozone Atmospherique*, 2-7 September 1968, Monaco, 53-55, 1968.
- Götz, F. W. P., A. R. Meetham, and G. M. B. Dobson, *Proc. Roy. Soc. A* 145, 416, 1934.
- Hiltner, W. A., Stars and stellar systems, *Compendium of Astronomy and Astrophysics*, Vol. II, Ch. 8 (R. H. Hardie, Photo electric reductions), The University of Chicago Press, 180, 1962.
- Hudson, R.D., and W.G. Planet (eds.), *Handbook for Dobson Ozone Data Re-evaluation*, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 29, WMO/TD-No. 597, 1993. (Also called NOAA Technical Report NESDIS 74)
- Kinisky, J. J., W. D. Komhyr, and C. L. Mateer, Measurements of atmospheric ozone at Edmonton, Canada - July 1, 1957 to June 30, 1960, *Canadian Meteorological Memoirs*, No. 8, Depart. Transport, Met. Branch, Toronto, 90 pp., 1961.
- Komhyr, W.D., Mateer, C.L. and R.D. Hudson, Effective Bass-Paur 1985 ozone absorption coefficients for use with Dobson ozone spectrophotometers. *J. Geophys. Res.*, 98(D11), 20451-20465, 1993.
- Komhyr, W. D., Measurements of atmospheric ozone at Moosonee, Canada - July 1, 1957 to July 31, 1960, *Canadian Meteorological Memoirs*, No. 6, Dept. Transport, Met. Branch. Toronto, 96 pp., 1961.
- Komhyr, W. D., Dobson spectrophotometer systematic total ozone measurement error, *Geophys. Res. Letters*, 7, No. 2, 161-163, 1980.

Komhyr, W. D., and R. D. Evans, Dobson spectrophotometer total ozone measurement error caused by interfering absorbing species such as SO₂, NO₂ and photochemically produced O₃ in polluted air, *Geophys. Res. Letters*, 7, No. 2, 157-160, 1980.

Komhyr, W. D., and R. D. Grass, Dobson ozone spectrophotometer modification, *J. Applied Met.* 11, No. 5, 858-863, 1972.

Langley, S. P., "Researches on Solar Heat and its Absorption by the Earth's Atmosphere: A Report on the Mount Whitney Expedition." *Professional Papers of the Signal Service XV 1884*. (Especially, Chapter 10, pp124-128, "Determination of the Solar Constant")

Mateer, C. L., and H. U. Dütsch, Uniform evaluation of Umkehr observations from the World Ozone Network, Part I - Proposed standard evaluation technique, NCAR, Boulder, Colo., 105 pp., 1964.

Mateer, C. L., J. J. DeLuisi, and C. C. Porko, On the development of the short Umkehr method for estimating the vertical distribution of ozone. To be published in *Proceedings of the WMO Technical Conference on Regional and Global Observations of Atmospheric Pollution Relative to Climate* (Boulder, 20-24 August 1979).

Olafson, R. A., Mercury rectifier for the Dobson spectrophotometer, *Proc. Symp. Sur L'Ozone Atmospherique*, 2-7 September 1968, Monaco, 63, 1968.

Ramanathan, K. R., and J. V. Dave, The calculation of the vertical distribution of ozone by the Gotz Umkehr Effect (method B), in *Annals of the International Geophysical. Year, V, Part 1*, 23-45, Pergamon Press, 1957.

Stanek, M., and K. Vanicek, Application of Dobson Zenith Polynomial for Different Instruments, Locations and Season, *Atmospheric Ozone (Proceedings of the XVIII Quadrennial Ozone Symposium)*, L'Aquila, Italy, 12-21 Sept 1996, pp 979-982, 1996

Vanicek, K., Dubrovsky, M. and M. Stanek, (2003). Evaluation of Dobson and Brewer total ozone observations from Hradec Králové, Czech Republic, 1961-2002 (2003), Publication of the Czech Hydrometeorological Institute, ISBN: 80-86690-10-5, Prague

Vigroux, E., Contribution à l'étude expérimentale de l'absorption de l'ozone, *Ann. de Phys.*, 8, 709, 1953.

Walshaw, C. D. (editor), *Papers of Professor G. M. B. Dobson, F. R. S.*, in *Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences*, 89, 61-115, 1975.

AGRADECIMIENTOS

Del manual original:

Este manual fue preparado para el Proyecto de Monitoreo e Investigación del Ozono Global de la OMM como respuesta a la solicitud de R. D. Bojkov, Jefe de la División de Ciencias de la Atmósfera. Como ha sido indicado en la Introducción, una cantidad considerable de material presentada en este manual ha sido tomada de los trabajos publicados de G. M. B. Dobson con el permiso de Pergamon Press, Inc. (Londres, Nueva York, París). Se han recibido comentarios útiles y datos para el manual por parte de H. U. Dütsch, R. A. Olafson y C. D. Walshaw.

La revisión del manual ha sido realizada ante el pedido del Grupo Consultivo Científico de Ozono a la Vigilancia Atmosférica Mundial de la OMM (http://www.wmo.ch/web/arep/gaw/gaw_home.html)

Se recibió una ayuda útil y datos de parte de J. Easson U. Köhler y K. Vanicek.

LIST OF CONTACTS FOR ASSISTANCE

World Dobson Calibration Center

Mr. Robert D. Evans
DOC/NOAA/OAR/ESRL R/GMD-1
Climate Monitoring Division
Dobson Ozone Project,
World Dobson Calibration Center,
325 Broadway
Boulder, CO 80303
Tel: +1 303-497-6679
Fax: +1 303-497-5590
Email: Robert.D.Evans@noaa.gov

Regional Dobson Calibration Centers

Mr. Koji Miyagawa
Ozone and Radiation Section
Aerological Observatory
Asian Regional Dobson Calibration Center
Japan Meteorological Agency
1-2, Nagamine,
Tsukuba 305-0052, Japan
Tel: +81 29 851 2572
Fax: +81 29 851 5765
E-mail: miyagawa@met.kishou.go.jp

Dr Karel Vanicek
Email: Vanicek@Chmi.Cz
(Program Management assistance)
Mr. Martin Stanek
Email: Stanek@Chmi.Cz
(Instrument operation)
Solar and Ozone Observatory

Czech Hydrometeorological Institute
Hvezdarna 456
50008 Hradec Kralove
Czech Republic
Telephone: 420 495 260352
Fax: 420 495 264107

Mr. Ulf Koehler
Meteorological Observatory Hohenpeissenberg,
Regional Dobson Calibration Centre RA VI,
Albin-Schwaiger-Weg 10, D-82383 Hohenpeissenberg, Germany
Telephone: 49(0)8805 954171
Fax: 49(0)8805 954230
Email: Ulf.Koehler@Dwd.De

Mr. Jim Easson
Atmosphere Watch
Australian Bureau of Meteorology
PO Box 1289K
Melbourne, Vic. 3001
Australia
Telephone: (613) 96694238
Fax (613) 96694736
Email: j.easson@bom.gov.au

DETERMINACIÓN DE LAS TABLAS DE POSICIÓN DE Q PARA LAS LONGITUDES DE ONDA ESTÁNDAR

Las posiciones de Q elegidas para las observaciones de ozono dependen de los coeficientes de absorción del ozono y del carácter del espectro solar; por ejemplo: es claro que no es deseable elegir una posición en un lugar en el cual un pequeño cambio de Q provoque un gran cambio en la lectura del disco del espectrofotómetro. Para que todos los instrumentos hagan observaciones en las longitudes de onda seleccionadas exactas como ha sido descrito más arriba, el valor correspondiente de Q1 debe ser determinado con precisión dentro de ± 0.20 grado para cada instrumento.

Existen dos métodos básicos disponibles para determinar las posiciones de Q para los pares de longitudes de onda estándar, A, B, C y D. El primer método, descrito más adelante en la Sección 1, supone realizar mediciones cenitales especiales con cielo claro cerca del mediodía con el Sol alto (una variación de este método se encuentra descrito en otro lugar por Dobson (1957b, Prueba 15.3)). Este método es apto especialmente para determinar las posiciones de Q para las longitudes de onda A y D, pero es menos satisfactorio para las longitudes de onda B y C. El método preferido, descrito en la Sección 2, implica el uso de una serie de lámparas espectrales de descarga.

En el caso que se descubra que la tabla de posiciones de Q es incorrecta para un instrumento que ya tiene un récord de datos obtenidos usando esa tabla, se debe intervenir para evaluar el efecto del error. Este último puede haber sido minimizado durante el proceso de la calibración usando la tabla con las posiciones de Q incorrecta. Es probable que el uso de la nueva tabla de posiciones de Q correcta para las observaciones pueda traer como resultado medidas incorrectas. El método mayormente recomendado para evaluar el efecto del error de la tabla de posición de Q es el de comparar el instrumento con un instrumento de referencia, usando la tabla incorrecta. Luego de lo cual se repite la comparación usando la tabla de posición de Q correcta. Este proceso permitirá la evaluación y hará posible calcular nuevamente los datos existentes.

1. Determinación de Q para las Longitudes de Onda Estándar A, B, C y D a partir de Observaciones Cenitales con Cielo Claro.

El procedimiento consiste en graficar las curvas resultantes de las lecturas del disco R del instrumento Dobson con respecto a Q, usando mediciones cenitales hechas con cielo claro cerca del mediodía.

- (a) Espere hasta que el instrumento llegue a una temperatura estable.
- (b) Fije $Q_1 = Q_2$ en un valor que sea 5 grados más bajo que el valor esperado para una longitud de onda en particular.
- (c) Obtenga un balance preliminar del disco R y ajuste la sensibilidad del instrumento, etc.
- (d) Lea la temperatura del instrumento.
- (e) Realice una observación de 20 segundos de duración.
- (f) Avance $Q_1 = Q_2$ 1 (un) grado y haga la observación siguiente.
- (g) Proceda de esta manera hasta alcanzar a un valor $Q_1 = Q_2$ 5 (cinco) grados mas alto que el valor esperado.
- (h) Repita los pasos anteriores con $Q_1 = Q_2$ disminuyendo.
- (i) Lea la temperatura del instrumento.
- (j) Grafique los datos como se muestra en la **Figura A-1** y extraiga los valores pertinentes para las longitudes de onda A, B, C y D como se indica en la misma.

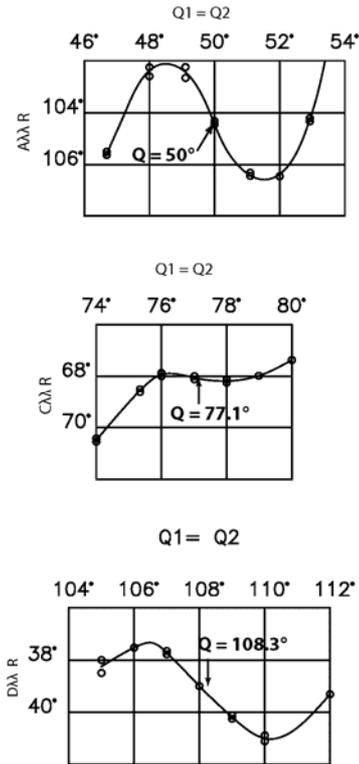


Figura A-1 Gráfico de las lecturas del disco R vs. $Q_1 = Q_2$ para pares de longitudes de onda, A, C, y observaciones con cielo despejado cerca del mediodía.

El método descrito más arriba produce las posiciones de Q correctas para, digamos, las longitudes de onda D solamente en una temperatura; por ej. Q_1 es 108.3 en 18.1°C . Para determinar las variaciones de Q_1 con la temperatura, se pueden realizar pruebas similares en otras temperaturas del instrumento cubriendo el espectro de por lo menos 15°C . Se debe tener cuidado que la temperatura en cada caso sea constante; de lo contrario, puede ocurrir que el termómetro no indique la temperatura verdadera de los componentes ópticos. Entonces, se traza una línea recta a través del gráfico de los puntos de la tabla Q_1 versus la temperatura y se construye una nueva versión de tabla de posiciones de Q se para las longitudes de onda D para su uso rutinario en las observaciones de ozono.

Un procedimiento más sencillo es el siguiente: Determine con exactitud el coeficiente de Q_1 para el instrumento en particular que esta siendo sometido al prueba para la línea Hg3129 solamente. (Observe que este coeficiente del instrumento debe ser conocido con exactitud en todo momento para que los datos de la prueba de lámpara de mercurio sean interpretados correctamente). Nuevamente se debe cubrir un rango de al menos 15°C durante las pruebas con la lámpara de mercurio y se debe tener cuidado en asegurarse que la temperatura del instrumento sea constante durante cada prueba. El coeficiente de la temperatura para la línea Hg3129 será generalmente un valor entre $0.10^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$ y $0.20^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$, digamos, $0.17^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$. Para determinar los coeficientes de temperatura del instrumento para las longitudes de onda de A, B, C y D, multiplique este valor por los factores de la temperatura especificados en la tabla más adelante. Los valores que aparecen más adelante son una aproximación muy buena. Los valores específicos para cada instrumento en particular pueden determinarse repitiendo el procedimiento bajo un cierto número de temperaturas en un rango amplio.

Tabla A-1. Factor de temperatura para longitudes de onda A y D

Ranura	Par de Long. de Onda	Long. de Onda Å	Factor Temp. f
S ₂	A	3054.8	0.67
S ₂	B	3087.8	0.87
S ₂	C	3114.6	0.99
S ₂	D	3175.8	0.97

De esta manera, el coeficiente de la temperatura del instrumento para las longitudes de onda D es: $0.17 \text{ } ^\circ\text{Q}/^\circ\text{C} \times 0.97 = 0.16 \text{ } ^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$

Usando este valor, es posible trazar en un gráfico una línea recta que tenga una caída de $0.16 \text{ } ^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$ y que pase, por Ej. a través del punto $Q_1 = 108.3$ en $18.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ a partir de la cual se hace la tabla de posición de Q para las longitudes de onda D. Las tablas de posición de Q para las longitudes de onda A, B y C se establecen de una manera similar.

Los instrumentos Dobson con ópticas de cuarzo fundido tienen coeficientes de temperatura negativos, en el rango de $-0.20 \text{ } ^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$ y $-0.30 \text{ } ^\circ\text{Q}/^\circ\text{C}$. Los números de serie de estos instrumentos son mayores de 113 a pesar de que también algunos instrumentos reconstruidos tienen coeficientes de temperatura negativos.

2. Determinación de Q para las Longitudes de Onda Estándar por medio de las Lámparas de Descarga

La posición de Q puede ser determinada usando un juego de lámparas (monocromáticas) de descarga. Para este fin, se deben utilizar las lámparas que tienen bulbos transparentes a la radiación ultravioleta y que contienen cinc, helio y cadmio, además de la lámpara de mercurio común. Las lámparas que contienen indio y talio también serían de utilidad aunque no son imprescindibles. Pueden ser montadas verticalmente y la luz proyectada sobre el filtro de cuarzo por el director solar. Las longitudes de onda de las líneas usadas se encuentran especificadas en la tabla A-2. Estas líneas incidirán en la ranura S2 aproximadamente en la posición de la palanca Q1 especificada en la columna Qs.

Si hay un reemplazo de algún componente óptico es posible un cambio en las posiciones de Q. De lo contrario la tabla es muy estable en el tiempo y necesita solamente las correcciones descritas en el Apéndice B: Corrección de la Tabla de Posiciones de Q. Un motivo por el cual se debe repetir las series de lámparas de descarga es el de verificar los factores de la temperatura para los pares de longitudes de onda descritos en la Tabla A-1. Existe una cierta evidencia la cual sugiere que las viejas y las nuevas (números de serie por debajo 19 y por encima de 120) tienen valores diferentes. Una buena práctica es derivar la tabla de posiciones de Q en la temperatura cercana a los valores normales de temperatura del instrumento.

Tabla 2

Elemento	Long. De Onda A.U	Qs	Factor. Temp, f
Hg	3021.5	38.20	0.58
In	3039.4	44.05	0.61
Zn	3075.3	57.90	0.79
Hg	3129.6	84.10	1.00
Cd	3133.2	86.10	1.00
He	3187.7	112.75	0.92
Th	3229.8	128.35	0.76
In	3256.1	135.90	0.68
Cd	3259.9	136.85	0.67

Tabla A-3

Ranura	Par de Long. de Onda	Long. de Onda, Å	Q _s	Factor. Temp, f
S ₂	A	3054.8	49.65	0.67
S ₂	B	3087.8	63.40	0.87
S ₂	C	3114.6	76.35	0.99
S ₂	D	3175.8	107.45	0.97

Las siguientes mediciones obtenidas en un instrumento son dadas como ejemplo:

Línea	Q _{obs}	Temp Obs.	ΔQ	Q _{15°C}	Q _s	Q _{15°C} - Q _s
Hg	37.48	10.90	0.38	37.86	38.20	-0.34
Zn	57.95	14.65	0.04	57.99	57.90	+0.09
Hg	84.40	10.95	0.65	85.05	84.10	+0.95
Cd	86.90	14.60	0.06	86.96	86.10	+0.86
He	112.80	11.10	0.57	113.37	112.75	+0.62
Tl	128.85	14.90	0.01	128.86	128.35	+0.51
Cd	137.05	14.60	0.04	137.09	136.85	+0.24

Para un instrumento en particular, el coeficiente de temperatura para la línea del mercurio Hg-3129 fue de 0.16 °Q/°C. Por lo tanto, for the Hg-3021 line the ΔQ = 0.38 value was obtained by multiplying the differences between the observed and 15°C temperatures by 0.16 x 0.58. The standard wavelength settings at 15°C then follow.

Long. de Onda	Q _{obs} - Q _s	Q _s	Q _{15°C}
A	-0.15	49.65	49.50
B	+0.25	63.40	63.65
C	+0.75	76.35	77.10
D	+0.75	107.45	108.20

Los coeficientes de temperatura del instrumento para las longitudes de onda de A, B, C y D se determinan multiplicando a su vez los factores de la temperatura especificados en la Tabla A-3 por el coeficiente de la temperatura del instrumento para la línea Hg 3129. De esta manera, en el ejemplo especificado más arriba para las longitudes de onda de A, digamos que el coeficiente de temperatura del instrumento es 0.16°Q/°C x 0.67 = 0.11 °Q/°C. En este punto, se traza una línea de declive en el papel del grafico 0.11 °Q/°C que pase por el punto Q1 = 49.50 en 15°C a partir de la cual se establece una tabla de posición de Q para las longitudes de onda A. En la tabla A-4 se ofrece una muestra de una tabla de posición de Q para las longitudes de onda de A, C y D.

TABLA DE POSICIÓN DE Q										Inst. No. 65		Boulder, CO			
Valores a 15 Grad C:					48.06					74.86		106.07			
S ₂ Temp. Coef Deg. Q / Deg. C :					A: 0.084		C: 0.125		D: 0.122		Hg3129: 0.126				
Temperatura	A	C	D	HG	Temperatura	A	C	D	HG	Temperatura	A	C	D	HG	
-5.0	46.35	72.35	103.65	80.10	10.0	47.65	74.25	105.45	81.95	25.0	48.90	76.10	107.30	83.85	
-4.5	46.40	72.45	103.70	80.15	10.5	47.70	74.30	105.50	82.05	25.5	48.95	76.15	107.35	83.90	
-4.0	46.45	72.50	103.75	80.20	11.0	47.70	74.35	105.60	82.10	26.0	49.00	76.25	107.40	84.00	
-3.5	46.50	72.55	103.80	80.25	11.5	47.75	74.40	105.65	82.15	26.5	49.05	76.30	107.50	84.05	
-3.0	46.55	72.60	103.85	80.35	12.0	47.80	74.50	105.70	82.20	27.0	49.05	76.35	107.55	84.10	
-2.5	46.60	72.70	103.95	80.40	12.5	47.85	74.55	105.75	82.30	27.5	49.10	76.40	107.60	84.15	
-2.0	46.60	72.75	104.00	80.45	13.0	47.90	74.60	105.85	82.35	28.0	49.15	76.50	107.65	84.25	
-1.5	46.65	72.80	104.05	80.50	13.5	47.95	74.65	105.90	82.40	28.5	49.20	76.55	107.70	84.30	
-1.0	46.70	72.85	104.10	80.60	14.0	48.00	74.75	105.95	82.45	29.0	49.25	76.60	107.80	84.35	
-0.5	46.75	72.95	104.20	80.65	14.5	48.00	74.80	106.00	82.55	29.5	49.30	76.65	107.85	84.45	
0.0	46.80	73.00	104.25	80.70	15.0	48.05	74.85	106.05	82.60	30.0	49.35	76.75	107.90	84.50	
0.5	46.85	73.05	104.30	80.75	15.5	48.10	74.90	106.15	82.65	30.5	49.35	76.80	107.95	84.55	
1.0	46.90	73.10	104.35	80.85	16.0	48.15	75.00	106.20	82.75	31.0	49.40	76.85	108.05	84.60	
1.5	46.90	73.20	104.40	80.90	16.5	48.20	75.05	106.25	82.80	31.5	49.45	76.90	108.10	84.70	
2.0	46.95	73.25	104.50	80.95	17.0	48.25	75.10	106.30	82.85	32.0	49.50	77.00	108.15	84.75	
2.5	47.00	73.30	104.55	81.00	17.5	48.25	75.15	106.40	82.90	32.5	49.55	77.05	108.20	84.80	
3.0	47.05	73.35	104.60	81.10	18.0	48.30	75.25	106.45	83.00	33.0	49.60	77.10	108.25	84.85	
3.5	47.10	73.45	104.65	81.15	18.5	48.35	75.30	106.50	83.05	33.5	49.60	77.15	108.35	84.95	
4.0	47.15	73.50	104.75	81.20	19.0	48.40	75.35	106.55	83.10	34.0	49.65	77.25	108.40	85.00	
4.5	47.15	73.55	104.80	81.30	19.5	48.45	75.40	106.60	83.15	34.5	49.70	77.30	108.45	85.05	
5.0	47.20	73.60	104.85	81.35	20.0	48.50	75.50	106.70	83.25	35.0	49.75	77.35	108.50	85.10	
5.5	47.25	73.65	104.90	81.40	20.5	48.50	75.55	106.75	83.30	35.5	49.80	77.40	108.60	85.20	
6.0	47.30	73.75	104.95	81.45	21.0	48.55	75.60	106.80	83.35	36.0	49.85	77.50	108.65	85.25	
6.5	47.35	73.80	105.05	81.55	21.5	48.60	75.65	106.85	83.40	36.5	49.90	77.55	108.70	85.30	
7.0	47.40	73.85	105.10	81.60	22.0	48.65	75.75	106.95	83.50	37.0	49.90	77.60	108.75	85.35	
7.5	47.45	73.90	105.15	81.65	22.5	48.70	75.80	107.00	83.55	37.5	49.95	77.65	108.80	85.45	
8.0	47.45	74.00	105.20	81.70	23.0	48.75	75.85	107.05	83.60	38.0	50.00	77.75	108.90	85.50	
8.5	47.50	74.05	105.30	81.80	23.5	48.80	75.90	107.10	83.65	38.5	50.05	77.80	108.95	85.55	
9.0	47.55	74.10	105.35	81.85	24.0	48.80	76.00	107.15	83.75	39.0	50.10	77.85	109.00	85.60	
9.5	47.60	74.15	105.40	81.90	24.5	48.85	76.05	107.25	83.80	39.5	50.15	77.90	109.05	85.70	

Siempre coloque Q2 a valores para 15 grados C
Ajustada por: 0.00 (w/hg Verificado el 21Abril04)

Tabla A-4. Ejemplo de tabla de posiciones de Q

CORRIGIENDO LA TABLA DE POSICIONES DE Q

1. Un espectrofotómetro ubicado en un lugar permanente.

Todo espectrofotómetro que ha sido correctamente calibrado y que se encuentra ubicado en forma permanente en una estación tiene una Tabla de Posiciones de Q asociada al mismo. De esta manera la tabla puede caracterizarse como un parámetro de calibración (constante) del instrumento. En esta tabla se encuentran una lista de las posiciones de la palanca Q (en arcos de grado) para A, C, D y para la longitud de onda Hg-3129 versus la temperatura del instrumento (en grados Celsius). Para asegurarse que las observaciones de ozono se hacen siempre en las longitudes de onda correctas, se realizan pruebas de lámpara de mercurio y los datos obtenidos se comparan con los datos de referencia presentados en la Tabla de Posiciones de Q. Los valores Q1 de referencia experimentales para las longitudes de onda Hg-3129 deben concordar dentro de ± 0.3 grados. Los motivos de falla más inmediatos son, entre otros:

- Desequilibrio de la temperatura a través del instrumento. Para evitar este inconveniente, haga pruebas de lámpara de mercurio cuando la temperatura del instrumento no cambie rápidamente.
- Cambios en la presión atmosférica.

No cambie la tabla basándose solamente en una prueba.

Los cambios son graduales en un plazo más largo y se encuentran relacionados con el envejecimiento de la junta de goma entre la parte superior e inferior de la tapa del Dobson o en cambios lentos del alineamiento óptico.

Los cambios grandes y persistentes ($< 1.0^\circ$) es una indicación que existen problemas en la óptica interna; se aconseja ponerse en contacto con un experto. Dichos cambios se encuentran a menudo asociados con:

- Ciclos de temperatura grandes. El enfriamiento del instrumento a menos de los -10°C luego de lo cual se lo vuelve a la temperatura de una habitación puede producir cambios en el alineamiento óptico debido a la contracción y expansión del material de los componentes.
- Choques mecánicos repentinos sobre el instrumento. Proteja el instrumento de golpes mecánicos. De ser posible, monte el instrumento en un lugar fijo para realizar las observaciones, evitando mover el instrumento al exterior.

De observarse una diferencia persistente mayor a la de aproximadamente 0.3 grados entre la prueba de mercurio experimental y los valores de referencia Q1, todas las posiciones de las longitudes de onda de los pares A, C y D deben ser corregidas en las proporciones siguientes:

$$\text{Hg} = 1.00^\circ \quad \text{A} = 0.67^\circ \quad \text{C} = 0.99^\circ \quad \text{D} = 0.97^\circ$$

Si los coeficientes de temperatura específicos para los valores del instrumento han sido determinados, utilice dichos valores.

Por ejemplo, si la lectura de la lámpara de mercurio es consistentemente $+0.7^\circ$ por encima del valor dado en la Tabla de Posición de Q, se deben agregar a los valores de Q en la Tabla las siguientes cantidades:

$$\text{A} + 0.45^\circ \quad \text{C} + 0.70^\circ \quad \text{D} + 0.70^\circ$$

2. Cuando el Espectrofotómetro se ubica en otro lugar

Todo espectrofotómetro correctamente ajustado ubicado a nivel del mar producirá valores de Q con errores similares cuando se le realicen pruebas de lámpara de mercurio después de haber sido transportado a una estación ubicada en una mayor altitud. El motivo de estos valores erróneos es que el índice refractivo de los componentes ópticos de cuarzo varía con el cambio de la presión del aire. Se hace necesario disminuir los valores de Q en aproximadamente en 0.5 grados por cada 100 mb de disminución en la presión. Por lo tanto, en una estación ubicada a mayor altura, se debe determinar la diferencia exacta entre los valores experimentales y de referencia de Q1 para la longitud de onda para Hg-3129. Asimismo, se debe computar y aplicar las correcciones a las posiciones de Q1 para las longitudes de onda A, B, C y D de acuerdo a las instrucciones especificadas en la Sección 1 más arriba.

La siguiente sección se relaciona más con casos en los cuales se hace necesario ajustar alguna pieza óptica. Un ejemplo del mismo es la reinstalación del ensamblaje de la palanca Q después de un arreglo. Dichos arreglos deben ser hechos solamente bajo la supervisión de un experto.

Los componentes ópticos del espectrofotómetro son ajustados de manera tal que la presión al nivel del mar (~1012 mb) y a una temperatura de 15°C, $Q_1 \sim Q_2 = 84.0 \pm 0.5^\circ$ cuando la longitud de onda Hg-3129 pasa a través de la ranura S2; también $Q_1 \sim Q_2 = 84.0 \pm 0.5^\circ$ cuando la longitud de onda Hg-3129 pasa a través de la ranura S3. De ser necesario hacer un ajuste a los componentes ópticos de un espectrofotómetro ubicado a una gran altitud por sobre el nivel medio del mar, la posición de la palanca Q1 y Q2 en 15°C para las longitudes de onda Hg-3129 y Hg-3322 deben ser como sigue:

Presión media de la estación	$Q_1 \sim Q_2$
1,000 mb	84.0 ± 0.5 Grados
900	83.5 ± 0.5
800	83.0 ± 0.5
700	82.5 ± 0.5
600	82.0 ± 0.5

CALIBRACIÓN DE LA CUÑA ÓPTICA DEL ESPECTROFOTOMETRO DE DOBSON

El método original ideado por G.M. B. Dobson (1957b) para determinar la calibración de la cuña óptica del espectrofotómetro incluía el uso de una unidad de dos lámparas así como también una placa cubierta de rodio. En años recientes aparecieron en el mercado nuevas lámparas más poderosas las cuales permiten una calibración de la cuña óptica solo con el método de las dos lámparas.

Las unidades de calibración de las dos lámparas se encuentran disponibles en centros de calibración regionales en Alemania, Japón y Australia así como también en el Centro de Calibración Mundial en los EEUU. Los instrumentos que necesitan una recalibración deben contactar el centro apropiado para obtener ayuda.

En los últimos veinticinco años, la construcción de la cuña óptica ha cambiado con el objeto de hacer la calibración muy estable. La re-determinación de la calibración de la cuña hoy en día se hace normalmente cuando al efectuar una intercomparación con un instrumento de referencia surge que existe un problema o después de una reparación en la óptica la cual podría afectar el camino de la luz a través de la cuña.

El procedimiento para calibrar la cuña óptica de un espectrofotómetro por el método de las dos lámparas y la reducción de los datos de calibración a mano se encuentra en las Secciones 1 y 2 más abajo. En la Sección 3 se encuentra la información relacionada con la reducción de los datos de calibración por computadora.

1. Procedimiento Experimental-Método de las Dos Lámparas

El filtro de cuarzo se ubica sobre S1 y la unidad de las dos lámparas se posiciona simétricamente sobre la ventana de ingreso del espectrofotómetro. La unidad de las dos lámparas debe estar fijada rígidamente en el instrumento de manera que no se mueva durante las medidas puesto que un movimiento de 0.25cm cambiará la iluminación relativa de las dos lámparas de manera apreciable. Las lámparas y S1 se encuentran cubiertas de manera que ninguna luz pueda penetrar en S1 salvo la que proviene de las dos lámparas.

Una lámpara pequeña con un difusor de vidrio pulido se coloca inmediatamente detrás de la ranura S4. Esto último se logra removiendo la unidad del portador de la cuña óptica del espectrofotómetro y reemplazando la lente que cubre la ranura S3 con el soporte de montaje de la lámpara S4 de la cual el porta lámpara ha sido extraído. Después de volver a ubicar la unidad del portador de la cuña óptica dentro del instrumento, la lámpara S4 y el portador se sujetarán con tornillos en el soporte de la lámpara.

El procedimiento de las dos lámparas se realiza con cada uno de los pares de la longitud de onda normalmente usados por el instrumento. Para cada par de longitud de onda, las palancas Q se posicionan de la manera usual con la posición de Q1 determinada a partir de la temperatura y la Tabla de Posición de Q.

El procedimiento inicial es como sigue. Deje que las lámparas (denominadas X e Y) se calienten durante aproximadamente 10 minutos antes de empezar la calibración de la cuña en su voltaje proporcional. Fije las palancas Q par el par de longitud de onda A. Fije el disco R en aproximadamente 5°. Encienda la lámpara X solamente (es decir: impida que la luz de la lámpara Y llegue al GQP utilizando para ese fin el shutter) y ajuste el voltaje de la lámpara S4 de manera que el microamperímetro acusé una lectura de cero. Ahora encienda la lámpara Y solamente, dejando la lámpara S4 sin tocar y ajuste el voltaje de lámpara y como para que dé nuevamente una deflexión de cero del microamperímetro. Observe que algunos dispositivos de dos lámparas usan un método mecánico para producir una lectura igual del disco R para las lámparas X e Y separadas.

Empiece la calibración de las cuñas como sigue. Encienda la lámpara X solamente y obtenga una lectura del disco R, R1. Encienda las lámparas X e Y juntas para obtener otra lectura del disco R, R2. Encienda la lámpara Y solamente y obtenga una tercer lectura del disco R, R'1 (Más tarde se hará un promedio R1 y R'1 y

se restará este último de R2 para dar Delta R). En este punto fije el disco R en alrededor de 10° y disminuya el voltaje de la lámpara S4 como para que dé una deflexión aproximadamente cero del microamperímetro. Una vez más, obtenga las lecturas del disco R usando primero X y luego X e Y y luego la(s) lámpara(s) Y. Repita el procedimiento en intervalos de 5° a lo largo de la cuña óptica. Después de la medida de las trazas, grafique los valores R1 y DeltaR como se muestra en el gráfico de muestra en la Figura C-1.

Los métodos más modernos de los dispositivos de las dos lámparas han sido automatizados en forma parcial o total. Estos últimos permiten la evaluación del punto de los datos directamente después de haber tomado los puntos. El más moderno de estos dispositivos, la secuencia es X1, (X+Y)1, Y1, (X+Y)2, X2. Para que el punto de los datos sea aceptable, X1 y X2 deben concordar dentro al menos 0.3 unidades, como ocurre con (X+Y) y (X+Y)2.

Observe que la diferencia media, DeltaR, corresponde exactamente a la diferencia en densidad del $\log_{10} I/I' = \log_{10} 2/1 = 0.3010$ en las dos posiciones de la cuña.

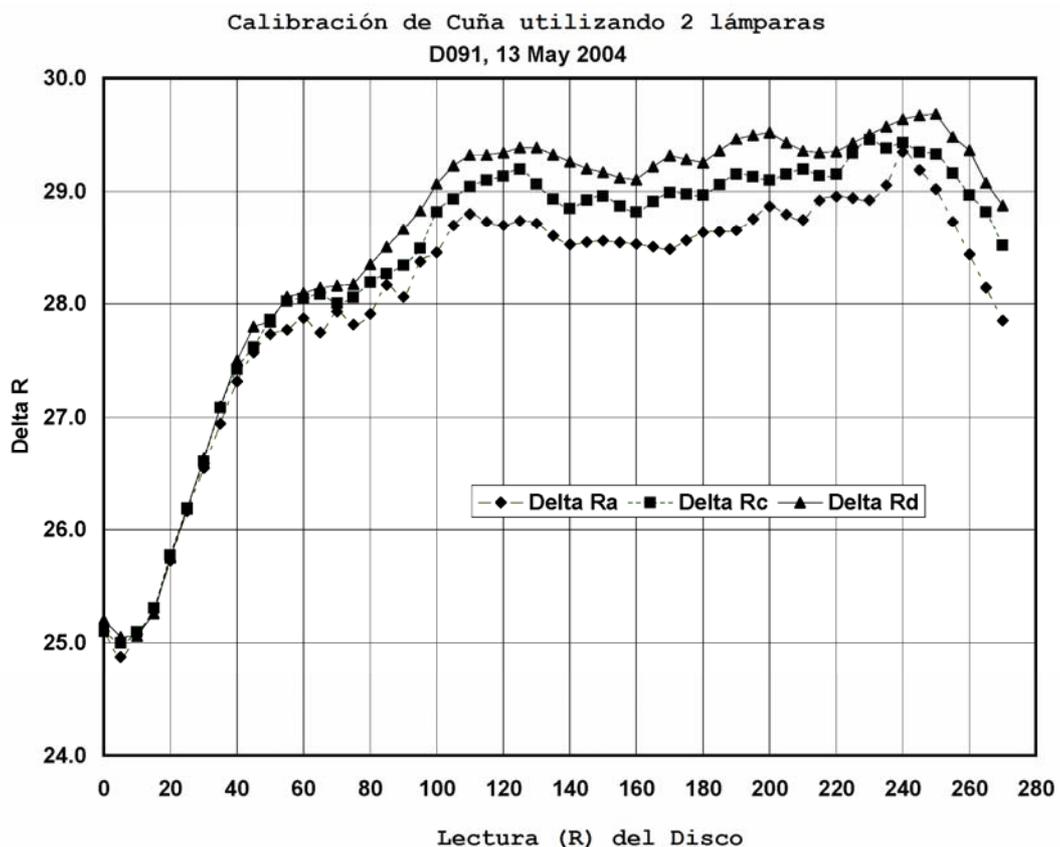


Figura C-1. Ejemplo de resultado del test de las dos lámparas

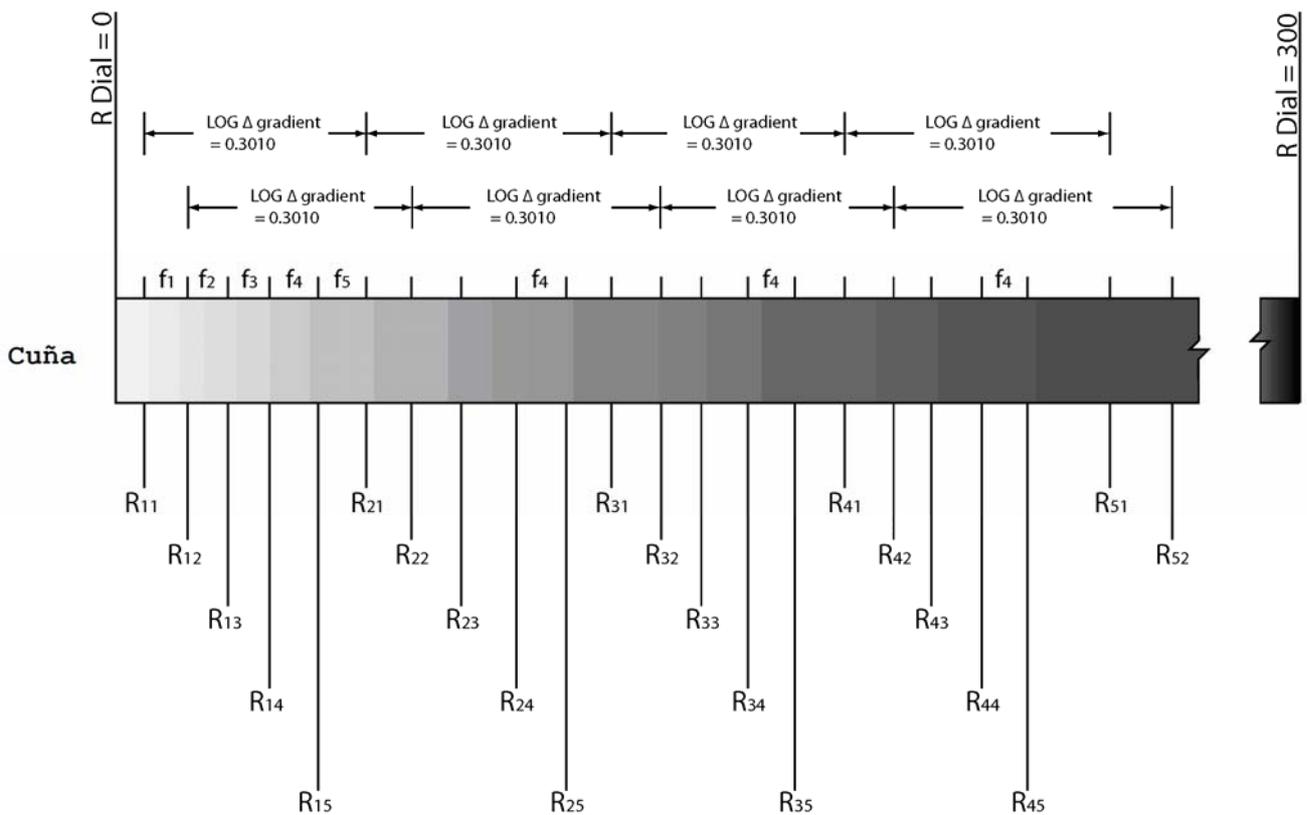


Figura C-2 Ilustración del método de reducción de los datos de calibración de cuña

2. Construcción de la Tablas Relacionando las Lecturas del Disco con el Log I/I'

La construcción manual de la tabla de calibración ha sido convertida a los programas de computadoras de varios tipos. Los centros de calibración tienen estos programas y deben ser contactados para obtener ayuda en esta tarea. Lo siguiente es una descripción del proceso.

Procedemos a construir una tabla que convertirá los valores de las lecturas del disco en los valores de $\text{Log } I/I' + K$ donde K es una constante arbitraria.

Comenzando desde cualquier punto del disco cercano al extremo delgado de la cuña, asumamos que esta lectura es R11. A partir del gráfico de ΔR vs. R1 (Fig. C-1) podemos hallar otras lecturas del disco que se incrementan sucesivamente en densidad en una cantidad igual al $\text{Log } 2 = 0.3010$. Identifique esta serie de puntos del disco con R11, R21, R31, R41. (Vea la Fig. C-2). Podemos, como próximo paso, comenzar con otras lecturas del disco distanciadas unos pocos grados (digamos 6°) de R11; asumamos que es R12 y usemos la Fig. C-1 para hallar otras series de puntos del disco R12, R22, R32, una vez más incrementando en una densidad de 0.3010 en cada paso.

Comenzando de nuevo con otra lectura del disco (digamos 12° a partir de R11) encontramos una tercer serie de puntos R13, R23, R33 con los mismos intervalos de densidad. En todos elegimos puntos de inicios suficientes, preferentemente una cantidad impar, para cubrir el intervalo más grande de R11 a R21 y encontramos las series que corresponden a cada uno.

El intervalo de densidad de cada una de las series es el mismo. Se deduce que los intervalos de densidad mas pequeñas entre los miembros correspondientes de las series sucesivas son constantes. Por ejemplo, en el diagrama de la Fig. C-2, que representa cinco de estas series de lecturas del disco, el aumento de la densidad de R14 a R24 es de 0.3010, a R34 es 2(0.3010), a R44 es 3(0.3010). De manera similar, de R15 a R25 es de 0.3010, a R35 es 2(0.3010), a R45 es 3(0.3010), Por lo tanto, el pequeño paso de R14 a R15 representa el mismo aumento en la densidad (llamémosla f_4) como en los pasos de R24 a R25, de R34 a R35, etc. En este diagrama cada intervalo mayor o densidad 0.3010 está constituido de cinco pasos pequeños en densidad, f_1 a f_5 y la magnitud de cada uno debe ser determinada relativa a 0.3010. Sabemos que la cuña fue hecha para incrementar en forma bastante regular en densidad a lo largo de su longitud y que cualquier irregularidad en la construcción se encuentra emparejada por la longitud de la ranura S3, la cual en cada posición del disco promedia una porción considerable de la cuña. Por lo tanto, podemos asumir que la diferencia del disco para el emparejamiento del intervalo mayor guarda a 0.3010 aproximadamente la misma razón que la diferencia del disco del paso central pequeño en ese intervalo guarda con respecto a su f . Por ejemplo, $(R15 - R14)$ es el paso central en el intervalo mayor $(R22 - R12)$ y la razón $f_4/0.3010$ debe ser cercanamente igual a la razón $(R15 - R14)/(R22 - R12)$. Otras estimaciones para la magnitud de $f_4/0.3010$ se obtienen a partir de $(R25 - R24)/(R32 - R22)$, a partir de $(R35 - R34)/(R42 - R32)$ A partir de estas estimaciones a lo largo de la cuña se deriva un valor medio de $f_4/0.3010$. La razón media de $f/0.3010$ de cada uno de los cinco pequeños pasos en densidad se pueden obtener de esta manera y su suma, la cual puede diferir levemente con respecto a la unidad debido a errores en la lectura o irregularidades en el gradiente de la cuña, por medio de un ajuste pequeño debe ser igual a la unidad. Ahora a todos los puntos del disco seleccionados a partir de R11 en adelante, se les puede dar un valor de densidad en función de 0.3010 y los valores de todos los puntos intermedios pueden ser llenados por medio de un método de interpolación estándar adecuado.

El método se encuentra enteramente ilustrado en el Formulario de Computación – Calibración de las Dos Lámparas mostrados en la página siguiente, el cual da los datos para una porción de la cuña óptica en el instrumento N° 18. En este caso, se eligieron un número impar de cinco puntos de partidas y cinco series. El extremo delgado de la cuña se encuentra en una lectura del disco de 5.0, la cual a través de pasos sucesivos del intervalo de densidad de las dos lámparas, 0.3010, lleva a 34.3, 64.1, 94.0, 123.8 y 153.3. Esta serie aparece en una hilera cerca de la parte superior del formulario. Los otros puntos de partida son 10.8, 16.6, 22.5 y 28.4, como los que han sido ingresados en la primera columna. Las entradas para la densidad de la cuña, G , correspondientes a las primeras series de las lecturas del disco pueden entonces ingresarse en la parte superior del formulario como 0, 20.10, 60.20, 90.30, 120.40 y 150.50 (para mayor facilidad en los cálculos, el intervalo de densidad de la cuña de las dos lámparas 0.3010 se multiplica por 100). Los cálculos especiales comienzan en el paso R13 a R14, el cual es el paso central entre R11 y R21.

El paso R13 a R14 nos da la primera estimación para f_3 :

$$f_3 = \frac{30.1 * (R_{14} - R_{13})}{(R_{21} - R_{11})} = \frac{30.1 * 5.9}{29.3} = 6.06.$$

La primera estimación para f_4 es

$$f_4 = \frac{30.1 * (R_{15} - R_{14})}{(R_{22} - R_{12})} = \frac{30.1 * 5.9}{29.4} = 6.04.$$

Se debe continuar de esta manera en lo que falta en la primera columna y en las próximas cuatro columnas principales que contienen los valores de R . Por ejemplo, la primera estimación de f_1 será

$$f_1 = \frac{30.1 * (40.2 - 34.3)}{(52.2 - 22.5)} = \frac{30.1 * 5.9}{29.7} = 5.98$$

Se encontrará que la tercera estimación es:

$$f_3 = \frac{30.1 * (82.2 - 76.1)}{(94.0 - 64.1)} = \frac{30.1 * 6.1}{29.9} = 6.14$$

Los valores mínimos y ajustados de f se encuentran especificados en la segunda y última columna y los valores acumulados de f en la última columna. A partir de éstos, por medio de una simple suma los valores provisorios de densidad son ingresados en las hileras para G inmediatamente por arriba de los valores correspondientes a R. La relación completa de G a R puede ahora completarse en cualquier detalle requerido por medio de un método adecuado estándar de interpolación.

Nota: Puesto que los primeros pasos de R11 a R13 no son centrales con respecto a un intervalo mayor cualquiera, no pueden usarse directamente para estimar f1 y f2; lo mismo puede decirse con relación a los pocos pasos al final. Esto no nos impide deducir los valores de densidad a lo largo de toda la longitud de la cuña después que todos los pasos de f1 a f2 hayan sido estimados.

Formulario de cómputo de Long. De Onda – Calibración de las 2 Lámparas

	DeltaR	DeltaR	DeltaR	DeltaR	DeltaR	DeltaR	Mean f	Sum of
							Adj. f	f
G	0	30.10	60.20	90.30	120.40	150.50		
R	5.0	29.3	34.3	29.8	64.1	29.9	94.0	29.8
deltaR		5.9	6.0	5.9	6.0			
f ₁		5.98	6.02	5.98	6.08		6.02	6.02
G	6.02	36.12	66.22	96.32	126.42			
R	10.8	29.4	40.2	29.9	70.1	29.8	99.9	29.9
deltaR		5.9	6.0	5.9	5.9			
f ₂		5.98	6.02	5.98	5.98		5.99	12.01
G	12.01	42.11	72.21	102.51	132.41			
R	16.6	29.5	46.1	30.0	76.1	29.7	105.8	29.9
deltaR	5.9	6.1	6.1	6.1	5.9			
f ₃	6.06	6.16	6.14	6.16	5.98		6.30	18.11
G	18.11	48.21	78.31	108.41	130.51			
R	22.5	29.7	52.2	30.0	82.2	29.7	111.9	29.7
deltaR	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9			
f ₄	6.04	5.94	5.96	5.94			5.97	24.08
G	24.08	54.18	84.28	114.38	144.48			
R	28.4	29.7	58.1	30.0	88.1	29.7	117.8	29.7
deltaR	5.9	6.0	5.9	6.0	6.0			
f ₅	6.02	6.02	5.98	6.04			6.02	30.10
							30.10	

N.B. No es necesario ajustar los valores de f

La constante arbitraria K debe ahora ajustarse en un valor para hacer $(L_0 - L)$ o N igual a cero en esa lectura del disco que uno estima que sería obtenida si el instrumento sería llevado fuera de la atmósfera para una observación del sol en un par de longitud de ondas. Debe determinarse la constante para cada par de longitud de onda y para cada instrumento separadamente, puesto que depende de factores individuales así como del sol, por ej. el ancho de las ranuras y selección en la difusión, reflexión y absorción en los espejos y las superficies de los prismas, las lentes, el fotomultiplicador, etc. Como ya ha sido mencionado, esta constante se halla generalmente por comparación con otro instrumento calibrado previamente, a pesar de que las estaciones que poseen unas series largas de observaciones adecuadas pueden siempre chequear esta constante por el método descrito en el Apéndice D. El Apéndice D también describe un método de transferir la calibración de un espectrofotómetro correctamente calibrado al instrumento con una cuña óptica recientemente calibrada por medio de las lámparas estándar.

Cuando ya se haya hecho la tabla provisoria para convertir las lecturas del disco a valores de G ($\log I/I' + K$), es conveniente chequear su exactitud convirtiendo algunas de las observaciones hechas durante las medidas de las dos lámparas a los valores de G. Por ejemplo, los valores dados previamente pueden ser convertidos como sigue:

$R_{2=}$	40.2	55.1	80.5	109.5	130.6	56.6
$R_{1=}$	10.8	25.4	50.5	79.8	100.7	126.9
$G_{2=}$	36.2	51.13	76.61	106.00	127.22	153.60
$G_{1=}$	6.02	21.04	46.51	75.91	97.14	123.50
$\Delta G=$	30.10	30.09	30.10	30.09	30.08	30.10

DeltaG debe ser igual a 30.10 en todos los casos. El acuerdo es satisfactorio.

3. Procesamiento de la Calibración de la Cuña Óptica por Computadora

La reducción a mano de la calibración de cuña por el método de las dos lámparas descrito arriba es un trabajo arduo. El Centro de Calibración Mundial y los Centros de Calibraciones Regionales disponen del software necesario para reducir los datos a valores de G. Póngase en contacto con el centro apropiado para obtener ayuda en esta reducción. En el gráfico de la Fig. C-1 más adelante, se encuentra un ejemplo de una tabla de R-a-G para el par de la longitud de onda A de los datos.

Barrow, Alaska

GA Table	Instrument: D091			Date: 13-May-04						
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
0	-5.4					0.0	1.2	2.4	3.6	4.7
10	5.9	7.2	8.4	9.6	10.9	12.1	13.3	14.6	15.8	17.0
20	18.3	19.5	20.7	21.9	23.1	24.3	25.5	26.7	27.9	29.1
30	30.2	31.4	32.5	33.7	34.8	36.0	37.1	38.3	39.5	40.7
40	41.9	43.0	44.2	45.3	46.4	47.5	48.7	49.8	50.9	52.0
50	53.1	54.2	55.3	56.4	57.5	58.7	59.8	60.8	61.9	62.9
60	64.0	65.1	66.1	67.2	68.3	69.4	70.5	71.6	72.7	73.8
70	74.9	76.0	77.0	78.1	79.2	80.3	81.4	82.4	83.5	84.6
80	85.7	86.8	87.9	89.0	90.1	91.1	92.2	93.3	94.3	95.4
90	96.4	97.5	98.6	99.7	100.8	101.9	103.0	104.1	105.2	106.2
100	107.3	108.4	109.5	110.5	111.6	112.7	113.8	114.8	115.9	116.9
110	118.0	119.0	120.1	121.1	122.2	123.3	124.3	125.4	126.4	127.5
120	128.5	129.6	130.6	131.7	132.7	133.8	134.8	135.9	136.9	138.0
130	139.0	140.0	141.1	142.1	143.1	144.2	145.2	146.2	147.3	148.3
140	149.4	150.4	151.5	152.6	153.6	154.7	155.8	156.9	157.9	158.9
150	160.0	161.0	162.0	163.1	164.1	165.2	166.3	167.3	168.4	169.4

160	170.5	171.5	172.6	173.6	174.7	175.7	176.8	177.9	178.9	180.0
170	181.0	182.1	183.2	184.2	185.3	186.4	187.4	188.5	189.5	190.5
180	191.6	192.6	193.7	194.7	195.8	196.8	197.9	199.0	200.0	201.1
190	202.1	203.2	204.3	205.3	206.4	207.4	208.5	209.5	210.6	211.7
200	212.7	213.8	214.8	215.9	216.9	218.0	219.0	220.0	221.0	222.1
210	223.1	224.2	225.2	226.3	227.3	228.4	229.4	230.5	231.5	232.6
220	233.6	234.7	235.7	236.8	237.8	238.8	239.9	240.9	242.0	243.0
230	244.1	245.1	246.2	247.2	248.3	249.3	250.4	251.4	252.4	253.5
240	254.5	255.5	256.5	257.6	258.6	259.6	260.7	261.7	262.7	263.8
250	264.8	265.9	266.9	268.0	269.0	270.0	271.1	272.1	273.2	274.2
260	275.3	276.3	277.3	278.3	279.3	280.3	281.3	282.3	283.3	284.3
270	285.4	286.4	287.4	288.5	289.5	290.6	291.7	292.8	293.8	294.9
280	296.0	297.1	298.2	299.3	300.4	301.5	302.6	303.7	304.8	306.0
290	307.1	308.2	309.3	310.4	311.5	312.6	313.7	314.8	315.9	317.0
300	318.1	319.2	320.3	321.4	322.5	323.6	324.7	325.8	326.9	328.0

CALIBRACIÓN DE UN ESPECTROFOTÓMETRO EN UNA ESCALA ABSOLUTA

1. Calibración Directa de Espectrofotómetros

Antes de que un espectrofotómetro calibrado con precisión en una escala relativa (alineamiento óptico correcto y calibración de la cuña óptica correctamente determinada) pueda ser usado para obtener medidas de la cantidad de ozono total, se deben conocer las “constantes extraterrestres” específicas del instrumento (ETC) en las longitudes de onda de los pares A, C y D. Estas constantes han sido determinadas para el Espectrofotómetro de referencia Primario Mundial N° D083 (WPSS) localizado en el Centro Mundial de Calibración Dobson, parte del Grupo de Vapor de Agua y Ozono de la sede central de la NOAA/CMDL en Boulder, Colorado, EEUU, a partir de observaciones realizadas en el Observatorio Mauna Loa de la NOAA/CMDL, Hawaii. Estas calibraciones están basadas en un método de gráfico modificado de Langley (Langley, 1884) que define la escala de calibración del Dobson Mundial deducida por WPPSS. La primera de dichas calibraciones fue efectuada en 1972 y las calibraciones se han repetido muchas veces a partir de dicho año. Para calibrar otro espectrofotómetro en una escala absoluta, es suficiente ubicar dicho instrumento junto al instrumento de referencia y realizar unas series de observaciones comparativas con sol directo usando los pares de las longitudes de onda A, C y D con los dos instrumentos en un rango de μ de 1.15 a 5. Las correcciones con respecto a unas tablas (G) de densidad de la cuña óptica del instrumento o tablas de N establecidas provisionalmente se deducen entonces directamente a partir de los datos comparativos. Un análisis más sofisticado de los datos comparativos puede ofrecer información útil acerca de otras características ópticas del instrumento que se está calibrando.

La Organización Meteorológica Mundial ha designado un número de Espectrofotómetros Patrones Regionales para ser utilizados como calibradores de los instrumentos de ozono Dobson y portadores de la escala de calibración mundial dentro de sus respectivas regiones. El instrumento D065 se define como un instrumento de referencia secundario y también es utilizado como un instrumento de referencia regional. Los instrumentos Patrones Regionales son como los de la lista que aparece en la Tabla D-1.

REGION OMM	REGION GEOGRÁFICA	INSTRUMENTO NUMERO	ORGANIZATION
I	Africa	D065	NOAA/GMD
II	Asia	D116	Japan Meteorological Agency
III	South America	D065	NOAA/GMD
IV	North America	D065	NOAA/GMD
V	Australia, Pacific	D105	Australian Bureau of Meteorology
VI	Europe	D064	German Weather Service

Estos espectrofotómetros se calibran con respecto al Espectrofotómetro Primario de referencia N° 83, mantenido en Boulder, Colorado, con la intención que en intervalos periódicos (3 ó 4 años) en adelante, cada instrumento de referencia Regional será usado en un programa en progreso para calibrar y mantener en calibración los espectrofotómetros de las estaciones localizadas dentro de esta región. Varios países mantienen sus propios patrones, los cuales son calibrados ya sea con el instrumento de referencia primario, secundario o regional.

La calidad de las observaciones obtenidas con instrumentos que envíen datos al Centro Mundial de Datos de Ozono y de Radiación Ultravioleta (WOUDC) depende en gran medida del mantenimiento de la condición de calibración de los instrumentos individuales. Los investigadores utilizan estos datos por varios motivos, incluyendo asuntos relacionados con una política pública. Cuando se realice una intercomparación, se debe hacer un informe de los resultados de forma tal que los usuarios de los datos conozcan los resultados de la misma. Si los resultados de la intercomparación indican que la calibración del instrumento ha cambiado, se

debe esforzarse para determinar el efecto del record de los datos existentes y qué es necesario para reprocesar los datos existentes. Los metadatos de la calibración y los datos reprocesados deben ser enviados al WOUDC lo más pronto posible.

El Centro Mundial de Calibración de Dobson, así como también los Centros de Calibración Regional designados, asistirán en el proceso detallado y análisis de los datos de intercomparación de los espectrofotómetros. Las organizaciones que comparan los instrumentos dentro de su propio sistema de observación pueden contactar uno de estos centros para obtener instrucciones detalladas antes de realizar las medidas efectivas.

La siguiente es una descripción breve del proceso de observación:

- Los instrumentos observan con sol directo usando el director solar. Se debe tener cuidado de cerrar la ventana de inspección al lado del director solar para evitar la penetración de luz difusa por el cielo cenital.
- Las secuencias de las medidas es las longitudes de onda C seguida por D y luego por A, lo cual forma un juego de medidas.
- La medida es “en el minuto”- si el proceso de medida promedia la posición del disco R, entonces el tiempo promediado de la medida tiene como segundos cero. Un ejemplo es cuando la medida empieza 10 segundos antes del minuto (08:07:50) y finaliza 10 segundos después del minuto (08:08:10). Por lo tanto el tiempo registrado para el promedio es “en el minuto”, es decir 08:08. Si el proceso de medida es una única lectura, entonces la lectura se toma instantáneamente al comienzo del minuto, que en este caso es: 08:08.
- La toma de tiempo de la secuencia es que la longitud de onda del par C es en el primer minuto, el de la longitud de onda D es el próximo minuto y la longitud de onda A es en el que sigue. El minuto siguiente no se considera, pero el tiempo se usa para preparar el instrumento para la próxima medida del par de longitud de onda. Esto hace que el tiempo mínimo entre medidas sucesivas de la longitud de onda C sea de cuatro minutos.
- El tiempo entre la medida del par de longitud de onda A y la próxima medida del par de longitud de onda C se puede ajustar en base al velocidad del cambio del Mu. El espacio más común, exceptuando el mínimo, es de cinco minutos entre medidas sucesivas del par de longitud de onda C.
- Los juegos de observación se continúan hasta obtener un rango de mu aceptable. El rango óptimo es de 1.15 a 5, pero es difícil obtenerlo en la mayoría de los lugares.

Las medidas individuales para cada instrumento (estándar y prueba) son convertidas a los valores de N, calculándose las diferencias. Las diferencias son promediadas en rangos de mu definidos para ayudar en la identificación de problemas con la prueba. La diferencia promediada sobre todos se calcula y se define como la diferencia de calibración. La diferencia de calibración se aplica entonces a los datos originales a partir del instrumento de prueba. El ozono total se calcula tanto para los datos originales como para los datos con la diferencia de calibración aplicada en los rangos de mu definidos. La salida final es una única página con el análisis en dos matrices, una con los datos originales y la segunda con la diferencia de calibración aplicada. Más adelante se encuentran expuestos ejemplos. La representación gráfica de los resultados es también muy útil en el análisis de los resultados.

Análisis de un resultado de intercomparación

La primera matriz es un análisis en el que se utilizan las tablas N originales del instrumento que se prueba. Si los datos del instrumento se ajustan normalmente de acuerdo a los resultados de las pruebas de lámpara estándar, entonces los valores N también se ajustan por los resultados de las lámparas. Esta sección se puede usar para evaluar el record existente del instrumento. Las condiciones de medidas en el lugar de observación normal del instrumento serán consideradas en la evaluación.

Data summary utilizando Inst. 96 N tables dated July 20, 2001:						Calib Inst. 65 vs 96 March 4, 2004 AM	
	1.15<MU<1.5	1.5<MU<2.0	2.0<MU<2.5	2.5<MU<3.2	3.2<MU<4.0	4.0<MU<5.0	1.15<MU<3.2
XAD065*	.230 (.001)	.230 (.000)	.229 (.000)	.229 (.000)	.229 (.001)		.229 (.000) ATMO-CM
XAD096*	.226 (.002)	.227 (.001)	.227 (.001)	.227 (.001)	.224 (.002)		.227 (.001) ATMO-CM
DXAD096*	-1.66	-1.39	-.99	-.68	-2.14		-1.18 PERCENT
XCD065*	.220 (.003)	.223 (.002)	.224 (.001)	.225 (.001)	.224 (.001)		.223 (.002) ATMO-CM
XCD096*	.218 (.005)	.218 (.001)	.220 (.002)	.225 (.002)	.226 (.001)		.220 (.003) ATMO-CM
DXCD096*	-.90	-2.03	-1.59	-.04	1.00		-1.14 PERCENT
XA 065*	.238 (.001)	.237 (.001)	.234 (.001)	.232 (.001)	.231 (.001)		.235 (.002) ATMO-CM
XA 096*	.236 (.002)	.235 (.001)	.232 (.001)	.231 (.001)	.227 (.002)		.233 (.002) ATMO-CM
DXA 096*	-.85	-.85	-.88	-.69	-1.76		-.82 PERCENT
XC 065*	.243 (.002)	.241 (.001)	.237 (.001)	.234 (.001)	.231 (.001)		.239 (.004) ATMO-CM
XC 096*	.244 (.002)	.240 (.002)	.234 (.002)	.233 (.001)	.232 (.001)		.238 (.004) ATMO-CM
DXC 096*	.54	-.66	-.99	-.33	.37		-.36 PERCENT
XD 065*	.271 (.003)	.264 (.004)	.252 (.003)	.245 (.002)	.239 (.002)		.258 (.010) ATMO-CM
XD 096*	.276 (.006)	.266 (.004)	.251 (.003)	.244 (.002)	.238 (.001)		.259 (.013) ATMO-CM
DXD 096*	1.92	.84	-.28	-.74	-.36		.47 PERCENT

La siguiente sección ofrece las diferencias entre los valores N estándar y el instrumento que se está probando. Los modelos en las diferencias y las progresiones de las mismas con el cambio del rango de mu pueden indicar errores en la alineación del instrumento o en las calibraciones de las cuñas. El número subrayado (.77) es el valor promedio ($N_A - N_D$) y se usa para determinar la diferencia porcentual entre el instrumento que se está probando y el instrumento de referencia durante medio día en una cantidad de ozono definida de 300 UD. Si esta diferencia es menor de 0.7, el instrumento se considera que se encuentran en calibración con respecto al estándar. La precisión del instrumento se considera que es +-1%.

Corr. needed to	Inst. 96 N values					mean	rsd		mean				
	MU= 1.33	1.75	2.25	2.85	(1.15-2.5)				MU= 1.33	1.75	2.25	2.85	(1.15-2.5)
To NA ADD	.57	.70	.76	.87	.67	.213		To NAD ADD	.84	.78	.69	.70	<u>.77</u>
To NC ADD	-.16	.30	.42	.17	.19	.148		To NCD ADD	.11	.39	.35	.00	<u>.28</u>
To ND ADD	-.27	-.09	.07	.16	-.10	.209							

La última matriz es un análisis en el que se usan las tablas N corregidas por los valores medios en la sección anterior. También en este caso, los modelos y progresiones en la matriz pueden indicar problemas en los instrumentos.

Data summary utilizando		corrected Inst.		96 N Tables:		(utilizando mean)			
	1.15<MU<1.5	1.5<MU<2.0	2.0<MU<2.5	2.5<MU<3.2	3.2<MU<4.0	4.0<MU<5.0	1.15<MU<3.2		
XAD065	.230 (.001)	.230 (.000)	.229 (.000)	.229 (.000)	.229 (.001)		.229 (.000)	ATMO-CM	
XAD096	.230 (.002)	.230 (.001)	.230 (.001)	.229 (.001)	.225 (.002)		.230 (.000)	ATMO-CM	
DXAD096	.09	-.01	.07	.16	-1.47		.08	PERCENT	
XCD065	.220 (.003)	.223 (.002)	.224 (.001)	.225 (.001)	.224 (.001)		.223 (.002)	ATMO-CM	
XCD096	.223 (.005)	.222 (.002)	.223 (.002)	.227 (.002)	.228 (.001)		.224 (.002)	ATMO-CM	
DXCD096	1.21	-.42	-.34	.95	1.77		.35	PERCENT	
XA 065	.238 (.001)	.237 (.001)	.234 (.001)	.232 (.001)	.231 (.001)		.235 (.002)	ATMO-CM	
XA 096	.239 (.002)	.237 (.001)	.234 (.001)	.232 (.001)	.228 (.002)		.235 (.003)	ATMO-CM	
DXA 096	.32	.07	-.16	-.11	-1.29		.03	PERCENT	
XC 065	.243 (.002)	.241 (.001)	.237 (.001)	.234 (.001)	.231 (.001)		.239 (.004)	ATMO-CM	
XC 096	.246 (.002)	.241 (.002)	.235 (.002)	.234 (.001)	.232 (.001)		.239 (.005)	ATMO-CM	
DXC 096	1.23	-.12	-.56	.02	.64		.15	PERCENT	
XD 065	.271 (.003)	.264 (.004)	.252 (.003)	.245 (.002)	.239 (.002)		.258 (.010)	ATMO-CM	
XD 096	.274 (.006)	.265 (.004)	.250 (.003)	.243 (.002)	.238 (.001)		.258 (.012)	ATMO-CM	
DXD 096	1.20	.27	-.73	-1.12	-.66		-.06	PERCENT	

Values in brackets are standard deviations. New II BK O3 ABS. COEF. applied.

2. Detección de calibración incorrecta o de una calibración incorrectamente aplicada

Aunque un instrumento esté con ópticas correctamente alineadas, una calibración de cuña determinada, etc., es necesario una operación correcta y el análisis de medidas rutinarias. Se debe hacer un esfuerzo para verificar que las observaciones se están realizando correctamente y que el análisis es correcto. Los gerentes del programa de observación deben tener algún conocimiento acerca de la ciencia del ozono troposférico de manera que los resultados de las observaciones puedan entenderse.

Otros instrumentos como los espectrofotómetros de ozono Brewer, ozonómetros de Filtro, solfotómetros de mano Microtops y elementos transportados por satélites también hacen medidas de ozono total. Un vuelo de globo con instrumentos que miden el ozono in-situ pueden analizarse también para brindar datos de ozono total. Los resultados provenientes de estos instrumentos se pueden comparar con los resultados del Dobson para detectar problemas. Los otros instrumentos tienen sus propios juegos de presunciones y aproximaciones que deben ser interpretados pero los resultados provenientes de estos instrumentos y del instrumento Dobson deben “seguirse mutuamente”- el nivel real puede no ser el mismo, pero los cambios en el ozono medido será en la misma dirección y magnitud. Si la relación entre el Dobson y otro instrumento cambia abruptamente, entonces ambos instrumentos deben ser investigados. Puesto que los otros instrumentos tienen un esquema de calibración independiente, el instrumento Dobson no debe ser calibrado con respecto al otro instrumento o al revés.

3. Verificación del estado de Calibración de Espectrofotómetros por medio de Observaciones Especiales

Para chequear si las tablas N usadas en la reducción de los datos de ozono total rutinario son precisas (es decir: que el espectrofotómetro está calibrado correctamente en una escala absoluta), se efectúan observaciones de sol directo especiales de acuerdo a las instrucciones ofrecidas en la Sección 6.4.1. Se requieren pares de observaciones durante las mañanas y/o las tardes cuando el μ se encuentra en el rango de 1.15 a 1.5 y nuevamente cuando el μ se encuentra entre 2.5 y 3.0. Las medidas consisten en el tipo común de observaciones de AD-DSGQP y CD-DSGQP realizadas especialmente y con sumo cuidado en los días cuando la cantidad de ozono total permanece constante o casi constante. El cielo durante estos días deben encontrarse relativamente libre de polvo, humo o partículas de bruma. Se deben hacer tres juegos de medidas independientes una después de la otra en cada uno del par doble de longitud toda vez que se realicen las medidas especiales.

Las correcciones con respecto a las tablas N se pueden determinar solamente asumiendo que no existe ninguna variación diurna regular en la cantidad de ozono total (X) cerca del mediodía. Considere las primeras observaciones en las longitudes de onda A y D. Asumamos que ΔX_{AD} y $\Delta \cos(SZA)$ es la diferencia en ΔX_{AD} y $\cos(SZA)$ entre dos observaciones en la misma mañana (o tarde) tomada con sol alto y bajo, definiendo ΔX_{AD} positivo cuando el valor más cerca del mediodía es el más grande. $\Delta \cos(SZA)$ siempre se toma como positivo. Los valores promedios ΔX_{AD} y $\Delta \cos Z(SZA)$ se forman entonces durante un número adecuado de días permitiendo que uno calcule

$$\Delta X_{ad} = \text{ave}(\Delta X_{ad}) / \text{ave}(\Delta \text{Cos}Z)$$

El tamaño de esta cantidad es un índice que puede ser usado para corregir los valores $N_A - N_D$ y X_{AD} . Para corregir los valores $N_A - N_D$, disminúyalos en una cantidad

$$[(\alpha - \alpha')_A - (\alpha - \alpha')_D] * \Delta X_{AD}$$

Teniendo en cuenta el signo de ΔX_{AD} . Para corregir los valores de ozono X_{AD} ya calculados, redúzcalos por la cantidad $\Delta X_{AD} * \cos(SZA)$.

En el análisis completo X_A , X_C , X_D y X_{CD} se examinan de la misma manera. Por ejemplo, para corregir los valores de N ofrecidos en la tabla N, disminúyalos una cierta cantidad

$$[(\alpha - \alpha')_A] * \Delta X_A$$

Observe que es posible calcular los valores de X_A , X_C , y X_D a partir de las observaciones X_{AD} y X_{CD} puesto que, toda vez que se hace una medida como ADADA, la hora media de observación para dicha observación es la misma que para las medidas en las tres longitudes de onda de A o para las medidas de las dos longitudes de onda D. Al calcular X_A , X_C , y X_D , se asume generalmente que los coeficientes de difusión del aerosol ($\delta - \delta'$) es igual a cero si las observaciones se efectúan en un sitio donde la atmósfera es muy clara.

Seguidamente, se ofrece un ejemplo de análisis de los datos para el par de la long. de onda A

Inst. No. 72		Long. de Onda Par A		Sterling, Va 16 de Junio, 1962		
	1	2	3	4		
	Cerca del mediodía		A.M. o P.M.		1 - 3	2 - 4
Fecha	X_A	Cos(SZA)	X_A	Cos(SZA)	ΔX_A	$\Delta \text{Cos(SZA)}$
4/10/62	0.339	0.8568	0.366	0.3485	-0.027	0.5083
4/25/62	0.315	0.8349	0.337	0.2824	-0.022	0.5525
4/26/62	0.323	0.8101	0.344	0.2945	-0.021	0.5156
5/05/62	0.340	0.8486	0.362	0.3095	-0.022	0.5391
5/25/62	0.313	0.7974	0.338	0.3234	-0.025	0.4740
Sum					-0.117	2.5895
Prom				$\Delta X_A =$	-0.023	
					$\Delta \text{Cos(SZA)} =$	0.5179

$$\Delta X_A = 0.0234/0.5179 = -0.0452$$

Disminuya los valores N_A en $1.762 * -0.0452 = -0.0796$ ó

Incremente los valores N_A en $+0.0796$.

Puesto que los valores ofrecidos en las tablas N son en realidad valores $100N$, el resultado es el siguiente. Incremente cada valor en la tabla N_A en $7.96 \sim 8.0$ unidades.

Para realizar un control preciso de la calibración del espectrofotómetro, generalmente se deben usar mucho más datos que los que se muestran en el ejemplo ofrecido más arriba de manera tal que los cambios del ozono inducidos día a día por acción del tiempo cancela el juego de datos. Un método consiste en usar datos seleccionados a partir de todo un año de observaciones.

DETERMINACIÓN DE LAS CORRECCIONES A LAS TABLAS N A PARTIR DE LOS DATOS DE LAS PRUEBAS DE LAMPARA

Cada espectrofotómetro calibrado debe tener asociado al mismo información para ser usada en mantener un control del estado de la calibración del mismo. Esta información debe ser contenida en tablas de referencia denominada, Tablas de Posición de Q, Pruebas de Lámpara Estándar, Pruebas de Calibración de las Cuñas y Pruebas de Sensibilidad.

En la práctica se puede encontrar que los nuevos datos de la prueba de lámpara estándar no concuerdan con los datos presentados en la tabla titulada Pruebas de Lámpara Estándar. Surgen datos con discrepancias, por ejemplo, cuando la óptica de un espectrofotómetro necesita limpieza o cuando un nuevo fotomultiplicador es instalado en el instrumento. Se hace necesario, entonces, determinar las correcciones apropiadas a las tablas N con el objeto de ajustar efectivamente el espectrofotómetro a una escala absoluta. Estas correcciones son útiles como evaluación de la deflexión en la calibración del instrumento.

El método para determinar las correcciones a las tablas N es como sigue. Asumamos, por ejemplo, que las lecturas de la lámpara estándar de referencia para un espectrofotómetro y una lámpara en particular son las siguientes:

Long. De Onda	Promedio R _{ref.}
A	27.2
C	27.2
C'	73.8
D	26.9

Supongamos que el observador obtiene los siguientes resultados cuando realiza una prueba de lámpara estándar usando la misma lámpara:

Long. De Onda	Promedio R _{exp.}
A	24.8
C	24.9
C'	76.4
D	24.4

Obviamente los dos juegos de datos ofrecidos más arriba son significativamente diferentes. Después de repetir las pruebas cuidadosamente y también después de usar una lámpara estándar para asegurarse que es verdaderamente la respuesta espectral del espectrofotómetro que se ha cambiado y no las características espectrales de la lámpara, las correcciones requeridas a las tablas N se obtienen simplemente substrayendo los valores medios R_{exp} de los valores medios R_{ref}. Para el ejemplo ofrecido más arriba, las correcciones son las siguientes:

Tablas N	$\Delta R = \text{Promedio } R_{ref} - \text{Promedio } R_{exp}$
Para valores en tabla N _A	Sumar 27.2 - 24.8 = +2.4
Para valores en tabla N _C	Sumar 27.2 - 24.9 = +2.3
Para valores en tabla N _{C'}	Sumar 73.8 - 76.4 = -2.6
Para valores en tabla N _D Sumar 26.9	Sumar 26.9 - 24.4 = +2.5

Observe que la lectura experimental de la lámpara estándar para las longitudes de onda A, por ejemplo, es demasiado baja en 2.4 grados. Esto significa que cuando se realizan medidas de ozono rutinarias los valores R_A y por lo tanto N_A estarán demasiado bajos en aproximadamente 2.4 unidades. Es necesario compensar el cambio en la respuesta espectral del instrumento aumentándolos valores de N_A .

Las cuñas ópticas de la mayoría de los espectrofotómetros están diseñadas de tal manera que un cambio de una unidad R a lo largo de la cuña corresponde muy aproximadamente a una unidad N a lo largo de la cuña. Por lo tanto, las correcciones a las tablas N pueden determinarse simplemente comparando las lecturas del disco R de la prueba de lámpara estándar como se ha hecho más arriba; contrariamente las correcciones deben calcularse en función ΔN antes que del ΔR .

Los datos de ozono que se han computado pueden ocasionalmente necesitar ser vueltos a computar o corregidos cuando el observador se percata, después de realizar un prueba de lámpara estándar, que la respuesta espectral del instrumento ha cambiado. El observador tendrá que usar su discreción para decidir cuantos de los datos anteriores necesitan ser revisados. Por este motivo, es importante que las pruebas de lámpara estándar sean realizadas por lo menos una vez al mes y que se conserven anotaciones relacionadas con la verificación de eventos no comunes que puedan tener una orientación en la respuesta espectral del espectrofotómetro.

Las correcciones afectan el análisis para determinar el ozono total a partir de medidas de par doble con el valor $(N_A - N_D)$ o $(N_C - N_D)$. Estos valores deben ser seguidos, puesto que el valor de $(N_A - N_D)$ da una indicación del cambio. Un valor $(N_A - N_D)$ de ± 0.7 es aproximadamente un cambio de ± 1 por ciento en el ozono total. Un valor de esta magnitud o una magnitud grande indica que es necesario un control de calibración con un instrumento de referencia.

CÁLCULO DEL COS Z Y μ PARA EL SOL Y LA LUNA

Desde el momento de la primer publicación original de este manual, ha habido grandes cambios en los cálculos básicos para las posiciones del sol y de la luna. La publicación de Almanaque Astronómico por parte del Observatorio Naval de los EEUU ha sido aumentada por la publicación de versiones en software. El Almanaque Computadorizado Interactivo para un período de muchos años (MICA) se encuentra disponible solicitándolo a Willmann Bell, Inc. (www.willbell.com) La versión 2.0 cubre los años que van del 1800 al 2050 y su costo es inferior que el de un ejemplar de Almanaque impreso correspondiente a un año. Este software simplifica en gran medida los cálculos del ángulo cenital y, de esta manera, del μ .

1. Significado Físico del μ , Z y (HP)

La cantidad adimensional llamada μ , es la razón de la longitud del camino de la capa de ozono atravesada por un rayo de luz proveniente del sol o luna a la hora de la observación con respecto a la longitud del camino vertical. Como se muestra en la figura F-1, μ es igual a la razón de los caminos CD/AB. En la práctica, los valores de μ se obtienen a partir de la ecuación que relaciona el coseno (Z) y μ . El ángulo Z, mostrado en la figura es indicado como el ángulo cenital (o distancia) del cuerpo celeste. En ciertas horas durante el día, Z puede cambiar bastante rápidamente; de allí que sea necesario tomar el tiempo de las observaciones dentro de +5 segundos para asegurar una exactitud suficiente en los valores computados de μ .

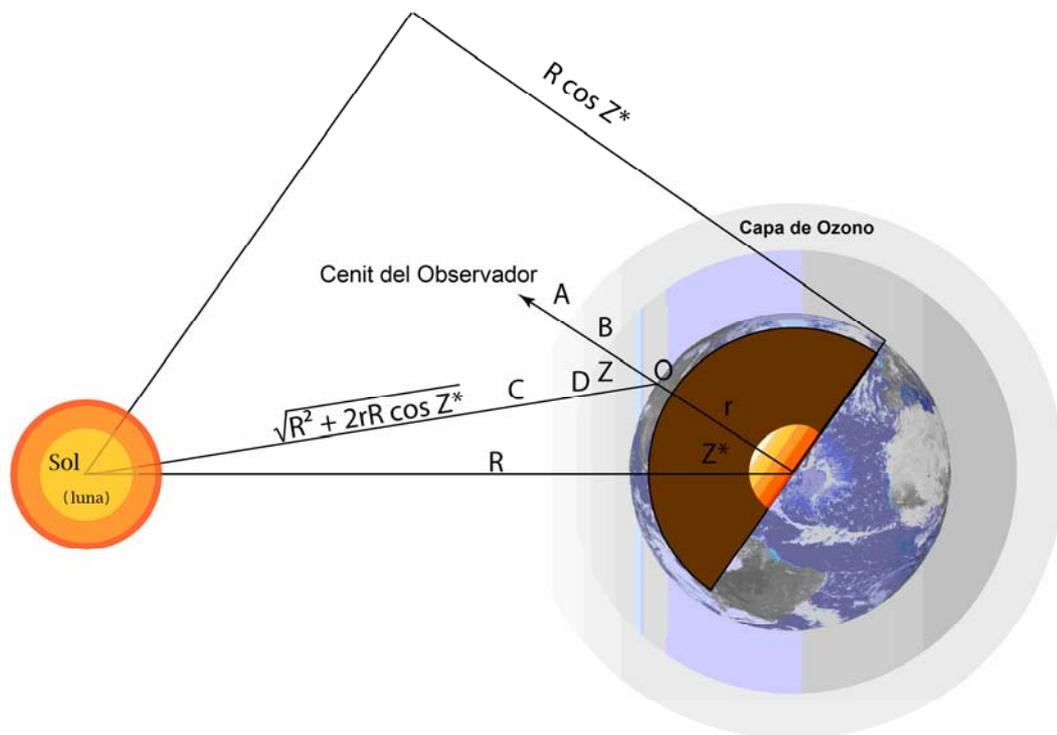


Figura F-1. Ilustración gráfica de μ , Z y (HP)

Los valores del coseno (Z) se obtienen resolviendo la ecuación de triángulo astronómica

$$\cos(Z) = \cos(\theta) * \cos(\delta) * \cos(\phi) + \sin(\delta) * \sin(\phi) \quad (1)$$

Observe en la Figura F-1 que dada la gran distancia que separa el sol y la tierra el ángulo cenital Z es muy aproximadamente equivalente al Angulo Z° (la diferencia en ángulos se encuentra enormemente exagerada en el diagrama). Por lo tanto, una solución de la ecuación (1) da en forma inmediata el $\cos(Z)$. Por otra parte la luna se encuentra relativamente cercana a la tierra. Como resultado, Z es en forma apreciable más grande que Z° . El procedimiento aquí consiste en calcular el $\cos(Z^\circ)$ a partir de la ecuación (1), luego en aplicarla en una corrección de paralaje, $\Delta\cos(Z^\circ)$, para obtener el $\cos(Z)$.

La corrección de paralaje se obtiene normalmente a partir de una tabla que relaciona $\Delta\cos(Z^\circ)$, para obtener $\cos(Z)$.

La corrección de paralaje se obtiene normalmente a partir de una tabla que relaciona $\Delta\cos(Z^\circ)$ a (HP), en la cual el último símbolo denota el paralaje horizontal de la luna obtenido, por ejemplo, del Almanaque Náutico, Observatorio Naval de los Estados Unidos, para la hora de la observación. La tabla ha sido confeccionada a partir de la ecuación (4) especificada más adelante, que deriva como sigue. Con referencia a la F-1,

$$\cos(Z) = \frac{R\cos(Z^\circ) - r}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2rR\cos(Z^\circ)}} \quad (2)$$

Donde R es la separación de los centros de la tierra y la luna y r es radio de la tierra. Por definición

$$(HP) = \frac{r}{R} \quad [\text{Radianes}] \quad (3)$$

Dividiendo el numerador y el denominador de la parte derecha de la ecuación (2) da

$$\begin{aligned} \cos(Z) &\sim \frac{\cos(Z^\circ) - (HP)}{\sqrt{1 - 2(HP)\cos(Z^\circ)}} \quad R \gg r \\ &\sim \cos(Z^\circ) - (HP)\sin^2(Z^\circ) \\ \Delta\cos(Z^\circ) &\sim \cos(Z) - \cos(Z^\circ) \\ &\sim -(HP)\sin^2(Z^\circ) \end{aligned} \quad (4)$$

Las cantidades θ , δ y ϕ en la ecuación (1) son, respectivamente, el ángulo horario y la declinación del cuerpo celeste luminoso y la latitud de la estación del observador. De manera que el observador comprenda plenamente la importancia de la ecuación (1), se presenta una breve introducción de los conceptos astronómicos en el Apéndice H y el Apéndice I con los cuales se aconseja al lector que se familiarice antes de proceder a la próxima sección que trata del método para computar $\cos(Z)$ y μ .

2. Cálculo del Cos(Z) en la Estación Amundsen-Scott

La estación Amundsen-Scott se encuentra ubicada en la Antártida en una latitud cercana a los -90 grados. Asumiendo que $\theta = 90^\circ$ en la ecuación (1) obtenemos

$$\cos(Z^\circ) = -\sin(\delta). \quad (5)$$

Puesto que el $\cos(Z^\circ) \sim \cos(Z)$ para las observaciones hechas con el sol, es evidente que Z puede determinarse a partir de conocer la declinación del sol en cualquier momento

$$Z^\circ \sim Z = 90^\circ + \delta. \quad (6)$$

μ se obtiene entonces simplemente a partir de la tabla que relaciona $\cos(Z)$ y μ . Para las observaciones con luna, se debe tener en cuenta el paralaje horizontal. El $\cos(Z^\circ)$ se computa primero: entonces el valor apropiado de $\Delta\cos Z^*$ subtrae del $\cos(Z^\circ)$ para dar el $\cos(Z)$.

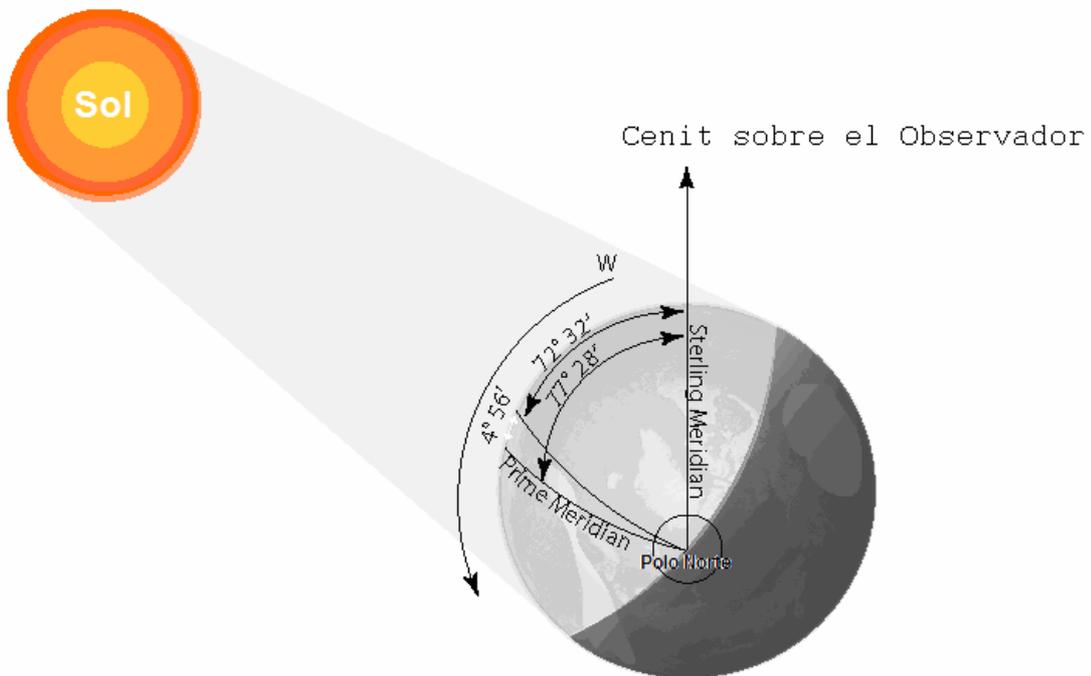


Figura F-2. Ilustración del ángulo de hora local en Sterling, Virginia

3. Ejemplo de la salida MICA

Los datos del software MICA se pueden convertir fácilmente al formato de columnas. La terminología es un poco diferente. La Hora UT1 está dentro de un segundo de la Oficial

UTC. La Distancia Cenital corresponde al Angulo Cenital. Las Posiciones Topocéntricas Aparentes incluyen la corrección de paralaje $\Delta\cos(Z^\circ)$, considerando que el punto de observación se encuentra en la superficie de la tierra. El valor de μ (Sección 7.1.4) puede ser hallado fácilmente usando la interpolación para hallar el valor preciso del ángulo cenital.

Posición Topocéntrica Aparente
Cenit Local y Norte Verdadero

Observatorio Mauna Loa
Ubicación: 155°34'42.0" W, 19°32'00.0" N, 3397m
(Longitud referida al Meridiano de Greenwich)

Fecha	Hora (UT1) h m s	Distancia Cenital °	Azimuth (E of N) °	Distancia al Objeto AU
7-Sep-06	19:00:00	50.49712	98.68736	1.007585586
7-Sep-06	19:01:00	50.26428	98.80095	1.007585276
7-Sep-06	19:02:00	50.03150	98.91517	1.007584967
7-Sep-06	19:03:00	49.79881	99.03003	1.007584658
7-Sep-06	19:04:00	49.56618	99.14555	1.007584350
7-Sep-06	19:05:00	49.33363	99.26173	1.007584042
7-Sep-06	19:06:00	49.10116	99.37859	1.007583735
7-Sep-06	19:07:00	48.86877	99.49613	1.007583428
7-Sep-06	19:08:00	48.63646	99.61437	1.007583122
7-Sep-06	19:09:00	48.40423	99.73331	1.007582816
7-Sep-06	19:10:00	48.17208	99.85298	1.007582511
7-Sep-06	19:11:00	47.94002	99.97338	1.007582206
7-Sep-06	19:12:00	47.70804	100.09452	1.007581902
7-Sep-06	19:13:00	47.47615	100.21641	1.007581598
7-Sep-06	19:14:00	47.24436	100.33907	1.007581295
7-Sep-06	19:15:00	47.01265	100.46251	1.007580992
7-Sep-06	19:16:00	46.78103	100.58674	1.007580690
7-Sep-06	19:17:00	46.54951	100.71177	1.007580389
7-Sep-06	19:18:00	46.31809	100.83762	1.007580087
7-Sep-06	19:19:00	46.08676	100.96431	1.007579787
7-Sep-06	19:20:00	45.85553	101.09183	1.007579487

Tabla F-1. Ejemplo de datos de MICA para el Observatorio Mauna Loa, 07 de Septiembre de 2006.

4. Cálculo de las Horas Z para las Observaciones de Umkehr

La interpolación puede ser usada en los datos de MICA para determinar la hora precisa del ángulo cenital

5. Determinar el Cos(Z) por medio de una Computadora

Yallop (1977) y Sinclair y Yallop (1977) han establecido algoritmos computadorizados para calcular ángulos horarios solares y declinaciones correspondientes con una precisión en las posiciones solares de 1' de arco. Los siguientes algoritmos están basados en un algoritmo calculado por una máquina para procesar las fechas del almanaque diseñado por Fliegel y Flandern (1968) y proveen información con precisión adecuada para el procesamiento de datos de ozono total para varios siglos alrededor de 1980.

POSICIÓN DEL SOL CON LA PRECISION DE 1' DE ARCO

a) Definiciones

Número de día Juliano = número de días que transcurrieron desde 12h UT en BC4713
Fecha juliana = número de día Juliano seguido por la fracción del día transcurrido desde el mediodía precedente.

b) Variables

D = número de días desde 1900.0 (fecha Juliana 2415020.0)

T = número de siglos Julianos desde 1900.0 = $D/36525$

L = longitud media del sol en grados

E = ecuación de tiempo (en segundos de tiempo)

ε = oblicuidad de la eclíptica

α = ascensión recta del sol (aparente) en grados

δ = declinación del sol (aparente) en grados

GHA = ángulo horario de Greenwich del sol (en grados)

UT = Tiempo Universal que en este contexto es equivalente a GMT (en grados)

c) Formulas

$$D = \text{Julian_date} - 2415020$$

$$T = D/36525$$

$$L = 279.697 + 3000.769 * T$$

$$E = -(93.0 + 14.23 * T - 0.0144 * T^2) * \sin(L) - (432.5 - 3.7 * T - 0.2063 * T^2) * \cos(L) \\ + (596.9 - 0.81 * T - 0.0096 * T^2) * \sin(2 * L) - (1.4 + 0.28 * T) * \cos(2 * L) \\ + (3.8 + 0.60 * T) * \sin(3 * L) + (19.5 - 0.21 * T - 0.0103 * T^2) * \cos(3 * L) \\ - (12.8 - 0.03 * T) * \sin(4 * L)$$

$$\tan(\varepsilon) = 0.43382 - 0.00027 * T$$

$$\alpha = L - E/240$$

$$\tan(\delta) = \tan(\varepsilon) * \sin(\alpha)$$

$$GHA = UT + E/240 + 180$$

d) Ejemplo resuelto

Hallar GHA y la declinación del sol en 1976 Agosto 8 a las 6h UT

$$D = 27978.75$$

$$T = 0.7660164$$

$$L = 136.877^\circ$$

$$E = -335.4 \text{ (in seconds of time)} = -1.397^\circ$$

$$\tan(\varepsilon) = 0.433613$$

$$\alpha = 138.274^\circ = 138^\circ 16.4'$$

$$\delta = 16.098^\circ = 16^\circ 5.9'$$

$$GHA = 268.603^\circ = 268^\circ 36.2' \text{ GHA}$$

Yallop, B.D., Posición del Sol con 1' de precisión de arco, H.M. Oficina del Almanaque Náutico, Observatorio Real de Greenwich, Herstmonceux Castle, Hailsham, Sussex BN27 IRP, 1977.

CALCULO DEL INTERVALO DE TIEMPO DESDE PRINCIPIOS DE 1900.

i. Definiciones

I = año de la fecha

J = mes (Enero = 1, Febrero = 2, etc.

K = día del mes

UT = Tiempo universal en horas

D = tiempo transcurrido en días, desde 1900 Enero 0^d al mediodía de Greenwich = JD2415020.0 en la fecha y el tiempo requerido.

La fórmula especificada más adelante está pensada para una calculadora que tiene una función llamada INT la cual remueve la parte de fracción de un número. La fórmula ha sido derivada a partir de una expresión escrita en la lenguaje de programación FORTRAN y fue ofrecida por primera vez por H F Fliegala y T C van Flandern en el Revista "Association for Computing Machinery", 1968, 11, 659.

ii. Formulas

Calcular

$$A = (J - 14) / 12$$

$$B = INT(A)$$

$$C = 1461 * (I + 4800 + B) / 4$$

$$U = INT(C)$$

$$E = 367 * (J - 2 - 12 * B) / 12$$

$$V = INT(E)$$

$$G = (I + 4900 + B) / 100$$

$$H = 3 * INT(G) / 4$$

$$W = -INT(H)$$

$$D = K - 2447095.5 + U + V + W + UT / 24$$

En la cual INT(X) significa tomar la parte entera de X

iii. Ejemplo resuelto.

Halle D para 3 de febrero de 1976 a las 6h

$$\begin{array}{llll} I = 1976 & J = 2 & K = 3 & UT = 6 \\ A = -1 & B = -1 & C = 2474568.75 & \\ U = 2474568 & E = 367.0 & V = 367 & \\ G = 68.75 & H = 51 & W = -51 & \\ D = 27791.75 & & & \end{array}$$

INTRODUCCIÓN A LOS FUNDAMENTOS DE LA ASTRONOMIA

1. La Esfera Celeste

La esfera celeste es un globo imaginario de radio infinito en cuyo centro se encuentra la tierra. En la “cáscara” de la esfera están las estrellas y el sol. Se supone que la tierra se encuentra en una posición fija y que la esfera celeste rota del este hacia el oeste, siendo su eje la prolongación del eje de la tierra. De esta manera, a ojo y sin la ayuda de instrumentos, la estrella polar permanece casi estacionaria.

La porción de la esfera celeste vista por un observador es la semiesfera por encima del plano de su propio horizonte. Una línea vertical en la posición del observador coincide con la línea de caída y es normal al plano horizontal del observador. El punto de intersección de la línea vertical y el límite de la esfera celeste es el cenit. Un punto correspondiente en el hemisferio opuesto se denomina el nadir del observador.

El ecuador celeste es el gran círculo formado por la intersección del plano ecuatorial de la tierra con la superficie de la esfera celeste.

Los polos celestes son puntos en los cuales el eje extendido de la tierra atraviesa la esfera celeste.

2. Posición del Observador en la Tierra

La posición de cualquier punto en la superficie de una esfera puede ser determinada por una medida angular de dos planos de referencia en ángulos rectos entre si pasando por el centro de la esfera; estas medidas son denominadas coordenadas esféricas de dicho punto. Las coordenadas esféricas de cualquier estación de la tierra se designan como latitud y longitud de la estación.

La latitud de una estación se define como la distancia angular de la estación por debajo o por encima del ecuador. Cuando la estación está por encima del ecuador, la latitud está al norte y su signo es positivo, por ejemplo $+47^\circ$ o 47° . Cuando se encuentra por debajo del ecuador, la latitud de la estación es sur y su signo es negativo.

Un paralelo es la línea que une todos los puntos que están en la misma latitud , es decir paralela al círculo ecuatorial.

Un círculo meridiano es cualquier círculo en la superficie de la tierra que pasa tanto por el polo norte como el polo sur.

La longitud de una estación se define como la distancia angular medida a lo largo del arco del ecuador entre un meridiano primario, que es el meridiano de referencia, y el círculo meridiano que pasa por esa estación. El meridiano primario mas generalmente usado es el de Greenwich, Inglaterra. Las longitudes pueden ser expresadas ya sea en grados o arco o en horas de tiempo ($15^\circ = 1$ hora) y se miden ya sea al este u oeste del meridiano de Greenwich.

3. Posición de un Cuerpo Celeste

Dos sistemas de coordenadas se usan generalmente para describir la posición de un cuerpo celeste. Si se requiere solamente especificar la posición de la estrella en la esfera celeste, se emplea el sistema de ascensión recta de las coordenadas. Cuando se debe determinar la

posición de una estrella con respecto al meridiano que pasa por una estación específica en la superficie de la tierra, se usa el sistema del ángulo horario de coordenadas.

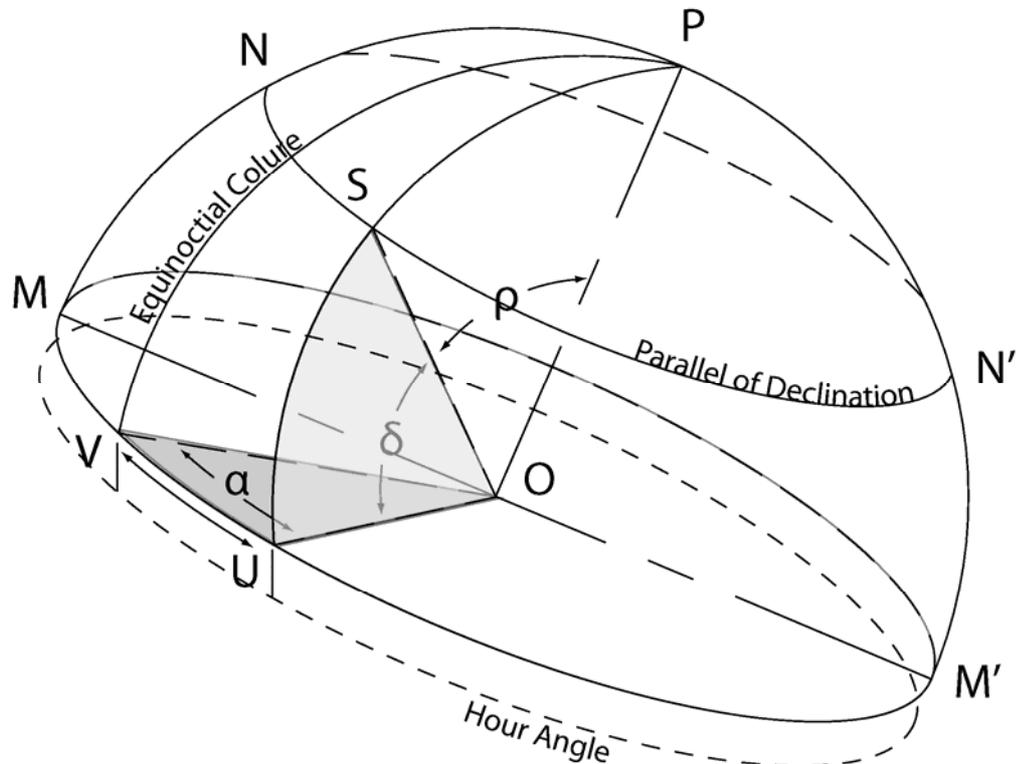


Figura H-1 Hemisferio Celeste

(a) **Sistema de Coordenadas de Ascensión Recta.** En la Figura 1, S es el cuerpo celeste en el hemisferio celeste cuya posición se fija por medio de las coordenadas esféricas. La tierra se encuentra en el centro, O, de la esfera con su eje en la dirección OP.

Los Círculos Horarios en la esfera celeste se comparan con los círculos meridianos o los meridianos de longitud de la tierra. En la figura, PSU es un arco de círculo horario.

Los paralelos de declinación de la esfera celeste se comparan con los paralelos de latitud de la tierra.

El coluro equinoccial de la esfera celeste pasa a través del equinoccio vernal, V, un punto imaginario entre las estrellas en las que el sol aparentemente cruza el ecuador de sur a norte el 21 de marzo (aproximadamente) de cada año. El E.C. se compara con el meridiano primario a través de Greenwich.

La ascensión recta del sol o cualquier estrella (comparable a la longitud de la estación en la tierra) es la distancia angular, alfa, medida a lo largo del ecuador celeste entre el equinoccio vernal y el círculo horario a través del cuerpo. Las ascensiones rectas se miden hacia el este desde el equinoccio vernal y puede expresarse en grados de arco (0° a 360°) o en horas de tiempo (0h a 24h).

La declinación del cuerpo celeste es la distancia angular, Δ , del cuerpo por encima y por debajo del ecuador celeste. Es comparable con la latitud de la estación en la tierra. Si el

cuerpo se encuentra sobre el Ecuador se dice que su declinación está al norte y se considera positiva: si se encuentra por debajo del ecuador se dice que su declinación está al sur y se considera negativa. Las declinaciones se expresan en grados y no pueden exceder los 90° en magnitud.

La distancia polar de un cuerpo celeste es $= 90^\circ - \delta$ teniendo en cuenta el signo de la declinación.

Para los objetivos del presente trabajo, se da por sentado que el equinoccio vernal es un punto fijo en el ecuador celeste. Sin embargo, las coordenadas de los cuerpos celestes con respecto al ecuador celeste y el colure equinoccial cambian levemente con el paso del tiempo. Las estrellas fijas, o aquellas que se encuentran fuera del sistema solar, cambian sus posiciones en la esfera celeste solamente en forma leve de mes en mes y de año en año; el cambio anual es menos de un minuto de arco ya sea en la ascensión recta o en la declinación. Estas variaciones resultan de la precesión o del pequeño cambio en la dirección del eje de la tierra causada por la atracción del sol, la luna y los planetas y la nutación o pequeñas desigualdades en el movimiento de la precesión. También existe el movimiento de las estrellas, es decir: las estrellas realmente se mueven muy levemente con respecto a la esfera celeste a medida que pasa el tiempo. Por otra parte, también tiene lugar la aberración o cambio aparente en la posición de los cuerpos celestes, en el período de un año, a causa del efecto combinado del movimiento de la luz y movimiento del observador fijo en la tierra en movimiento. Finalmente, el ángulo subtendido por líneas trazadas desde cualquier estrella a la tierra y el sol cambia continuamente a medida que la tierra realiza su circuito anual alrededor del sol. Como resultado, las posiciones de las estrellas parecen cambiar en la esfera celeste debido a el paralaje.

A medida que la tierra viaja alrededor del sol pero no alrededor de las estrellas, (vea la Figura 2) el sol aparenta moverse mas lentamente que las estrellas, haciendo en el año 365 revoluciones aparentes (aprox.) mientras que las estrellas hacen 366 revoluciones aparentes (aprox.); de esta manera, el sol aparentemente hace un circuito completo del cielo una vez al año, empezando el nuevo ciclo el 21 de marzo. Además, puesto que el eje de rotación de la tierra no es normal al plano de la orbita terrestre, el camino aparentemente trazado por el sol entre las estrellas en la esfera celeste, denominado la eclíptica, es una línea curva continua; cada año el sol cruza el ecuador hacia el norte el 21 de marzo y alcanza una declinación positiva máxima de alrededor de $23.5^\circ N$ el 21 de junio.

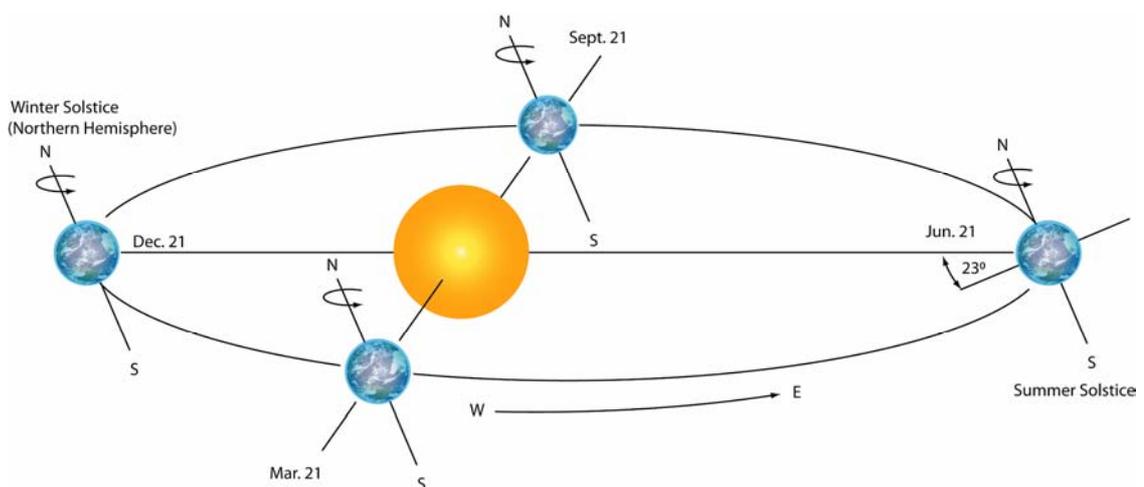


Figura H-2. Posición relativa de la Tierra y el Sol durante el año

b) Sistema de Coordenada del Angulo Horario. En la Figura 1, asumamos que el plano del círculo de la hora $MNPN'M'$ coincide a la hora de la observación con el plano del círculo meridiano del observador y asumamos que S es algún cuerpo celeste cuya posición con respecto al meridiano y el ecuador $MM'UV$ se desea establecer. Las coordenadas esféricas de la estrella son dadas por (1) la distancia angular de la estrella por encima o por debajo del ecuador, la cual en la figura está dada por el arco US , definida previamente como la declinación y (2) la distancia angular medida a lo largo del ecuador entre el meridiano y el círculo horario a través de la estrella. Cuando este movimiento es de este a oeste se denomina ángulo horario. El ángulo horario de cualquier cuerpo celeste puede entonces definirse como la distancia angular medida hacia el oeste a lo largo del ecuador desde el meridiano de referencia al círculo horario a través del cuerpo. Los ángulos horarios son expresados ya sea en horas de tiempo o grados de arco. En la figura, el ángulo horario es mayor de $12h$ o mayor de 180° . Cuando no se especifique ninguna calificación, se da por sentado que el ángulo horario se mide desde la rama superior del meridiano, es decir, la rama por encima de la estación o por encima de la cabeza del observador. Algunas veces los ángulos horarios de las estrellas al este del meridiano del observador se calculan desde la rama superior del meridiano antes que desde el oeste. A un ángulo horario expresado de esta manera se le debe anteponer el signo menos.

4. Sistemas Ecuatoriales Comparados

El sistema de coordenadas descrito en el artículo (b) se ve como similar al descrito en el artículo (a) con esta diferencia: que en el sistema angular horario, la distancia angular a lo largo del ecuador se mide (hacia el oeste) desde un meridiano fijo, mientras que en el sistema de la ascensión recta la distancia angular a lo largo del ecuador se mide (hacia el este) desde el equinoccio vernal, el cual es un punto en el ecuador celeste que rota con la esfera celeste. De esta manera, a pesar de que las ascensiones rectas de las estrellas fijas tienen variaciones anuales de unos pocos segundos, los ángulos horarios de las estrellas cambian tan rápidamente como la rotación aparente de la esfera celeste ($24h$ o 360° para cada $23h 56s$ de nuestro tiempo civil) y los ángulos horarios del sol cambian aproximadamente $24h$ o 360° por cada $24h$ de nuestro tiempo civil.

Los dos sistemas se denominan sistemas ecuatoriales de coordenadas, puesto que en cada caso el plano primario de referencia es el ecuador celeste. La declinación, δ , es la misma en ambos sistemas.

5. El Triángulo Astronómico

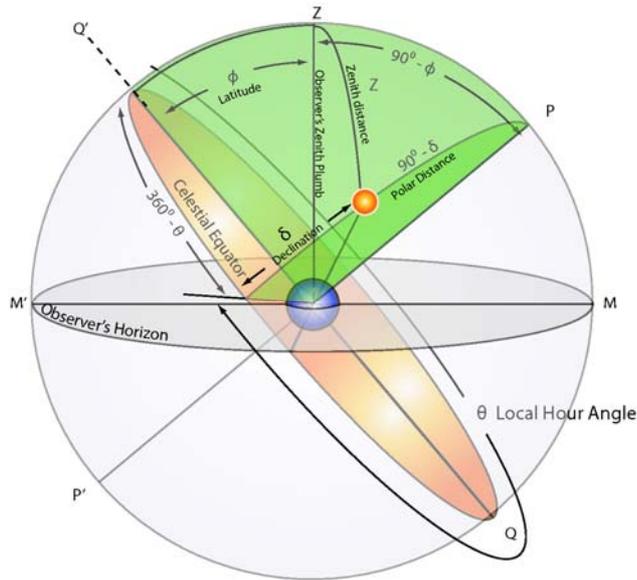


Figura H-3. El Triángulo Astronómico

En la Figura H-3, encontramos nuevamente la esfera celeste. Se asume que la tierra se encuentra en el centro de la esfera con su eje polar en la dirección P'P.

El plano meridiano del observador se encuentra en el plano del gran círculo M'Q'ZPMQP' y la estrella S se halla en una posición al este del meridiano y por encima del ecuador celeste. Se asume que el lugar de la observación se encuentra al norte del ecuador a una latitud ϕ como muestra el ángulo entre el plano ecuatorial y la plomada cenital del observador. El ángulo horario, θ , se mide desde la rama superior del meridiano (en la figura se muestra $360^\circ - \theta$). También se muestra la declinación, δ .

La colatitud ($90^\circ - \phi$), la distancia cenital (Z) y la distancia polar ($90^\circ - \delta$) definen un triángulo esférico los vértices de los cuales son el polo P, el cenit Z y el cuerpo celeste S. Este triángulo se denomina triángulo astronómico.

La determinación de la relación entre θ y Z , $90^\circ - \phi$ y $90^\circ - \delta$ del triángulo astronómico es un problema de la trigonometría esférica la cual es tratada en muchos textos de matemática elemental. Aquí es suficiente especificar el resultado:

$$\cos(Z) = \cos(\theta) * \cos(\delta) \cos(\phi) + \sin(\delta) * \sin(\phi)$$

Esta es la ecuación que debe ser resuelto el $\cos(Z)$ para obtener μ .

CONCEPTO DEL TIEMPO

1. Tiempo sideral y solar

A medida que la tierra rota alrededor de su eje en su viaje en el espacio, todos los cuerpos celestes aparentemente rotan alrededor de la tierra (o alrededor de su eje) de este a oeste. Dado que la tierra en su órbita viaja alrededor del sol pero no alrededor de las estrellas fijas, que están lejos y fuera de su órbita, una vez al año el sol aparentemente circunvala la esfera celeste a lo largo de un camino llamado la eclíptica, la cual corta dos veces el ecuador celeste durante su intervalo. El punto entre las estrellas donde el sol en su viaje aparente hacia el norte corta el ecuador celeste el 21 de marzo de cada año se denomina equinoccio vernal. El sol viaja rápidamente a lo largo de la eclíptica en una dirección opuesta a la de la rotación de la esfera celeste.

Puesto que el sol aparentemente viaja de oeste a este entre las estrellas, mientras que rotación de la esfera celeste alrededor de la tierra es aparentemente de este a oeste, la velocidad angular del sol alrededor del eje de la esfera celeste es menor que el de las estrellas fijas o del equinoccio vernal. En un meridiano determinado el ángulo horario del sol y del equinoccio vernal concordará en un instante el 21 de marzo pero de allí en adelante será menos por el sol que el equinoccio vernal. Seis meses más tarde, el 22 de septiembre, cuando el sol ha cubierto la mitad de su viaje anual, el ángulo horario del sol será de 180° o 12h menos que el del equinoccio vernal; y un año más tarde el ángulo del sol será de 360° o 24h menos que el del equinoccio vernal y por lo tanto nuestros ángulos concordaran.

En el curso del año tropical, como medido por el tiempo que le lleva al sol cumplir aparentemente un círculo completo de la eclíptica, tienen lugar en realidad 366.2422 rotaciones de la tierra o aparentemente un mismo número de revoluciones del equinoccio vernal alrededor de la tierra. Por las razones explicadas, el sol durante su intervalo habrá viajado un ángulo horario total de 360° menos que el atravesado por el equinoccio vernal; de allí que durante el año tropical el sol aparentemente gira alrededor de la tierra 365.2522 veces.

El día solar es una unidad de tiempo con el cual todos estamos familiarizados. Es el intervalo de tiempo ocupado por una revolución aparente del sol alrededor de la tierra.

El día sideral es la unidad de tiempo ocupada por una revolución aparente del equinoccio vernal. 366.2422 días siderales = 365.2422 días solares. El día sideral es más corto que el día solar.

Cuando cualquier cuerpo celeste aparentemente cruza la rama superior del meridiano, se dice que se encuentra en el tránsito superior; cuando cualquier cuerpo celeste cruza la rama inferior del meridiano, se dice que se encuentra en el tránsito inferior.

El comienzo de un día sideral en un lugar determinado ocurre en el instante en el que el equinoccio vernal se encuentra en el tránsito superior.

El comienzo de un día solar o día civil, ocurre en el instante del tránsito inferior del sol (medianoche).

2. Soles Verdaderos y Medios

Puesto que la forma elíptica de la órbita terrestre, la velocidad angular aparente del sol que vemos o el sol verdadero, no es constante; de allí que los días indicados por el viaje aparente del sol verdadero alrededor de la tierra no son longitudes uniformes como las medidas por un reloj mecánico. Para hacer nuestro día solar de longitud uniforme, los astrónomos han inventado el sol medio, un cuerpo ficticio que se lo imagina en un movimiento uniforme a lo largo del ecuador celeste, cumpliendo un circuito completo de oeste a este en un año.

El intervalo de tiempo medido por una revolución aparente del sol verdadero alrededor de la tierra se denomina día solar aparente. El intervalo de tiempo medido por una revolución diaria del sol medio se denomina día solar medio, que es lo mismo que el día civil.

3. Tiempo Solar (Aparente) Verdadero

El “Almanaque Náutico” considera el día solar aparente en cualquier lugar como el intervalo de tiempo entre dos tránsitos sucesivos inferiores del sol (aparente) verdadero para el meridiano de ese lugar. Por lo tanto, el día solar comienza a la medianoche y el tiempo solar aparente en cualquier lugar está dado por el ángulo horario del sol verdadero más 12h. De esta manera, si el ángulo horario del sol es de 45° o 3h en un lugar determinado y en un instante determinado, entonces el tiempo solar aparente para el lugar es de $3h+12h = 15h$.

El tiempo aparente tiene el mismo significado que el tiempo solar aparente. El tiempo local aparente es para el meridiano del observador. El tiempo aparente para cualquier otro meridiano se designa por nombre, por ejemplo, tiempo aparente de Greenwich. En el tiempo aparente local el sol llega a su altura máxima en su viaje diario en el Sur y exactamente a las 12:00.

4. El Tiempo Civil (tiempo medio Solar)

El “Almanaque Náutico” considera el día solar medio de cualquier lugar como el tiempo entre dos tránsitos inferiores sucesivos del sol medio para el meridiano de ese lugar. Por lo tanto, el día solar medio también comienza a la medianoche y el tiempo solar medio está dado por el ángulo del sol medio más 12h. De esta manera, si el ángulo horario del sol medio es $15^\circ = 1h$, el tiempo solar medio es 11h. El tiempo civil es el mismo que el tiempo solar medio o tiempo medio. El tiempo civil local es el del meridiano del observador. El tiempo civil para cualquier otro meridiano se designa por nombre, por ejemplo, tiempo civil de Greenwich o Tiempo Medio de Greenwich.

5. Ecuación del Tiempo

Cuando el sol aparente (verdadero) se encuentra (por delante/por detrás) del sol medio, el tiempo aparente es (más rápido/más lento) que el tiempo civil medio. La diferencia entre el tiempo aparente y el civil en cualquier instante se denomina ecuación del tiempo. Se usa para convertir el tiempo civil de cualquier instante al tiempo aparente.

En el “Almanaque Náutico” la ecuación del tiempo está dada para cada día para las horas 00 y 12 del tiempo civil de Greenwich. También se especifica el tiempo civil de Greenwich en el que el sol verdadero cruza el meridiano de Greenwich. Esta información es útil en el establecer si el sol verdadero se encuentra por delante o por detrás del sol medio.

6. Tiempo Sideral

El tiempo sideral en cualquier lugar es el ángulo horario del equinoccio vernal en ese lugar; y el comienzo del día sideral, que ocurre cuando el equinoccio vernal cruza la rama superior del meridiano, se denomina mediodía sideral.

7. Relación entre la Longitud y el Tiempo

En cualquier instante, la diferencia en el tiempo local entre dos lugares, ya sea si el tiempo en consideración es sideral, medio o solar aparente es igual a la diferencia en longitud entre los dos lugares expresada en horas. La diferencia de 1 hora corresponde a 15° en longitud.

8. Tiempo Estándar

Para eliminar la confusión en la esfera industrial con respecto al uso del tiempo local por parte del público, los Estados Unidos se dividen en zonas, cada una de las cuales ocupa un ancho aproximado de 15° 1 h de longitud. En cada zona los relojes que controlan los asuntos civiles todos tienen la misma hora, denominada Tiempo Estándar, que es la hora civil local para un meridiano cercano al centro de la zona. La hora en cualquier zona es un número entero de horas más lento que la hora civil de Greenwich, como sigue:

Tiempo estandar	Horas de atraso con respecto a Greenwich	Meridiano Central
Atlantic	4	60° W
Eastern	5	75° W
Central	6	90° W
Mountain	7	105° W
Pacific	8	120° W

Los límites exactos de las zonas de tiempo son irregulares y pueden ser determinados solamente usando un mapa.

La hora estándar correcta se puede obtener ya sea por un reloj que se encuentre muy bien regulado o por medio de las señales horarias receptores de GPS o un servicio de hora por Internet.

En ciertos lugares, se utiliza el horario de verano para aprovechar la luz del día. El tiempo de ahorro de luz durante el día es 1h más rápida que la hora estándar.