

OBSERVACIONES

ASTRONÓMICAS I METEOROLÓJICAS



OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS

Determinacion de las constantes de un ecuatorial

Se sabe que el ecuatorial es un anteojo que se puede dirigir a un punto cualquiera del cielo. Su movimiento se obtiene por medio de dos ejes de rotacion: uno, el *eje horario*, paralelo al eje de rotacion de la esfera celeste, o *eje del mundo*; el otro, el *eje de declinacion*, perpendicular al primero. El anteojo jira alrededor del eje de declinacion, i este último al rededor del eje horario. Cada uno de los dos ejes lleva un círculo dividido, de manera que, por medio de *verniers* fijos, se pueden leer los ángulos de rotacion. El círculo que lleva el eje horario se llama *círculo horario*, se divide jeneralmente en 24 partes que representan las horas; cada una de estas divisiones se subdivide en seguida en minutos i segundos de tiempo; el segundo círculo se llama *círculo de declinacion* i se divide en grados i minutos de arco.

Se concibe fácilmente que si el anteojo es fijo respecto al eje de declinacion i móvil alrededor del eje horario, su eje óptico

describirá un paralelo de la esfera celeste; del mismo modo, si el eje de declinacion es fijo respecto al eje horario, el eje óptico del anteojo, en su movimiento alrededor del eje de declinacion, describirá un meridiano.

Se deduce de esto que la posicion del eje óptico del ecuatorial será definida por su ángulo horario i su declinacion.

Para deducir inmediatamente estos dos elementos de las lecturas hechas a los dos círculos, el anteojo deberá llenar las siguientes condiciones: 1.º El eje horario deberá estar paralelo al eje del mundo. 2.º El eje de declinacion, perpendicular al eje horario. 3.º El eje óptico del ecuatorial, perpendicular al eje de declinacion. 4.º Por fin, el vernier del círculo horario deberá indicar: 0^h cuando el anteojo esté en el meridiano, i el vernier del círculo de declinacion deberá tambien indicar 0° o 180° cuando el anteojo esté dirigido hácia uno de los dos pólos.

En la práctica, ninguna de estas condiciones es exactamente satisfecha, i se puede añadir que si, por una casualidad, muy poco probable, estuvieran satisfechas a un momento dado, no lo quedarian un momento despues. El fin que persiguen los astrónomos es reducir los errores inevitables á un grado suficientemente pequeño para que no tengan influencia sensible en los límites de la aproximacion que se quiere obtener.

Desde luego se debe tener presente que existe una diferencia considerable entre un ecuatorial i un anteojo meridiano, al punto de vista de la naturaleza de las observaciones que se pueden hacer a los dos instrumentos. El anteojo meridiano es móvil alrededor de un solo eje horizontal; la direccion de este eje queda invariable durante mucho tiempo i su posicion se puede determinar fácilmente i con mucha precision; por esto, se utiliza este anteojo para la determinacion de la posicion absoluta de los astros. No pasa lo mismo con el ecuatorial; las direcciones de los ejes no se pueden conocer sino por medio de observaciones astronómicas; pero lo mas grave es que los errores que afectan esas direcciones no permanecen invariables como en el anteojo meridiano.

Este defecto grave hace imposible la determinacion de las posiciones absolutas de los astros por medio del ecuatorial; no se pueden obtener sino las posiciones relativas de los

astros, unos respecto a los otros. Por ejemplo, si se quiere determinar la posición de un planeta, se busca, en la vecindad de este astro, una estrella conocida, i por medio del micrómetro del ecuatorial, se observan las diferencias entre las coordenadas de los dos astros. Basta, en seguida, agregar estas diferencias a las coordenadas conocidas de la estrella para deducir las del planeta.

Este ejemplo muestra bien la relación que existe entre los dos instrumentos: anteojo meridiano i ecuatorial. El primero nos da las posiciones absolutas de los astros lo que determina, en el cielo, un cierto número de puntos de referencia; el segundo fija la posición de otros astros respecto a los puntos de referencia ya conocidos.

Para observar un astro pequeño, invisible a la simple vista, es necesario dirigir primeramente el anteojo hácia la región del cielo en que se encuentra. También para saber cuál es la estrella de comparación que se ha adoptado, es preciso conocer sus coordenadas aproximadas para en seguida encontrarla en los catálogos de estrellas.

En la presente nota se establecen las fórmulas que dan la influencia de los diversos errores sobre la dirección del ecuatorial, deducida de la lectura de los círculos. Se indica en seguida la manera como se pueden disminuir estos errores de manera que su influencia sea inferior a un límite determinado.

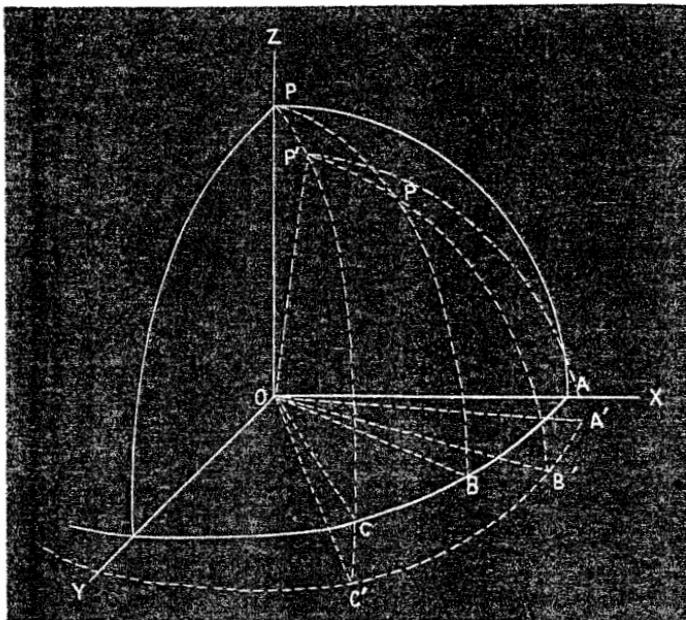
Estos errores se pueden dividir en dos clases: 1.º, errores de orientación del eje horario; 2.º, defecto de perpendicularidad de los ejes. Para simplificar la exposición las fórmulas, admitiremos que estos diferentes errores están ya suficientemente pequeños para que sea permitido estudiar separadamente el efecto de cada uno, como si los demás fueren nulos.

PRIMERA PARTE

Errores de orientación del eje horario

Consideremos un sistema de tres ejes rectangulares orientados de tal manera que OX sea dirigido en el meridiano, hácia el sur, OY en el ecuador, hácia el oeste i OZ hácia el polo norte. Sean

entonces, sobre la esfera celeste: P el polo norte; M la posición de una estrella; i OP' la dirección del eje horario instrumental.



En la figura precedente, P es el polo norte; P' el polo norte instrumental; M es la posición de una estrella; PA el meridiano astronómico; $P'A'$ el meridiano instrumental, es decir el plano que pasa por el polo P' i la posición del anteojo cuando el círculo horario marca cero; $A'B'C'$ es este círculo horario o bien el ecuador instrumental; ABC el ecuador verdadero. Sean: ρ la distancia PP' (ρ será un ángulo muy pequeño); D la declinación de la estrella ($D=90^\circ-PM$); H su ángulo horario ($MPA=H$); ω el ángulo horario del plano PP' ($P'PA=\omega$); D' la declinación instrumental de la estrella ($D'=90^\circ-P'M$); H' su ángulo horario instrumental ($MP'A'=H'$); ω' el ángulo $CP'A'$ análogo a ω . Se tiene en el triángulo $PP'M$:

$$\begin{aligned} \text{sen } D' &= \cos \rho \text{ sen } D + \text{sen } \rho \cos D \cos (\omega - H) \\ -\cos D' \cos (\omega' - H') &= \text{sen } \rho \text{ sen } D - \cos \rho \cos D \cos (\omega - H) \\ \cos D' \text{ sen } (\omega' - H') &= \cos D \text{ sen } (\omega - H) \end{aligned}$$

Si se desprecia ρ^2 se pueden reemplazar las dos últimas fórmulas por las siguientes:

$$\begin{aligned}\cos D' \cos (\omega' - H' - \omega + H) &= \cos D - \rho \operatorname{sen} D \cos (\omega - H) \\ \cos D' \operatorname{sen} (\omega' - H' - \omega + H) &= \rho \operatorname{sen} D \operatorname{sen} (\omega - H)\end{aligned}$$

La última fórmula indica que el seno del ángulo

$$\omega' - H' - \omega + H$$

es del mismo orden que ρ .

Luego, si α es un pequeño ángulo de este mismo orden se podrá escribir:

$$(1) \quad \omega' - H' - \omega + H = \alpha$$

o bien:

$$(2) \quad \omega' - H' - \omega + H = 180^\circ - \alpha$$

Consideremos la solución (1) i las dos fórmulas que dan los valores de $\operatorname{sen} D'$ i $\cos D' \cos (\omega' - H' - \omega + H)$, tendremos al mismo orden de aproximación:

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} D' &= \operatorname{sen} D + \rho \cos D \cos (\omega - H) \\ \cos D' &= \cos D - \rho \operatorname{sen} D \cos (\omega - H)\end{aligned}$$

Se deduce fácilmente:

$$\operatorname{sen} (D' - D) = \rho \cos (\omega - H)$$

o simplemente:

$$D' = D + \rho \cos (\omega - H)$$

La solución (2) da de la misma manera:

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} D' &= \operatorname{sen} D + \rho \cos D \cos (\omega - H) \\ -\cos D' &= \cos D - \rho \operatorname{sen} D \cos (\omega - H)\end{aligned}$$

Se deduce:

$$D' = -D + \rho \cos (\omega - H)$$

En seguida se obtiene, en los dos casos:

$$a = \rho \operatorname{tg} D \operatorname{sen} (\omega - H)$$

En resumen se tiene:

$$\begin{aligned} 1.^{\text{a}} \text{ Solucion } & \begin{cases} H' = H + \omega' - \omega - \rho \operatorname{tg} D \operatorname{sen} (\omega - H) \\ D' = D + \rho \cos (\omega - H) \end{cases} \\ 2.^{\text{a}} \text{ Solucion } & \begin{cases} A' = A + \omega' - \omega - 180^\circ + \rho \operatorname{tg} D \operatorname{sen} (\omega - H) \\ D' = -D + \rho \cos (\omega - H) \end{cases} \end{aligned}$$

Estas dos soluciones corresponden a las dos posiciones que puede tener el anteojo respecto al meridiano.

En las dos fórmulas que dan el valor de D' se nota que el efecto producido por el error de orientacion del eje horario es independiente de la declinacion del astro observado. Esta circunstancia permite establecer un procedimiento mui sencillo para conocer los valores de ρ i ω .

Busquemos, en efecto, cómo varía D' con el tiempo t , en el caso de una observacion de estrella; D , ρ i ω son cantidades constantes, luego se tendrá:

$$\frac{dD'}{dt} = \rho \operatorname{sen} (\omega - H) \frac{dH}{dt}$$

Para hacerse una idea del valor de dD' supondremos por ejemplo $\rho = 1'$, $dt = 3,7^{\text{m}}$; se obtiene entonces:

$$dD' = 1'' \operatorname{sen} (\omega - H)$$

Se concibe así que, con una simple observacion al micrómetro del ecuatorial, se podrá conocer el error de orientacion del eje horario; bastará en efecto dirigir el anteojo de manera que la imájen de una estrella venga a coincidir con el hilo de declinacion i, haciendo uso del movimiento de reloj del ecuatorial, observar si la estrella queda siempre en la misma situacion debajo del hilo durante su movimiento horario.

Ahora, para obtener ρ i ω , se dirigirá el anteojo hácia una estrella cerca del meridiano; en este caso se podrá hacer $H=0$ i se tendrá:

$$(H=0) \quad \rho \operatorname{sen} \omega = \frac{dD'}{dH}$$

En seguida, se observará una estrella a 6 horas de ángulo horario, H será igual a 90° i por consiguiente se tendrá:

$$(H=90^\circ) \quad \rho \cos \omega = \frac{dD'}{dH}$$

Estas dos fórmulas dan ρ i ω . En la práctica, se trata siempre, como hemos dicho, de reducir los errores para que no tengan influencia sensible en las lecturas aproximadas que dan los círculos; en el caso presente, se podrá corregir los errores de orientacion del eje horario por medio de tornillos que permiten rectificar el azimut i la inclinacion de este eje.

Designemos, en efecto, por Δi el error de inclinacion i por ΔA el error de azimut del eje horario; se tiene si λ es la latitud del lugar:

$$\Delta i = \rho \cos \omega = \frac{dD'}{dH} \quad (H=90^\circ)$$

$$\Delta A = \rho \frac{\operatorname{sen} \omega}{\cos \lambda} = \frac{dD'}{dH} \quad (H=0)$$

Segun esto se obtiene la regla siguiente para rectificar la direccion del eje horario:

1.º Se dirige el ecuatorial hácia una estrella cerca del meridiano, de tal manera que la imájen de la estrella venga a hacerse tras del hilo de declinacion; se fija el anteojó en declinacion i se hace andar el movimiento de reloj; si despues de un minuto la imájen de la estrella no queda debajo del hilo de declinacion, se debe rectificar la posicion del eje por un movimiento azimutal, se hace la rectificacion de tal manera que durante varios minutos la estrella queda en la misma situacion respecto al hilo en declinacion durante su movimiento horario. Como el movimiento de reloj puede no seguir exactamente el movimiento de la estrella, es necesario haber orientado exactamente el micrómetro.

2.º Se dirige en seguida el anteojó hácia una estrella a seis horas de ángulo horario i se dispone la imájen de la estrella de la misma manera respecto al hilo de declinacion. Si esta imájen no queda fija respecto al hilo, se rectifica la posicion del

eje por un movimiento en inclinacion. En este caso, hai ventaja en emplear una estrella cerca del polo por dos motivos: primero, su altura es mayor que la de cualquiera otra estrella, a seis horas de ángulo horario, i esta altura varía mui poco con el tiempo, de suerte que la refraccion no introduce ninguna perturbacion en los resultados de las observaciones.

Añadiremos que si despues de $3^m.7$, se ha notado que en las dos séries de observacion la estrella no se aleja del hilo de declinacion sino de una cantidad inferior a $1''$, hai seguridad que el eje horario instrumental no puede deferir del eje del mundo sino de una cantidad inferior a un minuto de arco.

Como lo muestran las fórmulas que dan los valores de D' se ve tambien que el error que puede afectar las lecturas del círculo de declinacion no alcanza en este caso, a un minuto de arco. El error correspondiente de las lecturas del círculo horario es variable con la declinacion; en el Ecuador no puede pasar de cuatro segundos de tiempo en el caso considerado.

(Continuará) (1)

ALBERTO OBRECHT

Director del Observatorio Astronómico
Profesor de las clases de mecánica i cálculo diferencial e integral
de la Universidad

(1) NOTA.— A pedido de la seccion de jeografia i minas de la Direccion de Obras Públicas, no tengo ningun inconveniente en decir que el estudio que se publicó en el último número sobre el mejor sistema de representacion del mapa de Chile, fué hecho despues de una consulta de esa seccion a este Observatorio.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE SANTIAGO

SECCION DE METEOROLOJÍA

| ENERO DE 1893 | | 7 A. M. | 2 P. M. | 10 P. M. | PROMEDIO del mes | 7.25 A. M. | |
|----------------------------------|-------------------------|---------|---------|----------|------------------|------------|---------|
| Barómetro normal reducido a cero | Presion media . . . | 715.74 | 714.77 | 715.63 | 715.35 | 715.79 | |
| | " máxima . . . | 19.25 | 18.83 | 18.49 | 19.25 | 19.44 | |
| | " mínima . . . | 12.80 | 11.09 | 10.96 | 10.96 | 12.26 | |
| Termómetro normal centig. | Temperatura media . . . | 16°70 | 26°26 | 17°06 | 20°64 | 17°21 | |
| | " máxima . . . | 19.70 | 29.10 | 21.20 | 29.10 | 20.30 | |
| | " mínima . . . | 13.70 | 24.00 | 15.20 | 13.70 | 13.90 | |
| Psicrómetro | Humedad relativa media | 64.8 | 35.30 | 58.9 | 52.1 | 63.30 | |
| | " " máxima | 87 | 50 | 71 | 87 | 86 | |
| | " " mínima | 42 | 22 | 42 | 22 | 38 | |
| | Tension del vapor media | 9.14 | 8.88 | 8.85 | 8.96 | 9.22 | |
| | " " máxima | 11.70 | 11.80 | 11.50 | 11.80 | 11.70 | |
| | " " mínima | 6.50 | 6.10 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | |
| Vientos | Direccion | N. | — | — | — | — | — |
| | | NE. | — | — | 2 | 2 | — |
| | | E. | — | — | 1 | 1 | 2 |
| | | SE. | 1 | — | 1 | 2 | — |
| | | S. | — | — | 2 | 2 | 2 |
| | | SW. | 14 | 31 | 9 | 54 | 17 |
| | | W. | 3 | — | — | 3 | 1 |
| | | NW. | 1 | — | — | 1 | 3 |
| | Calma | 9 | — | 10 | 19 | 4 | |
| | Velocidad por minuto | media | m. 38.2 | m. 296.1 | m. 32.6 | m. 115.4 | m. 56.2 |
| máxima | | 185.0 | 465.0 | 150.0 | 465.0 | 190.0 | |
| mínima | | 0.0 | 175.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| Atmósfera | Despejada | 24 | 26 | 22 | 72 | 24 | |
| | Nublada | — | 3 | 2 | 5 | 2 | |
| | Cubierta | 4 | 2 | 1 | 7 | 3 | |
| | Neblina | — | — | — | — | — | |
| | Rocío | — | — | — | — | — | |
| | Helada | — | — | — | — | — | |
| | Lluvia | — | — | — | — | — | |
| | Granizo | — | — | — | — | — | |
| | Tempestad | — | — | — | — | — | |

| | Promedio del mes | VALORES | | | PROMEDIOS DIARIOS | | | Oscilaciones diarias | | | |
|---|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|--------|------------------|
| | | máx. | min. | Oscilacion | máx. | min. | Oscilacion | máx. | min. | media | |
| Barómetro inscriptor reducido a cero. | 715.22 | 719.12 dias 11 7½ a. m. | 710.06 el 28 5 p. m. | 9.15 | 719.06 el 6 | 711.60 el 29 | 7.46 | 3.69 el 10 | 0.31 el 30 | 1.91 | |
| Termómetro de máx. i mín. | 19°71 | 29°60 el 3 | 10°25 el 21 | 19°35 | 21°75 el 3 | 17°90 el 17 | 3°57 | 17°00 | 10°30 | 14°13 | |
| Humedad relativa. Tension del vapor. | 52.1 8.96 | | | | 66.3 el 6 10.97 el 12 | 36.7 el 1 6.53 el 1 | 29.6 4.44 | | | | |
| | | 11 A. M. a 2 P. M. | | | 2 P. M. a 6 P. M. | | | 2 P. M. a 2 P. M. Dia entero | | | TOTAL del mes |
| | | máx. | min. | medio | máx. | min. | medio | máx. | min. | medio | |
| VIENTO (kilóm. recorridos. dias. por horas del tanto por o/° | 68.4 20 22.8 | 10.7 4 3.6 | 44.4 — 14.8 | 79.9 4 20 | 37.6 28 9.4 | 62.5 — 15.9 38 | 209.9 6 8.7 | 115.8 28 4.8 | 166.1 — 6.9 100 | 5160.0 | |
| Evaporación (mm. dias tanto por o/° | 3.67 4 | 1.87 6 | 2.16 — 29 | 3.58 21 | 1.44 23 | 2.80 — 37 | 10.44 13 | 5.36 21 | 7.49 — 100 | 232.16 | |
| Lluvia mm. | | | | | | | | | | 0.00 | |
| PROMEDIOS I HORAS DE LOS 4 MÍNIMOS I MÁXIMOS DIARIOS | | | | | | | | | | | |
| Barómetro inscriptor reducido a cero | | 1.er mín. | 1.er máx. | 2.º mín. | 2.º máx. | Promedio | | | | | |
| | Presiones | 714.51 | 715.69 | 71.96 | 715.11 | 714.82 | | | | | |
| | Horas medias Variaciones | 2.41 a m. 0 a 4 p. m. | 9.23 a. m. 6 a. m. 2 p. m. | 4.16 p. m. 3½ a 5 p. m. | 9.13 p. m. 8 a 11½ p. m. | 0.40 inferior a la presion media. | | | | | |
| MAYORES OSCILACIONES HABIDAS EN 24 HORAS CONSECUTIVAS | | | | | | | | | | | |
| Dia | 1 a 2 | 2 a 3 | 3 a 4 | 11 a 12 | 27 a 28 | | | | | | |
| Milímetros | 5.10 | 4.45 | 4.93 | 4.98 | 51.03 | | | | | | |
| OSCILACIONES GRANDES EN INTERVALOS RELATIVAMENTE CORTOS | | | | | | | | | | | |
| 10 a 12 : —7.29 en 34 horas. 26 a 28 : —6.40 en 31 horas. | | | | | | | | | | | |

