OPERACIONES PRACTICAS DE ASTRONOMIA ESFERICA

(*Continuación*)

CRONOMETROS

Como instrumentos de medida del tiempo, son de los recursos más preciosos que dispone la astronomía para sus operaciones y por consiguiente, de su marcha regular y precisa, depende el éxito de aquellas. Efectivamente; para aplicar los elementos de las efemérides, necesitamos casi siempre conocer la hora del primer meridiano (el de las efemérides) o bien la longitud con respecto a él del punto de observación. ¿Cómo conseguirlo?

En el primer caso, por transporte de la hora; es decir, arreglando nuestros cronómetros por la hora de aquel y llevándolos al sitio de observación; y en el segundo, sumando o restando a la *hora local* la longitud, con lo cual vendremos a conocer, en ambos, siempre, la hora del primer meridiano correspondiente al instante de la observación, lo que nos permitirá obtener los elementos de las efemérides para nuestro punto de observación, como se ha visto, en los muchos casos prácticos expuestos en el curso de este trabajo. En consecuencia, el arreglo de estos instrumentos, conocer su *estado absoluto,* su *marcha diurna,* es de la mayor importancia.

Estado absoluto.—Llámase así al *adelanto* o *atraso* que en un momento dado tiene la hora cronométrica respecto a la hora media del primer meridiano. Si en vez de referir la hora cronométrica a la hora del primer meridiano la comparamos a la hora media local, el adelanto de aquella sobre ésta se llama *corrección cronométrica.*

Marcha diurna.—Es el adelanto o atraso que sufre el cronómetro en 24 horas medias. La marcha del cronómetro se considera *positiva o negativa,* según que sea en *adelanto* o *atraso.*

De lo dicho se infiere que, el estado absoluto E, I, días después de la época en que fué determinado su estado absoluto Eo, representando por *md* la marcha diurna, tiene por expresión:

$$E = Eo + I.\ md$$

Ejemplos:

1.—El día 1° de noviembre de 1918, el estado absoluto de un cronómetro con respeeto al meridiano de Greenwich, era de $+ 1^s,3$. En ese momento la hora cronométrica es igual a $9^h\ 30^m\ 05^s$ a. m. ¿Cuál es el estado absoluto, sabiendo que la marcha diurna es de $0^s,72$, para el 9 de noviembre a la misma hora?

El estado absoluto en el momento requerido, será: $E_o = 9^h\ 30^m\ 05^s + 1^s,3 = 9^h\ 30^m\ 06^s,3$ luego

$$E = 9^h\,30^m\,06^s\,3 + (8^d \times 0^s,72) = 9^h\,30^m 12^s{,}06 \text{ a. m.}$$

2.—¿Cuál es el estado absoluto para el mismo día a las $8^h\ 25^m\ 18^s$ p. m.?

$$E = 9^h\,30^m\,06^s,3 + \left\{ (8^d + \frac{10^h\,55^m\,11^s,7}{24})\ 0^s,72 \right\} =$$

$$= 9^h\,30^m\,06^s,3 + (8^d,455 \times, 0^s,72) =$$

$$= 9^h\,30^m\,06^s,3 + 6^s,09 = 9^h\,30^m\,12^s,39$$

Marcha diurna. — Para determinar esta, basta encontrar el adelanto o atraso del cronómetro en dos épocas diferentes. (La diferencia entre ambos estados será positivo si es en adelanto y negativo si en atraso). Después, tomaremos la diferencia entre el último resultado y el primero (con sus signos propios) y dividiendo este resultado por el número de días y fracción decimal de día, transcurridos desde la primera hasta la segunda época, obtendremos *con su signo* la *marcha diurna.*

Ejemplo:

El día 8 de setiembre, a las $8^h\ 35^m\ 25^s$ de la mañana (hora cronométrica), se halló como tiempo astronómico $20^h\,29^m\,42^s$.— El día 20 del mismo mes, en el momento que el cronómetro marcaba $4^h\,25^m 18^s$, era, tiempo astronómico, $4^h\,20^m\,12^s$. Se pide la marcha diurna.

Fórmula:

$$m\,d = \frac{E' - E}{e' - e}$$

E' = estado absoluto en la época *e'*
E = estado absoluto en la época e
e' = 2ª época
e = 1ª época

Para nuestro ejemplo:

$E = 20^h\,35^m\,25^s$ (hora cron.) — $20^h\,29^m\,42^s$ (tiempo medio local) $= + \ 0^h\,5^m\,43^s$.

$E' = 4^h\,25^m\,18^s$ (hora cron.) — $4^h\,20^m\,12^s$ (tiempo medio local) $= + \ 5^m\,06^s$.

$$e' - e = 12 + (4^h\,20^m\,12^s - 20^h\,29^m\,42^s) = 12^d\ 7^h\ 50^m\,30^s$$

$e' - e = 12^d,326$ (Tabla IX — C. des T.)

$$E' - E = 5^m\,06^s - 5^m\,43^s = -\ 37^s$$

$$m\ d = \frac{-\ 37^s}{12{,}326} = -\ 3^s,001 \qquad \text{(atraso)}$$

Otro procedimiento.—Este consiste en observar *alturas iguales de una misma estrella separadas por varios días de intervalo.*

Si T y T' son las épocas cronométricas de dos alturas iguales de la misma estrella a un *mismo lado del meridiano*, tendremos que:

$$\frac{24^h c + md}{24^h m} = \frac{n\ 24^h{}_c + (T' - T)}{n\ 24^h{}_m - n\ (3^m, 55^s, 91)}$$

en la que:

hc = hora cronométrica

md = marcha diurna

hm = horas medias

n = número de días transcurridos

de donde deducimos que

$$md = - 3^m 55^s, 91 + \frac{T - T'}{n}$$

Observaremos que siempre T' es menor que T y que la fórmula no puede ser más sencilla, razón por la cual no trepidamos en aconsejar el uso de ella con preferencia a la anterior, que exige observaciones y cálculos más complicados y largos.

Ejemplos:

1.—Con intervalo de 8 días, se ha observado la misma altura de Canopus a las $7^h 25^m 25^s$ y $6^h 58^m 32^s$.—Se pide la marcha media del cronómetro.

Primera observación: $T = 7^h 25^m 25^s$

Segunda observación: $T' = 6^h 58^m 32^s$

$$T - T' = 0^h 26^m 53^s \quad \frac{T - T'}{n} = 3^m 21^s, 625$$

$$md = - 3^m 55^s{,}910 + 3^m 21^s{,}625 = - \underline{34^s{,}285}$$

2.—Con intervalo de 5 días, se ha observado la misma altura de α Cruz a las $10^h 20^m 18^s$ y $9^h 58^m 26^s$.—Se pide la marcha media (o diurna) del cronómetro.

$$\begin{array}{rl} T = & 10^h 20^m 18^s \\ T' = & 9^h 58^m 26^s \\ \hline T - T' = & 0^h 21^m 52^s \end{array} \qquad \frac{T - T'}{n} = 4^m 22^s, 4$$

$$md = - 3^m 55^s, 910 + 4^m 22^s, 400 = + \underline{26^s, 490}$$

Atendiendo a los signos, vemos que en el primer caso el cronómetro *adelanta* $34^s,285$ por día y en el segundo atrasa $26^s,490$.

Observación.— Conviene, para compensar los errores, que el intervalo de las dos observaciones esté comprendido entre 5 y 10 días, en ambos casos.

Cálculo de la longitud

Dos casos se pueden presentar para su determinación, y que son los siguientes:

1°. — Que se conozca la hora del primer meridiano.

2°. — Que se conozca únicamente la hora local.

En el primer caso, bastará determinar la ***hora local*** por cualquier procedimiento, y la diferencia entre ésta y la ***del primer meridiano*** nos dará la longitud; en el segundo, habrá que determinar la ***hora del primer meridiano*** y su diferencia con la ***hora local*** nos dará también la longitud.

Si no se conociera la *hora local* ni la del *primer meridiano*, determinaríamos la primera por el paso del Sol por el meridiano, operación que hemos indicado en el capítulo III, título "Determinación de la hora media local" (C) y quedará reducido este caso al segundo.

De lo expuesto anteriormente, se deduce que para el primer caso, lo que nos interesa conocer son los diversos procedimientos para determinar la hora.

Primer caso.—Cálculo de la hora local y longitud simultáneamente

Como sabemos, debe conocerse la hora del primer meridiano; es decir, que debemos disponer de cronómetros cuyas marchas y estados absolutos se conozcan con toda precisión, puesto que, de la exactitud de la hora del primer meridiano, dependerá el éxito de nuestras operaciones. Estudiaremos tres métodos:

1º. — Cálculo de la hora media local por el *paso de un astro por el meridiano.*

2º. — Id por *alturas correspondientes.*

3º. — Id por *alturas absolutas.*

Primer método — (*Pasaje por el meridiano*)

Con *una estrella.*

El día 23 de enero de 1918, se observó el paso de α Cochero (La Cabra) a las $13^h\,17^m\,15^s$, tiempo medio de Greenwich. Se pide el t.m. local y la longitud.

$\alpha = 5^h\ 10^m\ 41^s$

Siendo la ascensión recta (α) igual a la *hora sideral* de la estrella a su paso por el meridiano, no tendremos que hacer sino convertir esta hora del paso, en tiempo medio, aplicando la fórmula A (pág. — Capítulo III), y así tendremos:

$$H_m = 5^h\,10^m 41^s - \{20^h\,08^m 03^s + (13^h,287 \times 9^s,85)\} =$$
$$= 5^h\,10^m\,41^s - \{20^h\,08^m\,03^s + 2^m\,11^s\} =$$
$$= 5^h\,10^m\,41^s - 20^h\,10^m\,14^s = 9^h\,00^m\,27^s$$

tiempo medio local, luego la longitud l será:

$$l = 13^h\,17^m\,15^s - 9^h\,00^m\,27^s = 4^h\,16^m\,48^s \text{ Oeste}$$

Como la hora del primer meridiano es mayor, esta longitud es Oeste.

Con *un planeta.*

El día 6 de enero de 1918, se observó el pasaje meridiano de Júpiter, a las $13^h\,14^m\,18^s$, tiempo medio de Greenwich. Se pide la hora local y la longitud.

La ascensión recta de Júpiter a $0^h\,0^m\,0^s$ de Greenwich, es para ese día: (Pág. 238 — C. de T.).

$\alpha = 4^h\,0^m\,54^s,25$. La variación horaria es de, $-\ 0^s,708$

Por consiguiente, la corrección será:

$$13^h,24 \times (-0^s,708) = -9^s,37$$

y α para esa hora

$$4^h\,0^m\,54^s,25 - 9^s,37 = 4^h\,0^m\,45^s.$$

Luego, aplicando la fórmula, tenemos:

$$\begin{aligned} H_m &= 4^h\,0^m\,45^s - \{19^h\,01^m\,1^s,26 + (13^h.21 \times 9^s,85)\} \\ &= 4^h\,0^m\,45^s - (19^h\,01^m\,1^s,26 + 2^m\,10^s,12) \\ &= 28^h\,0^m\,45^s - 19^h\,03^m\,11^s,38 = \underline{8^h\,57^m\,33^s} \end{aligned}$$

$$\text{y} \quad l = 13^h\,14^m\,18^s - 8^h\,57^m\,33^s = 4^h\,16^m\,45^s \quad \text{Oeste}$$

Comprobación

Las efemérides nos dan que, para ese día, la hora del pasaje es, en Greewich, a las $8^h\,58^m\,18^s$,
que la variación por 1^h de longitud, es $-10^s,5$; luego, para $4^h\,16^m\,45^s = 4^h,28$, será:

$$4^h,28 \times (-10^s,5) = -45^s$$

$$\text{Hora del pasaje: } 8^h\,58^m\,18^s - 0^h\,0^m\,45^s = 8^h\,57^m\,33^s$$

resultado idéntico al anterior.

Con la luna.

El 17 de setiembre de 1918, se observó el pasaje de la Luna por el meridiano (borde occidental), a las $13^h\,54^m\,28^s$, tiempo medio de Greenwich. Se pide la hora local y la longitud.

$$\text{Hora del pasaje } 13^h\,54^m\,28^s + 0^h\,1^m\,09^s \text{ (semi-diámetro)} = $$
$$= 13^h\,55^m\,37^s$$

$$\alpha_0 \text{ (a } 12^h \text{ en Greenwich)} = 21^h\,19^m\,6^s,19$$

$$\text{Var. p. } 1^m = 2^s.3044 \quad \text{(pág. 115 — C. de T.)}$$

$$\text{Corr. p. } 1^h\,54^m\,28^s = 114^m,47 \times 2^s,3044 = 0^h\,04^m\,23^s,7$$

$$\alpha = 21^h\,19^m\,6^s,19 + 0^h\,04^m\,23^e,7 = 21^h\,23^m\,30^s$$

$$H_m = 21^h\,23^m\,30^s - \left|11^h\,42^m\,26^s,27 + (13^h,92 \times 9^s,85)\right| =$$
$$= 21^h\,23^m\,30^s - (11^h\,42^m\,26^s,27 + 2^m\,17^s) =$$
$$= 21^h\,23^m\,30^s - 11^h\,44^m\,43^s,27 = 9^h\,38^m\,47^s \qquad \text{y}$$
$$l = 13^h\,55^m\,37^s - 9^h\,38^m\,47^s = 4^h\,16^m\,50^s$$

Comprobación

El pasaje de la Luna por el mediano 0^h tiene lugar, (pág. 164 — C. de T.), a las

$$9^h\,29^m\,19^s$$

La correc. es: para $4^h\,16^m\,50^s = 4^h,28$

$$4^h,28 \times 133^s,2 = 9^m\,30^s$$

Hora del pasaje: $9^h\,29^m\,19^s + 9^m\,30^s = 9^h\,38m\,49^s$

Hay una diferencia de 2 segundos.

Con el Sol.

El día 22 de mayo de 1918, se ha observado el pasaje del borde occidental por el meridiano, a las $4^h\,12^m\,11^s$ tiempo medio de Greenwich. Se pide la hora local y la longitud. (Pág. 16 — C. de T.).

$\alpha_0 = 3^h\,53^m\,38^s,65$ semi-diámetro $1^m\,08^s$

$$\alpha = 3^h\,53^m\,38^s,65 + (4{,}2 \times 10^s,02) = 3^h\,54^m\,21^s$$
$$H_m = 3^h\,54^m\,21^s - \left|3^h\,57^m\,12^s,69 + (4.2 \times 9^s.85)\right| =$$
$$= 3^h\,54^m\,21^s - 3^h\,57^m\,54^s = 23^h\,56^m\,27^s \text{ (t.m. local)}$$

Hora del pasaje centro $\odot$ $4^h\,12^m\,11^s + 1^m.08$ ($\frac{1}{2}$ D) $= 4^h\,13^m\,19^s$

$$l = 4^h\,13^m\,19^s - 23^h\,56^m\,27^s = 4^h\,16^m\,52^s \text{ Oeste}$$

Comprobación

Hora del pasaje $\odot$ en Greenwich. (Pág. 16 — columna 9)

$$23^h\,56^m\,25^s,95$$

Var. p. 1^h de longitud $= 0^s, 165$ $= 0.693$

" " $4^h, 2$ $= 0^s, 165 \times 4^h, 2$

Hora local del pasaje $23^h\, 56^m\, 26^s, 643$

o en núemos redondos $\underline{23^h\, 56^m\, 27^s}$

2º método — (Alturas correspondientes)

Consiste este método en observar las horas de iguales alturas de un astro a uno y otro lado del meridiano. Su promedio nos dará la hora cronométrica correspondiente a su paso por el meridiano y el problema quedará reducido al caso anterior.

Este método es uno de los más exactos y sencillos tratándose de alturas de estrellas, cuyas variaciones en declinación son inapreciables. Las prescripciones para obtener el mejor resultado son las siguientes:

1º. — Elegir una estrella que culmine más o menos hacia la media noche y cuya declinación sea menor que la latitud del observador y del mismo signo.

2º. — Hacer la sobservaciones en las proximidades del vertical primero.

En lugar de observar una altura a uno y otro lado del meridiano, pueden observarse varias, con intervalos de dos a tres minutos; lo que nos dará, para cada par de correspondientes, otros tantos valores de la hora del pasaje; los cuales, si han sido bien hechas las observaciones, deben dar para el paso la misma hora cronométrica.

Cuando el astro observado es el Sol u otros cuyas declinaciones varian sensiblemente en intervalos de tiempo pequeños, hay que hacer las correspondientes correcciones, que complican un poco el método, razón por la cual aconsejamos operar con estrellas.

Ejemplos:

El día 15 de octubre de 1918, se han tomado los siguientes pares de alturas iguales, a uno y otro lado del meridiano, de la estrella β del Pegaso, a las horas que se indican a continuación: (tiempo medio Greenwich):

NACIENTE t	PONIENTE t'	MERIDIANO
$12^h\ 09^m\ 16^s$	$15^h\ 13^m\ 55^s$	$13^h\ 41^m\ 36^s$ $\left(\frac{t + t'}{2}\right)$
$12^h\ 11^m\ 31^s$	$15^h\ 11^m\ 39^s$	$13^h\ 41^m\ 35^s$
$12^h\ 14^m\ 42^s$	$15^h\ 08^m\ 30^s$	$13^h\ 41^m\ 36^s$
$12^h\ 17^m\ 36^s$	$15^h\ 05^m\ 37^s$	$13^h\ 41^m\ 36^s$
$12^h\ 20^m\ 39^s$	$15^h\ 02^m\ 28^s$	$13^h\ 41^m\ 34^s$

Hora cronométrica del paso $= 13^h\ 41^m\ 35^s{,}4$

α de Pegaso (β) $= 22^h\ 59^m\ 52^s$

Calculemos ahora por la fórmula (A), la hora local del paso, (Determinación de la hora media local — pág. 53).

$$H_m = H_s - \left| H_s{}^1 \text{ a } 0^{hm} + H_m{}^1 \ \frac{3^m\ 56^s\ ,\ 55}{24} \right|$$

$$H_m = 22^h\ 59^m\ 52^s - |13^h\ 32^m\ 50^s + (13{,}7 \times 9^s\ ,\ 85)| =$$
$$= 22^h\ 59^m\ 52^s - 13^h\ 35^m\ 05^s = 9^h\ 24^m\ 47^s$$

Por consiguiente, la *hora local* es igual a $9^h\ 24^m\ 47^s$ y la longitud

$$l = 13^h\ 41^m\ 35^s - 9^h\ 24^m\ 47^s = \underline{4^h\ 16^m\ 48^s}$$

3er. método — (Por alturas absolutas)

Este es uno de los métodos más empleados y consiste en tomar *una* o el *promedio* de varias alturas de un astro y la hora o el promedio de las horas correspondientes, en *tiempo medio del primer meridiano* (Greenwich). Con estos datos y aplicando la fórmula:

$$\text{sen}^2 \tfrac{1}{2}\ p = \frac{\text{sen}\ (k - c)\ \text{sen}\ (k - d)}{\text{sen}\ c\ \text{sen}\ d} \quad \text{en la que}$$

$$2k = z + d + c$$

z = distancia zenital $= 90^\circ - h_v$ $\qquad \delta$ = declinación
d = distancia polar $= 90^\circ \mp \delta$ $\qquad \varphi$ = latitud
c = colatitud $= 90^\circ - \varphi$

obtendremos el ángulo horario del astro, el cual, reducido a tiempo y sumado o restado a su ascensión recta, según que el horario sea *occidental* u *oriental*, nos dará la *hora sideral* de la observación, que convertiremos después en *hora media*, obteniendo de este modo la *hora local*. Hacemos notar que la distancia polar será igual a $90^\circ - \delta$ si φ y δ son del mismo signo, e igual a $90^\circ + \delta$ si son de signos contrarios.

Ejemplo: (con una estrella):

1.—El día 12 de octubre de 1918, el promedio de varias alturas de α Triángulo Austral, fué igual a 28° 19' 12'' y el de las horas correspondientes $11^h 40^m 55^s$ (t. m. de Greenwich). Se pide la hora local y la longitud.

h_v (altura verdadera) $= h_a$ (altura aparente) — R (refracción)
$h_v = 28^\circ 19' 12'' - 1' 51''$ (T. 1 — pág. 699 — C. des T.).
$h_v = 28^\circ 17' 21''$

Cálculo del horario

$z = 90^\circ - 28^\circ 17' 21'' = 61^\circ 42' 39''$ $\qquad \delta = -68^\circ 52' 52''$
$d = 90^\circ - 68^\circ 52' 52'' = 21^\circ 07' 02''$ $\qquad \alpha = 16^h 40^m 02^s$
$c = 90^\circ - 31^\circ 24' 50'' = 58^\circ 35' 10''$ $\qquad \varphi = -31^\circ 24' 50''$

$2k = 141^\circ 24' 51''$
$k = 70^\circ 42' 25''$
$k - c = 12^\circ 07' 15''$
$k - d = 49^\circ 35' 23''$

log. sen (k — c)	9.3221657	$1/2\ p = 46^\circ 08' 40''$
log. sen (k — d)	9.8816255	$p = 92^\circ 17' 20''$
colog sen c	0.0688349	luego (en tiempo)
" sen d	0.4433632	$p = 6^h 09^m 09^s$
sen² 1/2 p	9.7159893	
sen 1/2 p	9.8579946	

Cálculo del t. m. y de l

$p = \quad 6^h\ 09^m\ 09^s$ (horario occidental)

$\alpha = \quad \underline{16^h\ 40^m\ 02^s}$

T_s observación $\quad 22^h\ 49^m\ 11^s$

T_s a 0^h (Greenwich) $15^h\ 23^m\ 13^s, 27$

Fórmula A (pág.)

$H_m = 22^h\ 49^m\ 11^s - |15^h\ 23^m\ 13^s\ 27 + (11^h\ 41^m\ 24^s \times 9^s, 85)|$

$= 22^h\ 49^m\ 11^s - (15^h\ 23^m\ 13^s, 27 + 1^m\ 55^s, 14) =$

$= 22^h\ 49^m\ 11^s - 15^h\ 25^m\ 08^s, 41 = \underline{7^h\ 24^m\ 02^s}$ (hora local).

Luego la longitud

$1 = 11^h\ 40^m\ 58^s - 7^h\ 24^m\ 02^s = \underline{4^h\ 16^m\ 56^s}$

2. — El día 18 de noviembre, la media de siete alturas de Aries, corregida de la refracción, fué de 26° 39' 10'' y la hora correspondiente $12^h\ 15^m\ 42^s$.—Determinar la hora local y longitud.

Cálculo del horario

$z = 63°\ 20'\ 50''$		$\alpha =$	$2^h\ 02^m\ 38^s, 15$
$d = 113°\ 04'\ 57'',73$ $(\delta + 90°)$		$\delta =$	$+ 23°\ 04'\ 57'',73$
$c = \underline{58°\ 35'\ 10''}$		$\varphi =$	$-31°\ 24'\ 50''$
$2k = 235°\ 00'\ 58''$			
$k = 117°\ 30'\ 29''$			
$k - c = 58°\ 55'\ 19''$			
$k - d = 4°\ 25'\ 31''$	log. sen $(k - c)$		9.9327095
$1/2\ p = 16°\ 51'\ 55''$	log. " $(k - d)$		8.8873860
$p = 33°\ 43'\ 50''$ (oriental)	col. " c		0.0688349
$p = 2^h\ 14^m\ 55^s, 6$ (")	col. " d		0.0362408
$p' = 24^h - p = 21^h\ 45^m\ 04^s, 4$	log. sen² $1/2\ p$		8.9251712
	log. sen $1/2\ p$		9.4625856

Calculo del t.m. y de l

$p =$	$21^h\ 45^m\ 04^s, 4$
$\alpha =$	$2^h\ 02^m\ 38^s, 15$
T_s oheervación	$23^h\ 47^m\ 42^s, 55$

$T_m = 23^h\ 47^m\ 42^s, 55 - |15^h\ 46^m\ 52^s, 60 + (12^h, 27 \times 9^s, 85)| =$
$= 23^h\ 47^m\ 42^s, 55 - 15^h\ 48^m\ 53^s, 2 = 7^h\ 58^m\ 49^s$ (hora local)

Luego, la longitud

$l = 12^h\ 15^m\ 42^s - 7^h\ 58^m\ 49^s = 4^h\ 16^m\ 53^s$ Oeste

3.—El mismo día con Aldebarán:

$h_v = 31°\ 58'\ 54''$ Hora: $14^h\ 41^m\ 32^s = 14^h, 71$ (Greenwich)
$z = 58°\ 01'\ 06''$ $\alpha = 4^h\ 31^m\ 18^s, 21$
$d = 106°\ 20'\ 53'', 5\ (90° + \delta)$ $\delta = +16°\ 20'\ 53'', 50$
$c = 58°\ 35'\ 10''$ $\varphi = -31°\ 24'\ 50''$

$2k = 222°\ 57'\ 09'', 5$
$k = 111°\ 28'\ 34'', 7$
$k\text{-}c = 52°\ 53'\ 25''$
$k\text{-}d = 5°\ 07'\ 41'', 5$
$1/2\ p = 17°\ 09'\ 34''$
$p = 34°\ 19'\ 08''$ (oriental)
$p = 2^h\ 17^m\ 16^s$
$p_1 = 24^h - p =$
$= 21^h\ 42^m\ 44^s$ (occidental)

log. sen (k—c)	9.9017207
log. sen (k—d)	8.9512501
col. sen c	0.0688349
col. sen d	0.0179223
$sen^2\ \frac{1}{2}\ p$	8.9397280
sen 1/2 p	9.4698640

Cálculo del t.m. y de l

$p_1 =$	$21^h\ 42^m\ 44^s$
$\alpha =$	$4^h\ 31^m\ 18^s$
T_s observación	$2^h\ 14^m\ 02^s$

$T_m = 2^h\,14^m\,02^s - |15^h\,46^m\,52^s,6 + (14{,}71 \times 9^s,85)| =$
$= 2^h\,14^m\,02^s - 15^h\,49^m\,17^s = \underline{10^h\,24^m\,45^s}$ (hora local) y
$\underline{1} = 14^h\,41^m\,32^s - 10^h\,24^m\,45^s = \underline{4^h\,16^m\,47^s}$

4.—(*Con el Sol, por la mañana*).

El día 17 de noviembre de 1918, se tomaron varias alturas del borde superior, cuyo promedio fué de 44° 54' 48'' y el promedio de las horas correspondientes, del primer meridiano, $12^h47^m = 12^h,78$.—Determinar la hora local y longitud.

Calcularemos primero la altura verdadera del centro del Sol:

$$h_v = (h_a - R + \text{Paralaje} - \tfrac{1}{2}\,D)$$

$$h_v = (44°\,54'\,48'' - 1'0'',21) + 6'',38 - 16'12'',4 = \underline{44°\,37'\,42''}$$

La paralaje es la correspondiente a h_v, (Ver tabla III — C. des T. — Pág. 702).

Cálculo del horario

$z = 45°\,22'\,18''$
$d = 71°\,00'\,19''$ $(90° - \delta)$
$c = \underline{58°\,35'10''}$
$2\,k = 174°\,57'\,47''$
$k = 87°\,28''\,53''$
$k - c = 28°\,53'\,43''$
$k - d = 16°\,28'\,34''$

$\tfrac{1}{2}\,p = 24°\,20'\,14''$
$p = 48°\,40'\,28''$
$p = 3^h\,14^m\,41^s$ (oriental)
$p_1 = 20^h\,45^m\,19^s$ (occidental)

$\delta = -\,18°51'47''$
Corr. $(-37'',08 \times 12,78) = -$
$\underline{-\,7'\,53^s,88}$
$\delta = -\,18°\,59'\,40'',88$

$\alpha = 15^h\,27^m\,52^s,4$
Corr. $(10^s,328 \times 12{,}78) = \underline{2^m\,11^s,9}$
$\alpha = 15^h\,30^m\,04^s$
$\delta = -\,31°\,24'\,50''$

log. sen (k — c)	9.6841361
log. " (k — d)	9.4527301
col. sen c	0.0688349
col. sen d	0.0243163
sen² ½ p	9.2300174
sen ½ p	9.6150087

Cálculo del t. m. y de l

$p_1 =$ $20^h\,45^m\,19^s$

$\alpha =$ $15^h\,30^m\,04^s$

T_s observación $12^h\,15^m\,23^s$

$T_m = 12^h\,15^m\,23^s - \left|15^h\,42^m\,56^s + (12^h,78 \times 9^s,85)\right| =$

$= 12^h\,15^m\,23^s - 15^h\,45^m\,02^s = 20^h\,30^m\,21^s$ hora astronómica ú $8^h\,30^m\,21^s$ a. m. tiempo civil.

Luego:

$$1 = 12^h\,47^m\,12^s - 8^h\,30^m\,21^s = 4^h\,16^m\,51^s$$

Comprobación

1.— α a 0^h en Greenwich $15^h\,27^m\,52^s,4$

2.— Hora del primer meridiano en el momento de la observación = hora local + longitud o sea igual a $8^h\,30^m\,21^s + 4^h\,16^m\,48^s =$ $12^h\,47^m\,09^s = 12^h,78$

3.— α a las $12^h,78 = \alpha$ a 0^h + (Corr). $10^s,328 \times 12,78 =$ $= 15^h\,27^m,52^s +$ $0^h\,02^m\,12^s$ $15^h\,30^m\,04^s$

4.—T_s observación = áng. horario + $\alpha = 20^h\,45^m\,19^s +$ $+ \alpha = 20^h\,45^m\,19^s +$ $15^h\,30^m\,04^s$ $12^h\,15^m\,23^s$

5.—T_s á 0^h en Greenwich $15^h\,42^m\,56^s$

6.—Corr. para $4^h\,16^m\,51^s$ 42^s

7.—T_s local á $0^h = (5 + 6)$ $15^h\,43^m\,38^s$

8.—T_s transcurrido después 0^h $12^h\,15^m\,23^s - 15^h\,43^m\,38^s =$ $= 8^h\,31^m\,45^s$

9.—Corr.(Tabla V. C. des T.)= — $1^m\ 24^s$

Hora local observación = $8^h\ 30^m\ 21^s$

Resultado igual al anterior.

Como vemos, el procedimiento anterior, que es general, resulta un poco largo. Por consiguiente, no se emplea y el más usado, por su sencillez, es el que exponemos a continuación. Considerando que la *hora verdadero* de la observación, cuando se trata del Sol, es igual a su ángulo horario, si éste es occidental o a su complemento a 24^h si es oriental, procederemos así:

1.—Hora verdadera = horario occidental
=24^h - $3^h\ 14^m\ 41^s$ (horario oriental) = $20^h\ 45^m\ 19^s$

2.—Ecuación del tiempo á 0^h el 17 en Greenwich E =—$0^h\ 15^m\ 3^s$,64 (pág. 23. C. des T).

3.—Corrección de E = variación horaria x hora observación del primer meridiano (Greenwich) = 12^h , 78 x 0,472 = 6^s ,03

4.—Ecuación del tiempo para la hora de la observación = (2 — 3) E' =—$0^h\ 14^m\ 57^s$,61

5.—Hora media astronómica de la observación = Hora verdadera + E' =
$20^h\ 45^m\ 19^s$ + (—$0^h\ 14^m\ 57^s$,61) =
$20^h\ 45^m\ 19^s$ — $0^h\ 14^m\ 57^s$,61 = $20^h\ 30^m\ 21^s$,39

5.—(*Con el Sol,* por la tarde).

El mismo día y marcando el cronómetro $8^h\ 07^m\ 17^s$ (hora de Greenwich), el promedio de varias alturas, hechas todas las correcciones, fué de 33° 46' 40''.—Se pide la hora local y la longitud.

z = 56° 13' 20'' δ = — 18° 51' 47'' (pág. 23. C. des T.

$d = 71° 05' 50''$ Corr. (-37'', 08x3,85) = — 2' 22'', 7

$c = 58° 35' 10''$ $\delta = - 18° 54' 10''$

$2k = 185° 54' 20''$ sen (k — c) 9.7516538

$k = 92° 57' 10''$,, (k — d) 9.5708556

$k-c = 34° 22' 00''$ colog ,, c 0.0688349

$k-d = 21° 51' 20''$,, ,, d 0.0240769

$\frac{1}{2}\ p = 30° 40' 29''$ log sen² ½ p 9.4154212

$p = 61° 20' 58''$ (occidental) log sen ½ p 9.7077106

$p = 4^h\ 05^m\ 23^s, 86$

Cálculo del *t. m.* y de *l*

p = (horario occidental) $4^h\ 05^m\ 23^s, 86$

1.—E = ecuac. tiempo á 0^h el 17 en Greenwich $0^h\ 15^m\ 3^s, 64$

2.—Corr. 8, 13 x 0^s . 472 = — $3^s, 84$

3.—E' = E — Corr. (1 — 2) $0^h\ 14^m\ 59^s, 80$

Hora local $4^h\ 05^m\ 23^s, 86 - 0^h\ 14^m\ 59^s, 8 = 3^h\ 50^m\ 24^s$ y

$l = 8^h\ 07^m\ 17^s - 3^h\ 50^m\ 24^s = 4^h\ 16^m\ 53^s$

Comprobación

$p = 4^h\ 05^m\ 24^s$ α a 0^h en Greenwich $15^h\ 27^m\ 52^s\ 4$

Hora reducida: $3^h\ 50^m, 24 + 4^h\ 16^m, 48$ $8^h\ 07^m\ 12^s = 8^h, 12$

α a las $8^h, 12$ *t. m.* $15^h\ 27^m\ 52^s, 4$

Corr. (10^s, 328 x 8 , 12 $1^m\ 24^s$

$\alpha = 15^h\ 29^m\ 16^s$

T_s observación = $\alpha + p$

$15^h\ 29^m\ 16^s$

$4^h\ 05^m\ 24^s$

$19^h\ 34^m\ 40^s$

T_s á 0^h en Greenw. $15^h\ 42^m\ 56^s$

Corr. para $4^h\ 16^m\ 53^s$ $+ 42^s$

T_s local á 0^h $15^h\ 43^m\ 38^s$

Tiempo sideral transcurrido después de 0^h : $19^h\,34^m\,40^s$ — $15^h\,43^m\,38^s$ = $3^h\,51^m\,02^s$

Corr. (siempre a restar) Tabla V. C. des T. $0^m\,38^s$

Hora media (civil y astronómica) $3^h\,50^m\,24^s$

Resultado igual al anterior.

Circunstancias favorables

Primer método (Paso de un astro por el meridiano)

No existe ninguna; encontrándose todos los astros en las mismas condiciones para su observación.

Segundo método (Alturas correspondientes)

Hacer las observaciones a proximidades del vertical primero, (Ver apéndice).

Tercer método (Alturas absolutas)

1º. — Si $\delta < \varphi$ y del mismo signo, el momento más favorable para tomar la altura, es cuando el astro se halla en el vertical primero, (Ver apéndice).

2º. — Si $\delta > \varphi$ y del mismo signo, el momento más favorable es al ser recto el ángulo de posición, (Ver apéndice).

3º. — Si δ y φ son de distinta especie, observar alturas pequeñas, pero nunca menores de 12º, para evitar los errores producidos por la irregularidad de la refracción.

Las estrellas que se encuentran en las condiciones primera y segunda, se denominan *horarias,* porque son las más convenientes para el cálculo del horario.

Existen tablas que dan el valor del *horario* y la *altura* en función de δ y φ (tablas de Mendoza — Tablas de Navegación, de Pastor y Bachmann), cuando el astro se encuentra en el vertical primero.

Entre las estrellas horarias y que cortan el vertical primero, podemos citar: β Ballena, δ Eridano, ε Liebre, Rigel, δ Orión, α Liebre, ε Oirón, z Orión, β Can mayor, Sirio, ε Can mayor, α Hidra, δ Cuerbo, β Cuerbo, γ Virgen, la Espiga, α Balanza, β Balanza, δ Escorpión, β Escorpión, Antarés, Aguila, β Capricornio δ Capricornio y Fomalhaut, y entre las segundas (ángulo de posición recto,) todas las circumpolares, australes y aquellas cuya declinación austral es mayor que 31.24.50 (latitud aproximada de Córdoba).

Para calcular el instante en que el astro se encuentra en el vertical primero o cuando es recto el ángulo paraláctico o de posición, ver las fórmulas correspondientes en el apéndice.

Segundo Caso. — Cálculo de la hora del primer meridiano y longitud, simultáneamente.

Habrá que conocer préviamente, con la mayor precisión, la hora local, la que puede obtenerse siempre, conociendo aproximadamente la longitud del lugar o bien procediendo como se ha indicado al principio de este capítulo III. — Después podemos emplear algunos de los métodos siguientes: ocultaciones, eclipses, distancias lunares, pasaje de este astro por el meridiano, etc. Aquí no aplicaremos sino los dos siguientes: pasaje de la Luna por el meridiano y distancias lunares.

(*Continuará*)

FRANCISCO ROQUE
Ingeniero Civil