

PM.	Sextante.	AM.	Semisumas.
2 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup> .7	126° 40'	22 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup> 43 <sup>s</sup> .5	12 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup> 46 <sup>s</sup> .60
„ 1 11.5	„ 30	„ 6 21.7	„ „ 46.60
„ 1 32.7	„ 20	„ 6 0.7	„ „ 46.70
„ 1 54.2	„ 10	„ 5 38.7	„ „ 46.45
„ 2 16.5	„ 00	„ 5 17.5	„ „ 47.00
$T = 2^h 1^m 32^s.92$	$126^\circ 20'$	$T' = 22^h 6^m 00^s.42$	$12^h 3^m 46^s.67$

Los demás datos son:

$$T' - T = 20^h 4^m 5^s \quad \delta = +23^\circ 18' 10'' \quad v = -6''.77 \quad E = +2^m 49^s.39$$

y por consiguiente se tendrá:

A.....	0.1340	B.....	0.0740—	$M = 12^h 2^m 49^s.39$
v.....	0.8306—	.....	0.8306—	$\epsilon = +0.29$
tan. $\varphi$ ....	9.6097	tan. $\delta$ .....	9.6342	$M + \epsilon = 12^h 2^m 49^s.68$
	0.5743—		0.5388	$\frac{1}{2}(T + T') = 12^h 3^m 46^s.67$
	- 3 <sup>s</sup> .75		+ 3 <sup>s</sup> .46	$\frac{1}{2}(\Delta T + \Delta T') = -0^m 56^s.99$

Digamos para terminar, que cuando se toman alturas iguales del sol sirviéndose de un cronómetro sideral, debe convertirse en tiempo medio la duración  $t - t'$  transcurrida entre las observaciones, para tomar con ese argumento los logaritmos de  $A$  y  $B$ . También en ese caso se hará uso de la ascensión recta  $a$  del sol verdadero calculada para el medio día local, en vez de la hora media  $M$  correspondiente al mismo instante. En todo lo demás se procede absolutamente lo mismo que se ha explicado, pues el valor de  $\epsilon$  es siempre bastante pequeño para que no ofrezca diferencia apreciable, ya sea que esté expresado en tiempo solar ó en tiempo sideral.

El lector que desee ejercitarse en la resolución de mayor número de ejemplos, é imponerse de varios detalles relativos al método de alturas iguales del sol, puede consultar la Sección III, Capítulo I de mis *Nuevos Métodos Astronómicos*.

## CAPITULO X.

### DETERMINACIÓN DE LA HORA.—MÉTODO DE PASOS MERIDIANOS.

211.—Según la definición que se ha dado (número 120) de la ascensión recta de un astro, inferimos que si se anota la hora de un cronómetro sideral en el instante

del tránsito del astro por el meridiano de un lugar, se obtendrá la corrección de aquel instrumento por la simple comparación de la hora que señale con la ascensión recta del astro tomada de las Efemérides. Si el cronómetro es solar, se comparará su indicación con la hora media de la culminación del astro, que se halla fácilmente (número 133) por medio de su ascensión recta.

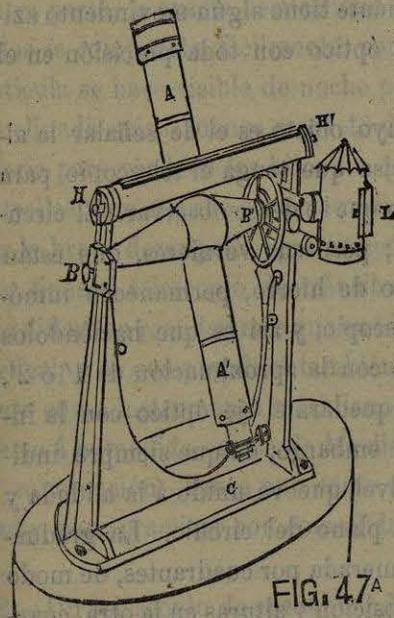


FIG. 47<sup>A</sup>

En esta sencilla consideración se funda el método de pasos meridianos, considerado como uno de los mejores para determinar la hora. En cuanto á la observación, se practica con el instrumento llamado *telescopio meridiano* ó *de tránsitos*, cuyas dimensio-

nes varían desde cosa de  $0^m.5$  hasta más de  $1^m.0$  en los portátiles; y desde  $1^m.0$  hasta más de  $2^m.5$  en los fijos ó de Observatorio permanente. La fig. 47<sup>a</sup> representa la forma ordinaria de los instrumentos portátiles: el telescopio  $AA'$  está unido á un eje  $BB'$ , perpendicular á su eje óptico, y cuyos extremos descansan en un apoyo de hierro  $C$ , que por medio de fuertes tornillos, se fija á un poste de piedra destinado al efecto, de tal manera que el eje  $BB'$  quede sensiblemente horizontal y dirigido de Este á Oeste, á fin de que la línea de colimación describa el plano del meridiano al mover el telescopio.

Como sería difícil establecer de una sola vez el instrumento en su situación exacta, sus diversas piezas están dotadas de los pequeños movimientos necesarios para rectificar su posición, corrigiendo la aproximativa que se le haya dado al fijar el pie  $C$ . Así, el apoyo  $B$  de uno de los extremos del eje es susceptible de un pequeño movimiento vertical, que lo hace subir ó bajar por medio de un tornillo, con el fin de que  $BB'$  quede exactamente horizontal; y en la otra extremidad  $B'$  el apoyo correspondiente tiene algún movimiento azimutal que permite establecer el eje óptico con toda precisión en el plano del meridiano.

En  $B'$  hay un círculo pequeño cuyo objeto es el de señalar la altura ó distancia zenital que es preciso que tenga el telescopio para que se presente en su campo el astro que se desee observar. El círculo está fijo al eje  $BB'$  y gira con él; pero sus vernieres, que están unidos á la pieza que se fija al apoyo de hierro, permanecen inmóviles durante la revolución del telescopio; y así es que haciéndolos señalar la indicación que se necesite con la aproximación de  $1'$  ó  $2'$ , y apretando el tornillo de presión, quedará el eje óptico con la inclinación conveniente, cuidando, sin embargo, de que siempre indique la horizontalidad el pequeño nivel que va unido á la alidada y que es, por consiguiente, paralelo al plano del círculo. La graduación de éste, por lo general, está numerada por cuadrantes, de modo que da distancias zenitales en una posición y alturas en la otra, cuando el observador invierte los extremos del eje; verificándose lo mismo en una sola posición, según que el telescopio esté dirigido al Norte ó al Sur. El examen y la nulificación del error de colimación en el

sentido vertical se practican como se ha explicado en el Tomo I, número 243, pues no necesitándose gran precisión en las lecturas, atendido el uso de este círculo, es conveniente destruir aquel error para no tener que llevarlo en cuenta cada vez que sea preciso variar la inclinación del telescopio.

La retícula consta de tres, cinco, siete y, en general, de un número impar de hilos verticales equidistantes; porque si bien uno sólo podría servir para observar los tránsitos, se considera con razón que un promedio de varias observaciones es digno de más confianza que una sola, por ser más independiente de los pequeños errores accidentales al anotar las horas correspondientes. Hay, además, dos hilos horizontales bastante próximos entre sí, colocados hacia el centro del campo, y cuyo objeto es el de hacer que los astros pasen siempre entre ellos; pues procediendo así se logra practicar las observaciones en los mismos puntos del campo, á fin de eliminar el efecto de alguna ligera inclinación que pudieran tener los hilos verticales. Por otra parte, la exacta verticalidad de éstos ó la horizontalidad de aquéllos se comprueba fácilmente, como se explicó en el número 47. La retícula se hace visible de noche por medio de la lámpara  $L$ , la que inclinada más ó menos respecto del eje  $BB'$ , suministra la luz necesaria para ver bien los hilos sin que se ofusquen las imágenes de las estrellas, aun cuando sean pequeñas.

Por la breve descripción que precede se habrá notado la semejanza que tiene el telescopio de tránsitos con el de un altazimut, del que no difiere en realidad más que en la menor aproximación del círculo vertical; y se comprenderá también que el altazimut sirve perfectamente como instrumento meridiano, con la ventaja sobre éste de prestarse á la medida exacta de las distancias zenitales de los astros en su culminación. Tanto uno como otro están provistos de oculares acodados para practicar con comodidad las observaciones cerca del zenit.

212.—Un telescopio de pasos cuando está perfectamente arreglado reúne las condiciones siguientes: 1<sup>a</sup> Su eje de rotación debe ser exactamente horizontal. 2<sup>a</sup> Su plano de colimación, determinado por el centro óptico del objetivo y el hilo central de la retícula, ha de ser

perpendicular al eje de rotación. 3ª El mismo plano de colimación debe coincidir con el del meridiano.

La primera condición se comprueba con el nivel montante  $HH'$ , procediendo enteramente como se explicó en el número 74, refiriéndonos al eje horizontal del altazimut. Conviene, con este motivo, hacer una indicación de importancia, que consiste en que cuando se usan niveles muy sensibles, es preciso comprobar el exacto paralelismo del tubo y de la línea que sirve de apoyo á los pies del nivel sobre el eje de rotación. Puede suceder, en efecto, que se haya conseguido establecer el tubo en un plano horizontal, sin que por esto sea paralelo al eje; y para investigar si tal cosa se verifica, debe el observador inclinar ligeramente el nivel hacia adelante y hacia atrás, después de haber situado la burbuja en el centro. Si durante este pequeño movimiento permanecen sus extremidades en las mismas divisiones de la escala, existe el paralelismo; mas si la burbuja varía de indicaciones, es porque un extremo sube un poco y el otro baja. Supongamos para mayor claridad que la extremidad del nivel que queda á la derecha del observador se desvíe del paralelismo hacia adelante respecto del eje; en tal caso, al llevarlo un poco hacia atrás, subirá la extremidad de la derecha y bajará la de la izquierda, puesto que este pequeño movimiento se ha verificado sin que los pies del nivel dejen de apoyarse en el eje del telescopio. Será, pues, necesario para corregir el error, mover algo el tubo del nivel dentro de su armadura, de manera que la extremidad de la derecha se acerque un poco al observador, ó por el contrario, se aleje de él la de la izquierda. Este movimiento se comunica por medio de un tornillo lateral colocado en la armadura hacia una de sus extremidades, el cual obra sobre el tubo; y debe irse haciendo poco á poco la corrección hasta conseguir que los pequeños movimientos oscilatorios de que he hablado, comunicados hacia un lado y otro de la vertical que pasa por los pies del nivel, no hagan variar sus indicaciones. Luego que esto se haya logrado, se arregla el otro nivel pequeño que está unido en  $H$  á la armadura del grande; y así ya en lo sucesivo para obtener las indicaciones de este último, se le debe dar la posición necesaria para que la burbuja de aquél quede en el centro de su pequeño

tubo; porque es evidente que de esa manera será siempre igual la situación que toman los pies del nivel montante respecto de la vertical.

213.—La línea de colimación se corrige también lo mismo que se explicó en el número 47 al exponer las rectificaciones del altazimut, esto es: por medio de la inversión del eje observando un objeto distante ó la retícula de un colimador, y también sirviéndose de dos colimadores opuestos. Además de estos procedimientos y de otro fundado en observaciones astronómicas, que indicaré después, se emplea un método muy exacto y fácil de ejecutar. Consiste en dirigir verticalmente el telescopio sobre una vasija llena de mercurio, que se coloca en el apoyo  $C$ . Suponiendo muy bien nivelado el eje de rotación, sucederá entonces que los rayos de luz que parten de la retícula saldrán paralelos del objetivo; y al caer sobre la superficie del mercurio, serán reflejados por ésta, y al volver á atravesar el objetivo se irán á reunir de nuevo en el foco estelar del telescopio. Según esto, verá el observador directamente la retícula al través del ocular, y en coincidencia con ella su propia imagen reflejada por el mercurio, si es nulo el error de colimación. En el caso contrario, se presentará la imagen á un lado de la retícula, siendo la distancia de un hilo vertical á su imagen, doble de aquel error. Puede, por consiguiente, el observador destruirlo moviendo los tornillos de la retícula hasta establecer la coincidencia del hilo con su propia imagen.

Muchas veces los instrumentos de tránsitos están provistos de un micrómetro en el ocular, cuyo mecanismo es idéntico al que he descrito en el número 165 del Tomo I, y sirve para medir pequeños espacios angulares dentro del campo del telescopio. Moviéndose su hilo paralelamente á los verticales de la retícula, permite estimar la distancia angular del hilo central á su imagen, ya sea para situarlo con los tornillos exactamente á la mitad de ese espacio, ya sea para medir y llevar en cuenta el pequeño error de colimación que puede quedar después de practicada la rectificación como se ha dicho. El mismo uso tiene el micrómetro cuando se examina la colimación observando una señal distante ó la retícula de otro antejo. Para em-

plear con buen éxito el colimador de mercurio es preciso iluminar muy bien los hilos, por lo cual se hace uso de un ocular especial que está provisto de un espejo metálico en el interior del tubo, inclinado  $45^\circ$  respecto del eje óptico, y perforado en su centro para no interceptar la visión directa. Una abertura lateral, practicada en el tubo del ocular, sirve para que el espejo reciba la luz de una lámpara y la refleje sobre la retícula.

Lo anterior supone la perfecta horizontalidad del eje de rotación del telescopio; mas si no sucede así, se puede determinar á la vez el error de colimación y la inclinación del eje. Al efecto, se invierte el instrumento sobre sus apoyos, y dirigido de nuevo hacia el mercurio, se vuelve á medir la distancia del hilo central á su imagen por medio del micrómetro. Designando por  $b$  la inclinación del eje, por  $c$  la colimación del hilo, y por  $l$  y  $l'$  las distancias que da el micrómetro en ambas posiciones, se tiene evidentemente:

$$l = 2(b + c)$$

$$l' = 2(b - c)$$

de donde resulta:

$$b = \frac{1}{4}(l + l') \quad c = \frac{1}{4}(l - l')$$

y así es que, conociendo el valor angular de las divisiones del micrómetro, fácilmente se obtienen en segundos los de ambas cantidades.

214.—La situación del telescopio en el plano del meridiano se hace calculando la hora sideral ó media (número 133) de la culminación de una estrella, y visándola con el hilo central de la retícula en el instante en que un cronómetro, cuya corrección sea conocida, señale la indicación equivalente á aquella hora. Cuando no se conozca con exactitud el estado del cronómetro, es conveniente servirse de una estrella circumpolar, en atención á que siendo muy leve el movimiento azimutal de las circumpolares, no influirá mucho el error que se cometa en la hora. También puede establecerse el telescopio determinando previamente la dirección del meridiano por medio de una brújula, teniendo en cuenta la declinación magnética, ó bien tra-

zando la meridiana por alguno de los métodos que se explicaron en la Topografía; pues tratándose sólo de situar el instrumento muy cerca de aquel plano, no hay inconveniente en servirse de cualquier procedimiento aproximativo, con tal que no produzca un error que exceda de  $10'$  á  $15'$ . Las observaciones astronómicas que se practican en seguida con el mismo telescopio, dan á conocer su desviación ó sea el pequeño azimut que le haya quedado, y permiten, en consecuencia, su rectificación ulterior por medio del pequeño movimiento azimutal que puede comunicarse á una de las extremidades de su eje, aun cuando se haya fijado definitivamente su apoyo sobre el poste destinado á recibirlo. No será inútil advertir que la cara superior de este macizo debe acercarse tanto como se pueda á la horizontalidad, á fin de que después de consolidado el apoyo no sea necesario subir ó bajar mucho uno de los extremos del eje de rotación para que la burbuja se conserve siempre hacia el centro del tubo. Tanto este movimiento vertical como el azimutal, no son de mucha extensión, y por eso conviene practicar con la mayor aproximación que sea posible el establecimiento provisional del telescopio. De ese modo el definitivo sólo demandará pequeñas correcciones.

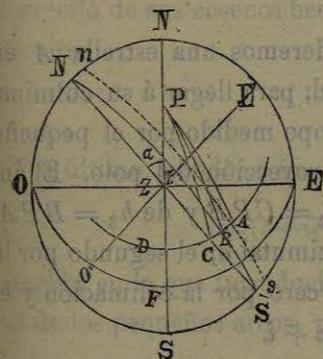


FIG. 48<sup>A</sup>

215.—Los procedimientos de rectificación que he expuesto reducen los errores á la mayor pequeñez; pero ni puede suponerse, en general, que se les destruya completamente, ni aun cuando se lograra hacerlo debería admitirse que permaneciesen nulos por mucho tiempo. En virtud de esta consideración, investiguemos el modo de reducir al meridiano las observaciones que se hagan con un instrumento incorrecto, aceptando únicamente la hipótesis de que sean muy pequeños los errores, como se verifica en realidad por muy defectuosas que hayan sido sus rectificaciones.

Admitiendo, pues, la existencia de una desviación azimutal del eje

óptico del telescopio, la de una inclinación de su eje horizontal y un error de colimación en su retícula, sea  $NES O$  (fig. 48ª) el plano del horizonte, sobre el cual consideraré proyectada la esfera. Si el instrumento estuviese correcto, su eje de rotación quedaría dirigido según la línea  $EO$  y su línea de colimación describiría el meridiano  $NS$ ; pero á causa de sus errores, el eje ocupará la posición  $E' O'$ , y, en consecuencia, su eje óptico se dirigirá al punto  $N'$  del horizonte, formando con el meridiano el ángulo azimutal  $NZN' = a$ . El telescopio describiría en su movimiento el plano vertical que pasa por  $N' S'$  si fuese exactamente horizontal su eje de rotación; mas suponiendo que su extremidad  $O'$  esté elevada sobre el horizonte una cantidad  $b$ , describirá el plano inclinado  $N' Z' S'$ , de modo que el zenit  $Z'$  del instrumento distará  $b$  segundos del zenit real  $Z$ . Si llamamos, además,  $c$  el error de colimación, tendremos que la línea de colimación se hallará á  $c$  segundos de distancia del eje óptico, que es la verdadera línea perpendicular al eje de rotación del telescopio.

Cualquiera de los hilos laterales de la retícula describe un círculo menor  $nAs$  paralelo á  $N' Z' S'$ , y designando por  $i$  su distancia angular á la línea de colimación, resulta que la que lo separa del eje óptico es  $AB = c + i$ .

216.—Establecido lo anterior, consideremos una estrella  $A$  en el momento de su paso por el hilo lateral; para llegar á su culminación en  $D$  tendrá que transcurrir un tiempo medido por el pequeño ángulo horario  $h = APD$ , siendo  $P$  la proyección del polo. El ángulo  $h$  se compone de  $h_1 = DPC$ , de  $h_2 = CPB$  y de  $h_3 = BPA$ , originado el primero por la desviación azimutal  $a$ ; el segundo por la inclinación  $b$  del eje de rotación, y el tercero por la colimación y el intervalo del hilo, ó sea por la cantidad  $c + i$ .

El triángulo  $PZC$ , en el cual  $PC$  es la distancia polar de la estrella, é igual á  $90^\circ - \delta$ , da la ecuación:

$$\text{sen. } h_1 = \frac{\text{sen. } a \text{ sen. } z}{\text{cos. } \delta}$$

siendo  $z = ZC$  la distancia zenital de la estrella al pasar por el punto

C. Aunque para dar más claridad á la figura se ha exagerado mucho la magnitud de los errores, debe tenerse presente que  $a$  y  $h_1$  son sumamente pequeños, por lo cual podremos tomar los arcos por los senos para obtener:

$$h_1 = a \frac{\text{sen. } z}{\text{cos. } \delta} \dots\dots\dots (1)$$

Con el fin de calcular el valor de  $h_2$  llamemos  $x$  la pequeña distancia  $CB$ , y entonces el triángulo  $CPB$  da:

$$\text{cos. } x = \text{sen.}^2 \delta + \text{cos.}^2 \delta \text{ cos. } h_2$$

También el triángulo  $CBS'$  cuyo ángulo  $S'$  es igual á  $b$ , y cuyos lados  $CS'$  y  $BS'$  pueden tomarse por los complementos de la distancia zenital de la estrella, suministra este otro valor:

$$\text{cos. } x = \text{sen.}^2 z + \text{cos.}^2 z \text{ cos. } b$$

Igualando estas dos ecuaciones resulta:

$$\text{sen.}^2 \delta + \text{cos.}^2 \delta \text{ cos. } h_2 = \text{sen.}^2 z + \text{cos.}^2 z \text{ cos. } b$$

y atendiendo á que por ser tan pequeños  $b$  y  $h_2$  se puede sustituir el desarrollo de sus cosenos hasta la segunda potencia, obtendremos sin dificultad:

$$h_2 = b \frac{\text{cos. } z}{\text{cos. } \delta} \dots\dots\dots (2)$$

Por último, siendo  $AB = c + i$ , el triángulo  $APB$  da:

$$\text{cos. } (c + i) = \text{sen.}^2 \delta + \text{cos.}^2 \delta \text{ cos. } h_3$$

ecuación en la que introducidos también los desarrollos de los cosenos de los pequeños arcos, produce:

$$h_3 = \frac{c + i}{\text{cos. } \delta} \dots\dots\dots (3)$$

El ángulo horario total será, en consecuencia:

$$h = \frac{\text{sen. } z}{\text{cos. } \delta} a + \frac{\text{cos. } z}{\text{cos. } \delta} b + \frac{1}{\text{cos. } \delta} (c + i)$$

y es el que representa la corrección que debe sufrir la hora señalada por el cronómetro al observar la estrella en el hilo lateral, para obtener la de su paso por el meridiano. Llamando, pues,  $t$  la hora cronométrica de la observación,  $\Delta t$  su corrección y recordando que la hora sideral del tránsito es igual á la ascensión recta de la estrella, se tendrá la ecuación general:

$$a = t + \Delta t + \frac{\text{sen. } z}{\text{cos. } \delta} a + \frac{\text{cos. } z}{\text{cos. } \delta} b + \frac{1}{\text{cos. } \delta} (c + i)$$

por cuyo medio puede calcularse la corrección  $\Delta t$  del cronómetro, conociendo las magnitudes y los signos de los errores instrumentales, y que también sirve para la determinación de éstos, como se verá después.

217.—Antes de pasar adelante, notemos que atendida la pequeñez de  $a$ , la distancia zenital  $z = ZC$  es también sensiblemente igual á  $ZD$ ; y como esta última representa la distancia zenital meridiana de la estrella, puede expresarse en función de su declinación y de la latitud del lugar. En efecto, siendo  $EFO$  la proyección del ecuador, se tiene  $FZ = \varphi$  y  $FD = \delta$ , por lo que  $z = ZD = \varphi - \delta$ . Sustituyendo este valor, nuestra ecuación general adquiere la forma:

$$a = t + \Delta t + \frac{\text{sen.}(\varphi - \delta)}{\text{cos. } \delta} a + \frac{\text{cos.}(\varphi - \delta)}{\text{cos. } \delta} b + \frac{1}{\text{cos. } \delta} (c + i) \dots (4)$$

Los coeficientes de  $a$ ,  $b$  y  $c + i$  que, en cada estación determinada, sólo dependen de la declinación del astro, se representan comunemente por  $A$ ,  $B$  y  $C$ , de manera que por lo regular se escribe así la ecuación:

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\text{sen.}(\varphi - \delta)}{\text{cos. } \delta} & B &= \frac{\text{cos.}(\varphi - \delta)}{\text{cos. } \delta} & C &= \frac{1}{\text{cos. } \delta} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

$$a = t + \Delta t + Aa + Bb + C(c + i)$$

En la figura se han supuesto positivos todos los errores; pero es evidente que sean cuales fueren sus signos, el efecto de cada uno de ellos dependerá, según las reglas del álgebra, tanto de su signo como

como del de su coeficiente; y en cuanto á esto conviene advertir desde ahora que  $A$  es positivo siempre que la estrella culmine al Sur del zenit, ya sea que tenga declinación boreal ó austral, pues en este último caso  $\varphi - \delta$  se convertirá en  $\varphi + \delta$ . Por el contrario, será negativo para los tránsitos al Norte del zenit siempre que se verifiquen entre este punto y el polo, en atención á que en tales casos  $\delta$  es necesariamente mayor que  $\varphi$ ; pero si la culminación se verifica entre el polo y el horizonte, quiere decir, si se trata del tránsito inferior de una circumpolar, el valor de  $A$  volverá á ser positivo, por ser negativos á la vez su numerador y su denominador. En efecto, la cantidad que se ha designado por  $\delta$  representa en la figura el arco contado desde el ecuador hasta la estrella, y como en un tránsito inferior esa distancia es mayor que  $90^\circ$ , resulta que será preciso tomar el suplemento  $180^\circ - \delta$  en vez de  $\delta$ , ó sea  $\varphi + \delta - 180^\circ$  en lugar de  $\varphi - \delta$ . Por consiguiente, serán negativos el seno que forma el numerador de  $A$ , y el  $\text{cos.}(180^\circ - \delta)$  que constituye su denominador.

El coeficiente  $B$  es positivo para todos los tránsitos superiores, sea que se verifiquen al Norte ó al Sur del zenit; pero será negativo para los inferiores ó sub-polares, á causa de que varía el signo de su denominador sin que varíe el de su numerador, por ser un coseno. Lo mismo, y por idéntica razón, debe decirse de  $C$ , á saber: que es positivo para los pasos superiores y negativo para los subpolares. Aun sin necesidad de consideraciones analíticas, todo lo anterior se comprende muy bien por la simple inspección de la figura, teniendo presente que en los tránsitos inferiores parecen moverse las estrellas de Occidente á Oriente, y que en consecuencia, siendo positivos los errores, pasarán por el telescopio antes que por el meridiano; y la hora sideral  $t + \Delta t$  de la observación será menor que  $12^h + a$ , hora exacta del paso sub-polar.

218.—Con relación á los errores mismos, tenemos que  $a$  es positivo siempre que el eje óptico del telescopio se desvíe hacia el Oeste del verdadero Norte, ó hacia el Este del punto Sur; y por el contrario, negativo cuando la desviación tenga lugar hacia el Este respecto del Norte. La inclinación  $b$  del eje de rotación será positiva cuando su extremidad occidental esté más elevada que la oriental, y negati-

va en el caso contrario; de suerte que llamando  $o$  y  $e$  respectivamente las indicaciones de los extremos *Oeste* y *Este* de la burbuja,  $o'$  y  $e'$  las mismas después de la inversión del nivel, y expresando el valor de  $b$  en segundos de tiempo, se tendrá:

$$b = \frac{(o + o') - (e + e')}{60} v \dots\dots\dots (6)$$

fórmula en la que  $v$  es el valor angular de las divisiones. Es claro que cuando la suma de las dos lecturas orientales resulte mayor que la de las occidentales, será negativa la inclinación  $b$ .

En cuanto á  $c$  es positiva cuando la línea de colimación queda al Occidente del eje óptico, puesto que en virtud de la inversión de las imágenes producidas por el telescopio, las estrellas pasarán por aquella línea antes que por el eje; pero es preciso advertir que  $c$  varía de signo cuando se invierte el telescopio, de manera que para evitar equivocaciones importa anotar en los apuntes la posición que guarda el instrumento al practicar cada observación. Por lo común aquella se indica expresando si se halla al Este ó al Oeste la extremidad del eje de rotación en que se coloca la lámpara destinada á iluminar la retícula; y así se anota *Luz al Este* ó bien *Luz al Oeste* según el caso. De esta manera no habrá dificultad para aplicar á  $c$  el signo que le corresponda.

Cuando los hilos de la retícula están equidistantes entre sí, ó que, por lo menos, son exactamente simétricos respecto del central y se observa el paso de las estrellas por cada uno de ellos, debe verificarse que el término medio de todas las horas anotadas concuerde con la correspondiente al central, haciendo abstracción de los pequeños errores cometidos en la apreciación de las fracciones de segundo; mas si sus distancias son ligeramente diversas, el promedio de todas las horas dará la del tránsito por cierto punto del campo por el que puede suponerse que pasa un hilo ficticio llamado *hilo medio*, cuya pequeña distancia al central depende de la desigualdad supuesta en los intervalos de los demás. A este hilo imaginario es al que se refiere la colimación  $c$ , y representará su distancia al eje óptico del telescopio; de suerte que cuando se haya medido directamente la co-

limación del hilo central por cualquiera de los procedimientos conocidos, deberá combinarse el resultado con la pequeña distancia de que he hablado, para obtener el valor de  $c$  que figura en la fórmula (5).

219.—Pronto me ocuparé de un método directo para determinar la colimación del hilo medio; pero antes conviene advertir que la cantidad designada por  $i$  en la misma fórmula, será también la distancia de un hilo lateral cualquiera al imaginario que he llamado medio, puesto que á éste se refieren todas las observaciones. De aquí se deduce que para todos los hilos que atraviesa la estrella antes de llegar al medio, deberán tomarse positivos los valores de  $i$  que les correspondan, y que serán, por el contrario, negativos los que se refieran á los hilos que atraviesa después. En consecuencia, subsistiendo la ecuación (5) para la observación hecha en cada uno de los hilos, resulta que el promedio de todas ellas es independiente de  $i$ , cuyo valor final es necesariamente nulo; y así es que para el hilo medio se tendrá:

$$a = t + 4t + Aa + Bb + Cc \dots\dots\dots (7)$$

fórmula que conviene á las observaciones completas, ó hechas en todos los hilos de la retícula. La ecuación (5) es, sin embargo, más general por corresponder al caso de tránsitos incompletos, ó sea aquellos en que se hayan perdido las observaciones de uno ó más hilos; y es evidente que representará también el promedio de una observación incompleta, con tal que por  $i$  se introduzca el término medio de los intervalos propios á los diversos hilos en que se haya observado el paso, contados siempre desde el medio y atendiendo á sus signos, y representando  $t$  el promedio de las horas respectivas.

220.—Por todo lo expuesto se comprenderá que una de las operaciones más importantes, y acaso la que conviene hacer en primer lugar, es la determinación de los valores de  $i$ , llamados generalmente *intervalos ecuatoriales* de los hilos, por representar, en efecto, el tiempo que invertiría una estrella de declinación nula en pasar de un hilo lateral al medio. Hay varios procedimientos para conseguirlo, y uno de los más sencillos consiste en observar el tránsito completo de una estrella de declinación conocida, y en comparar el promedio de las