



NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA

LAS TABLAS GARCÍA DE LÍNEAS DE POSICIÓN DE ALTURA

Por el General JOSE M.^a AYMAT

En la Sección bibliográfica del número 46 (septiembre de 1944) dió la REVISTA cuenta de la aparición de estas tablas, sin que la obligada concisión de la nota permitiera dar idea de la importancia de la obra de nuestro compatriota el Capitán de Corbeta don Juan García, ni exponer la facilidad de su empleo al detalle.

Tanto para que nuestros compañeros versados en estas cuestiones puedan hacer justicia al mérito de este trabajo y conocer el detalle de su empleo, como para que los que no lo estén se formen idea de la facilidad que a la Navegación astronómica viene a dar, y puedan seguir nuestra explicación, vamos a exponer sucinta y previamente los fundamentos de la determinación de la propia situación, como de los intentos realizados hasta ahora para simplificar los cálculos pertinentes y la cultura matemática previa, necesaria para realizarlos.

Del mismo modo que la situación de cada lugar de la Tierra viene definido por la latitud (boreal o austral), distancia angular al Ecuador y una longitud o ángulo en el Polo formado por los meridianos del lugar y de otro que se toma arbitraria y convencionalmente como origen (el de Greenwich), la de los astros se define por su declinación o distancia al Ecuador celeste, círculo en que se proyecta el terrestre, y un ángulo en el Polo, formado entre el círculo horario del astro y otro de origen que es el del punto vernal, posición ocupada por el Sol al cortar el Ecuador al comienzo de la Primavera, y que se representa por el signo γ de Aries o el Carnero. Este ángulo se llama ascensión recta = AR; se cuenta de 0 a 24 horas, en sentido opuesto

al movimiento diurno, y equivale a la longitud terrestre, como son equivalentes en ambas esferas declinación celeste y latitud geográfica.

Si unimos el centro de la Tierra con un astro, la recta así determinada corta a la superficie terrestre en un punto que se llama polo de iluminación del astro, o también posición geográfica del astro, y con una latitud igual a su declinación tiene una longitud tal que da la vuelta al mundo de Oriente a Occidente en un día.

Al observar los astros, notamos que su altura sobre el horizonte crece hasta pasar por el meridiano, por el lado del Polo opuesto a nuestra latitud (es decir, por el Sur o Mediodía en Europa). Este fenómeno se llama culminación del astro; es el momento a partir del cual se mide en tiempo un ángulo en el Polo, alrededor del que parece girar toda la bóveda celeste, que se llama horario del astro en cada momento. Este ángulo se cuenta hacia el Oeste, de 0 a 24 horas, que se reduce a menos de doce horas, llamándolo occidental u oriental cuando, por exceder de doce horas, pasó al costado E. del meridiano. Cuando el punto celeste considerado es el punto vernal, origen de las ascensiones rectas, este horario recibe el nombre de Hora sidérea, y, en consecuencia, se establece la propiedad fundamental del cálculo de los tiempos.

Hora sidérea = ascensión recta + ángulo horario.

Del desfile del polo de iluminación de cualquier astro, o del punto vernal, sucesivamente por encima de todos los

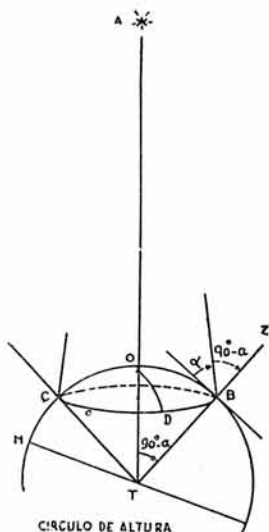
puntos de cada paralelo de latitud igual a la declinación, o, lo que es lo mismo, de cortar sucesivamente todos los meridianos, resulta esta otra propiedad:

Horario local = horario (Greenwich) + longitud, L, considerando L positiva al E. y negativa la W de Greenwich.

Bastan estos conocimientos para comprender que si tenemos un Almanaque Astronómico que dé la Hora sidérea en Greenwich para cualquier momento, de la hora que señale nuestro cronómetro podremos deducir el horario local de cualquier astro, y aún la longitud propia de nuestra situación si conociéramos o pudiéramos medir o calcular el horario del astro.

Por otra parte, cuando tuviéramos un astro exactamente sobre nuestra vertical, nuestra situación será precisamente su polo de iluminación, nuestra latitud la declinación, y por ser nulo el horario, nuestra longitud el horario del astro en Greenwich, donde, ya lo vimos, ese horario es igual a la Hora sidérea del instante disminuída en la AR del astro.

Pero, generalmente, no será este nuestro caso, y veremos al astro a una cierta distancia del cenit, y hemos de modificar en consecuencia nuestra situación.

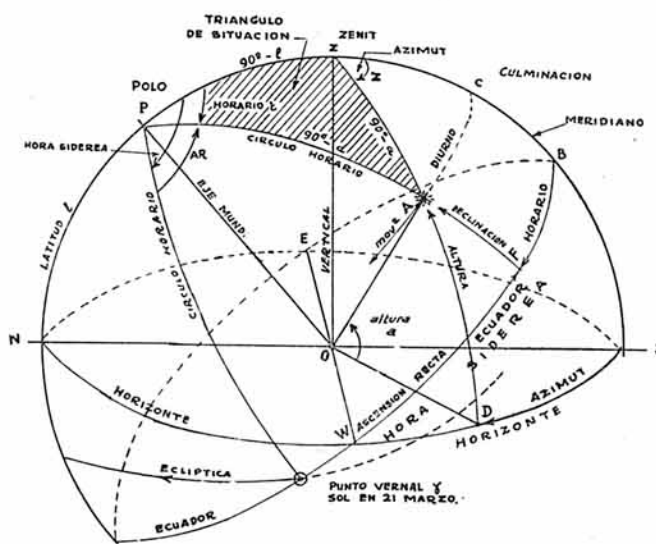


Supongamos ser T la esfera terrestre, A el astro cuyo polo de iluminación se halla en O, y que nuestra situación es B, cuya vertical es BZ. Como a la inmensa distancia a que se encuentra el astro son paralelas todas las visuales que de cualquier punto O, B, C de la Tierra se le dirijan, la distancia cenital ZBA, con lo que veamos será igual al ángulo ATZ de las verticales TO y TB del polo de iluminación y nuestra situación; luego la distancia OB a que nos encontramos de dicho polo es el desarrollo de un arco de amplitud igual a la distancia cenital para el radio de la Tierra, es decir, a razón de 111,111 kilómetros por grado o una milla de 1.852 metros por minuto.

Pero como esa distancia cenital se verá igual desde cualquier punto C del círculo menor de centro en O, y radio OB, no sabemos en cuál de estos puntos nos encontramos. A este círculo se le llama círculo de altura.

Si además de la altura (o distancia cenital) pudiéramos determinar el azimut con que vemos el astro, la indeterminación desaparecería. Si lo viéramos en dirección Norte, sería señal de que estamos en B, al sur del polo de iluminación, y a la distancia que sabemos. De verlo al Sur nos hallaríamos en C, al norte de O, y, en general, bastaría ver qué punto del círculo tiene su radio en la dirección DO, en cuyo azimut geográfico NDO vemos al astro, para que quedara determinado.

Aparte de esto, si se toman dos alturas de un mismo astro o las de dos astros, podremos determinar dos círculos de altura, que si se cortan con buen ángulo nos darán dos intersecciones suficientemente alejadas para que fácilmente podamos discernir cuál de ellas es nuestra verdadera situación.



Coordenadas celestes.

El procedimiento expuesto ofrece el inconveniente de que para hacer el trazado completo de los círculos de altura se necesitaría un globo terráqueo de dimensiones enormes para que nos diera alguna precisión, cosa sumamente engorrosa, y por ello se acude al procedimiento de trazar sólo el trocito de círculo que esté en la carta a escala grande que, de los lugares en que estamos, llevamos a bordo.

Claro está que, a esa escala, ese trocito de arco se transforma prácticamente en recta (de ahí su nombre recta de altura), y para su trazado bastará que conozcamos un punto de ella y su dirección, que habrá de ser perpendicular al radio o azimut con que veamos el astro.

Como el centro del círculo está a gran distancia, es claro que el azimut del astro apenas variará, aunque nos desplazemos unos pocos kilómetros de nuestra situación, y gracias a ello, para definir la dirección de nuestra recta de altura, tomaremos el azimut de cualquier punto próximo, tomando como más probable aquel en que creemos estar, que se llama punto estimado, como resultado que es de navegación a estima (por rumbo, velocidad y tiempo), que habremos practicado desde el último punto determinado con seguridad.

Como de este punto conocemos la longitud y la latitud,

con la primera y la hora del cronómetro podremos deducir el horario que en ese punto estimado tiene el astro, y como en las efemérides consta además su declinación, contamos con los dos lados y el ángulo comprendido en el Polo para resolver el triángulo de situación y deducir el azimut que buscamos.

Para tener un punto de la recta nos bastaría buscar uno cuya distancia al polo de iluminación del astro fuera la distancia cenital observada; pero como nuestro mapa no alcanza a punto tan lejano ni podemos desarrollar tan enorme longitud, hemos de acudir a otro procedimiento.

Supongamos que el punto estimado fuera nuestra verdadera situación; si al resolver el triángulo de situación, que así se llama al formado en la esfera celeste por el Polo, nuestro Cenit y el Astro, calculamos la altura con que en el momento de la observación se ve allí el astro, es evidente que esa altura será precisamente la que observamos.

Si en vez de observar esta altura calculada, que se llama altura de estima, observamos otra mayor, es señal de que estamos más debajo del astro, es decir, más cerca de su polo de iluminación, y precisamente con un radio menor en un número de millas igual a los minutos de diferencia de alturas, y para hallar un punto de nuestra verdadera recta de altura bastará tomar, desde el punto estimado y en dirección del azimut del astro, tantas millas como minutos haya en la diferencia de alturas.

Si la altura verdadera fuera menor que la estimada, estaríamos más lejos del polo de iluminación del astro, y la distancia habría que tomarla en sentido opuesto al azimut.

De estas consideraciones se deriva el procedimiento a seguir, ideado por St. Hilaire, o de Summer, el marino que primero lo practicó, bien que incidentalmente, y que consiste:

- 1.º De la hora del cronómetro y de la longitud del punto estimado deducir el horario del astro.
- 2.º Con la latitud de este punto estimado, la declinación del astro y el horario antes calculado, resolver el triángulo de situación, deduciendo altura y azimut estimados.
- 3.º Restar las alturas observada o verdadera y calculada o de estima, diferencia que en minutos de arco se llama *corrimiento*.



Trazado de la recta de altura.

- 4.º Hacer pasar por el punto estimado una recta con la dirección del azimut estimado antes calculado.
- 5.º Tomar sobre ella en el sentido conveniente y en millas el corrimiento.

6.º Por el punto resultante, trazar una perpendicular al azimut, y esa será la recta de altura buscada.

Si el astro se ha observado en el meridiano, esta recta de altura será un trozo de paralelo que nos dará nuestra latitud. Si lo observamos en el primer vertical (E-W), la recta de altura será un meridiano, y nos dará nuestra longitud. Observado en dirección de nuestro eje de marcha, una recta transversal que nos indicará la distancia recorrida y velocidad; y si se observa de través a la marcha, la recta de altura, paralela al itinerario, nos dirá cuánto nos hemos separado de él por error de rumbo, que podremos corregir (1).

El cálculo de la altura y azimut de estima, operación segunda de las descritas es laborioso, y en sus variados métodos requiere el empleo de tablas de logaritmos de funciones circulares, de valores naturales de estas mismas o de otras menos corrientes de los senos versos o cuadrados de los senos de las mitades de los ángulos. Con cualquiera de ellos, y los hay sumamente ingeniosos, ninguno evita tener que entrar nueve o diez veces en las tablas y hacer casi otras tantas sumas, restas y mitades.

Y, naturalmente, requiere una previa cultura matemática que asegure el manejo del cálculo trigonométrico.

Para simplificar este trabajo se ha recurrido al cálculo directo de alturas y azimutes, deducidos para los casos que puedan presentarse de latitud, declinación de signo igual u opuesto a la latitud y horarios de 0 a 12 h. = 180º. Pero como cada dos variables dan lugar a una tabla de doble entrada, que tiene que ser extensa para que sus argumentos varíen en pequeña cuantía, resulta que hay que hacer tantas tablas cuantos sean los valores que se den a la tercera variable, y aunque siendo esta la latitud del punto estimado pueden sus valores dar saltos más considerables, no por eso dejan de ser muy voluminosas.

El Servicio Hidrográfico de los Estados Unidos tiene publicadas en 1919 (publicación H. O. 201) "Simultaneous altitude and azimuths of celestial bodies", que dan para cada tabla de latitud las alturas y azimutes correspondientes a declinaciones de grado en grado y horarios variables de diez en diez minutos.

Los ingleses tienen en cuatro tomos las llamadas "Altitude or Position Line Tables", calculadas por Ball, aunque se conocen más por el nombre del editor Potter, de Londres, que análogas a las anteriores, dan altura cada cuatro minutos, si bien el azimut aparece por otras tablas más sencillas. El menor intervalo del horario aumenta el volumen en proporción que no compensa el descargarlas de las columnas de azimut, lo que además obliga a hacer dos entradas en las tablas.

Otras son las publicadas en 1926 por el mismo Servicio norteamericano (H. O. 203 y 204), tituladas "The Summer line of position finished ready to lay down upon the chart by means of tables of simultaneous hour angle and azimuth of celestial bodies" (o sea, "Tablas de horarios y azimutes celestes para llevar a la carta las rectas de altura").

(1) Para más detalles puede verse cualquier tratado de Navegación marítima o aérea, entre ellos el del autor, publicado por la Editorial Labor.

El primer tomo comprende las combinaciones de latitud y declinación, intercambiables, de 0° a 60° , y de 0° a 27° , y el segundo prolonga las declinaciones de 27° a 63° para latitudes superiores a 27° . Divididos en dos partes, según sean de igual u opuesto hemisferio, latitud y declinación.

En cada página figura una de las combinaciones de latitud y declinación en grados enteros, y contiene, para cada altura, de grado en grado (o su mitad en algunas), los ángulos horarios y azimutes, con sus diferencias tabulares por $1'$ de variación en la declinación.

Para manejarlas se busca el horario y azimut correspondientes a la latitud redonda de estima y a la declinación justa para la altura redonda más próxima a la observada. Restando el horario de la tabla del calculado para Greenwich, se tiene la longitud del punto de estima. Restando la altura corregida de la redonda con que se entró en la tabla, se tiene el corrimiento de la recta de altura en la dirección del azimut dado por la tabla.

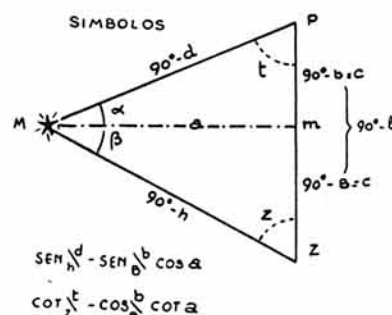
Estas son las tablas a que más se parecen las de nuestro compatriota; pero ofrecen un volumen mucho mayor, pues para cada combinación de latitud declinación requiere cuatro columnas de altura y azimut, y sus incrementos por $1'$ de declinación, lo que representa de cuatro a cinco millones de cifras del orden de las antes descritas.

Con objeto de reducir este volumen de este tipo de tablas, se ha acudido a artificios que reducen su extensión, bien que a costa de perder sencillez de manejo.

Se fundan en la idea de lord Kelvin, de descomponer el triángulo de situación en dos rectángulos, más fáciles de resolver, y determinados, con sólo dos datos, por medio de la altura trazada desde un vértice.

Si es el astro el escogido, proyectándolo sobre el meridiano se tienen las tablas publicadas en 1914 por el marino brasileño Radler de Aquino, con el título "The Newest Navigation and Aviation Altitude and Azimuth Tables" (J. D. Potter, Londres) (1).

b B	a = 10° 30'				c C	α β
	d h	60' Δ	t z	Δ 60'		
0°	0°	1,02	10° 30'	0,00	90°	90°
—	—	—	—	—	—	—
52°	50° 47'	1,03	16° 45'	0,37	38°	76°,3
53°	51° 45'	1,05	17° 7'	0,38	37°	75°,8
—	—	—	—	—	—	—
89°	79° 27'	20,0	84° 37'	—	1°	5°,2
90°	30'	—	90° 0'	—	0°	0°
t	a	60' Δ	b	Δ 60'	—	α
d = 10° 30'						



Una tabla de Aquino (hay 180 de $1/2$ en $1/2^\circ$).—Nótese la triple combinación de datos y el doble sentido de interpolación por diferencias. Hay que abrir dos veces la tabla, tomar seis valores tabulares y hacer tres sumas o restas.

Descomponiendo el triángulo desde el cenit, publicaron ese mismo año otras tablas los Capitanes portugueses I. A. Newton y J. C. Pinto, en portugués, la "Navegação Moderna-Taboas" (Libano da Silva, Lisboa), y en castellano, Ferrol, 1927.

Con este mismo fundamento, y por indicación del Comandante J. Y. Dreisonstok, de la Marina yanqui, ha publicado el Servicio Hidrográfico (H. O. 208) las llamadas "Tablas de navegación para marinos y aviadores".

El método de su compatriota, el Comandante Weems, tomado a su vez del japonés Ogura, se funda en la misma descomposición del triángulo desde el cenit.

Ingeniosas todas, tienen el inconveniente de exigir entrar en ellas para los dos triángulos que resultan, y cambiar

los datos de entrada con el resultado de la anterior entrada, y exigir múltiples interpolaciones, ser múltiples las columnas, ocho en cada tablita, y frecuentemente con doble título, y, además, exigir un corrimiento del punto estimado para obtener, consecuente, valores redondos en argumentos tabulares.

GARCÍA ha tenido la feliz idea de trazar la recta de altura, no por azimut y la diferencia entre las alturas de estima y observada, sino por dos puntos, con lo que ha obtenido dos facilidades, cuales son: liberarse del empleo del transportador que determine el azimut y trace luego, perpendicular

(1) Puede verse al detalle la descripción en la primera edición de la "Navegación aérea" del autor, no llevada ya a las posteriores.

larmente a él, la recta de altura y del cálculo de los azimutes. Ello reduce ya a la mitad los valores de las tablas corrientes primeramente descritas; pero, además, la presentación tipográfica de escribir seguidas las cifras de grado y minuto (las dos últimas son los minutos), y en rojo los incrementos, reduce la extensión a la par que hace más clara la busca.

Por otra parte, aceptando el criterio americano en las tablas 203-204, no exige más interpolación que por declinación, única variable de valor exacto de una precisión que pudiéramos llamar insobornable. Dispone las tablas por columnas, tituladas en el valor de grado en grado de la declinación. Dentro de cada uno de ellos busca trazar la recta de altura por las longitudes (horarios, dan las tablas) correspondientes a cada latitud; pero como cuando la recta de altura tiene dirección en sentido próxima a la de los paralelos, estas intersecciones se alejarían con exceso, entonces toma como argumento el grado de horario para tabular las latitudes correspondientes. Separa, naturalmente, uno u otro modo, en las direcciones N-E y su perpendicular.

Consecuencia de lo anterior es que el título de cada tabla es la altura al grado, lo que constituye otra originalidad de estas tablas, y tiene la ventaja de poder prescindir de las alturas menores de 5°, que no conviene observar, ni de las mayores a 83°, que dan círculos de altura demasiado curvos.

Si consideramos el triángulo que se llama de situación, formado por el Polo, el Cenit y el Astro, veremos que sus lados son los complementos de la altura, declinación y latitud, mientras los ángulos en el Polo y Cenit son, respectivamente, el Horario y el Azimut. Horario, consecuencia que es de la longitud de nuestra situación, y el lado PZ, nos son desconocidos, ya que la latitud y longitud que determinan nuestra posición son lo que precisamente, por desconocidos, tratamos de averiguar; el Azimut no se puede medir en mar y aire más que con la brújula o compás, con imprecisión tan grosera que es incompatible con nuestras necesidades y aspiraciones; más difícil es aún de medir el ángulo formado en el astro. Sólo son datos seguros la altura, que corregida convenientemente nos da el sextante y la declinación del astro, que nos proporciona cualquier Almanaque o Efemérides de la época de la observación, calculada por los observatorios astronómicos. Dos datos sólo nos bastan para resolver un triángulo oblicuángulo, como es, en general, el esférico que se nos forma en el cielo.

El método St. Hilaire toma como datos la declinación y una situación de estima que defina aproximadamente otro lado PZ y el ángulo comprendido que es el horario, deducido de la longitud estimada. La altura calculada, de estima, por su diferencia a la realmente observada, nos hace correr la recta de altura paralelamente a ella, y en la dirección que nos da el azimut, prácticamente constante en las proximidades de nuestra situación.

Aquí los datos que proporciona la estima se toman en su valor preciso, que no es lo mismo que exacto, y como pueden ser cualesquiera otros, dentro de una cierta amplitud, que muy bien puede llegar al medio grado, las tablas hasta ahora calculadas las tomaban al grado redondo para hacer asequibles las combinaciones posibles; pero siempre la altura era un resultado, y en forma en que el título de cada tabla era una latitud, dentro de los límites de la zona en que se supone puede desarrollarse la navegación.

Los elementos que toma GARCIA para datos de la resolución del triángulo, son ahora la siempre obligada declinación que titula las columnas, la altura que define la tabla y la latitud, es decir, los tres lados, y sólo cuando la variación de este último argumento tabular conduciría a grandes diferencias de longitud, toma el horario para tabular el valor de la latitud conveniente, caso ahora de dos lados y el ángulo opuesto a uno de ellos. Tales casos son los que mayor dificultad ofrecen en el cálculo directo trigonométrico.

El hecho de tomar la altura falsa, aproximada al medio grado, no representa, por otra parte, desprecio del dato que conocemos exactamente por haberlo medido con el sextante, sino necesidad tabular para dejar sola la interpolación inevitable para el justo valor de la declinación y que, aproximada, resulta siempre consecuente, como es, de un cálculo basado en datos forzosamente sólo aproximados, y con error tan fácil de corregir por el corrimiento hacia el astro o alejándolo de él.

Este corrimiento mismo se ve facilitado en el método GARCIA, porque señalados en la carta los dos puntos centrales correspondientes a la altura redonda al grado, dos arcos nos dan, en su común tangente, la recta de altura corrida el número de millas de su radio igual al de minutos, diferencia de altura supuesta y verdadera observada.

Pero prescindamos de derivar las tablas de GARCIA de las antes existentes, y volvamos al concepto del círculo de altura.

Por el horario del astro calculado para Greenwich como longitud y con la latitud de su declinación, podríamos señalar en el mapa el polo de iluminación. El trazado de los círculos de altura de grado en grado encontraría dificultades graves consecuentes a las deformaciones de cualquier sistema de representación; pero podemos determinarlos, aun dentro de la limitada extensión de la carta a gran escala que llevemos a bordo, por medio del cálculo de los puntos de corte de los paralelos, por la diferencia de longitud al centro o por las latitudes con que corte a meridianos de grado en grado. Y eso son, precisamente, las tablas de GARCIA.

El argumento incluso es variable. Normal de grado en grado, los valores saltan cada dos, y aun tres para alturas bajas, en que el gran radio mengua la curvatura de los arcos, de medio en medio cuando las alturas son ya de 70°.

Pero es hora ya de presentar la tabla y desarrollar ejemplos de su empleo.

Supongamos que el día 23 de abril de 1945, en situación que suponemos 31° 20' de latitud N. y una longitud de 29° 30' E. de Greenwich, es decir, frente a Alejandría, siendo la hora, corregida ya de irregularidades cronométricas, las 9 h. 48 m. 44 s., hora oficial de Europa Oriental, observamos el Sol, para cuyo centro deducimos una altura de 54° 10', y que hemos de trazar la recta de altura de nuestra situación.

Ante todo, hemos de advertir que la latitud no viene en las tablas representada por la letra l, sino por la griega ϕ , también muy empleada, y que el horario, que hemos llamado h y otras veces se designa por P, viene designado por la letra t de tiempo.

Hora civil Europa Oriental.....	9 h. 48 m. 44 s.	(1)
Hora civil Greenwich..	7 h. 48 m. 44 s.	(2)
H. v. — Hm.....	+ 1 m. 38 s.	(3)
H. v. Gr.....	7 h. 50 m. 22 s.	(4)
t Gr. Oriental.....	4 h. 9 m. 38 s. = 62° 24' 5"	(5)
δ a 7 h. 48 m. = + 12° 27'		(6)
Para l	= 31° 32°	(7)
Para $\delta = 12^\circ : t =$	33° 09' 32° 36'	(8)
Por 27'.....	+ 21 22	(9)
t	33° 30 32° 58	(10)
t Gr.....	62° 24 62° 24 E.	(11)
Long. E.....	28° 54 29° 26	(12)

(1) Porque la Europa Oriental va dos horas adelantada respecto a Greenwich.

(2) En la casilla de H. Gr. del Almanaque Aeronáutico de San Fernando (*) aparece que a las 7 de hora media, el horario del Sol verdadero es 7 h. 1 m. 37 s., y a las 8, 8 h. 1 m. 38 s.; luego para pasar de hora civil a horario verdadero hay que aumentar 1 m. 38 s.

(3) Las 7 h. 50 m. 22 s. de horario tomado del Almanaque, como hace notar el Prólogo, se cuentan desde el meridiano inferior; luego por menor de 12 h. o de la mañana, corresponde a Oriental, y por el valor que le falta para llegar a las 12 del Mediodía.

La conversión del horario en arco se hace según tablas de la tapa de la encuadernación.

(4) El valor de la declinación del Sol viene en el Almanaque de hora en hora.

(5) Aquí empieza realmente el uso de las tablas en el reducidísimo desarrollo a que ha venido a condensarse todo el laborioso cálculo trigonométrico de resolver el triángulo de situación.

El sencillo cálculo anterior del horario t es indispensable en cualquier método y nada tiene que ver con el empleo de las tablas de GARCÍA o de otras.

(6) Esos son los valores leídos en la tabla correspondiente a + +, declinación de igual hemisferio que la latitud, y 54° de altura, y que reproducimos.

(7) Son los productos de las diferencias tabulares, 0,8 y 0,8, por los minutos de incremento de la declinación; productos que dan, a la décima, la tabla del final de la encuadernación.

(8) Ese horario es la diferencia de longitud entre el polo de iluminación sobre latitud 12° 27' a los cortes del círculo de altura de radio 90°-54° con las latitudes 31° y 32°.

(9) Esta longitud la hemos referido a Greenwich. Ha resultado Oriental porque el polo de iluminación está 62° al E. de Greenwich, y nosotros al W. del astro (lo observamos al E.) sólo 33°.

Si el astro lo hubiésemos observado al W., hubiéramos sumado los horarios.

(*) Véanse sus características en la nota bibliográfica de la REVISTA núm. 48, de noviembre de 1944.

δ	0	11	12	δ
54	30	—	—	3340 07
h	31	—	—	3309 08
+	32	—	—	3236 08
+	—	—	—	—
+	40	—	—	—
				40

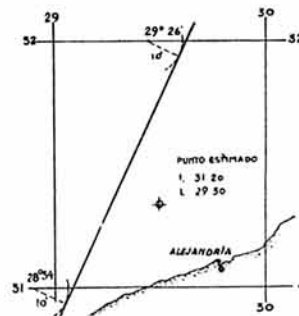
TABLA DE GARCÍA.—Fin de la pág. 48.

NOTA. — Las diferencias en negrita van en las tablas en tinta roja.

Para no confundirse convendrá, a veces, hacer un esquema así:

$$\begin{array}{c} \text{Gr.} \longrightarrow t \text{ Gr.} \longrightarrow \\ \longleftarrow L \longrightarrow \longleftarrow t - \end{array} *$$

Sobre las latitudes 31 y 32 tomaremos las longitudes E. 28° 54' y 29° 26', respectivamente. Como la altura observada fué de 54° 10', superior a la supuesta, 54°, nos aproximaremos al Sol trazando hacia el Este dos pequeños arcos de 10 millas de radio. Su tangente común es nuestra recta de altura.



El corrimiento de la recta de altura por diferencia de la supuesta y real, se puede hacer en el método GARCÍA no sólo sin transportador, sino incluso sin compás, pues las millas de aquella diferencia se pueden llevar con doble decímetro, o mejor, tomadas en la esquina a escuadra de un papel, normalmente sin error sensible, a la dirección determinada por los dos puntos centrales.

Otro ejemplo. — Situación estimada próxima a Estaca de Vares:

$$l = 43^\circ 50' \text{ N.}; L 7^\circ 45' \text{ W. de Gr.}$$

Día 15 de marzo de 1945, a las 22 h. 1 m. 51 s., reducida a Greenwich.

Se observa Sirio, hacia el SW., con altura corregida ya de 21° 35'. Las coordenadas de Sirio son: $\delta = 16^\circ 39' \text{ S.}$ y $AR = 6 \text{ h. } 42 \text{ m. } 44 \text{ s.}$

δ	13	16	17	25	δ
ϕ					ϕ
30					30
37					37
38					38
39					39
42					42
ϕ					ϕ
t					t
42					44
36		4329 11	4222 11		36
34		4433 11	4327 11		34
0					0

22

h

+ -

NOTA.— Los números en negrita van en las tablas en tinta roja.

TABLA GARCÍA.—Cabeza de la pág. 95.

Abrimos la tabla por la segunda parte, correspondiente a declinaciones de hemisferio opuesto a la declinación (signos $\pm$), págs. 94-95, correspondiente a la altura 22° . Al recorrer (pág. 95) la columna de declinaciones 16° , nos encontramos con que para latitudes superiores a 39° no da horarios, señal de que la recta de altura tendrá dirección más próxima a los paralelos que a los meridianos, cosa que pudimos prever, ya que el acimut está más próximo al S. que al W.

Debemos entrar, pues, con horario. Calculémoslo:

Horario en Gr. del p. vernal H. Gr. γ a 22 h. =	21 h. 32 m. 32 s. (1)
Aumento por 1 m. 51 s.	1 m. 51 s.
H. Gr. en el momento.....	21 h. 34 m. 23 s.
AR de Sirio.....	6 h. 42 m. 44 s.
Horario de Sirio en Gr.	14 h. 51 m. 39 s. (2)
	2 h. 51 m. 39 s. (3)
En arco por 2 h. 48 m.	42°
Por 3 m. 39 s.	55' (4)
Horario en Gr. t	= $42^\circ 55'$ W.
Longitud W.....	= $7^\circ 45'$
Horario local t	= $35^\circ 10'$ W. (5)

(1) De la hoja del Almanaque Aeronáutico de San Fernando y contado desde el N.

(2) Desde el N.

(3) W. a partir del S.

(4) De la tabla en el revés de las cubiertas de las Tablas GARCÍA.

(5) Esta parte se escribe sólo cuando vemos que no hay valores de t para nuestra latitud.

Entramos en la tabla con los horarios t 36° y 34° , que comprenden al de estima $35^\circ 10'$:

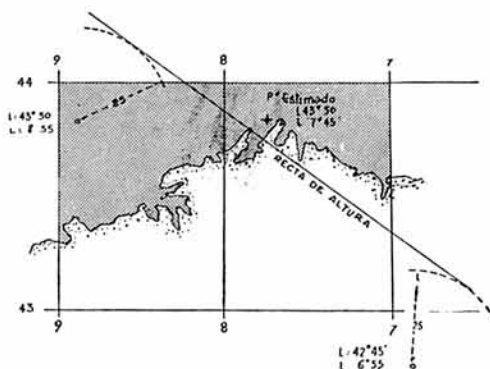
Horarios.....	36°	34°
Latitud para $d = 17^\circ$	$42^\circ 22'$	$43^\circ 27'$
Por 21 m. que faltan a d	+ 23	23
t de altura 22°	$42^\circ 45'$	$43^\circ 50'$

La interpolación, por declinación exacta, hay que hacerla a partir de la declinación más próxima, porque las diferencias están al minuto por cada diez de variación de la declinación; y aun teniendo en cuenta que con la indicación de la aproximación por exceso que subraya la segunda cifra, el error del cuarto de minuto tolerable al multiplicarse por los minutos de medio grado, no alcanzan al minuto entero, exceden de éste si nos acercamos a doblar el multiplicador. Por esa misma razón, cuando se parta de declinación excesiva, deben tomarse las diferencias anteriores y no las que siguen al valor. El producto se obtiene en la tabla de las tapas del libro, limitado el multiplicador a $30'$, lo que nos apercibe de lo anteriormente expuesto si no lo hubiéramos tenido en cuenta.

Obsérvese, además, el signo del incremento de valor tabulado, que en esta segunda parte disminuye con el valor absoluto de la declinación y que variará en el mismo sentido para declinaciones por defecto, y en contrario para las excesivas, como es nuestro caso. Los valores de latitud disminuyen hacia la derecha; pero como nuestra declinación retrocede a la izquierda de la tomada, $- \times - = +$, y tenemos que sumar.

Obtenidas las latitudes, hay que ver qué longitudes corresponden a los horarios estimados de 36° y 34° . Para ello, inmediatamente debajo de las columnas anteriores, deberemos escribir:

Supuesto tabular t	36°	34°
Horario de Gr. t Gr.	$42^\circ 55'$ m.	$42^\circ 55'$ m. W.
Longitudes.....	$6^\circ 55'$ m.	$8^\circ 55'$ m. W.



Señalaremos, pues, en el mapa las longitudes Oeste $6^\circ 55'$ y $8^\circ 55'$, y sobre ellas las latitudes $42^\circ 45'$ y $43^\circ 50'$, respectivamente. Como la altura observada es $21^\circ 35'$ menor que la supuesta 22° , nos alejaremos del astro trazando con radio de 25' millas dos arcos, cuya tangente común es nuestra recta de altura.

δ	0	8	9	10	12	δ
54	30	—	—	—	—	30
h	35	—	2559	13	2715	12
+	36	—	—	—	2826	11
+	37	—	—	—	2611	13
+	38	—	—	—	—	—
				2513	14	
				—	—	
				—	—	
ψ	25	—	3551	12	3700	12
t	—	—	—	—	—	—
	0	36	44	45	46	48
						0

TABLA DE GARCÍA. — Fin de la pág. 48.

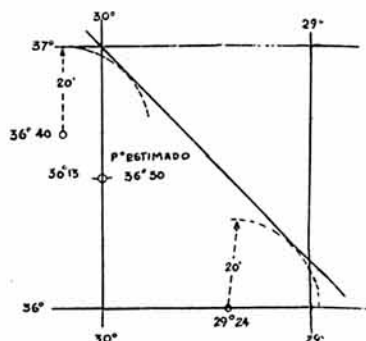
En azimutes próximos a 45° , los puntos centrales pueden venir determinados por la longitud sobre una latitud próxima a la estima y por la latitud que se deduzca de un horario, y que se toma sobre la longitud correspondiente. Así ocurre al observar a las 22 h. oficiales de Azores del 14 de marzo de 1945 (0 h. del 15 en Gr.), en latitud estimada de $36^\circ 30' N.$ y longitud $30^\circ W.$, una altura corregida de $53^\circ 40'$ para Altair, cuya declinación es $8^\circ 43' N.$ y AR 19 h. 48 m. 4 s..

El cálculo del horario es:

Ts. o H. Gr. y el 15 marzo a 0 h. ...	23 h. 28 m. 56 s.	
AR.....	19 h. 48 m. 4 s.	
t en Greenwich.....	3 h. 40 m. 52 s.	= $55^\circ 13'$
Longitud W.		30°
t local.....		$25^\circ 13'$

En la misma página 48, de altura 54° , en la columna $d = 9^\circ$, se tiene:

$l = 36^\circ$		Para $l = 37$ no	$t = 25^\circ$	
t para $d = 9$	$26^\circ 11'$	da la tabla valor	t para $d = 9$	$37^\circ 00'$
C. por $-17'$	$-22'$	de horario; por	C. por $-17'$	$-20'$
t tabular. . . .	$25^\circ 49'$	tanto, se entra	t tabular. . . .	$36^\circ 40'$
t Greenwich. . .	$55^\circ 13'$	con el argumen-	t supuesto. . .	25°
		to siguiente de	t Greenwich. .	$55^\circ 13'$
Longitud. . . .	$29^\circ 24' W.$	horario $t = 25^\circ$:	Longitud. . . .	$30^\circ 13'$



Los puntos centrales son, pues, $l 36^\circ$, $L 29^\circ 24'$ y $l 36^\circ 40'$, $L 30^\circ 13'$, a partir de los cuales hacia el NE. se trazan los arcos de $20'$ de radio, cuya tangente común será la recta de posición.

Bástenos decir que tanto los valores tabulados como sus diferencias vienen dadas al minuto; pero la precisión queda doblada gracias a la indicación de cuando el valor de la última cifra ha sido tomada por exceso. El empleo de esta mayor aproximación, que se logra disminuyendo 0.3 a los valores subrayados y añadiendo 0.2 a los que no lo están (2615 equivalen a $26^\circ 51'.2$; 11013 , a $110^\circ 12'.7$), asegura, aun después de la suma a efectuar, la precisión al minuto de los resultados.

No lo hemos hecho en nuestros ejemplos porque los errores de observación aérea con el sextante son siempre de unos cuantos minutos.

Otro gran servicio de estas Tablas es el permitir prescindir de otros métodos de pretensa simplificación, pero que, sobre faltos de generalidad casi todos, son algunos verdaderas elucubraciones complicatorias.

