

¿MURIO EL SEXTANTE?

Orlando Bolognani (*)
Capitán de Navío (ARA)
Agregado Naval de Argentina en Chile

Este trabajo se originó en el transporte *Aquiles* de la Armada de Chile, mientras abastecía a la legendaria isla Róbinson Crusoe, fondeado frente al escenario de tantas aventuras y leyendas que todo marino, aun los de fines del siglo xx, añora con nostalgia.

¿Será este mismo espíritu conservador de tradiciones el que nos hace resistir a abandonar definitivamente el uso del sextante, pese a que los satélites y los sistemas hiperbólicos ya están suficientemente probados y difundidos como para resolver el problema de la situación con mayor precisión y rapidez?

Quizás la respuesta esté en un hecho aparentemente casual, pero que no lo es tanto: a bordo del *Aquiles* había 4 computadoras de bolsillo programables, pertenecientes a sendos Oficiales de Marina de Argentina y Chile, cada uno de los cuales, por distintos caminos, estaba tratando de hacer que su computadora resolviera el engorroso problema, tan legendario ya como la isla Róbinson Crusoe, de determinar la posición por el método de Saint Hilaire.

Esta feliz coincidencia nos llevó a conversar mucho sobre el tema, y el resultado de este intercambio de opiniones es el que exponemos a continuación.

Ventajas y desventajas de los sistemas modernos

Para empezar, debe aceptarse como un hecho ya incontrastable que los satélites y los sistemas tipo Omega superan notoriamente al sextante, en precisión, rapidez, simplicidad en su uso y frecuencia (casi continuamente) con que permiten situarse.

Pero presentan estas desventajas:

a) Su costo es superior al sextante y afines (tablas, formularios), por lo cual podrían no justificarse en embarcaciones deportivas, buques de porte reducido o buques con pocos años de vida útil que aún no los tienen.

b) En caso de conflicto internacional grave, pueden ser dejados fuera de servicio por daños del enemigo, o pueden comenzar a transmitir en clave para negar su uso al enemigo.

c) Como todo sistema electrónico complejo, pueden presentar fallas.

El sextante como reserva

Las tres desventajas citadas justificarían mantener, como sistema de reserva, al sextante y al cálculo correspondiente.

(*) A pedido expreso del autor, nos es grato dejar constancia que en la elaboración del presente artículo contribuyeron con su valioso aporte profesional e intelectual el comandante del AP *Aquiles*, Capitán de Fragata Sr. Ariel Rosas M. y los Tenientes señores Roberto Luengo D. y Juan A. Widow L., de dotación del mismo buque.

Pero esto implica tener a bordo personal adiestrado, tando en el manejo del instrumento como en la ejecución del hasta ahora engorroso y lento procedimiento de cálculo.

¿Se justifica mantener este adiestramiento, más todas las horas de enseñanza teórica previa, sólo por la remota posibilidad de que alguna vez llegue a ser necesario, o sólo para forjar Guardiamarinas en los buques-escuela, no permitiéndoles que permanezcan ociosos?

Creemos que la respuesta tiene dos aspectos: uno es la toma de alturas, y otro es el cálculo.

La toma de alturas no ofrece muchas dificultades, y hasta sería un acto placentero y casi deportivo, si no fuera por el engorroso cálculo que le sigue. Si éste fuera fácilmente resuelto, la toma de alturas podría entrar en la categoría de "juegos marineros", de sana y emulativa competencia, como ya se ha dado a bordo del *Aquiles*.

El sextante no ha muerto, pero las tablas y los formularios sí

Para hacer ese cálculo en pocos segundos, eliminando tablas, análisis de signos, formularios y toda posibilidad de error, pueden usarse computadoras en reemplazo de las viejas "tablas de reducción de alturas" o "de navegación", mal llamadas "de cálculo rápido" (en realidad, el cálculo con ellas es lento e inseguro), como las HO 214 y similares.

Pero antes de que estas venerables publicaciones pasen a los museos, extraigamos de ellas las últimas enseñanzas: debemos advertir la coherencia que siempre existió entre lo que se enseñaba en la Escuela Naval, las publicaciones y formularios estandarizados que proveían los servicios de hidrografía, y los elementos que se usaban a bordo. Análogamente, si adoptamos computadoras en lugar de las viejas tablas, tanto la enseñanza como los almanaques náuticos y demás facilidades que provean los servicios hidrográficos

deberán adaptarse a ellas. Esto, posiblemente haga necesario adoptar un solo tipo de computadora para toda la Armada, del mismo modo que hace varias décadas nadie usaba cualquier tabla de logaritmos, ni más adelante tampoco usaba cualquier "tabla de reducción de alturas", sino las que había adoptado como modelo único la Armada, que a su vez eran las mismas que se enseñaban en los institutos de formación.

Soluciones en las marinas más evolucionadas:

a) La Armada de los Estados Unidos, pese a ser la dueña de los mejores sistemas electrónicos de situación, sigue manteniendo el sextante como reserva. No ha adoptado ninguna computadora definida, sino que deja librado a cada piloto o jefe de navegación que resuelva el problema personalmente, como crea más conveniente.

b) Lo mismo puede decirse de la Armada francesa.

c) La Armada de España ha adoptado una computadora de bolsillo Hewlett Packard, que no sólo se provee a los buques sino que se la enseña en la Escuela Naval.

Creemos que ésta es la mejor solución.

Selección del tipo de computadora más adecuado.

Pueden usarse las computadoras tácticas o de control de armas y operaciones, que normalmente tendrán libres los pocos bytes que se necesitan para conformar un programa de navegación astronómica.

Pero no todos los buques tienen estas computadoras, y aun cuando las tengan es probable que no estén disponibles, ni en el lugar ni en el momento más adecuado para su uso. Y también pueden fallar.

Por eso creemos que la mejor solución son las computadoras de bolsillo, que presentan las siguientes ventajas:

— Son mínimos su peso, volumen, costo y necesidades de mantenimiento.

— Seguridad de funcionamiento. Pese a estar bastante difundida, es totalmente errónea la idea de que sus pilas pueden agotarse: duran por lo menos dos años, son fácilmente reemplazables y la computadora avisa cuando comienzan a perder capacidad.

— Funcionamiento instantáneo. No es necesario "cargarles" el programa, basta con poner en posición "on" su interruptor.

— Sirven, además, para resolver muchos otros problemas técnicos u operativos que tendrán que enfrentar los oficiales, y aún los jefes, cualquiera sea su especialidad.

— Y lo más importante: sus cualidades didácticas. Son lo mejor para iniciar en el arte de la programación a cadetes que no tienen ningún conocimiento previo y que, en cuanto inicien su carrera, se enfrentarán con computadoras más complejas.

Con respecto al aprendizaje, nuestra experiencia nos permite afirmar que el mejor método para aprender a programar no consiste en aprender el lenguaje o la teoría general de la programación, sino en ir directamente a resolver, con la computadora, un problema cuya solución general ya conocemos.

El peor inconveniente que puede tener un principiante es no tener ningún problema para resolver.

Algunas de las computadoras de bolsillo que reúnen los requisitos necesarios son las siguientes:

HEWLET PACKARD HP 41-C

Esta computadora tiene una capacidad de 400 líneas de programas y su precio es de aproximadamente 300 dólares.

Una variante, el modelo HP 41CV, tiene hasta 2.000 líneas de programa.

Una de sus características más interesante es que se le pueden enchufar "chips" preprogramados, cada uno de los cuales contiene programas de matemáticas, navegación, navegación aérea, estadística, finanzas, etc. El costo de cada "chip" es de aproximadamente 70 dólares.

El "chip" de navegación, de mayor interés para el tema que nos ocupa, tiene incorporados los siguientes programas:

— Cálculo de ortodrómicas y loxodrómicas.

— Resolución de rectas de altura, para lo cual sólo debe entrarse el punto estimado, fecha, hora medida de Greenwich, nombre del planeta o estrella observado, altura del observador y ángulo del sextante.

— Almanaque náutico perpetuo: tiene incorporados los datos y fórmulas que permiten calcular el ángulo horario desde Greenwich, y la declinación de 57 estrellas, sol, luna, Marte, Venus, Júpiter y Saturno. Para las estrellas y el sol, la precisión es de un minuto de arco; para Venus y Marte, es de 2 minutos; y para Júpiter y Saturno, es de 3 minutos. Para la luna, cuya predicción es más compleja, el error probable puede aumentar hasta 5 minutos de arco.

— Conversión de coordenadas astronómicas. Este programa interconvierte coordenadas esféricas y rectangulares en los sistemas ecuatorial o elíptico, siendo usado como subrutina del programa "almanaque perpetuo".

— Programa para identificar el astro.

Por lo expuesto, puede verse que esta computadora es muy completa y, si se acepta su poca precisión en las rectas de altura, permitiría prescindir del almanaque náutico; no obstante, es recomendable seguir usando este almanaque como elemento de comprobación y seguridad, para verificar hasta dónde mantiene su confiabilidad el "almanaque perpetuo" de la computadora, a medida que pasan los años.

El "chip" preprogramado tiene además el inconveniente de que no incluye pequeños cálculos, tales como aplicar el error de índice del sextante, el error de cronómetro y el traslado de cada recta para computar el movimiento del buque durante el cálculo; esto obliga a efectuar esos pequeños cálculos a mano, y luego dificulta el trazado de las rectas.

No obstante, siendo esta computadora programable y de capacidad muy superior a la mayoría de las computadoras de bolsillo, tanto la poca precisión como los otros inconvenientes de su "chip" preprogramado pueden obviarse si se le introduce un programa similar al que se explica más adelante para la Casio.

TAMAYA

Similar a la anterior, pero más completa y más cara (alrededor de 800 dólares). No se vende en Santiago ni en Buenos Aires, por lo cual no podemos aportar datos más precisos que éstos.

CASIO FX 702P

Tiene una capacidad equivalente a la mitad de la HP 41-C (1.680 pasos de memoria, que equivalen aproximadamente a 200 líneas de programa), pero su costo es menor: 105 dólares.

No trae el problema ya resuelto, pero es fácil introducirle un programa que lo resuelve, como el que hemos confeccionado según se detalla en el Agregado Nº 2. Este programa asegura una precisión de 0,1 minuto, y contiene las correcciones por error de índice, error del cronómetro y traslado del buque. No obstante, comparado con la HP 41-C, tiene la pequeña desventaja de que debe ser usada con ayuda de un almanaque náutico, y de que sólo tiene capacidad para 35 estrellas (esto no es grave, dado que en la práctica sólo se usan muy pocas estrellas: las tablas H0249 contienen sólo 35).

También resuelve el problema de identificar astros, con la ventaja de que, además de identificarlos, los calcula.

En el Agregado Nº 1 se expone las secuencias a seguir para calcular una recta de altura con este programa, lo cual puede ser hecho por cualquier persona que conozca los rudimentos de la navegación astronómica, aun cuando no sepa nada de programación.

En este Agregado Nº 1 pueden observarse fácilmente dos cosas:

— No se requiere saber de memoria los pasos a seguir, ni utilizar ningún tipo de formulario, pues la misma computadora nos va diciendo en cada momento qué es lo que tenemos que hacer (esto también ocurre con la HP 41-C).

Esto es de suma importancia si el método va a ser sólo una alternativa de reserva y, por tanto, el usuario no estará muy adiestrado en todo momento.

— El tiempo que se tarda en calcular una recta de altura, ya trasladada o "navegada" según el movimiento del buque, es de sólo 1 minuto, aproximadamente; y su trazado será igualmente rápido, pues todas las rectas quedan referidas al mismo punto estimado, que es el centro de la rosa. Esta celeridad permitiría, en un mismo crepúsculo, trazar tres rectas, y si el resultado no es aceptable volver a tomar otras tres antes de que se acabe el crepúsculo.

Requerimientos que genera esta solución por computadoras

Si se adopta la Casio FX 702P o alguna computadora similar, sería conveniente contar con almanaques náuticos que se adapten a ellas. Tomando como ejemplo el actual almanaque náutico argentino: si bien puede usárselo con su estructura actual, se ahorraría bastante memoria, tiempo y posibilidades de error si se le introducen las siguientes modificaciones:

a) Reducirlo a una tercera parte, presentando horarios de Aries, planetas, sol y luna cada hora entera de Greenwich, en vez de hacerlo cada 20 minutos, como ocurre actualmente.

b) Entre dos horarios o dos declinaciones consecutivas, tabular su variación, según se indica en el Agregado N^o 2.

c) Tabular todos los horarios, declinaciones y ángulos sidéreos en grados y fracción de grado (con precisión de milésimo de grado).

d) Seleccionar las 35 estrellas de mayor brillo y/o mejor ubicación y publicar una lista principal de ellas. Agregar una segunda lista con las restantes estrellas potencialmente aptas para navegar.

e) Dado que durante el periodo de transición a la computadora habrá usuarios que seguirán usando tablas, habrá que prever una solución para ellos. Las alternativas son:

— Agregar el nuevo almanaque propuesto, tablas de interpolación adaptadas a su nueva estructura, para corregir las alturas calculadas, y agregarle tablas para corregir las alturas observadas.

— Publicar dos almanaques: el actual almanaque náutico argentino, tal como está, y por separado el nuevo para computadoras.

— Publicar sólo el almanaque para computadoras, y los que sigan utilizando tablas que adquieran el almanaque náutico de la Armada de Estados Unidos (que está especialmente adaptado para la HO214 o la HO 229). Creemos que ésta es la mejor solución.

Sería conveniente, además, que los servicios hidrográficos proveyeran anualmente, junto con cada almanaque náutico, una cinta magnética conteniendo el programa estandarizado con las coordenadas de estrellas actualizadas (uno para cada trimestre).

Aclaraciones finales

a) Las computadoras de bolsillo, como las citadas, se complementan con:

— Un adaptador para grabar programas en cintas magnéticas cuyo costo es de aproximadamente 30 dólares.

— Una impresora (costo aproximado, 80 dólares), muy útil porque permite registrar, en una cinta de papel, todos los resultados que ésta va proveyendo. De este modo, siempre se tendrá a la vista lo necesario para analizar el trabajo si los resultados no son satisfactorios, o para utilizar más adelante.

b) Los precios y modelos anteriormente citados corresponden a lo que puede conseguirse en Santiago o Buenos Aires. Pero es muy probable que nuestros Agregados en Japón o en Estados Unidos puedan conseguir las mismas computadoras, o mejores, a precios mucho menores.

c) Si bien una computadora de bolsillo es potencialmente apta para resolver la mayor parte de los problemas técnicos u operativos que debe encarar un Oficial de Marina, al seleccionarse una computadora estandarizada para toda la Armada no debe pretenderse que en ella quepan simultáneamente todos los programas necesarios. Precisamente, por ser la computadora programable, y porque se supone que los Guardiamarinas egresarán instruidos en su uso, cada oficial introducirá en su computadora sólo los programas que en cada puesto necesite.

d) Cabe agregar que el empleo de computadoras de bolsillo para la resolución de los problemas clásicos de navegación, bastante extendido en muchos países, ha generado la aparición de profusa literatura especializada, en la que es dable encontrar fórmulas especialmente adaptadas para simplificar y agilizar los cálculos de navegación, y un sinnúmero de otras interesantes aplicaciones.

Entre esas publicaciones, es de especial interés mencionar *The calculator afloat*, de Henry Shufeldt y Kenneth Newcomer, editado por el Naval Institute Press.

Conclusiones

a) El sextante no ha muerto, sigue siendo útil como elemento de reserva.

b) Las tablas y formularios sí han muerto, reemplazadas por las computadoras de bolsillo, de costo aproximadamente igual.

c) La adopción de estas computadoras no sólo sirve para resolver este problema de navegación astronómica, sino también para:

- Resolver numerosos otros problemas técnicos y operativos a nivel de Guardiamarinas, oficiales o jefes.
- Aprender a programar y a prepararse para el uso de computadoras más complejas, con las cuales los jóvenes oficia-

les se encontrarán a poco de iniciar su carrera.

d) Sería conveniente que en cada Armada se adoptara oficialmente un modelo único de computadora de bolsillo, y que con ella se enseñara navegación y otras materias (no "además de", sino "en lugar de" las tablas de todo tipo, las cuales deberían retirarse del servicio).

e) Sería conveniente que los servicios hidrográficos proveyeran almanaques náuticos (AN) y cintas magnéticas específicamente previstos para el modelo de computadora y para el programa estandarizado que se adopte.

Agregado N° 1

PROCEDIMIENTO A SEGUIR POR EL USUARIO

Para resolver el cálculo astronómico con la computadora Casio FX 702 P, según programa del Agregado N° 2, se debe cumplir lo siguiente:

PREGUNTAS QUE VA PRESENTANDO LA COMPUTADORA Y RESULTADOS	SIGNIFICADO DE ESAS PREGUNTAS, O SEA, DATOS QUE EL USUARIO DEBE INTRODUCIRLE	OPORTUNIDAD EN QUE SE INTRODUCE CADA DATO, Y TIEMPO QUE ELLO INSUME
— — — —	Interruptor en "on". Mode 7 (si se usa impresora). F1 PØ	Al comenzar la tarea. 5 segundos.
EI? CR? EOM? LAT? LONG? RV? VEL? HMG REF?	Error de índice. Corrección del reloj. Elevación del ojo, en metros. Latitud estimada (+/-). Longitud estimada (+/-). Rumbo verdadero. Velocidad. Hora medida de Greenwich, de referencia, a la cual la computadora trasladará todas las rectas. Si se prevé un cambio de fecha, todas las horas (la de referencia y los "tops") que correspondan al día siguiente deberán introducirse como números mayores de 24 (Ejemplos: 0h 45m se introducirá así: F1 DEG (24,45), o bien: 24.75).	Poco antes de tomar alturas. Estos datos sirven para todos los cálculos de un mismo crepúsculo, por lo menos. 45 segundos/1minuto. Si se usa sextante a burbuja o giroscópico, debe adoptarse EOM = Ø
TOP?	HMG (sin corregir, en que se toma la altura.	Mientras se toman las alturas, inmediatamente después de cada una.

AI?	Altura instrumental.	20/30 segundos por altura.
N?	Número que identifica al astro: 1 a 60: estrellas de la lista. 65: estrella no listada pero conocida. 66: Astro desconocido. 67: Planetas, sol o luna.	
P/HMG 14, AHGT?	Para la HMG tabulada en el AN, entera en grados e inmediatamente anterior al TOP (en este ejemplo: 14 horas), introducir el horario que indica el AN (de Aries o del planeta, según se trate de una estrella o de un planeta, respectivamente).	Después de tomar la altura, usando el Almanaque Náutico. 20 segundos.
A partir de aquí se pueden presentar 4 alternativas, según el número identificador N que se haya introducido a la computadora:		
15 # A 123.2 #I-3.5	Si $N < 65$ (estrella de la lista, conocida): Este es el resultado que da la computadora: Número de la estrella Azimut. Intercepto o delta H.	
AS? D? 65 # A 123.2 #I-3.5	Si $N = 65$ (estrella conocida pero que no está en la lista): Angulo sidéreo. Declinación. Respuesta que da la computadora.	Inmediatamente después de introducido el horario, usando también el AN. 20 segundos.
AZ? 15 # A 123.2 #I-3.5 ? # AS 327 #D-17	Si $N = 66$ (astro desconocido): Azimut del astro. Respuesta si el astro está en la lista de estrellas (no sólo lo identifica, sino que también lo calcula). Respuesta si el astro no está en la lista: informa cuál es su ángulo sidéreo AS y su declinación D.	20 segundos.
VT?	Si $N = 67$ (planetas, sol o luna): <i>Minutos</i> de variación del horario en 1 hora, con su signo.	

	La variación promedio de 15 ° por hora ya está introducida en el programa. El valor de VT se obtiene comparando dos lecturas correspondientes a HMG enteras y consecutivas, pero se facilita mucho la tarea si el AN Lo publicara explícitamente, como ocurre con el AN de la Armada de Estados Unidos.	
D?	Declinación correspondiente a la HMG entera anterior.	Después de introducir el horario.
VD?	<i>Minutos</i> de variación de esa declinación, en 1 hora. También se obtiene del AN, y éste debería explicitarla, con su signo.	20 segundos si estos datos estuvieran explícitamente tabulados en el AN. Si no lo están, 2 minutos.
PH?	Paralaje horizontal (introducir cero para planetas exteriores o para el resto cuando no sea significativo).	ACLARACION: si se modificaran los AN y dieran las coordenadas en grados y fracción, VT y VD se medirían en milésimas de grados.
SD?	Semidiámetro (introducir cero para planetas).	
BORDE I/S?	Según a qué borde se haya tomado la altura, presionar las teclas "I" (inferior) o "S" (superior).	
67 # A 123.2 # 1-3.5	Respuesta dada por la computadora.	

A continuación se podrán trazar los azimutes y las rectas de altura, tarea que se simplifica notoriamente porque todos los azimutes tendrán un mismo origen (el centro de la rosa) y no será necesario efectuar ningún traslado, dado que todas las rectas ya están referidas a un mismo instante.

Agregado Nº 2

PROGRAMA PARA CALCULAR RECTAS DE ALTURA E IDENTIFICAR ASTROS

La primera columna es el número de cada instrucción.

La segunda columna es la instrucción en lenguaje Basic, dialecto Casio FX 702P.

La tercera columna son las aclaraciones para interpretar cada instrucción; las hacemos muy detalladas, a objeto de introducir en el arte de la programación a quienes no tienen ningún conocimiento previo; para estas personas hay más indicaciones en el Agregado Nº 3.

INTRODUCCION DE LOS DATOS GENERALES:

2 INP "EI", E,

Error de índice del sextante.

"CR", C,	Corrección del reloj.
"EOM", O,	Elevación del ojo en metros.
"LAT", F,	Latitud estimada (sur negativa).
"LONG", W,	Longitud estimada (este negativa).
"RV", R,	Rumbo verdadero del buque.
"VEL", V,	Velocidad del buque, en nudos.
4 INP "HMG REF", M,	Hora de referencia (de Greenwich, a la cual se desea trasladar o "navegar" todas las rectas que se tomen luego, según instrucción 38).

INTRODUCCION DE LOS DATOS PARTICULARES PARA CADA ASTRO:

6 INP "TOP", G,	HMG en que se toma la altura (sin incluir corrección C).
"AI", Q,	Altura instrumental, lectura del sextante.
"N", N,	Número que identifica el astro: 1 a 64: estrellas incluidas en la lista de instrucciones 101 y siguientes. 65: estrella conocida, pero que no esté en dicha lista. 66: astro desconocido. 67: planetas, sol y luna.

CORRECCIONES AL TOP Y A LA ALTURA OBSERVADA, COMUNES A CUALQUIER ASTRO:

8 G = G + C;	Corrección al top.
Q = Q + E - 0.029333 * SQR Q - 0.012 - 0.015 * TAN Q	Corrección por error de índice, por depresión de horizonte y por refracción.

INTRODUCIR EL HORARIO DESDE GREENWICH, TABULADO EN EL A.N., CORRESPONDIENTE A LA HORA ENTERA:

10 PRT "P/HMGT"; INT G; ", AHGT";	Presentar en el display la indicación de que hay que introducir el horario correspondiente a la hora entera ("INT" = ENTERO).
12 INP T	Del Almanaque Náutico, introducir el horario <i>tabulado</i> correspondiente a la HMG tabulada <i>entera</i> , anterior a la del top. El horario será el de Aries si se trata de una estrella, o el del sol, luna o planeta que corresponda (hasta aquí, horario <i>tabulado</i> , no exacto, con respecto a Greenwich).

DISCRIMINAR QUE TIPO DE ASTRO ES, PARA CORREGIRLE EL HORARIO Y LA ALTURA OBSERVADA, SEGUN CORRESPONDA:

14 IF N = 67 THEN 44	Si N = 67 se trata de planeta, sol o luna.
16 T = T + FRAC G * 15.04167 - W	Si no es lo anterior, es una estrella (conocida o no) o un astro desconocido, por lo cual hay que corregir el horario de Aries (que varía 15.04167 grados en una hora). T pasa a ser horario exacto, y al restarle W queda como horario local.

- 18 IF N = 66 THEN 70 Si es desconocido, pasar a la subrutina que la identifica.
- 20 IF N = 65; INP "AS", S, "D", D
: GOTO 26 Si es estrella conocida pero no está en la lista, o si no se desea usar ésta, hay que introducir los datos de ángulo sidéreo y declinación.
- 22 GSB N + 100 Si N no es 67, 66 ni 65, se trata de una estrella de la lista, y hay que ir a ella a buscar sus coordenadas.
- 26 T = T + S Al sumarle el ángulo sidéreo al horario de Aries, T pasa a ser el horario local de la estrella N o de la que no estaba en la lista (instrucción 20).

RESOLUCION DE LAS FORMULAS TRIGONOMETRICAS QUE DAN LA ALTURA CALCULADA Y EL AZIMUT

- 28 J = T Instrucción auxiliar impuesta por el lenguaje de máquina.
- 30 $H = \text{ARC SIN}(\text{SIN } D * \text{SIN } F + \text{COS } D * \text{COS } F * \text{COS } T)$ Ver figura de Agregado N° 4.
- 32 $A = \text{ARC COS}[(\text{SIN } D - \text{SIN } H * \text{SIN } F) / \text{COS } H / \text{COS } F]$
- 34 IF J < 180; A = 360-A

CALCULO DEL INTERCEPTO O DELTA HACHE, Y CORRECCION POR TRASLADO DEL BUQUE:

- 38 $Q = (Q - H) * 60 + V * (M - G) * \text{COS}(R - A)$ En el primer sumando Q pasa a ser el intercepto o delta hache en minutos (o sea, millas). El segundo lo corrige por el traslado del observador entre la hora de referencia M y la hora en que se tomó la altura, G.
- 40 SET F0 : PRT N; Presentar N sin cifra decimal.
SET F1 : PRT "A"; A; "I"; Q Presentar el azimut y el intercepto con una cifra decimal.
- 42 GOTO 6 Volver a la instrucción 6 para presentar el cálculo de la siguiente estrella (se supone que los datos introducidos en 2 y 4 no cambian).

PARA SOL, LUNA O PLANETAS: CORRECCION AL HORARIO Y A LA ALTURA OBSERVADA (POR PARALAJE Y SEMIDIAMETRO):

- 44 INP "VT", Z, *Minutos de variación del horario en 1 hora, +/- con respecto a los 15° promedio que ya están considerados en 46.*
- "D", D *Declinación tabulada correspondiente a la HMG entera.*
- "VD", X *Variación de esa declinación en 1 hora, en minutos.*
- "PH", P *Paralaje horizontal, en minutos.*
- "SD", U *Semidiámetro, en minutos.*

Conviene trabajar en minutos por la configuración actual de los AN. Pero si éstos llegaran a publicar coordenadas en grados y fracción, utilizaríamos milésimas de grado para VT, VD, P y SD. Consecuentemente, en las instrucciones 46, 48 y 66 habría que poner/1000 en vez de/60.

- 46 $T = T + \text{FRAC } G * (15 + Z/60) - W$ T, tabular de Greenwich, pasa a ser T exacto y local.
- 48 $Q = Q + P * \text{COS } Q/60$ Corrección por paralaje.
- 52 WAIT 5 Instrucción auxiliar para poder presentar lo que sigue.
- 54 PRT "BORDE S/I?" Pulsar las teclas "S" o "I", según la altura haya sido tomada al borde superior o al inferior.
- 56 B\$ = KEY
58 IF B\$ = "S" THEN 64
60 IF B\$ = "I" THEN 66 La computadora se mantendrá recorriendo el lazo cerrado 56, 58, 60, 62, vuelta a 56, y así indefinidamente, hasta que se apriete una de esas teclas.
- 62 GOTO 56
- 64 $U = U * - 1$ Si se usó el borde superior, el semidiámetro debe restarse.
- 66 $Q = Q + U/60$
- 68 GOTO 28 Con todas las correcciones ya efectuadas, se va a resolver las fórmulas trigonométricas.

RESOLUCION DE LAS FORMULAS TRIGONOMETRICAS PARA IDENTIFICAR UN ASTRO DESCONOCIDO:

- 70 INP "AZ", A Introducir el azimut.
- 74 $K = \text{ARC SIN} (\text{SIN } Q * \text{SIN } F + \text{COS } Q * \text{COS } F * \text{COS } K)$ K = declinación del astro desconocido; se usa esta letra para no confundir con la D de las estrellas de la lista.
- 76 $L = \text{ARC COS} [(\text{SIN } Q - \text{SIN } F * \text{SIN } K) / \text{COS } F / \text{COS } K]$ L = horario local del astro desconocido.
- 78 IF $A < 180$; $L = 360 - L$
- 81 $L = L - T$ Horario local del astro, menos horario local de Aries (T), igual al ángulo sidéreo del astro.

COMPARAR LAS COORDENADAS DEL ASTRO DESCONOCIDO CON LAS COORDENADAS DE LA LISTA DE ESTRELLAS:

- 83 FOR N = 1 TO 35 Dar a N valores sucesivos desde 1 hasta 35 (suponiendo que en la lista hay 35 estrellas).
- 84 GSB N + 100
- 85 IF $L > S + 3$ THEN 90
86 IF $L < S - 3$ THEN 90
87 IF $K > D + 3$ THEN 90
88 IF $K < D - 3$ THEN 90 Se pasa a la estrella siguiente si alguna de las coordenadas de la desconocida difiere en más de 3° con respecto a la correspondiente coordenada de la estrella con la cual se está comparando.

- 89 GOTO 26 Si pasó las 4 condiciones, es la estrella buscada y está en la lista, por lo cual se conocen sus coordenadas exactas, y yendo a 26 se puede calcular su azimut e intercepto.
- 90 NEXT N Si no cumple alguna de las 4 condiciones, pasar a la estrella siguiente.
- 91 SET F0:PRT"? D="; INT K;
" #AS="; INT L Si se acaba la lista sin haberse hallado coincidencia de coordenadas, presentar en el display un signo de interrogación y las coordenadas D y AS calculadas.
- 92 GOTO 6 Apretando "CONT" se puede comenzar otro cálculo.

LISTA DE ESTRELLAS

- | | | | | | | |
|-----|----|---|----|---|-----|---|
| 101 | S= | : | D= | : | RET | Los espacios en blanco son para introducir el ángulo sidéreo S y la declinación D de cada estrella. |
| 102 | S= | : | D= | : | RET | |
| 103 | S= | : | D= | : | RET | Si están en grados y minutos sexagesimales, cada valor debe ser precedido por F1 DEG. Ejemplo: declinación 17° 27'3 SUR se introducirá así: - F1 DEG (17,27.3). |
| 104 | S= | : | D= | : | RET | |
| 105 | S= | : | D= | : | RET | |
| 106 | S= | : | D= | : | RET | Lo más conveniente, para ahorrar memoria y para facilitar la introducción de datos, sería que el AN publicara las coordenadas en grados y fracción, en cuyo caso la declinación anterior se introduciría así: - 17.455 (los 27 minutos y 3 décimas sexagesimales pasan a ser 455 milésimas de grado). |
| 107 | S= | : | D= | : | RET | |
| 108 | S= | : | D= | : | RET | |
| 109 | S= | : | D= | : | RET | |
| 110 | S= | : | D= | : | RET | Se ahorrarían alrededor de 200 pasos de memoria si S y D se juntan en un solo número, D en la parte entera y S en la decimal, y luego se los discrimina mediante instrucciones INT y FRAC; dejamos esto como ejercicio para el lector. |
| 111 | S= | : | D= | : | RET | |
| 112 | S= | : | D= | : | RET | |
| 113 | S= | : | D= | : | RET | |
| 114 | S= | : | D= | : | RET | RET significa "retornar a la instrucción que sigue a GSB N + 100", o sea, a la 26 ó a la 35, según el caso. |
| 115 | S= | : | D= | : | RET | |
| 116 | S= | : | D= | : | RET | |

etc. etc.; la numeración debe ser correlativa, sin omitir ningún número; pueden incluirse hasta 35 estrellas en la Casio FX 702P, con lo cual se le agota la capacidad.

Si se desea reservar capacidad (aproximadamente 900 pasos) para resolver otros problemas, se deberá proceder así:

- a) Eliminar las instrucciones 22 y 101 y siguientes.
- b) Eliminar las instrucciones 83 hasta 90, dado que la identificación automática ya no es posible al desaparecer la lista de estrellas.
- c) Cuando la computadora pregunta "N?", introducirle el número 65; luego se le deberán introducir las coordenadas AS y D, que se obtienen en el AN (ver instrucción 20).

Es de hacer notar que esta lista de estrellas no es imprescindible, y es dudosa su conveniencia si hay que introducirla a mano y actualizar los últimos dígitos de cada coordenada una vez por trimestre, aproximadamente. Más aún si se supone que el uso será muy esporádico; y que cuando ello ocurra si no se dispone de esta lista dentro de la computadora sólo se pierden unos pocos segundos en consultar la lista del AN e introducir los datos de AS y D en la computadora.

La mejor solución sería que el Servicio Hidrográfico provea cintas magnéticas con el programa y la lista actualizada.

15Ø END

Agregado Nº 3

INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS PARA INTERPRETAR LAS INSTRUCCIONES DEL AGREGADO Nº 2

La computadora ejecutará sucesivamente, en el orden en que están numeradas, todas las instrucciones.

Al encontrar una instrucción INP se detendrá, esperando que el operador le introduzca un dato, y al serle introducido continuará la secuencia ("INP" es la abreviatura de "INPUT", o sea, "INTRODUCIR").

De igual modo, se detendrá en las instrucciones PRT (que significa IMPRIMIR ó PRESENTAR EN EL DISPLAY, datos o resultados).

La secuencia de ejecución indicada sólo se alterará cuando aparezcan instrucciones GOTO (Go To, o sea, "VAYA A ...") o instrucciones GSB (abreviatura de GO SUBROUTINA, o sea, "VAYA A LA SUBROUTINA...").

GSB tiene la particularidad de que la computadora vuelve a la instrucción que sigue a GSB cuando encuentra una instrucción RET (que significa "RETORNAR").

INSTRUCCION

SIGNIFICADO

INP	presentar en el display (o imprimir) el cartel que está entre comillas; y cuando el operador introduzca un número, adoptarlo como valor numérico de la variable (letra simple, sin comillas) que sigue a dicho cartel. (Si se omite el cartel entre comillas, la computadora presenta sólo un signo de interrogación).
PRT	presentar en display (o imprimir), el cartel que está entre comillas, y a continuación el valor numérico de la variable que sigue a dicho cartel.
*	es el signo de multiplicación.
/	es el signo de división.
=	<i>no</i> es exactamente el signo matemático de igualdad, aunque se le parece; significa: "asignar al miembro que está a la izquierda el valor que se indica en el miembro de la derecha". Si una misma letra aparece a la izquierda y a la derecha, esta última es el valor anterior de la variable; la de la izquierda es el nuevo valor actualizado. Ejemplo: $G = G + C$ significa: "Al valor que tenía la variable G sumarle C, y a este resultado designarlo con la letra G". Se usa este artificio porque las computadoras pequeñas admiten pocas variables (en este caso 26, cada una identificada con una de las 26 letras del alfabeto). Al agotarse las letras, hay que ir usando una misma con distintos significados. Así, T es al principio el horario tabulado, luego el horario exacto de Greenwich, luego el horario local.

Q comienza siendo la altura instrumental, luego la altura corregida, y finalmente el intercepto o delta hache.

Las letras que aparecen entre comillas no son *variables* que la computadora pueda usar para resolver fórmulas matemáticas; son *carteles* que se presentan en el display.

FRAC	significa "la fracción decimal del número que se indica a continuación".
INT	significa "La parte entera del número que se indica a continuación".
IF	significa "Si se cumple la condición que se indica a continuación"; seguido por THEN y un número significa "ENTONCES vaya a ejecutar la instrucción indicada por ese número".
;	es la separación entre diversas cosas que se desean <i>presentar</i> en el display (instrucción PRT).
,	es la separación entre diversos datos <i>sucesivos</i> que se desean <i>introducir</i> (instrucción INP).
:	es el símbolo usado para separar instrucciones que son distintas, pero que están puestas juntas bajo un mismo número.
SQR	significa "SQUARE", o sea, "RAIZ CUADRADA de la variable que se indica a continuación".
SET F	significa "presentar en el display los números con la cantidad de cifras decimales, redondeadas, que indica el número que sigue a F".
COS	coseno.
SIN	seno.
TAN	tangente.
ARC SIN o ARS	arco seno.
ARC COS o ARC	arco coseno.
ARC TAN o ART	arco tangente.
FOR	significa "PARA". Va asociada siempre con TO (que significa "HASTA") y con NEXT (que significa "SIGUIENTE" o "ASIGNAR EL VALOR SIGUIENTE A LA VARIABLE QUE SE INDICA A CONTINUACION").

Ejemplo: las instrucciones

```

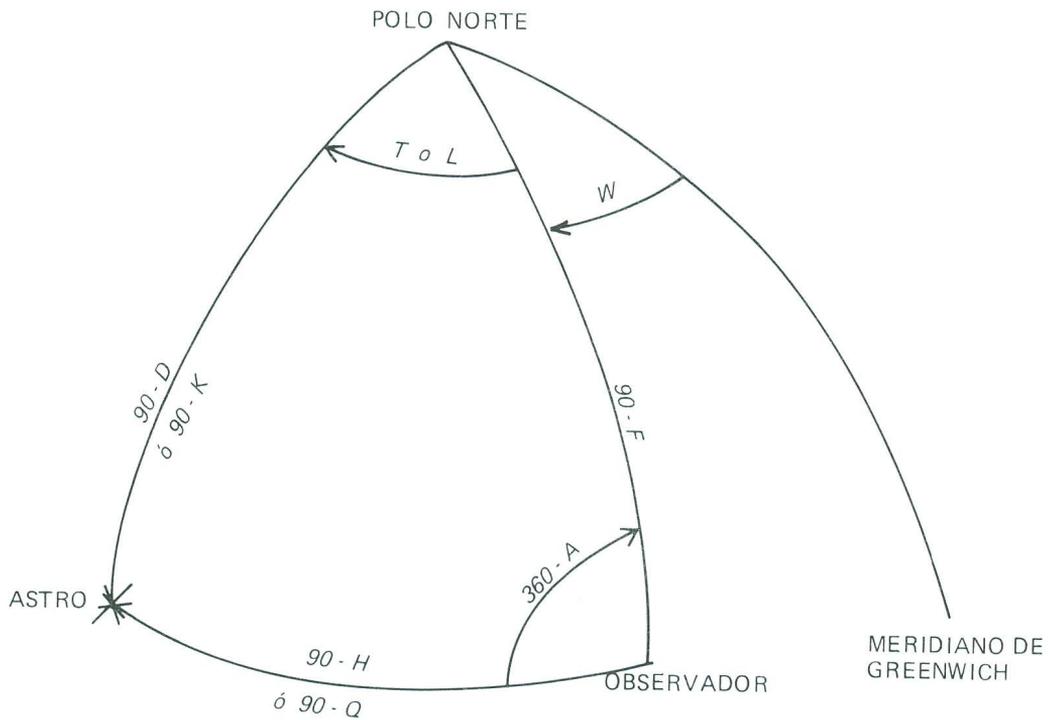
83 FOR N = 1 TO 35
    etc
    etc
90 NEXT N

```

Significan: "Asignar a N el valor 1 y ejecutar las instrucciones que siguen a FOR, hasta llegar a NEXT. Al llegar a esta última asignar a N el valor 2 y volver a la que sigue a FOR para repetir el ciclo. Repetirlo sucesivamente hasta que N = 35, y luego pasar a la instrucción que sigue a NEXT".

No obstante, la secuencia antes indicada se cortará si entre FOR y NEXT hay algún THEN condicionado por un IF, y esta condición se cumple; en este caso, se interrumpe el lazo FOR-NEXT y se pasa a ejecutar la instrucción cuyo número sigue a THEN.

Agregado N° 4



F = latitud estimada (sur negativa, norte positiva).
 W = longitud estimada (este negativa, oeste positiva).

K o D = declinación (sur negativa, norte positiva).
 L o T = horario local.

H = altura calculada.
 Q = altura observada.
 A = azimut.

PARA CALCULAR LA RECTA DE UN ASTRO CONOCIDO. Datos: D, F y T:

$$\sin H = \sin D \sin F + \cos D \cos F \cos T$$

$$\cos A = \frac{\sin D - \sin H \sin F}{\cos H \cos F}$$

PARA IDENTIFICAR UN ASTRO DESCONOCIDO. Datos: F, Q y A:

$$\sin K = \sin Q \sin F + \cos Q \cos F \cos A$$

$$\cos L = \frac{\sin Q - \sin F \sin K}{\cos F \cos K}$$



Leonardo Nats / 84