

# POR QUÉ Y CÓMO CALCULAR RECTAS DE ALTURA EN TRES SEGUNDOS Y SIN ESTAR ADIESTRADO

ORLANDO E. BOLOGNANI

Es obvio que el GPS supera al sextante en precisión, rapidez, simplicidad de uso y frecuencia (casi continuamente) con que permite situarse. Pero tiene estas desventajas:

- En caso de conflicto puede quedar fuera de servicio por daños físicos o interferencias que le provoque un enemigo, o las estaciones emisoras pueden transmitir en clave para negar su uso a potenciales enemigos.
- Como todo sistema electrónico complejo, puede presentar fallas tanto el sistema emisor (alguna vez ha ocurrido) como el receptor (también se registran casos).
- Existe la posibilidad, aunque por ahora parezca remota, de que el Gobierno de los EE.UU. llegue alguna vez a hacer el siguiente razonamiento: *La guerra fría terminó y nuestra seguridad ya no depende de misiles o aviones guiados por GPS, hemos invertido mucho en desarrollar sistemas inerciales que han alcanzado un alto grado de precisión y confiabilidad y son autosuficientes, el déficit presupuestario sigue siendo grave, los satélites GPS son muy caros y su lanzamiento y posterior control más caros aún. Por otro lado, tenemos un software que facilita enormemente el posicionamiento astronómico. Ergo: convendría no renovar los satélites GPS y reactivar el proyecto de la US Navy para desarrollar un sextante que permita ver el horizonte de noche o con niebla.*

Cabe acotar que ese proyecto de sextante nocturno realmente existe, aunque por el momento estaría en lista de espera, precedido por otros de mayor urgencia.

Por los citados motivos, el sextante y el cálculo de la posición basado en rectas de altura siguen sobreviviendo como recurso de reserva en casi todas las marinas del mundo. Incluso en la US Navy, que podría ser considerada como la institución propietaria de los sistemas electrónicos de navegación y sin embargo no sólo mantiene personal adiestrado en la toma de alturas sino que sigue perfeccionando el sextante.

## Por qué calcular con computadora

La experiencia demuestra que, desde que se impuso el GPS, la navegación astronómica se practica cada vez menos, aunque con esporádicos intentos de jerarquizarla. Los Jefes de Navegación ya no están, como antaño, eximidos de guardias para poder escuchar los tops horarios y calcular los dos crepúsculos, la meridiana y las rectas de la mañana y de la tarde.

Los buques de pequeño porte (pensemos en los innumerables pesqueros que navegan el Mar Argentino) normalmente no tienen a bordo personal idóneo para el cálculo manual.

*Pertenece a la Promoción 82 de la Escuela Naval. Es Aviator Naval. Prestó servicios, entre otros destinos, en el Servicio de Análisis Operativos y Guerra Electrónica, donde se capacitó como Analista de Doctrina y posteriormente fue Jefe Interino, con lo que adquirió conocimientos que le han permitido crear el programa Astros para navegación astronómica, tema central del presente trabajo. Actualmente se desempeña como Jefe del Servicio de Informaciones Académicas de la Escuela de Oficiales de la Armada.*

*Para reproducir este artículo se debe pedir autorización por escrito a la Dirección del Boletín del Centro Naval.*



BOLETÍN DEL CENTRO NAVAL

**Número 810**

Enero/abril de 2005

Recibido: 13.8.2001

Esa situación puede derivar en alguna varadura o accidente si en algún momento llega a ser realmente necesario situarse astronómicamente. Con el método de “poner proa al noroeste hasta avistar la costa” pueden llegar a tocarla antes de avistarla.

No es en la toma de alturas, sino en el cálculo y en el dibujo, donde está el meollo del problema. Las reglas de signos, las consultas a diversas tablas, las engorrosas interpolaciones y demás complicaciones típicas del método manual insumen mucho tiempo y aumentan la probabilidad de cometer errores. Esto origina una barrera psicológica difícil de superar: una tarea lenta, engorrosa, frecuentemente ingrata en sus resultados y de utilidad no inmediata, no es atractiva para los oficiales jóvenes que saben, por haberse formado ya dentro de una cultura informática, que en el mundo actual todo puede hacerse con mayor precisión, seguridad y rapidez si se usa una computadora. ¿Por qué no el cálculo astronómico? Esta pregunta me la hicieron cadetes del último año de la Escuela Naval y ha sido el incentivo para desarrollar el programa Astros. Esos cadetes llegaron al Servicio de Informaciones Académicas de la ESOA buscando un software que les resolviera los engorrosos cálculos que se les avecinaban en el viaje de instrucción. No tenían ni la más remota idea de si ese software realmente existía, pero no les cabía la más mínima duda de que tenía que existir. Esto podría tomarse como una muestra de la mentalidad imperante en la oficialidad joven, pareciera que no pueden concebir que actualmente haya algo que no se pueda hacer con computadora.

Por otro lado, hay un agravante en la situación actual basada en el cálculo manual: siendo tan dificultoso, los superiores que deben supervisarlo y evaluarlo se ven en peores dificultades que el evaluado.

Entonces, ya que inevitablemente tendremos dificultades para mantener oficiales bien adiestrados en el cálculo y dibujo tradicionales, lo mejor es adoptar un sistema que delegue ese engorroso cálculo y dibujo en una computadora. Éste es precisamente el objetivo del programa Astros, que no sólo asegura la determinación de la posición en el mar con mayor precisión, seguridad y rapidez, sino que hace innecesario el adiestramiento en el cálculo y en el dibujo (por la sencilla razón de que todo el cálculo y el dibujo lo hace el programa) y facilita enormemente el adiestramiento en la toma de alturas y su correspondiente evaluación. Esto se profundiza al final, en el párrafo titulado “Algo más sobre el adiestramiento”.

Pero además hay otras razones para preferir el cálculo con computadora.

Un juego de tablas HO 229 y el almanaque náutico resultan tan caros como una PC, ocupan más lugar y no sirven para ninguna otra cosa. Más aún: el costo de la computadora puede considerarse nulo, dado que normalmente ya estará amortizada por otros usos. Cualquier buque, aun los más pequeños, suelen tener alguna PC a bordo, mientras que hay muchos que no cuentan con personal idóneo en el cálculo manual aunque alguna ley diga que deben tenerlo.

Visto desde el lado del Servicio de Hidrografía Naval, para obtener las coordenadas celestes, imprimirlas, encuadernar y distribuir el Almanaque Náutico de un solo año se necesita el trabajo de varias personas durante varios meses, mientras que obtener las coordenadas de 5 años para el Astros y ponerlas en la Red Informática Naval o en Internet (lo que equivale a hacerlas llegar hasta el usuario), o copiarlas en CD o disquetes comunes que sólo cuestan 2 pesos, basta con el trabajo de una persona durante una o dos semanas. La proporción es de 50 a 1, tanto en esfuerzo como en costo monetario.

Un argumento en contra de las computadoras suele ser que pueden fallar o que sus pilas se pueden agotar. Esto es poco consistente, porque lo que caracteriza a todo Oficial de Marina es la previsión y no la negligencia, y siempre habrá a bordo pilas y computadoras de repuesto (que además avisan cuando las pilas comienzan a perder voltaje y basta con enchufarlas a la red común para recargarlas).

### Cómo funciona el programa Astros

Hago aquí un paréntesis para rendir un modesto homenaje, un reconocimiento, a nuestra Escuela Naval. Cuando transcurridos más de 40 años desde que tuve contacto por última vez con la navegación astronómica y me vi obligado a refrescar conocimientos para encarar el proyecto Astros, recurrí a los viejos libros del profesor Virgile y allí encontré todo lo necesario. Algo amarillentos, pero de una calidad tipográfica comparable a los mejores de hoy día, y de una calidad intelectual admirable. Recién ahora vengo a darme cuenta de esto, de joven no supe apreciarlo.

Pero volvamos al Astros. Se basa en el método de Saint Hilaire y sigue la secuencia tradicional: determinar la corrección absoluta, calcular la hora del crepúsculo, hacer el programa de observación, registrar tops y alturas, calcular acimut y delta hache, dibujar las rectas y finalmente apreciar la calidad del punto obtenido y corregir lo que haga falta.

Ha sido diseñado de tal modo que cada una de esas tareas pueda hacerse con sólo pulsar una tecla, pues se usará preferiblemente con PC portátiles que a la vez cumplen el rol de cronómetros, en el mismo lugar donde se toman las alturas, y en tales condiciones el uso del ratón puede resultar incómodo o impreciso. No obstante, el programa también permite usar ratón, cronómetros externos y PC de escritorio.

Los documentos que contienen los razonamientos, fórmulas matemáticas y algoritmos utilizados como base de la programación están digitalizados en un CD ROM que contiene además los archivos de instalación del programa (ver nota). A continuación sólo se explica lo que ve el navegante en la práctica.

**Nota del editor:**  
 Este CD puede requerirse al Boletín, a la direcciones que figuran en portada.

De entrada el programa presenta una pantalla para determinar la corrección absoluta, que omito mostrar en aras de la brevedad. Esa corrección queda memorizada, de modo que no es necesario hacerla en cada cálculo.

Luego presenta la pantalla para introducir los datos y visualizar los resultados, que se muestra en la Figura 1. Nótese que en cada botón figura el nombre de una tecla de función (F2, F3, F4, Escape, etc), es decir que cada tarea puede hacerse clickeando ese botón con el ratón o bien pulsando la tecla correspondiente.

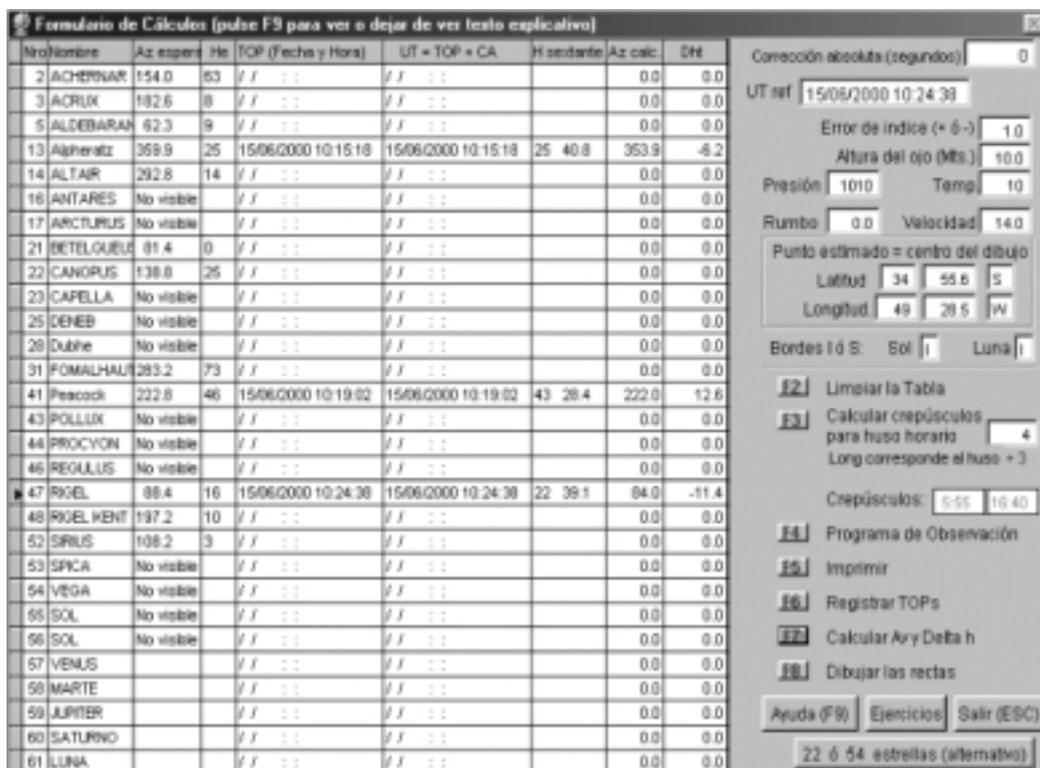


Figura 1

Todos los datos del último cálculo efectuado quedan memorizados y aparecen al entrar al programa, de modo que no será necesario escribir los datos que casi nunca cambian, como corrección absoluta, error de índice, altura del ojo, temperatura y presión estándar. Lo que se ve en la Figura 1 corresponde al momento en que el navegante (o su ayudante) ya ha hecho lo siguiente:

- Ha pulsado F2, para limpiar la tabla, o sea borrar los tops y alturas viejos.
- Ha sobrescrito los datos iniciales que suelen ser distintos para cada cálculo (rumbo, velocidad, posición estimada y huso horario). El programa le ha advertido que está usando un huso que no corresponde a la longitud, pero el navegante ha decidido dejarlo así.
- Ha pulsado F3, con lo que instantáneamente aparece la hora oficial de los 2 crepúsculos.
- Ha sumado mentalmente el huso a la hora del crepúsculo (vespertino en este ejemplo) y ha escrito ese valor como UT ref (hora de referencia de Greenwich a la cual quedará referido el cálculo siguiente). Este valor no es el que se ve en la figura, porque ésta corresponde a un instante posterior.
- Ha pulsado F4, con lo cual se han llenado instantáneamente las dos columnas de la izquierda, que son el programa de observación.
- Ha pulsado F5 (esto podría omitirlo) para imprimir ese programa de observación y usarlo para identificar astros o verificar rumbo.
- Ha señalado el renglón del astro que se va a colimar (Alpheratz).
- Ha pulsado F6 cuando escuchó al sextantista gritar el top. Al hacerlo, el programa va a buscar la hora al reloj de la PC, la escribe como TOP, suma TOP + CA, escribe ese valor en la columna UT y en la casilla UT Ref, y pone el cursor en la columna “H sextante”
- Ha escrito la altura correspondiente al top, en la citada columna.
- Ha repetido los 3 pasos anteriores para Peacock, y luego para Rigel. Nótese que el top de Rigel, el último registrado, ha quedado también como UT ref.
- Ha pulsado F7, con lo cual el programa corrige las 3 alturas por error de índice, depresión, refracción, paralaje y semidiámetro, pero esto no aparece a la vista. Además consulta la fecha-hora, entra a las tablas de coordenadas y calcula los 3 azimutes (columna “Az calc”) y los 3 delta hache (columna “Dht”), siguiendo casi los mismos pasos que el típico formulario de cálculo manual, pero no muestra ninguno de esos resultados intermedios, ni siquiera la altura calculada, porque no son necesarios, lo único que finalmente interesa es el Azimut y el delta hache. Todo esto ocurre instantáneamente; piense el lector cuánto tiempo insume el método manual para hacer lo mismo.

El delta hache se denomina “Dht”, expresión que pretende significar “Delta Hache trasladado” pues incluye la corrección por traslado del buque entre una y otra toma de alturas. El instante al cual se trasladan es UT Ref, que normalmente será igual al UT del último astro registrado (como ocurre en este ejemplo), pues el programa lo escribe automáticamente cada vez que el operador pulsa F6, pero puede sobrescribir cualquier otro.

Si los azimutes y delta hache obtenidos muestran valores que no inspiran confianza, siempre se estará a tiempo de tomar nuevas alturas o verificar lo que fuere necesario. Dado que los valores obtenidos en el ejemplo parecen razonables, el paso siguiente consiste en pulsar la tecla o el botón F8. Al hacerlo aparece el dibujo de las rectas que puede verse en la Figura 2.

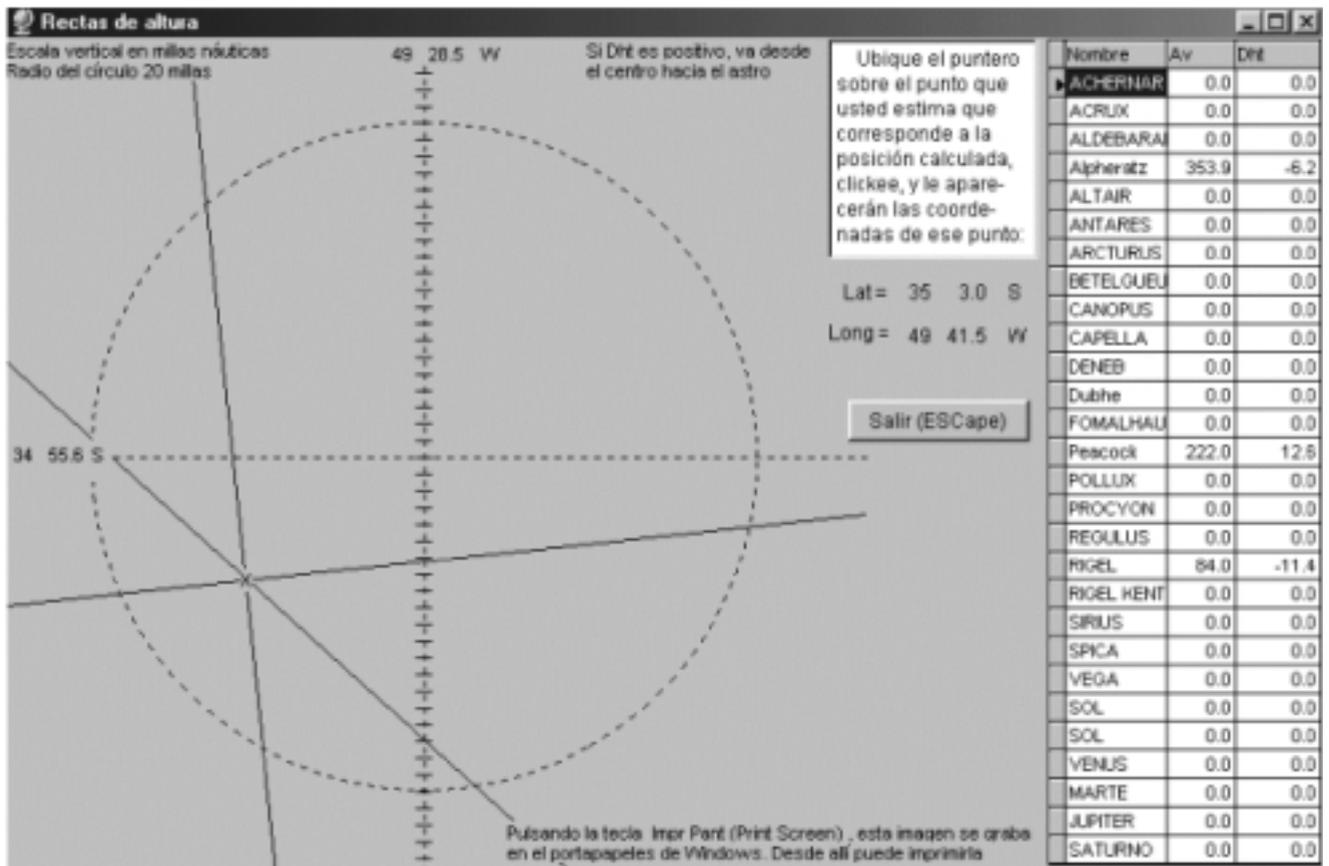


Figura 2

### Comparación con otros sistemas

Suponiendo que con lo dicho al principio ha quedado justificada la necesidad de seguir calculando rectas de altura y de hacerlo con computadoras, queda por justificar por qué hacerlo con el programa Astros. Ya he escuchado 3 objeciones a este programa, hechas por personas que no lo conocían, en conversaciones informales que no pueden ser consideradas como un análisis concienzudo del problema, pero pueden ser tomadas como referencia para debatirlo.

La primera objeción es que el problema ya estaría resuelto con calculadoras de mano, tipo Hewlet Packard o Tamaya. La respuesta es que estas pequeñas calculadoras presentan las siguientes desventajas:

- No dibujan las rectas, que es la parte más engorrosa y con más alta probabilidad de errores. Esto solo bastaría para desecharlas, pero hay también otras razones, que se exponen en los párrafos siguientes
- Tienen una pantalla tan pequeña que obliga a ir introduciendo los datos de a uno, cada nuevo dato hace desaparecer de la vista a los anteriores, y finalmente el resultado impide ver los datos que lo sustentan. Esto hace perder la necesaria visión de conjunto y sobre todo la apreciación de errores y de su influencia en la calidad de la posición obtenida.
- Su software es rígido, no puede adaptarse a necesidades o circunstancias cambiantes.
- Se basan en un almanaque náutico digital que va perdiendo actualidad o precisión con el paso de los años. Esto obliga a renovar los chips especiales que contienen ese almanaque. Esos chips son caros, no fáciles de conseguir, y es dudoso que las empresas que los fabrican los sigan produciendo si no encuentran compradores.

- No pueden ser usadas como cronómetro, como lo hace el Astros.
- Son caras. Aunque el precio sea comparable al de las computadoras comunes, éstas están tan difundidas y se usan para tantas otras cosas que ya están amortizadas, su costo podría considerarse nulo.
- Aunque parezcan rápidas, seguras y precisas si se las compara con las viejas tablas y formularios manuales, las calculadoras de mano resultan imprecisas, inseguras y lentas si se las compara con el programa Astros.
- Para aprender un sistema, lo deseable es que cada alumno o par de alumnos tenga la herramienta necesaria. El costo de tener una calculadora por alumno es inaceptable, mientras que con las PC comunes esto ya casi es un hecho, sumando las que pertenecen a la Institución y las personales.
- Aun disponiendo de una calculadora por alumno, sus cualidades didácticas son casi nulas. Esto se comprenderá mejor al llegar al párrafo “Cualidades didácticas del Astros”.

La segunda objeción es que el problema ya estaría resuelto con otros programas para PC. Por ejemplo, uno llamado “Cap’n”. La respuesta es que son productos comerciales, no los provee gratuitamente ningún Servicio Hidrográfico, sino que hay que pagar por ellos. Además, es dudoso que sus vendedores sigan proveyendo anualmente las coordenadas de los astros, y son de difícil manejo comparados con el Astros. Lamentablemente existe la creencia generalizada de que cualquier software importado es mejor que lo que podemos hacer los hombres de la Armada, pero hay muchas muestras de que no es así.

Y aunque fuera cierto que existen otros programas aptos (si alguien conoce alguno, le pido que me lo informe) ..... ¿no nos queda ya ni una pizca de originalidad, estamos condenados a ser eternamente imitadores? ¿Por qué no aprovechar el gran potencial de nuestro Servicio de Hidrografía Naval, que desde hace más de un siglo es el representante de nuestro país en los foros mundiales que marcan la evolución de la Hidrografía y la Oceanografía, y de nuestro Servicio de Análisis Operativos y Guerra Electrónica que ha permitido a la Armada mantenerse al día ante la irrupción de la tecnología informática y ha realizado trabajos originales como el Adiestrador Táctico que ahorraron millones de dólares al erario público? ¿Por qué privar a nuestros cadetes de tener el orgullo de pertenecer a una Armada que tiene capacidad como para crear sus propios sistemas en lugar de copiarlos?

La última objeción es que el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina ya provee un programa para cálculo astronómico, denominado Onbapla. La respuesta es que este programa ha sido sólo un ensayo inconcluso, pues no incluye coordenadas de estrellas (esto solo bastaría para desecharlo) ni de luna, y se suspendió su desarrollo al hacerse evidente que el rápido progreso de la informática lo había tornado obsoleto. Fue hecho con un lenguaje y técnicas de programación de hace 10 años que ya no pueden sostenerse. En computadoras modernas no funciona, y en computadoras viejas, aunque funciona, su manejo es tan dificultoso como el cálculo manual, o quizá más, como suele ocurrir con los programas de antaño. Por el contrario, el Astros está hecho con la última versión del MS Visual Fox, quizá la mejor y más difundida herramienta actual para programar y manejar bases de datos, producida por la principal empresa informática del mundo, lo que garantiza su futuro.

### **Necesidad de coordinación entre unidades y organismos**

Cuando el programa Astros sea aceptado por la Armada (ya sea de manera oficial o, simplemente, por preferencia de los usuarios como ya está ocurriendo), caerán en desuso las

actuales tablas, formularios impresos, almanaques náuticos y los capítulos de los libros de texto que enseñan el cálculo astronómico manual. Pero antes que esas venerables publicaciones pasen a los museos como pasaron las tablas de logaritmos, extraigamos de ellas las últimas enseñanzas: debemos advertir la coherencia que siempre existió entre lo que se enseñaba en la Escuela Naval y en la Escuela Nacional de Náutica, las publicaciones que proveía el Servicio de Hidrografía Naval, y los elementos que se usaban a bordo.

Es deseable que se mantenga esa coherencia. Si se adopta el cálculo electrónico propuesto, la Escuela Naval y la Escuela Nacional de Náutica deberían seguir enseñando los fundamentos de la Astronomía Náutica, pero apuntando directamente al cálculo con computadora, dejando de lado el cálculo manual como dejaron de lado el cálculo por logaritmos cuando aparecieron las primeras tablas de reducción de alturas. Ganarían un tiempo precioso que permitiría, sin necesidad de aumentar las horas de clase, aumentar significativamente la cantidad de alturas medidas y el tiempo que los alumnos dedican a la evaluación o autoevaluación de los resultados con el consiguiente afianzamiento de su criterio náutico.

Esas Escuelas tendrían que editar nuevos libros de texto para esta enseñanza, que seguramente resultarán muy parecidos a lo que puede verse en los documentos explicativos que se incluyen en los archivos de instalación del programa Astros. Por su parte, el Servicio de Hidrografía Naval tendría que proveer el programa Astros, y cada 3 o 5 años las tablas digitales de coordenadas celestes.

Pero ambas cosas, el aprendizaje de los alumnos y la provisión de elementos de cálculo, no deberían ser “además de”, sino “en lugar de” los viejos libros de texto, tablas, almanaques y formularios, que deberían ser retirados del servicio, pues en caso contrario en lugar de ahorrar tiempo y gastos se conseguiría lo opuesto.

Con respecto a los buques, hay muy poco que decir: sólo deberán tener una PC común (que seguramente ya la tienen), y cada 3, 4 o 5 años, en pocos minutos, bajar por Internet o por la RINA la versión actualizada del programa. No más interpolaciones, reglas de signos, formularios, tablas, almanaques impresos ni trámites administrativos ni viajes hasta la oficina donde los proveen.

### **Algo más sobre el adiestramiento**

Obviamente, al decir “adiestramiento” se sobreentiende que es el de toma de alturas solamente, porque con el Astros no se necesita adiestramiento para el cálculo y el dibujo. Como todo adiestramiento, el de toma de alturas requiere una evaluación, y la única forma de hacerlo consiste en disponer de un sistema que permita al evaluador calcular fácil y rápidamente las alturas tomadas por el evaluado y constatar si las rectas pasan por el punto donde en realidad está situado.

Pero.... ¿cómo saber dónde estaba realmente situado el buque en el momento de cada top? Si el punto de observación se va trasladando durante la toma de alturas, por mejor GPS que tenga siempre habrá problemas de sincronismo. Para que el evaluador sepa dónde está situado realmente, lo mejor es que esté en un punto bien conocido en tierra (o junto al muelle). Por lo tanto, y aunque parezca paradójico, el adiestramiento primario para situarse en el mar debiera hacerse en puerto, no en el mar. Recuerdo que, en la década del 50 por lo menos, en la Escuela Naval los cadetes practicaban toma de alturas desde la terraza del edificio de estudios, dado que desde allí se veía el horizonte del Río de la Plata.

En cualquier caso, el desarrollo de una práctica y su evaluación sería aproximadamente el siguiente:

- El evaluado entra al programa Astros, verifica la corrección absoluta, introduce los datos iniciales, hace el programa de observación y selecciona e identifica a los astros que bajará.
- El evaluado entrega la PC al evaluador y toma el sextante.
- El evaluado informa el nombre del astro que va a colimar, y el evaluador pone el cursor de la PC en el renglón correspondiente a ese astro.
- El evaluado grita el top, y al escucharlo el evaluador pulsa F6.
- El evaluado lee la altura instrumental tomada.
- El evaluador escribe el dato de la altura y pulsa F7. Instantáneamente le aparecerán el Azimut y el delta hache, que debiera ser cero dado que el punto estimado coincide con el real. Si no es cero, el valor del delta hache será la medida del error cometido, con su signo. A partir de aquí, podrá rastrear la causa del error, o aceptarlo si está dentro de límites razonables.

Nótese, en el último paso de la secuencia anterior que, paradójicamente, al que le correspondió “calcular” no es al evaluado sino al evaluador, porque el “cálculo”, que con el método tradicional demora media hora y es la etapa fundamental del problema, con el programa Astros sólo consiste en pulsar una tecla, y es irrelevante quién la pulsa.

Si le pareció exagerado el título de este artículo cuando dice “calcular en 3 segundos”, estuvo acertado... pero posiblemente no en el sentido de la exageración, porque en realidad lo exagerado es decir “3 segundos” cuando habría que decir “una fracción de segundo”.

Hay otra forma de evaluar, que consiste en comenzar con un punto estimado cualquiera, registrar los tops y alturas, y luego ir con la PC portátil al GPS, introducir la hora actual como UT de referencia y pulsar F7 - F8, y aparecerá dibujado un punto que debe coincidir con el del GPS.

### **Cualidades didácticas del Astros**

Las imágenes de las pantallas pueden archivar en el portapapeles de Windows pulsando la tecla “Imprimir Pantalla”. Luego, tomándolas de dicho portapapeles con un procesador de textos cualquiera, pueden incluirse en monografías o textos explicativos, o entregarse impresas al profesor o evaluador que deban calificar un trabajo.

Todos los datos están permanentemente a la vista, y se pueden cambiar, volver a calcular y dibujar las rectas en forma instantánea para luego analizar los resultados o debatir por qué ocurre cada cosa. Un profesor puede crear un ejercicio en pocos minutos siguiendo estos pasos: escribir fecha y punto estimado, pulsar F3 para calcular horas de crepúsculos, luego F4 para calcular el programa de observación, copiar las alturas esperadas como alturas instrumentales, y luego calcular y dibujar con distintos valores de tops, alturas y posición hasta obtener, por aproximaciones sucesivas, lo que necesite obtener para su objetivo didáctico.

Entre los evaluadores hubo acuerdo en que los fundamentos de la navegación astronómica deben seguir enseñándose como hasta ahora. Pero las opiniones se dividen con respecto a la práctica necesaria para afirmar los conocimientos teóricos. Hay quienes opinan que debe continuarse con el método manual tradicional, pues si usara el Astros la Escuela Naval “*estaría formando chimpancés que aprietan teclas sin saber por qué lo hacen*” (sic). Por otro lado, están los que opinan que con el método manual el cadete sólo aprende a interpolar, técnica que no le servirá de nada en la era de las computadoras y le insume tanto tiempo y esfuerzo que pierde el panorama general, lo que dificulta o im-

pide analizar a fondo los resultados del cálculo, análisis que es lo más valioso para ejercitar el criterio náutico o el arte de navegar.

Aún no puede decirse mucho sobre las cualidades didácticas del Astros, por falta de experiencia. No obstante, el lector puede hacerse una buena idea de ello con los siguientes ejemplos, que son parte de ejercicios cuyo texto y datos aparecen al pulsar el botón “Ejercicios”, en un recuadro que no impide ver el resto del formulario y escribir sobre él, de modo que el usuario puede ir ejecutando realmente cada paso guiándose con el texto del ejercicio que siempre tiene a la vista.

**a) Simulación de un error sistemático en el cronómetro o en su corrección absoluta**

Si se escribe - 60 segundos en lugar de cero como corrección absoluta, y se vuelve a calcular y a dibujar, se obtiene un corte perfecto, igual al de la Figura 2, en la misma latitud, pero corrido 15 minutos de longitud hacia el este. Un arco de 15' de longitud equivale a un minuto de tiempo, que fue el error sistemático introducido adrede. Obviamente, puede ponerse cualquier otro valor de CA.

**b) Simulación de errores en la medición de alturas**

Volviendo a los datos iniciales, pero poniendo un error de índice de 1'5 en lugar del correcto que era 1', se obtiene el resultado que podemos ver en la Figura 3. Es decir que en lugar de un corte perfecto, las tres rectas determinan ahora un triángulo. Si apreciamos visualmente el punto medio de ese triángulo y lo marcamos con el ratón, veremos que las coordenadas resultan ser prácticamente las mismas que en el caso inicial.

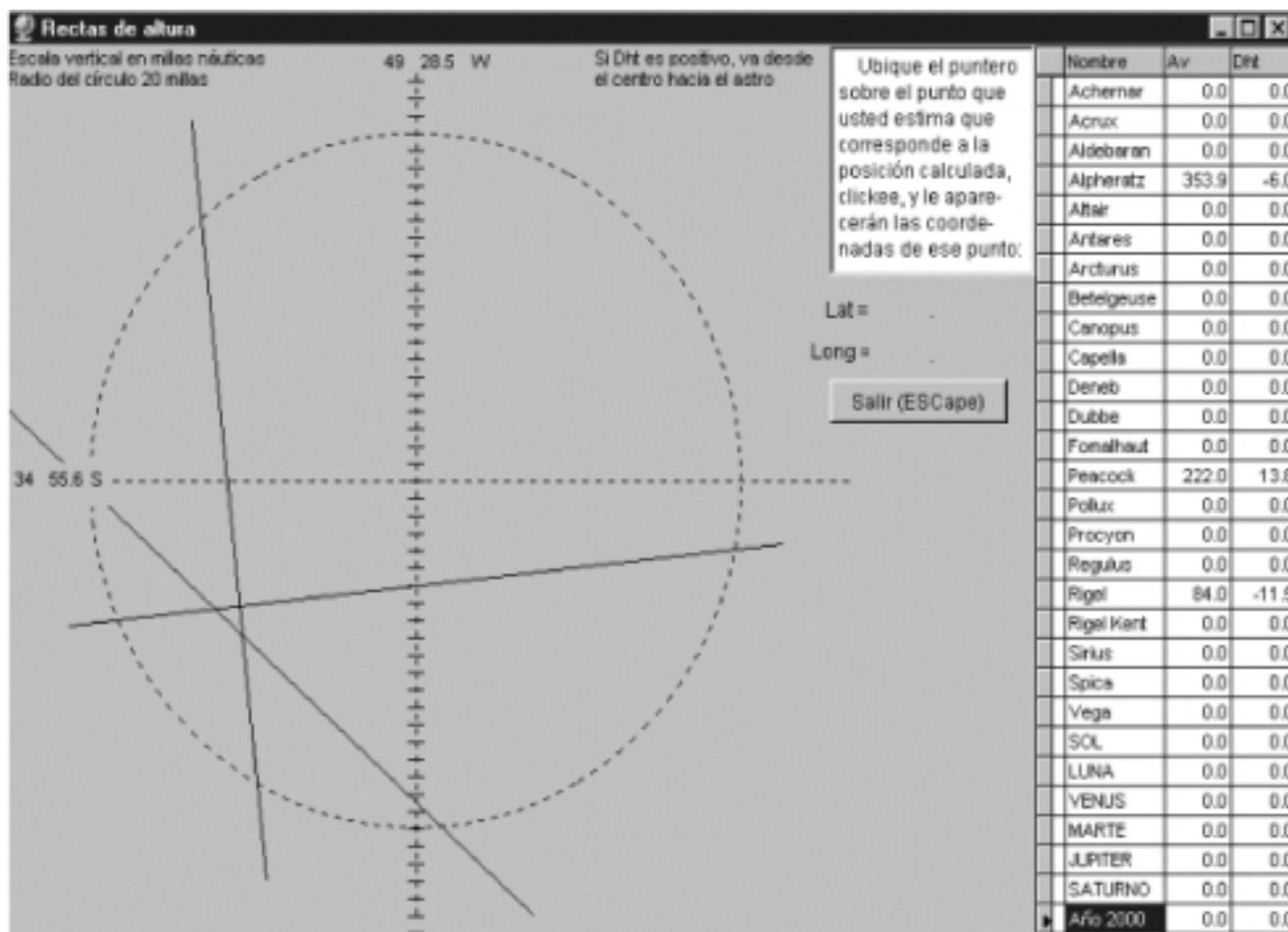


Figura 3

Ejemplo de un error sistemático en las alturas medidas

**c) Simulación de un error grande en el punto estimado**

Volviendo a los datos iniciales, pero escribiendo como latitud del punto estimado 35° 40' (mucho más al sur que el real), se obtiene lo que podemos ver en la Figura 4: el corte de las rectas ha quedado fuera de la pantalla, hacia el nor-noroeste, como lo indica la convergencia de las 2 rectas que se ven. Además, mirando en la tabla los Azimutes y Delta Hache, se deduce fácilmente que la recta que no aparece es la de Alpheratz, que está prácticamente al norte y a 37 millas del punto estimado, lo que confirma el lugar hacia donde convergen las otras dos.

Para ver el corte hay que pulsar ESC para volver al formulario de datos, y escribir una latitud estimada unas 35 o 40 millas más al norte (milla más o milla menos no interesa). Luego volver a calcular y a dibujar, pulsando F7 y F8, y se verán aparecer las 3 rectas cortándose dentro de la pantalla, en un punto cuyas coordenadas resultan ser las mismas que en el caso inicial, aunque esté ubicado en otro sector del dibujo (porque el centro de la rosa es otro).

Es obvio que esta demostración, que con el Astros demora unos pocos segundos, con el método manual es prácticamente imposible por lo engorroso y lento que sería calcular y dibujar 6 rectas.

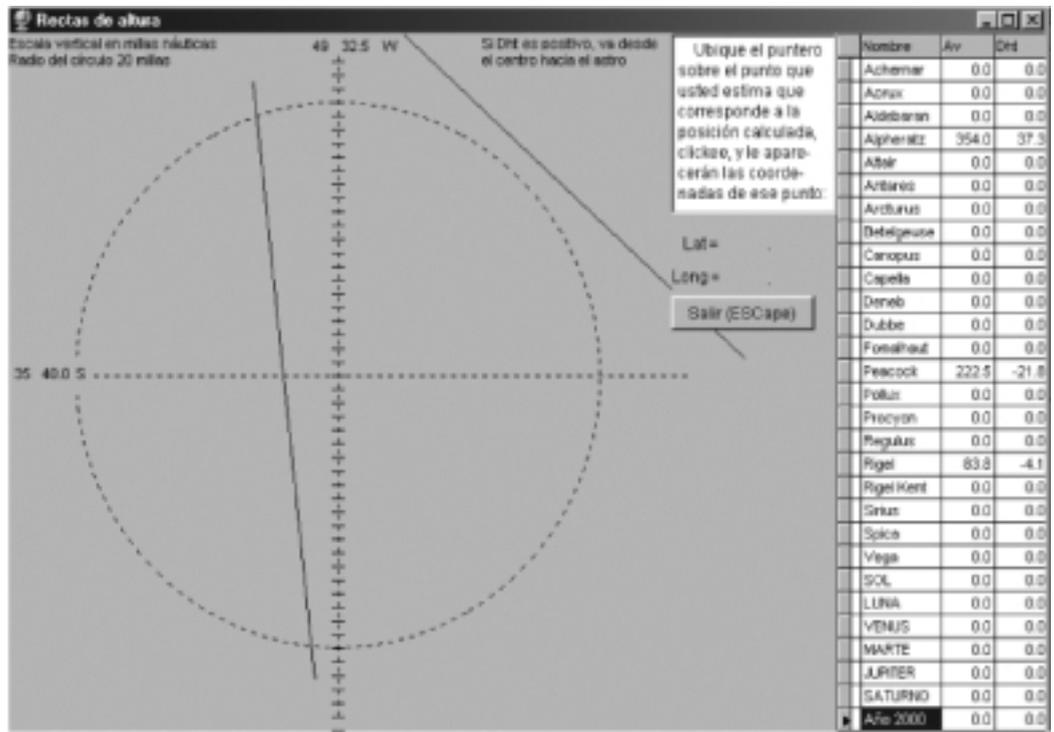


Figura 4  
Ejemplo de un punto estimado muy alejado del real

**Pruebas efectuadas al Astros**

Este programa ha sido evaluado calculando 14 rectas de estrellas, 3 de sol y 4 de planetas con el procedimiento manual tradicional (Almanaque Náutico, Tablas HO 229 y dibujo), cubriendo latitudes, longitudes y declinaciones de todos los signos. Los resultados se cotejaron con los obtenidos con el Sistema Astros, comprobándose que hubo coincidencia en todos los casos.

Pese a ser una creencia generalizada que las Tablas HO y el Almanaque son perfectos (y por eso se usaron para evaluar el Astros), teóricamente tienen una probabilidad de fallas

mucho mayor. Para producir las tablas se usa la misma fórmula que usa el Astros, pero éste contiene en su software un solo ejemplar de esa fórmula, siempre usa la misma aunque con distintos valores que introduce el usuario, y si la resolvió bien una vez la resolverá bien siempre. En cambio las tablas no son otra cosa que esa misma fórmula repetida miles de veces con valores redondos, más otros cálculos para los factores de interpolación (que el Astros no necesita, todo lo calcula con exactitud). O sea que cada número que aparece en las tablas es producto de un cálculo independiente cuyo resultado luego queda en manos de un dactilógrafo o empleado de imprenta.

El Astros también ha sido evaluado en navegación, cotejando la posición que calcula con la posición obtenida en el mismo instante con GPS, siendo siempre la diferencia menor a una milla. Como se sabe, el GPS puede tener un error errático introducido adrede por sus administradores, que sólo puede ser anulado disponiendo de la clave correspondiente.

Desde otro punto de vista, lo dicho en el párrafo precedente puede considerarse también como una verificación del GPS. Es decir que el Astros permite volver a la vieja costumbre de todo buen Jefe de Navegación de determinar la posición con todos los métodos posibles, un sondaje incluido, cotejar unos con otros, si hay discrepancias averiguar por qué y finalmente aceptar o desechar lo que corresponda. La falla puede estar en cualquiera de los métodos o sistemas.

Por otro lado, siempre sigue siendo necesaria la tradicional verificación de rumbo, cada 4 o 6 horas, y para hacerla hay que recurrir a la navegación astronómica. En esto el Astros superó al GPS y al cálculo manual durante la citada navegación de prueba. Resultó especialmente útil el programa de observación del Astros que permite identificar con facilidad a cualquier astro que aparezca a la vista y simultáneamente determinarle su azimut verdadero.

Los citados cálculos de evaluación no fueron hechos por el creador del programa, sino por personal idóneo de diversas unidades y organismos de la Armada. Al comienzo de esa tarea algunos evaluadores cometieron errores en los cálculos manuales que supuestamente iban a servir para controlar el programa, debido a que el uso continuo del GPS les había hecho perder la práctica en el cálculo manual. Poco después esto fue superado, pero se invirtieron los roles: el Astros ahora se toma como referencia para controlar los cálculos manuales (si es que se siguen haciendo).

### **Obtención de las coordenadas celestes de los astros**

Esto es importante porque las coordenadas disponibles actualmente alcanzan sólo hasta el 31 de diciembre de 2005, ya sea para el Almanaque Náutico o para el Astros. Por ende, hay que ir previendo cómo obtener las de fechas posteriores.

Cada observatorio astronómico se especializa en cierto tipo de tareas y luego intercambian información. La información referente a las coordenadas de los astros es compilada por el United States Naval Observatory (USNO), sito en Washington.

La misión del USNO consiste principalmente en proveer información astronómica de diversos tipos al Ministerio de Defensa y a otros entes civiles y militares de los EE.UU., por ejemplo la NASA. Pero las coordenadas de los astros son provistas a todo el mundo por medio de un software denominado MICA (Multiplayer Interactive Computer Almanac), que permite obtener las coordenadas celestes de todos los astros para cualquier hora y con la periodicidad deseada, en forma de tablas en lenguaje ASCII, pero sólo hasta el 31 de diciembre de 2005. Es público, el USNO lo cede a una empresa privada para que lo comercialice. Puede adquirirse por Internet, su costo es de 25 dólares.

Está hecho con viejas técnicas de programación, y los datos que provee tienen el forma-

to típico para ser reproducido en impresos, en forma de tablas (grados y minutos sexagesimales, u horas, minutos y segundos de tiempo). Pero los usuarios que deben resolver fórmulas trigonométricas los necesitan en radianes, y entonces el actual formato MICA les complica la programación.

El MICA es la fuente de coordenadas tradicionalmente usada por los Servicios de Hidrografía para producir Almanagues Náuticos y, además, por otros usuarios para sus fines particulares (por ejemplo, empresas que hacen cartografía).

Las coordenadas que genera el MICA, precisamente porque están destinadas a usuarios muy diversos, contienen muchos más datos que los necesarios para navegación astronómica. Por ello deben ser procesadas por cada usuario para obtener el formato y los datos que cada uno necesita. En tal sentido, el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Argentina dispone de un adecuado software complementario y de personal idóneo que año a año prepara y edita el típico Almanaque Náutico impreso. Paralelamente con la preparación del Almanaque 2001 ha producido con el MICA las coordenadas de todos los astros hasta el 31 de diciembre de 2005, a pedido del autor de este trabajo, quien por su parte desarrolló el software necesario para transformarlas al formato que requiere el programa Astros.

### **Tablas precalculadas versus fórmulas que las generan**

Mi idea original era que el Astros calculara las coordenadas en cada instante directamente con fórmulas matemáticas. Pero se me hizo muy difícil encontrar personas que pudieran asesorarme sobre esas fórmulas, que desconozco totalmente. Entonces aprecié que perdería mucho tiempo para obtenerlas y luego para aprenderlas y transformarlas al lenguaje de programación, y por ello decidí imitar al conocido Almanaque Náutico, es decir utilizar tablas de coordenadas precalculadas en lugar de las fórmulas que las calculan.

Esto trajo aparejado un inconveniente: esas tablas precalculadas que acompañan al Astros agrandan los archivos de distribución a los usuarios, y por ende la demora para transmitirlos por Internet o por la Intranet de la Armada. Por eso se incluyeron sólo las coordenadas de los años 2001 y 2002 en la versión del Astros actualmente en uso, pese a que ya están disponibles las tablas hasta el 2005 inclusive. Se comprobó que la transmisión del programa y coordenadas 2001-2002, a través de la Intranet de la Armada, entre destinos lejanos, demora aproximadamente 8 minutos. Esto ocurrió en horas de la mañana, cuando el uso de la Intranet suele ser más intenso.

### **Futuro incierto para el Almanaque Náutico**

No tenemos la certeza de que dispondremos de las coordenadas a partir del 2006. Ni para el Astros ni para el Almanaque tradicional.

Existe la posibilidad de que el USNO decida no seguir editando el MICA, por considerar que sólo sirve para Almanagues Náuticos impresos y que no se justifica que éstos sigan editándose en la era de la informática y del GPS. Si eso llega a ocurrir, el Almanaque Náutico y por ende el cálculo manual directamente desaparecerán, pero el Astros podrá sobrevivir, aunque habrá que conseguir las fórmulas que generan las coordenadas celestes. Ya he consultado a observatorios astronómicos, pero me dicen que su misión no es calcular coordenadas sino observar astros, y para observar sólo necesitan saber dónde está el astro en determinado instante pero no pueden perder tiempo en ponerse a calcular eso con fórmulas, simplemente lo averiguan con almanagues, con el MICA o con otros programas que usan esas fórmulas pero no las muestran, sólo dan los resultados.

Si usted, estimado lector que ha tenido la paciencia de llegar hasta aquí, sabe algo sobre

esas fórmulas matemáticas y quiere participar en el futuro perfeccionamiento del Proyecto Astros e inscribir su nombre en el mismo, le ruego se comunique con quien esto escribe. Quizá podamos formar en el Centro Naval una peña o mesa, que podría llamarse “la peña del sextante” o algo parecido. Esta peña, incorporando miembros relativamente jóvenes mantendría actualizado el Astros y lo transmitiría a las generaciones futuras.

## Conclusiones

- 1 El cálculo de rectas de altura sigue teniendo vigencia para determinar la posición en el mar, como sistema de reserva y para verificar al GPS.
- 2 El cálculo astronómico sigue siendo imprescindible para verificar rumbo, y en esto el Astros supera no sólo al cálculo manual sino también al GPS.
- 3 El navegante tendrá notorias ventajas en rapidez, precisión, seguridad, economía y facilidad de adiestramiento, si calcula y dibuja las rectas de altura con el programa Astros en lugar de hacerlo con el sistema manual.
- 4 Si el Servicio de Hidrografía Naval adoptara el Astros y cancelara los almanaques náuticos y tablas HO 229 tendría las siguientes ventajas:
  - Gran economía de tiempo y recursos, tanto en la producción como en la distribución del servicio de apoyo a la navegación astronómica.
  - Futuro de la navegación astronómica asegurado aunque fenezca el software MICA en 2005.
  - Aumentarían sus clientes, pues existen muchos buques que no practican navegación astronómica por no tener personal que pueda hacer el cálculo manual, pero podrían practicarla al tener la posibilidad de simplificarla notoriamente usando el Astros.
  - No perdería ningún cliente, pues no existen buques que no puedan tener una PC a bordo.
  - Aumentaría su prestigio al presentar un producto moderno y original en lugar de otro obsoleto.
- 5 El cálculo manual induce a cultivar el obsoleto arte de interpolar, mientras que el Astros induce a cultivar el preciado arte de navegar. Si las Escuelas que enseñan navegación astronómica (incluido el buque escuela) apuntaran su enseñanza y práctica hacia el Astros y anularan el cálculo manual, ganarían muchas horas que, dedicadas a tomar alturas y analizar los resultados, redundarían en un significativo aumento del criterio náutico de los cadetes.  
Para ello deberían modificar los libros de texto de navegación astronómica. El programa Astros en sí mismo, y la documentación que lo acompaña (incluido el presente trabajo), pueden servir como base de los nuevos libros de texto. ■

## ANEXO

## Qué hacen otras armadas sobre navegación astronómica

Siempre es interesante saberlo, pero las revistas usuales dicen poco o nada al respecto, señal de que el tema no despierta mucho interés. No obstante, la revista *Naval Aviation News*, nov-dic 2000, publica una foto que muestra a un suboficial tomando alturas en el superportaaviones USN *Lincoln*. El texto correspondiente a la foto sólo dice que este hombre ha sido elegido como el mejor sextantista de la flota, pues el objetivo de la revista no es hablar del sextante sino distinguir al personal que se ha destacado en su respectiva especialidad. Pero con esa foto, y con vagas referencias verbales dadas por oficiales de nuestra armada que embarcaron en unidades de la US Navy, pueden hacerse algunas inferencias verosímiles:

- El buque mejor equipado del mundo y perteneciente al país dueño del GPS sigue usando sextante. Esto corrobora que la navegación astronómica no ha muerto.
- El sextante muestra un adminículo para apoyarlo en la nariz, lo que indicaría que no sólo no ha muerto sino que se sigue perfeccionando. Ese apoyo serviría para sostener el sextante con mayor firmeza y con ello mejorar la precisión, y además para evitar que el operador se empotre el visor en el ojo durante un rolido.
- El hombre que toma alturas, por su grado y edad, difícilmente tenga conocimientos de navegación astronómica, lo más probable es que sólo sepa colimar, gritar el top y leer la escala. Pero por eso mismo lo más probable es que lo haga diariamente y por ende con mucha eficacia pues siempre estaría adiestrado.
- Tratándose de la US NAVY, altamente tecnificada y eminentemente práctica en todas sus cosas, es de suponer que ese suboficial introducirá los datos en alguna computadora, quizás en el sistema de comando y control del buque, donde algún software ad-hoc dibujará las rectas. Luego, un oficial con criterio náutico apreciará su precisión y cotejará los resultados con otros sistemas de posicionamiento.
- La toma de alturas ha llegado a ser un moderno “juego mariner”, sin perjuicio de seguir siendo también operativamente útil. ■

