

XIX COPINAVAL 2005

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CÁLCULO E IMPRESIÓN DEL ALMANAQUE NÁUTICO EN CUBA.

Autor(s): MSc. Ing. Jorge Alberto Martín Ferrer

Academia Naval "Granma",
Micro X, Alamar, Habana del Este, Ciudad de La Habana, Cuba
Teléfono: 93 9671 y Fax: 93 9676

Resumen

El Almanaque Náutico (AN), es una publicación anual dedicada a la predicción del movimiento de los astros que navegan en la bóveda celeste. Es utilizada fundamentalmente para la determinación de la posición de un buque en la mar durante la navegación al observar a los cuerpos celestes con mayor brillantez. Esta publicación es un medio auxiliar para garantizar la seguridad del buque en la mar, por lo cual la Organización Marítima Internacional (OMI), exige tener a bordo el ejemplar del año en curso. Internacionalmente es producida por muy pocos países, entre los cuales tenemos los EEUU junto a Gran Bretaña (al cual llamamos AN Inglés), España, y Rusia, como los más reconocidos. En el país, se ha utilizado tradicionalmente el AN Inglés por nuestro personal de la flota, y es un medio de enseñanza utilizado en la Academia Naval, en el cual se ha entrenado por más de tres décadas los marinos que cursan estudios tanto de la marina de pesca, mercante y guerra. Nuestro Almanaque Náutico se comenzó a producir desde el año 2003, comenzando a ser utilizado en las navieras a partir del año 2004 hasta nuestra fecha, ya siendo instituida oficialmente. Los algoritmos programados poseen una excelente exactitud, los cuales se han comprobado en la práctica y verificado los resultados del posicionamiento terrestre por comparación con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) a bordo del buque escuela durante las prácticas de estudio. Su elaboración se realiza por la propia institución con un año de antelación, suministrando un ejemplar a la empresa GEOCUBA, quien corre a cargo de su producción.

SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CÁLCULO E IMPRESIÓN DEL ALMANAQUE NÁUTICO EN CUBA.

1 Introducción

El Almanaque Náutico es producida Internacionalmente por muy pocos países, entre los cuales tenemos la coproducción realizada por el Observatorio Naval de los EEUU y el Almirantazgo Inglés, el AN de España; así como, las efemérides astronómicas de Rusia. Otros países como México, Nueva Zelanda, Brasil, Suecia y otros, reproducen el AN Inglés, tal como se recoge en Royal[22], al igual que hicimos nosotros hasta hace ya dos años. La Academia Naval con el fin de mejorar la preparación y con ello los resultados en el proceso de enseñanza aprendizaje, ha llevado a cabo una colosal remodelación de la tecnología existente, capaz de soportar las exigencias planteados por la Organización Marítima Internacional (OMI) y de esta forma garantizar el certificado por el Sistema de Gestión de la Calidad alcanzado en el año 2000 y revalidado en el 2003.

Dado el bloqueo existente por más de cuatro décadas, nuestro país no ha podido adquirir con tiempo suficiente los ejemplares necesarios para ser suministrados a los buques de las navieras de la pesca, mercante y la marina de guerra, así como a otras instituciones del país. A esta problemática se le sumaba el precio de costo por la adquisición de un ejemplar con un valor de 75 libras esterlinas (£), multiplicado por la cantidad para satisfacer las necesidades nacionales. Por esta razón se comenzó un trabajo de investigación para obtener los algoritmos del movimiento de los astros con el menor error posible en el año 1988, el cual se ha potenciado con la adquisición de los nuevos medios de cómputo y los avances alcanzados por las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (NTIC).

Uno de los aportes con las NTIC, es haber logrado el desarrollo de los procedimientos y algoritmos para el cálculo e impresión del Almanaque Náutico en nuestro país con una elevada precisión, tras haber desarrollado inicialmente cuatro sistemas de cómputo en un período de 11 años. Estos sistemas permitieron validar los algoritmos para resolver la posición espacial de los diferentes astros, los cuales son los datos de partida para obtener otros cálculos de interés, y que se suministran para elaborar esta publicación especializada, según se expresa en Harman[13,14].

2 Materiales y Métodos

2.1 Acerca del Almanaque Náutico

En las regulaciones del Convenio Internacional sobre Normas de Formación, Titulación y Guardia de la Gente de Mar, se establece la determinación de la posición durante la navegación por observaciones astronómicas. Una de las publicaciones náuticas de mayor importancia para este fin, lo constituye el Almanaque Náutico, editado fundamentalmente por autoridades navales o hidrográficas de diferentes países o a solicitud de las mismas, tal como se expresa por el Colectivo[6,7,8,9].

El Servicio Hidrográfico y Geodésico de la República de Cuba y la Academia Naval "Granma", presentan hasta la fecha la segunda edición, correspondiente al año 2005, la cual cumple con los parámetros que aseguran la exactitud requerida en la determinación de la posición astronómica y en las tareas auxiliares, empleando para ello la aplicación **ALMANAT**.

El sistema computarizado **ALMANAT** (Versión 2.01), ha sido mejorado con respecto a su versión anterior, y ha permitido vincular sus resultados con otros sistemas para viabilizar su presentación.

Contiene todo el sistema formular y algoritmos matemáticos necesarios para realizar las predicciones de la posición espacial de los astros para cualquier año. Esto permite la edición anual de esta Publicación. Náutica; así como, elaborar las páginas diarias y tablas de alturas que se muestran en la publicación, las que han sido concebidas en la Academia Naval "Granma". Ello está en correspondencia con el plan de estudio de la asignatura Astronomía Náutica, lo que permite su uso para dar solución a problemas de posicionamiento espacial de los astros en tiempo real, y otros datos que se muestran según el índice como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Índice de la publicación.

Autor
Colaboradores
Acerca del Almanaque Náutico
Índice General
Artículo Cultural
<i>Explicación</i>
1 Objetivos
2 Descripción del Almanaque Náutico
2.1 Datos generales
2.2 Contenido de las páginas diarias
2.3 Tablas
2.3.1 Tablas de correcciones a las alturas observadas (T_2, T_3, T_4, T_5)
2.3.2 Tablas de interpolación I y II
2.3.3 Tabla de la estrella Polar
2.3.4 Gráficos
3 Empleo del Almanaque Náutico
3.1 Convenio de los signos
3.2 Cálculo del ángulo horario local y declinación de Sol, Luna y Planetas
3.3 Cálculo del ángulo horario local y declinación de estrellas
3.4 Orto, Ocaso y Crepúsculos
3.5 Hora de a bordo del paso por el meridiano
3.6 Correcciones aplicables a las alturas
3.7 Determinación de la latitud por la estrella Polar
3.8 Fases de la Luna
3.9 Rectas de Altura

Las explicaciones poseen, además, los ejemplos con datos reales y en los que se basa el plan temático para la impartición de la asignatura por parte de los profesores en los cuales se *calculan las coordenadas de los astros* y son mostradas en las páginas diarias.

Por consenso en reunión metodológica de la cátedra y considerando varias encuestas realizadas a los oficiales de puente de nuestra marina, se modificaron algunos elementos en las páginas diarias. En las páginas de la izquierda se muestra la posición de los planetas, aries y las estrellas; mientras que en las páginas de la derecha se muestra la posición del Sol y la Luna, con sus momentos de orto (salida), ocaso (puesta) y los crepúsculos (con determinada altura por debajo del horizonte). De esta forma se mejora la entrada a la misma y se logra una identidad nacional adicional, que difiere del AN Inglés.

2.2 Cálculo de las coordenadas de los astros

Para situar un punto en la esfera celeste al igual que en un plano o en el espacio se utilizan los sistemas de coordenadas. Tal como se recoge en Alexandrovsky[2], Boudtich[4,5], Dutton's[10], Moreu[21], Iglesias[16] y TUN[25], los sistemas de coordenadas en la esfera celeste se construyen con relación a dos círculos mutuamente perpendiculares de la esfera, similares a la latitud y la longitud en la tierra.

De los cinco sistemas coordenados celestes conocidos en Astronomía esférica, en Astronomía Náutica se utilizan:

- 1)- Eclíptica (Lat, Long).
- 2)- Ecuatorial (AR, Dec): Con sus dos sistemas.
- 3)- Horizontal (Az, h).

Se utilizan las coordenadas:

1)- Eclípticas: Para situar un astro en este sistema se toman como círculos principales el primer máximo de longitud y la eclíptica, y como coordenadas la Latitud (Lat) y Longitud (Long) celeste. Este sistema de coordenadas lo emplean los astrónomos para estudiar el movimiento propio de los astros y por esto lo refieren muchas veces al centro del Sol, considerado como centro de la esfera celeste.

2)- Ecuatoriales: Existen dos sistemas de coordenadas ecuatoriales, ellos están orientados en el espacio con respecto al eje del mundo.

2.1- Primer sistema: Para situar un astro por el primer sistema de coordenadas, se toman como círculos principales el meridiano del lugar y el ecuador celeste, como punto principal el polo elevado (nodo ascendente), y como coordenadas del sistema el Ángulo Horario (AH) y la Declinación (Dec).

2.2- Segundo sistema: También se conoce como coordenadas uranográficas. Para situar un astro se toman como círculos principales el ecuador celeste y el meridiano que pasa por el punto Aries, y como coordenadas la Ascensión Recta (AR) y la Declinación (Dec).

3)- Horizontales: Está orientado en el espacio con respecto a la línea vertical del lugar. Para situar un astro mediante este sistema se toman como círculos principales el Meridiano del lugar o del observador y el horizonte, y como coordenadas el Azimut (Az) y la Altura (h).

El cálculo de estas coordenadas permiten situar al observador en coordenadas geográficas a partir de calcular las posiciones medias de los astros en el espacio, lo que se demuestra durante las clases y las prácticas de estudio empleando el Almanaque y los sistemas computarizados elaborados que con posterioridad se hace referencia. Para ello es necesario realizar el *cálculo de las correcciones y lograr precisiones en el tiempo* lo más exactas posibles.

2.3 Correcciones a los astros. Precisión – Tiempo

La precisión que daremos a conocer, está reflejada al realizar dos transformaciones de coordenadas; es decir, al llevar desde las coordenadas eclípticas a coordenadas ecuatoriales, tal como se recoge en Iglesias[16], Martín[20] Tamaya[23], Royal[22]. Para ello se consideró que en:

- LUNA: Para determinar la posición espacial de nuestro satélite natural se consideraron más de 50 correcciones al movimiento medio de las coordenadas eclípticas celestes. Esto nos permitió lograr una precisión de $\pm 0.3'$.

- SOL: Para determinar la posición espacial del astro rey de nuestro sistema solar se consideraron las correcciones al movimiento medio de las coordenadas eclípticas celestes para obtener su movimiento verdadero, y se llevaron dichas coordenadas al movimiento aparente. Esto nos permitió lograr una precisión de $\pm 0.1'$.

- PLANETAS: Se calcularon los elementos de los nueve planetas del sistema solar (las coordenadas del planeta Tierra son las mismas que las del Sol visto para un sistema heliocéntrico), de los cuales se utilizan en la navegación como puntos de referencia 4 (Marte, Venus, Júpiter y Saturno); así como Mercurio, el cual es visible en el momentos de ocurrencia entre los crepúsculos Náutico y Civil teniendo en cuenta su magnitud de brillo. Para determinar la posición espacial de los planetas de nuestro sistema solar se consideraron las correcciones al movimiento medio de las coordenadas eclípticas celestes para obtener su movimiento verdadero, y se llevaron dichas coordenadas al movimiento aparente. Esto nos permitió lograr una precisión de $\pm 0.5'$.

- ESTRELLAS: Se calcularon los elementos de 1398 estrellas, en las que se encuentran incluidas las 58 estrellas navegables. Para determinar la posición espacial de las estrellas se consideraron las correcciones a las coordenadas ecuatoriales referidas para J2000 como punto de partida, las correcciones aplicadas fueron por precesión, nutación y aberración. Esto nos permitió lograr una precisión de $\pm 0.1'$.

La tercera transformación de coordenadas se realiza para determinar la posición del observador en el globo terrestre. Para ello se necesita por lo menos la observación a dos astros cualesquiera para lograr la intersección de dos rectas (Rectas de Alturas), luego se procede a calcular las coordenadas ya sea grafo – analítica ó de forma automatizada empleando el algoritmo basado en el método de las tangentes, tal como recoge Alvarez[1], Alexandrovsky[2], Boudtich[4,5], Dutton's[10], Moreu[21], Iglesias[16], Inmarsat[17] y Transas[24].

Con las transformaciones logradas, se ha podido calcular otros elementos que se utilizan empleando para ello los siguientes software: Sol, Luna, Planetas y Estrellas, como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2. Elementos calculados empleando las aplicaciones Sol, Luna, Estrellas y Planetas.

Cálculo de los Momentos	Programas de cómputo (Versión 3.0)			
	SOL	LUNA	ESTRELLAS	PLANETAS
Fases de la Luna.		x		
Eclipses de Sol.	x			
Eclipses de Luna.		x		
Eventos astronómicos.	x	x	x	x

Estos sistemas computarizados junto al sistema ALMANAT, han facilitado lo siguiente:

1. Realizar cálculos astronómicos puros para la docencia – investigación, lo que permite su utilización en clases para demostrar procesos acerca del astro de referencia.
2. Permite situar la posición del buque en la mar por diversos métodos, lo que posibilita corregir nuestra derrota.
3. Su ayuda brinda la información necesaria que nos permite ampliar nuestra cultura general e integral.
4. Brindan un significativo aporte económico dado por su ahorro en tiempo y divisa para adquirir sistemas con este perfil (no los hay comercialmente), ya que lo que se comercializa es la publicación y no el software.
5. En cualquier caso se sustituyen viejos sistemas de cálculo.
6. Posibilitan mejores resultados.

Conclusión

Podemos concluir que este sistema tiene un impacto militar, económico y social, al analizar lo planteado en Gárciga[12] y Ley[19]:

- ✓ Militar, La publicación en tiempo de:
 - ◆ Paz: Método **efectivo**, ya que nuestros antiguos pudieron llegar a diversas partes del mundo durante sus travesías empleando métodos de astronomía, y por lo cual la Organización Marítima Internacional (OMI) mantiene vigentes.
 - ◆ Guerra: Además del visto ya en tiempo de paz; tenemos la **no-dependencia** de sistemas radioelectrónicos (Radares y Sistemas de Posicionamiento Global: GPS) que puedan ser interferidos por el enemigo para situar la posición del buque.

- ✓ Económico: Bajo el principio de su empleo militar en tiempo de paz, la aplicación ha contribuido a la elaboración de los planes gráficos de salida al mar de los buques con **precisión** (minimiza los errores cuadráticos medios de la posición fija al emplear sistemas de cómputo) y **prontitud**, los cuales son indispensables para la realización de una travesía; y permiten a su vez garantizar el control de las posiciones **evitando** con ello **varaduras ó accidentes** que puedan ocasionar pérdidas de vidas humanas, así como miles de millones de dólares en pérdidas a la economía nacional por concepto del buque y la carga que se lleva a bordo. El **ahorro en divisa** por concepto de adquisición de los almanaques necesarios para satisfacer la demanda nacional o de un sistema que brinde estas posibilidades, lo cual **no se comercializa**.

- ✓ Social: Contar con una publicación en tiempo que posibilite la preparación de todo el personal marino o vinculado a la astronomía, con sus respectivos ejemplos mostrado de forma ilustrativa. Permite a su vez enriquecer el acervo cultural de la población a partir de los datos que se muestran.

Bibliográfica

- 3 Alvarez Rodriguez, Amancio. Sistema de Posicionamiento. 97. Conf. ICH. Cuba.
- 4 Alexandrovsky V.V., 1995: "Navegación". MIR, URSS.
- 5 Bermejo Ortega, J. C., 2000. "Glonass Acierto o desacierto para el usuario". Artículo.
- 6 Bowditch Nathaniel, Edición 1973: "American Practical Navigator an Epitome of Navigation, Volume I, Defense Mapping Agency Center.
- 7 Bowditch Nathaniel, 1995: "American Practical Navigator an Epitome of Navigation, Volume I, Defense Mapping Agency Center. Pub. 9.
- 8 Colectivo de autores de la Cátedra de Navegación, 1985: "Fundamentos de la teoría de errores y su utilización en la navegación". Academia Naval "Granma", Cuba. Colectivo de autores de la Cátedra de Navegación, 1980: "Indicaciones Metodológicas para la realización de los Proyectos de Curso de Navegación". Academia Naval "Granma", Cuba.
- 9 Colectivo de autores de la Cátedra de Navegación, 1993: "Navegación de estima, costera y electrónica". Tomo I. Academia Naval "Granma".
- 10 Colectivo de autores de la Cátedra de Navegación, 1993: "Navegación de estima, costera y electrónica". Tomo II. Academia Naval "Granma".
- 11 Dutton's, 1978: "Navigation".
- 12 Fondevila Ayala, J. 2003: "Sistemas satelitales de Navegación", Academia Naval "Granma", Imprenta Academia de las FAR General "Máximo Gómez Báez".
- 13 Gárciga, Rogelio Marrero, 1989: "Elementos de contabilidad y costo para ingenieros". Editorial Pueblo y Educación año.
- 14 Harmon, S. Y., 1998: "Bibliography of Verification, Validation, Evaluation and Testing of Knowledge-Based Systems", Defense Modeling and Simulation Office, Alexandria, VA, 1998.
- 15 Hofmann-Wenllenhof, B., 1994: "GPS Theory and Practice", Springer-Verlag, New York, EEUU.
- 16 Iglesias Campillo, Mario; J.A. Martín Ferrer; E. González Rebellés, 2004: "Navegación", Edimar, GEOCUBA, Cuba.
- 17 Inmarsat, 1994: "Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima". ICH. Cuba.
- 18 Ley 38: "Ley de Innovación y Racionalización". Asamblea Nacional del Poder Popular. Cuba.

- 19** Martín Ferrer, Jorge A, Nov. 2001: “Procesamiento de la señal de satélite con el software TabComp.exe V – 3.01”. I Taller de procesamiento de señales e imágenes en la rama naval, Cuba.
- 20** Moreu Curbera (Capitán de Navío); Martínez Jiménez (Capitán de Fragata), 1973: “Manual de Navegación”, Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba.
- 21** Royal Admiralty & Naval Observatory. Almanaque Náutico. 1975 - 2003.
- 22** Tamaya Calculator NC – 88, 1988: “Astro Navigation Piloting & Reckoning, Manual de Usuario”. Tamaya & Company Limited, Tokyo, Japón.
- 23** Transas Marine Ltd., May 2001: “Navy-Sailor V - 3.2”, Technical Reference Edition.
- 24** TUN, 2002: ”Tabla Util al Navegante”. GEOCUBA. Cuba.