UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO

EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TÉCNICAS DE LA NAVEGACIÓN,
MÁQUINAS Y CONSTRUCCIONES NAVALES

EVOLUCIÓN DE LA NAVEGACIÓN Y SITUACIÓN ASTRONÓMICA HASTA NUESTROS DIAS: MÉTODOS DEL AUTOR

Memoria de Tesis Doctoral presentada por
José Rueda Espinés
para optar al grado de Doctor en Náutica y Transporte Marítimo
Dirigida por el Profesor Dr. Dn. Gerardo Conesa Prieto

Portugalete, Mayo 1998

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a D. Gerardo Conesa Prieto, por haber aceptado la dirección de esta tesis, y por su apoyo y consejos para poderla llevar a cabo.

Al Museo Naval de Madrid, por todas las facilidades que me dieron durante mi visita, en solicitud de información.

Quisiera hacer extensiva mi gratitud a D. Ángel Urrutia y Landáburu, ex-profesor de Astronomía y Navegación y ex-Director de la anteriormente denominada Escuela Superior de la Marina Civil de Barcelona, por toda su ayuda, e información facilitada para la realización de esta tesis.

A mi esposa Isabel, a mis hijos José y Jorge, por toda su comprensión, ante las horas sacrificadas a la convivencia familiar.

Finalmente a mis padres, que gracias a su esfuerzo y sacrificio, permitieron que realizara mi deseo de estar en un puente de mando.

José Rueda Espinés

Barcelona, Mayo 1998

PRIMERA PARTE

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRIMERA PARTE

1.- LA NAVEGACIÓN EN LOS PUEBLOS PRIMITIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN:

Desde el momento en que el ser humano empieza a poblar la tierra, se encuentra con un medio natural que le impide su desplazamiento, podía ser un simple río, un lago, una bahía, y finalmente el mar.

Sabemos actualmente que la extensión de los mares es aproximadamente tres cuartas partes de la superfície de nuestro planeta, sin embargo en el pasado no era así, si pensamos que en el año 1492, el del descubrimiento de América por Cristóbal Colón, se pensaba que siete partes formaban la superficie terrestre y solamente una la marítima, pero para llegar a este momento el ser humano tenía que pasar por un largo proceso de aprendizaje.

Es fácil suponer que el primer medio de transporte marítimo fue un tronco de árbol[1]. Aquellos primitivos habitantes lo verían flotar por un río, y pudieron comprobar que éste les aguantaba y les permitía flotar, el siguiente paso era evidentemente poder gobernar y propulsar aquel flotador, inicialmente fueron las manos, pero rápidamente debió crearse el remo[2].

---

[1] Las primeras referencias conocidas, nos indican que el primer hombre que navegó con un tronco fue un fenicio llamado Uxoms.
BROSSARD, MAURICE, "HISTORIA MARÍTIMA DEL MUNDO". Ed. AMAIKA, pág.5, BARCELONA 1976.

[2] Según diferentes historiadores el inventor del remo fue Copas, y los plateneos dieron anchura al remo.
Ibidem; op. cit. pág.6-7.

Dentro de esta evolución natural el ser humano debió empezar a darle una mejor forma para su asentamiento a ese tronco.

Este proceso era general en toda la tierra. Si efectuamos una mirada a la historia, observamos que hay una serie de pueblos que son navegantes desde sus orígenes. Vemos también que la evolución de las culturas ha estado íntimamente ligada, al mar, a la navegación y que esta evoluciona a medida que se van desarrollando nuevos aparejos en los buques que permiten ir aprovechando los vientos reinantes, ciñéndolos cada vez más lejos.

Es evidente que la evolución de las embarcaciones estaban relacionadas con el hábitat de aquellos pueblos primitivos y de las materias de que disponían para su construcción[3].

Sin embargo es en nuestro continente donde en el transcurso de la historia evolucionará la navegación, si dejamos al margen aquellas primitivas navegaciones mediterráneas.

La gran cantidad de islas que abundan por esa parte del mundo les forzaron a idear algún ingenio que les llevara de una isla a otra con gran facilidad.

Las artes de andar por el mar y de la construcción naval se desarrollaron, probablemente, en un principio en Egipto y Mesopotamia, siendo después introducidas en Europa por las civilizaciones cretenses y micénica de la Edad del Bronce. Los primeros colonizadores llegaron a Creta por vía marítima alrededor del 3000 a.C. Su pericia náutica fue la base de aquella civilización marítima cretense

[3] Crifor, también fenicio, fue el primer navegante en bote, según referencias conocidas.
Ibidem; op. cit. pág. 5-8.

conocida con el nombre de "minoica"[4]. El tráfico minoico se realizaba por medio de embarcaciones llamadas en Egipto "Keftui"[5], que al igual que las que navegaban por el Nilo tenían vela rectangular, popa y proa elevadas.

El bagaje de conocimientos de la orientación era muy rudimentario, guiándose de día por los accidentes de las costas, a las que no perdía de vista, y de noche por el curso de las estrellas; guías insuficientes que obligaban a suspender las navegaciones en los meses invernales, de tempestades, cielos nubosos y nieblas pertinaces.

Más que conocimiento técnico y científico lo que existía en aquellos navegantes era un refinado sentido de la orientación,como el que vemos en las aves migratorias[6].

---

[4] N.A. Minos era un nombre muy frecuente entre los reyes de las ciudades-Estado de Creta, y es posible que no fuera un nombre sino un Título como "faraón" para los reyes egipcios. Por este motivo la civilización cretense es llamada también civilización "minoica".

[5] N.A. Que al igual que las que navegaban por el Nilo tenían vela rectangular, popa y proa elevadas.

[6] N.A. Parece acertado pensar que las palomas mensajeras se sirven preferentemente del Sol para seguir la ruta que les lleva al palomar. Como el Sol se desplaza, por su movimiento diurno, las palomas deben tener lo que se llama un reloj biológico para poder mantener el ángulo justo entre el azimut del palomar y el del Sol.
Se han realizado numerosos experimentos que han proporcionado indicaciones favorables sobre este reloj biológico.
En ausencia de Sol, las palomas se sirven de otros mecanismos de orientación, en gran parte desconocidos, pero parece que el más importante lo proporciona el campo magnético. Por lo tanto se podría decir que las palomas mensajeras utilizan la navegación astronómica y cuando ésta es imposible, emplean la brújula.
El indigo bunting, pájaro cantor que lleva el nombre científico de Passerina cyanea, se orienta por las estrellas. Se trata de un ave migratoria nocturna que en otoño se traslada desde los Estados Unidos a las Bahamas. Algunos experimentados en el planetarium de Michigan han demostrado que en otoño tienden hacia el Sur y en primavera hacia el Norte. Si se gira 180° el azimut

Precisamente éstas servían de auxiliares a los nautas para obtener con rapidez y exactitud la situación de la tierra próxima. También la dirección de los vientos predominantes en la región servían para sus apreciaciones, y éste fue un método rutinario empleado por muchos pueblos.

El primer hombre que navegó con un tronco de árbol era un fenicio llamado Uxoms, más tarde Crifor, también fenicio, navegó ya en bote. Así mismo el arte de navegar guiándose por las estrellas fue obra de los fenicios. Las anclas las inventaron los tirrenos y la de dos brazos se la debemos a Eupalamo[7], según primeras referencias conocidas.

En la decoración existente en un sepulcro de Abusir ha sido posible conocer con exactitud una nave egipcia del siglo XXVIII a.C. y comprobar que estaba hecha de madera, con un tortor[8], en lugar de quilla, tendido entre ambas cabezas se encontraba el palo que era bípode y sostenía una vela rectangular, alta y estrecha.

---

del polo norte de la bóveda celeste, es decir la Polar hacia el Sur, el indigo tiende a invertir la dirección del viaje. Con el planetario apagado y la sala oscura, las direcciones son erróneas. Dada la variación de las posiciones de las estrellas, se puede pensar en el reloj biológico; el indigo podría calcular continuamente, en función del tiempo transcurrido, la diferencia de azimut entre la ruta que tiene que seguir y una estrella muy brillante.
También se puede pensar que se sirve de alineaciones de estrellas para determinar la dirección del Polo Norte que es invariable. E incluso se varió la velocidad de rotación pero el indigo mantuvo imperturbable la dirección de vuelo.

[7] BROSSARD, MAURICE; Ibidem op. cit. pág. 39-40.

[8] N.A. La ausencia de quilla es una característica egipcia constante. Todo es ligero en estos navíos. Es lógico que la forma armoniosa diseñada fuera del agua continua sin ruptura bajo la línea de flotación. El tortor sustituía a la quilla por un palo donde se unían las cuadernas.

El material de construcción era madera: cedro y ciprés[9]. Los palos: Acacia[10] y las velas de papiro o lino[11].

Los antiguos egipcios tienen en la historia de la navegación una gran importancia. De Egipto proceden las más antiguas representaciones de naves, las primeras se remontan al 3000 a.C. Las naves representadas navegaban a lo largo del río Nilo, también lo hicieron por mar. En la época del faraón Snafru[12] de la IV dinastía (2600 a.C.) en un año llegaron a Egipto, en barcos onerarios, 40 cargamentos de madera de cedro del Líbano para construcciones navales. Sin embargo, parece ser que la ciencia marinera de los egipcios[13], tanto en la construcción naval, como en la navegación, se desarrolló sólo después de la expansión hacia Siria, por los

---

[9] N.A. Las dimensiones máximas estaban impuestas por los materiales del país, madera de palmera de Nubia y sicomoro. No son resistentes pero las tenían en abundancia.
Las naves egipcias cargaban en la ciudad fenicia de Biblos, los cedros de Líbano, tan necesarios a un país como Egipto, en el cual faltaba madera para la construcción.
El cedro era para las puertas de los templos, palacios y los sarcófagos.

[10] N.A. La Acacia, se usaba para la ejecución de aquellas partes de la embarcación que no debían recibir embates ni esfuerzos particulares.

[11] N.A. De esta planta ciperácea de Oriente se obtenía de sus hojas esta fibra, y que junto con la planta anual linícea, llamada lino se preparaba un tejido más resistente que el algodón aunque menos flexible.

[12] BROSSARD, MAURICE; Ibidem op. cit. pág. 13.

[13] N.A. El comercio y la navegación nunca fueron para los egipcios actividades de primera importancia. Los cretenses, basaron en ellas su propia prosperidad.

contactos de los fenicios[14].

Los principales viajes de la época de los faraones fueron los realizados por las naves de Byblos en la expedición de Xenefrú, en busca de cedros.

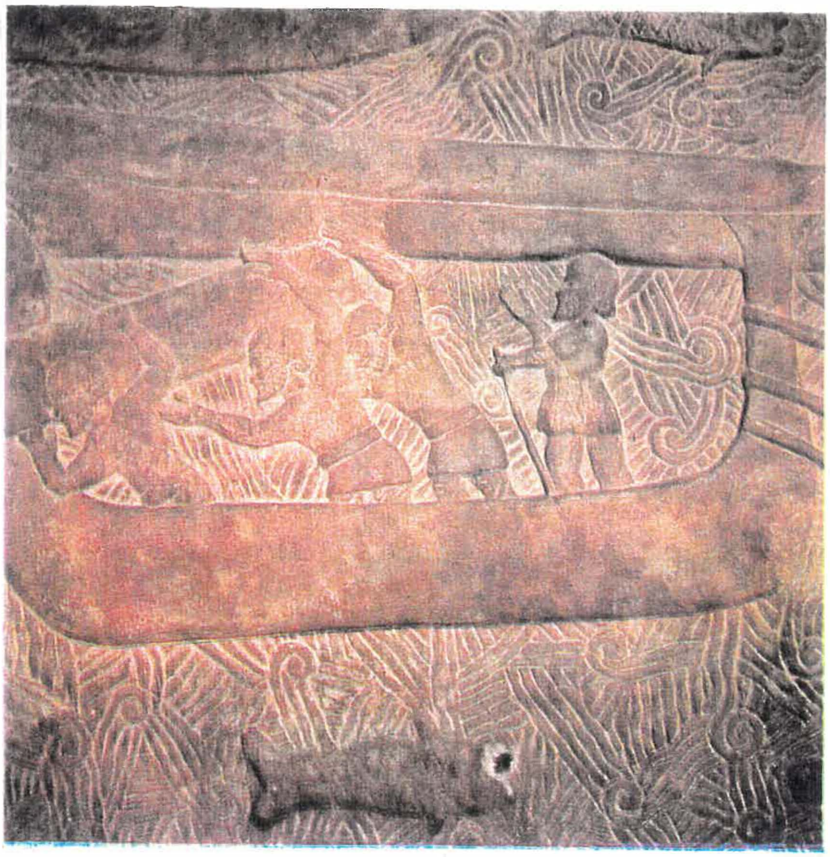


Figura nº1

[14] Los faraones se dieron cuenta de que sus barcos no podían ni siquiera asomarse al mar, incluso para el cabotaje. Para cubrir esta necesidad tuvieron que recurrir a la construcción extranjera y los fenicios construyeron unos navíos tipo "Kepen" (según el antiguo nombre de Biblos) cuya estructura de quilla y cuadernas eran de cedro importado de Biblos.
BROSSARD, MAURICE; Ibidem op. cit. pág. 22-23.

En época del faraón Sahuré fueron al país del Punt[15] en busca de colmillos de elefante, resinas, cedros, etc.

Durante el reinado de la reina Hatshepsut, por el 1500 a.C., se realizó otra expedición al país del Punt, mandada por Pa-Nehesí[16].

Otra, fue la realizada en el 1100 a.C. por Wenamón, sacerdote de Tebas, a Byblos.

En época del faraón Neco en el 600 a.C. se realizó un viaje que encargó a unos fenicios y que consistía en circunnavegar África[17].

La isla de Creta, aproximadamente en el centro de la cuenca oriental del Mediterráneo, constituye el apéndice meridional del Mar Egeo. Junto con un rosario de otras islas e islotes forma una especie de enorme arco o puente entre el Peloponeso y Anatolia. Quizás fuera la primera isla grande poblada por pueblos procedentes del continente, que para ello tuvieron que emplear necesariamente embarcaciones, casi en los albores de las civilizaciones mediterráneas[18], dado que

---

[15] N.A. Esta legendaria tierra de Punt, estaba a lo largo de las costas árabes y somalíes. Los barcos, de este viaje eran mayores y habían sido perfeccionados, teniendo una eslora de veintidós metros.

[16] WALTER ALBERTI, "MARAVIGLIE DEL SAPERE". Ed. Pub. REUNIDAS, pág.105-106, BADALONA 1977.

[17] WALTER ALBERTI; Ibidem op. cit. pág.106.

[18] N.A. De entre todas las civilizaciones antiguas, la cretense es un de las menos conocidas, porque las exploraciones de sus antiguas ciudades Cnossos y Festos empezó en el presente siglo.
Al principio no se creyó que tal civilización hubiera existido a pesar de que las obras de los antiguos griegos se menciona una civilización más antigua que la suya, que era realmente la cretense.
Esta civilización no era originaria de la Isla, sino que había llegado por mar del próximo Oriente.
En 1957-1962, el estadounidense Cyrus H. Gordon consiguió

la arqueología ha podido probar que las influencias culturales entre Creta y el continente se remontan aproximadamente al año 3000 a.C.

Tierra agrícolamente pobre, los cretenses basaron todo su poder en el trabajo de los metales y el dominio de los mares. Gracias a la situación en medio del mar salpicado de archipiélagos hacia el Norte, los cretenses dispusieron muy pronto de importantes flotas (probablemente de cabotaje) y establecieron factorías no sólo en las Cíclades y las Espírades, sino a lo largo de las costas del Egeo, desde donde entraban en contacto con otras civilizaciones. Hoy está probado[19] que los cretenses comerciaban no sólo en su mar original, sino que también llegaban con sus naves a Egipto, Mesopotamia y Siria, gracias a lo cual sirvieron de puente cultural entre las primeras civilizaciones.

En cuanto a las naves utilizadas por los Cretenses, todo son conjeturas. La primera prueba de que se dispone se remonta aproximadamente al año 2800 a.C. Se trata de una vasija hallada en la isla de Sira, que muestra trazos rudimentarios de una nave, repetidos en un modelo de nave algo posterior descubierta en la misma Creta. Sólo puede afirmarse que se trata de un tipo de embarcación caracterizado por una roda de proa casi horizontal y afilada, y a popa un codaste casi vertical y bastante elevado. Esta especie de roda podría ser, con algo de imaginación, el embrión de lo que luego sería el espolón en naves de guerra. En la Edad de Bronce las imágenes fueron concretándose algo más, como lo prueban las reproducciones en

---

descifrar una parte de los escritos cretenses, y llegó a la conclusión que se trataba de una lengua semítica. Los cretenses eran pues un pueblo semítico, según criterio del mencionado investigador.

[19] BROSSARD, MAURICE; Ibidem op. cit. pág. 33-35.

los objetos de joyería. En éstos aparecen ya naves que empleaban la vela, con un solo mástil en el centro. Estas imágenes, muy estilizadas, obligan a una interpretación mucho menos clara que en el caso de las egipcias de la misma época. La roda ya no aparece horizontal sino que se alza en forma de tajamar, ofreciendo así una cierta similitud con las naves escandinavas del siglo XX a.C. En algunos modelos de arcilla como en joyas cretenses de éste mismo siglo aparecen franjas pintadas o grabadas respectivamente en el casco de la nave, lo cual hace pensar que aquellos primeros navegantes ya conocían el uso de las cuadernas. De todas formas, los bosques de robles y pinos que cubrían las islas Egeas habrían proporcionado el material preciso para la construcción de naves marineras.

Hacia el siglo XII a.C. aparecieron los pueblos del mar, a los que se deben los primeros ejemplos de naves propulsadas exclusivamente a vela, ésta seguía siendo de forma rectangular, aunque muy baja y ancha. Por otra parte, una nave hebrea que se puede datar del siglo III a.C. aparece la verga con cierta inclinación, lo que constituye un antecedente de la vela triangular, que más tarda se convertiría en latina.

Los fenicios eran un pueblo semítico del que comenzamos a tener noticias a partir del año 3000 a.C.

Tras una invasión egipcia que tuvo lugar bajo los faraones de la XVIII dinastía, nueve migraciones llegaron a territorio de los fenicios. En el siglo XIV a.C. se establecieron en la costa los micenios, un siglo más tarde llegaron los filisteos junto con los hebreos que procedían de Egipto[20].

---

[20] BROSSARD, MAURICE; Ibidem op. cit. pág.37-39.

El predominio de Byblos duró hasta el 1200 a.C. cuando terminó el poder egipcio[21] y recuperada por Fenicia la libertad política se afirmó el predominio de la ciudad de Sidón. Fue en este período cuando los mercaderes fenicios comenzaron a fundar colonias y emporios comerciales por todas las costas cercanas comenzando por Chipre.

Las naves fenicias estaban construidas con una eslora que no debía pasar de 20 a 25 metros.

Muchos historiadores están convencidos que fueron los fenicios quienes empezaron la construcción clásica de la nave fabricando quillas y costados y aplicándoles el maderamen que luego era calafateado.

En Nínive, en el templo de Senaquerib apareció un mural, en el que se representan dos tipos de naves, que son la más antigua imagen conocida de birreme, la mayor de éstas naves está provista de tajamar con la popa muy alta y terminada en codo, curvada hacia la proa. Dos remos hacen la función de timón, un mástil corto[22]

[21] N.A. La vida libre de Egipto llega a su fin en el 525 con la muerte de su último faraón saíta Psametico III; con la dominación persa.
Vemos que el pueblo egipcio era marino. Era anfibio, pero fluvial, y sus flotas eran barcas de agua dulce. El Nilo lo encadenó a su largo valle, lo puso de espaldas al mar en lugar de guiarlo hacia él.
Después de este año los persas dominaron a Egipto durante 120 años, luego después de estos años a pesar de la ayuda de mercenarios y de las flotas griegas, bajo el ataque de Atajerjes III que luchó contra el último faraón egipcio Nectambo II, Egipto fue gobernado y explotado por extranjeros por más de dos milenios.

[22] N.A. Este mástil, estaba compuesto por dos palos divididos en la base, y que se reunían paulatinamente hacia lo alto. Se desarbolaba cuando se avanzaba con los remos. Esta clase de mástil se hacía necesario porque el casco hecho de cañas no gozaba de mucha resistencia.

estayado hacia la proa y popa sostiene una verga a la que se sujeta una vela cuadra, la nave tiene dos cubiertas que nos hace observar que los dos órdenes de remeros que se sientan en la cubierta inferior aparecen desplazados hacia fuera respecto a la cubierta superior, en la que se encuentran los guerreros y a cuyas bandas se encuentran los escudos.

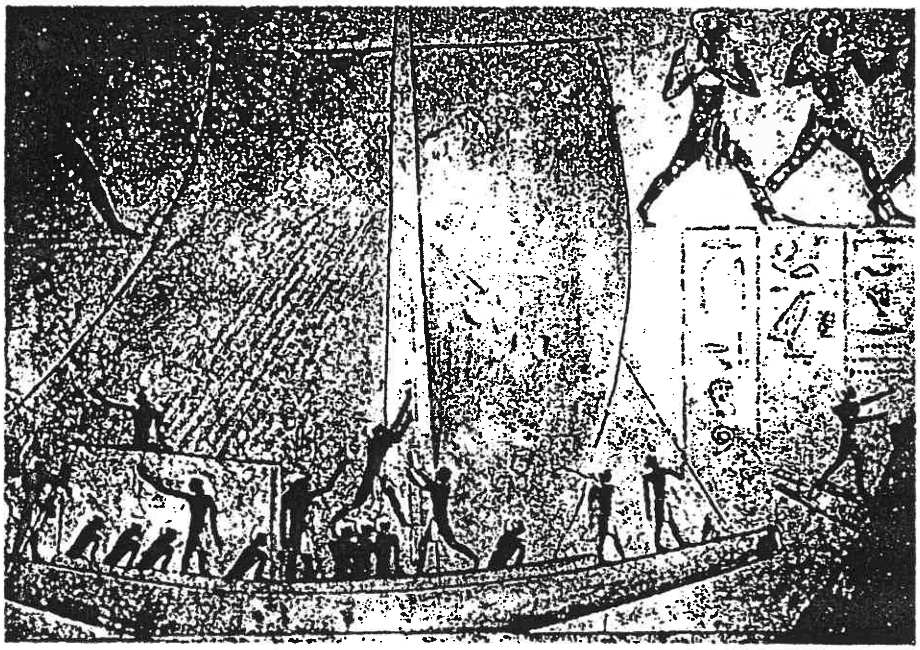


Figura nº2

Este tipo de construcción permitía a los combatientes libertad de movimientos, incluso violentos, sin correr el riesgo de volcar la nave, aún en el caso de fuertes inclinaciones en el curso de bruscos abordajes[23].

---

[23] N.A. Desde las pequeñas plataformas, que llevaban los célebres arqueros egipcios acribillaban a las tripulaciones enemigas.

Figura nº3

El segundo tipo de nave representado, más redonda de formas y sin tajamar, tiene la proa y la popa prácticamente iguales, ambas elevadas y también tiene dos cubiertas y está construido con el mismo ingenio que la anterior.

Se dice que éstas naves fueron hechas construir por la mítica reina Semíramis en el siglo XX a.C.

El sistema de construcción naval era construir naves "redondas" para usos comerciales que tenían formas más redondas que las naves largas más adecuadas para la guerra.

Los fenicios navegaban durante el día siempre a la vista de la costa y varando en seco sus naves en la playa al caer la noche.

Más tarde y según Estrabón y Pomponio Mela los fenicios fueron los primeros en aplicar la astronomía a las exigencias de la navegación[24].

Aparte de los desplazamientos del Sol, más fáciles de observar, los fenicios descubrieron que una estrella de la Osa Menor (no la actual estrella Polar) permanecía fija y que a su alrededor se movían las demás. Con aquella se orientaron en el mar al empezar a navegar de noche.

Los conocimientos náuticos de los griegos en todas las cuestiones de la vida en el mar se valió de los progresos registrados en las ciencias teóricas y en las aplicadas, ya en la Odisea[25] tenemos referencias de navegación astronómica, cuando en la odisea Circe le dice a Ulises que debe dejar la Osa Mayor a la izquierda para ir a la isla de los feacios. La realidad geográfica pudo comprobarse no solamente mediante los viajes de explotación, sino también en las investigaciones científicas en los sectores de la astronomía y de la matemática. Estos campos de investigación fueron tomados en consideración por primera vez por los griegos jónicos a finales del siglo VII a.C. y perfeccionados en Alejandría durante los siglos III y II a.C.

Los jonios rechazaron las nociones rudimentarias que ya poseían sus predecesores Homero y Hesíodo que concebían una Tierra circular, plana y rodeada por un océano semejante a un río.

Anaximandro 610-547 A.C. concebía la Tierra como un cilindro suspendido en el espacio gracias a una fuerza de gravitación, fue el primer hombre que dibujo un

---

[24] GARCÍA FRANCO SALVADOR; "HISTORIA DEL ARTE Y CIENCIA DE NAVEGAR", Ed. INSTITUTO HISTÓRICO DE MARINA, TOMO I. pág.141, MADRID 1947.

[25] N.A. Poema homérico, escrito en hexámetros griegos, que narran las aventuras de Ulises.
Las navegaciones de Ulises, según Armand Colin en 1927, se trata de un auténtico atlas fenicio e incluso cartaginés. Todo es presentado en la Odisea para que sirviese para navegar.

mapa del mundo conocido. Esta área se extendía desde el extremo oeste de España hasta el mar Caspio.

La redondez de la Tierra no se demostró hasta la época de Pitágoras (572-500 a.C.), quien proporcionó una representación del Universo tan cercana a la realidad que en muchos puntos se anticipaba a los conocimientos modernos.

Los conocimientos de Pitágoras fueron profundizados por Aristarco y Heráclides en el siglo III a.C. y en el siglo II a.C. por Hiparco. Este sabio inventó la trigonometría, descubrió el principio de la precesión equinoccial y calculó la duración del año solar, apartándose del valor real solamente en seis minutos.

En el mismo siglo Eratóstenes[26] estuvo a punto de sentar las bases de la geografía moderna calculando la circunferencia de la Tierra e introduciendo el concepto de mar como el de una única masa de agua.

Ligados al mar por su propia supervivencia, los griegos advirtieron pronto la necesidad de cartas náuticas costeras precisas y de un sistema de geografía matemática que permitiese la valoración de la latitud y longitud.

Un gran pueblo navegante por excelencia ha sido el escandinavo o vikingo, su sistema de vida exigía rápidos desplazamientos y, por tanto, de agilidad, tenían que adaptarse la estabilidad y robustez de las embarcaciones, las cuales navegaban casi siempre en mares no muy tranquilos, como el mar del Norte y el Canal de la Mancha. Por tanto, el principal problema con el que se encontraron los

---

[26] N.A. Calculó la estimación del diámetro de la Tierra por sucesivas aproximaciones, la medida que realizó Erastótenes en el año 230, fue empleando dos observaciones simultáneas en el solsticio de verano.
El resultado fue 250.000 estadios de 157,5 m lo que se acercaba a la realidad con una diferencia de 80 Km.

constructores fue el de lograr la máxima robustez y ligereza. Es sabido que los vikingos, una vez alcanzada la playa objetivo, no se limitaban a varar en ella, sino que cargaban con la embarcación y penetraban tierra adentro. Cuando encontraban algún río, botaban nuevamente las naves y lo remontaban, internándose centenares de kilómetros hacia el interior. Buenas pruebas de ellos son el asedio de París y la total destrucción de Montecasino.

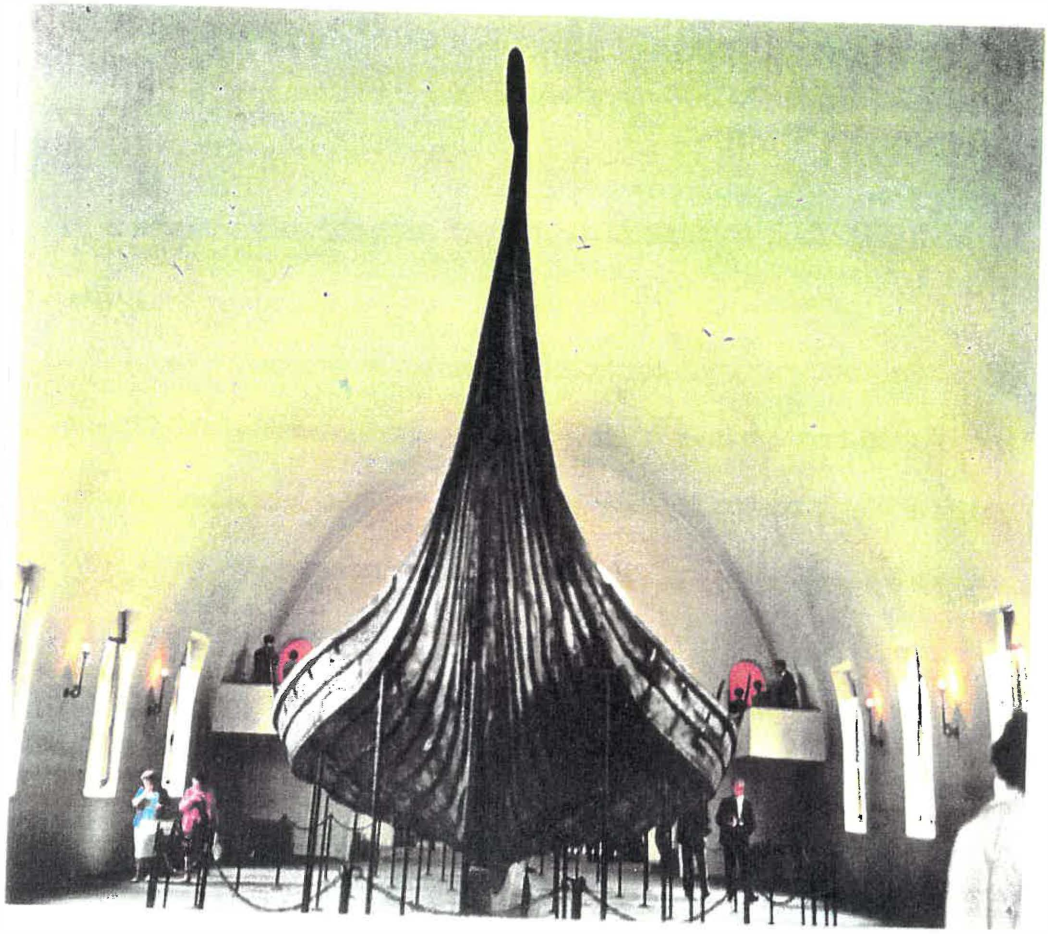


Figura nº4

Un verdadero conocimiento de la construcción naval vikinga lo ha aportado algunas embarcaciones auténticas descubiertas en Nydam, en Kvalsund, en Gokstad y Oseberg[27]. Todos estos hallazgos han aportado notabilísimos conocimientos a la arqueología naval contemporánea y puede decirse que, prácticamente, ya no quedan secretos por desvelar en cuanto a la arquitectura naval que practicaron los pueblos vikingos hace un milenio, habiéndose demostrado asimismo que fueron unos excelentes constructores.

Las naves de Nydam y de Kvalsund datan de los siglos III y VII, respectivamente, siendo las dimensiones de 22,90 metros de eslora por 3,25 de manga, la primera, y 18 por 3,20, la segunda. Ambas eran de remos y la segunda podía izar también una pequeña vela .

Los barcos de Gokstad y Oseberg se fechan en los siglos X y IX, respectivamente, el primero mide 23,30 metros de eslora por 5,20 de manga, y se calcula que totalmente pertrechado debía desplazar unas 20 toneladas. Largaba dieciséis remos por banda y en el centro se erguía un solido mástil que sostenía una vela cuadra, con la que podía navegar magníficamente y hasta ceñirse al viento. La nave de Oseberg tenía 21,34 metros de eslora por 5,20 de manga, construida también con madera de roble, montada quince pares de remos y un mástil con vela, aunque éste queda situado algo más hacia proa. Afirman los arqueólogos navales que ésta nave no era de guerra, sino más bien un barco de recreo de algún rico guerrero vikingo. Los barcos descubiertos en tierras de Ohra eran más pequeños: 12,76x2,37x0,70 metros. Estas embarcaciones revelan una gran maestría en la resolución de los problemas técnicos de la construcción. Los vikingos necesitaban poseer una gran

[27] WALTER ALBERTI; op. cit. pág. 126

experiencia para construir éstas naves tan perfectas, con todos los detalles orientados a lograr su máximo rendimiento.

Los árabes[28] meridionales babeos, mineos e hjmyaritas alcanzaron su apogeo en el siglo VII a.C., eran pueblos de grandes comerciantes. Su vocación marinera les valió ser llamados hitti por los fenicios. Las inscripciones egipcias de la XVIII dinastía hacen mención indirecta de ellos al referirse al país del Punt.

Conocedores del régimen de los monzones, los árabes recorrían la costa oriental de África hasta Zanzíbar, e incluso más al Sur, frecuentando los puertos del Golfo Pérsico y estableciendo contactos regulares con la India y, a través de ella, con el Extremo Oriente. El eje de ésta antiquísima línea se fijaba en Bab-al-Mandab, que desembocaba en la ruta africana y de donde se bifurcaban otras dos rutas principales: la del Hadhramaut, que a través del golfo de Omán penetraba en el Sind y el Gujarat, y la del mar Rojo, que alcanzaba la desembocadura del Uadi

---

[28] N.A. Merece mención especial el destacado conocimiento de VERNET J. respecto a la civilización musulmana puesta de manifiesto en sus obras.
VERNET J., "La cultura hispanoárabe en Oriente y Occidente". Ed. Ariel, Barcelona 1978. Traducción francesa con el título "Ce que la culture doit aux Arabes d'Espagne". Sindbad, París 1985.
VERNET J. y SAMSO J., "Panorama de la ciencia andalusi en el siglo XI". "Actas de las jornadas de cultura árabe e Islámica(1978)". Instituto Hispano-Árabe de Cultura. Madrid.
VERNET J., "Instrumentos astronómicos en la España medieval y su influencia en Europa". Ministerio de Cultura. Santa Cruz de la Palma 1985.
VERNET J., "Ibn al-Banna'al Marrakusi", Dictionary of Scientific Biography.
VERNET J., "Historia de la Ciencia Española". Madrid 1975.
VERNET J., "Libro de las generaciones de médicos", Anuario de Estudios Medievales. Barcelona 1968.
VERNET J., "Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval. Barcelona-Bellaterra 1979.
VERNET J., "Textos árabes de viajes por el Atlántico". Barcelona 1971.

Hammamat, en la costa egipcia. A ésta línea transversal se unían otras líneas menores, una en el mar Rojo, las dos que llevaban a Clysmay a Ayla, y en el golfo Pérsico las que alcanzaban la desembocadura común de los dos grandes ríos mesopotámicos.

El Corán[29] habla de los astros y del mar cuando dice que Alá creó las estrellas para guía de caravanas y navegantes.

Los árabes usaban una rosa de los vientos de 8, 16, 32 ó más vientos. Realizaron también serios trabajos científicos astronómicos y cartográficos basados en fuentes griegas, persas e indias y también basados en la observación y el cálculo, por ejemplo, la relación sobre los mares y la extensión de las islas de Al-Kindi. En el campo estricto de la navegación fueron los autores del astrolabio, con el cual se obtiene inmediatamente, por observación directa, la altura del Sol o de una estrella en el horizonte, así como el cómputo de las horas transcurridas del día o de la noche. El hukk (compás) llegó a Occidente en el siglo XIII, probablemente traído por los árabes en sus contactos con los chinos.

Los árabes navegaron en el 668, en el que la flota mandada por Yazid, hijo de Mu'awiya navegó hasta el Helosponto y la Propóntida. La denominación de las naves árabes eran Harab=naves de batalla, Hamul=naves de carga, 'Ushari=naves de transporte de animales y Qit'ah=galera provista de espolón curvo, que resultaba más eficaz que el recto, las medidas de ésta galera eran eslora=40 metros,

[29] N.A. En el L II, 6 dice que Mahoma jura por el mar cuando está furioso y en el XVII, 69-71, recuerda con el mismo sentido de instintivo terror, los infortunios en el mar, o el castigo de una tempestad o de un ciclón que os sumerja por vuestra incredulidad.

manga=7 metros y puntal=5 metros[30].

1.2 TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS EMBARCACIONES EN EL CONTINENTE AMERICANO, EN SU PARTE AUSTRAL:

Paralelamente en otros confines del mundo sus pueblos primitivos también navegaban. Claro ejemplo eran los habitantes de las costas del Pacífico Sur.

Las canoas de corteza fueron usadas por los pueblos canoeros más australes que pueblan el continente americano: los yámana y los alacalufes, también llamados genéricamente como fueguinos.

El área de distribución de los yámana iba desde el Estrecho de Magallanes hasta el Cabo de Hornos.

Los alacalufes poblaban desde el sur del Archipiélago de los Chonos hasta el Estrecho de Magallanes. Los chonos poblaron el archipiélago que lleva su nombre hasta el archipiélago de Chiloé, fue un pueblo del que se tienen muy pocas informaciones, desde un punto de vista de las embarcaciones se plantea que fue una cultura puente entre los alacalufes y los chilotes de la isla Grande de Chiloé.

La morfología: eran de corteza. Yámanas. En cuanto a su forma carecían de un armazón rígido. Creemos que ésta es también la razón por la cual no utilizaron el cuero como material de base en la confección del casco[31].

---

[30] Tomamos de los Actos del Coloquio: "La navigazione mediterranea nell Alto Medioveo" (Spoleto, 1978), pág.318, citado por Juan Vernet. "La navegación en al-Andalus"; pág.174.

[31] De la morfología, construcción, dimensiones, problemas estructurales, cuidados, durabilidad, navegabilidad y velamen que empleaban las embarcaciones primitivas en la costa Sur de América, merece destacar lo publicado por ORTIZ-TRONCOSO OMAR. Revista General de Marina. Tomo 188 pág. 601-680. Madrid 1975.

En la construcción de estas canóas la corteza era obtenida de una especie de haya regional, el coigüe, la cual era desprendida del tronco durante la primavera en forma de largos trozos de hasta 9 y 10 metros de longitud. Mediante contínuo humedecimiento se mantenía y aumentaba la flexibilidad del material, cortándosele a continuación del tamaño adecuado para dar el casco su forma longilínea, terminada en sendas puntas realizadas, lo que le proporcionaba una forma de media luna.

Canoas de corteza. Yámanas. Cuadernas.

Su objetivo, era el de mantener la forma general del casco, el que de otra manera se hubiera deformado rápidamente. Algunas piezas colocadas en sentido perpendicular al eje de la embarcación servían para el mismo fin.

Canoas de corteza. Travesaños.

Se mantenían abiertas con travesaños de palo y a menudo, para darles firmeza, se colocaban palos encorvados en las orillas o borda y a ellos se cosían las planchas[32]. Las dimensiones de algunas de dichas canoas eran considerables, especialmente las de los alakalufes de la entrada occidental del estrecho de Magallanes y las islas adyacentes[33].

La capacidad de estas canoas queda reflejada según: Fueguinos. Pecherais. Tripulantes canoa.

Dic. 1767 -Enero, 1978. -6 Enero. Nos hicimos a la vela hacia la punta occidental de la bahía Francesa para atravesar a la Tierra de Fuego.

---

[32] LATCHAM, RICARDO E. "La dalca de Chiloé y los canales patagónicos". Boletín del Museo Nacional 13, pág.67-68, Santiago 1930.

[33] LATCHAM, RICARDO E. Ibidem op. cit. pág.68.

Adentro (de la canoa) había un hombre, una mujer y dos niños. La mujer permaneció en la piragua para guardarla, el hombre subió solo a bordo con bastante confianza y un aire muy alegre. Otras dos piraguas siguieron el ejemplo de la primera, y los hombres entraron en la fragata con los niños[34].

Problemas estructurales de las Yámanas:

Tratándose de embarcaciones largas y estrechas, a veces con capacidad hasta para diez personas, y construídas con materiales frágiles, uno de los principales problemas al que se enfrentaron los indígenas fue el de su deformación y pérdida de simetría[35].

Cuidados en las canoas Yámanas:

Según testimonios históricos abundan en observaciones referentes al cuidado con que eran tratadas, retirándoselas del agua luego de su utilización y siendo permanentemente reparadas.

La durabilidad de las embarcaciones tampoco era muy larga.

Navegabilidad: Las embarcaciones solían acometer a veces empresas de mayor alcance. Así, las observaciones efectuadas por los tripulantes y personal científico de los navíos Adventure y Beagle, en la primera mitad del siglo pasado (Fitz Roy, 1839), y de la Romanche, a fines del mismo (Martial, 1888), permiten establecer con certeza que los fueguinos llegaban hasta el mismo archipiélago con que concluye América, es decir, las islas Wollaston y L'Hermite o del cabo de Hornos.

---

[34] BOUGAINVILLE, L.A., "Voyage autour du monde, par la frégate du roi la Boudese et la flute l'Etoile; en 1766, 1767, 1768 et 1769". Trad. por María Cristina Davie. Viaje alrededor del mundo. ADIAX, pág.117, Barcelona 1982.

[35] ORTIZ-TRONCOSO OMAR R., Ibidem op. cit. pág. 601-610.

Desconociéndose el uso de velamen, aunque en tiempos recientes pudo notarse la adopción de un rudimentario sistema que seguramente pretendía imitar las velas vistas en las chalupas y goletas de los colonos[36].

Uso del fuebo en la canoa: El fuego, especialmente en las canoas, lo tienen sobre piedras y tierra; sobre las piedras calientes depositan los pescados y los engullen semicrudos[37].

Las dalcas eran embarcaciones de tres tablones fueron usados especialmente en el archipiélago de Chiloé y especialmente en la Isla grande de Chiloé, por el pueblo que denominamos chilotes o en la terminología mapuche Cuncos. Es posible que la embarcación también haya sido utilizada por los Chonos australes de los cuales la información es vaga, su localización se relaciona con el archipiélago que lleva su nombre.

La embarcación más usada en la provincia de Chiloé, es la "piragua" (dalca), que desde la Califórnia hasta el estrecho de Magallanes no se conocen otros indios ni españoles que las usen[38].

1.3 LA NAVEGACIÓN POLINESIA

Debemos hacer mención a la navegación polinesia principalmente en Malasia e

---

[36] ORTIZ-TRONCOSO OMAR R., Ibidem op. cit. pág. 601-610.

[37] OUTES, FÉLIX F. "Datos sobre la ergología y el idioma de los Yámana de Wulaia (isla Navarino): Reunidos por el misionero P.R.Rau, con anterioridad a 1866 y anotados por don Jorge Claraz. De la revista del Museo de la Plata, TomoXXX, pág.49-77. Universidad Nacional de la Plata, Buenos aires, 1926.

[38] MEDINA, JOSÉ TORIBIO. "Los aborígenes de Chile". Fondo Histórico y Bibliográfico. Santiago, Chile, 1952.

Indonesia donde se encuentran sus orígenes.

Los polinesios no conocían el metal ni la escritura y a pesar de esto disponían de embarcaciones aparejadas con una especie de percha dispuesta en abanico. En cuanto idearon la verga, la dispusieron con una gran inclinación o decididamente vertical, como ocurre en los praos y catamaranes de Tahití.

Las velas estaban hechas de cortezas trenzadas o hierbas tejidas, y sorprenden por su acusado alargamiento y por su disposición, así como la del palo, todo lo cual les permitía ceñir el viento mejor aún que en los yates modernos.

Desde que los navegantes europeos penetraron en el mundo de las Islas del Océano Pacífico, el problema de cómo esta región fue establecida ha estado debatido enérgicamente.

¿De dónde procedían sus habitantes?, ¿Cuándo se instalaron en las Islas?, y ¿Cómo salieron adelante entre estas grandes extensiones de agua?.

¿Cómo los Polinesios y Micronesios fueron capaces de navegar entre los grupos de islas de esa zona?. En otras palabras, ¿en qué se fijaron o qué métodos de navegación llevaron a cabo para realizar dicha navegación con éxito?.

Las respuestas a estas incógnitas intentaremos expresarlas merced a los datos a los que se ha tenido alcance en páginas siguientes.

1.3.1 ALGUNOS CONCEPTOS ASTRONÓMICOS:

El concepto de la estructuración del Universo no fue generalizado en toda la Polinesia, sino que varió según los diferentes grupos de islas que la forman. Por otro lado, hay muchos rasgos comunes en las concepciones predominantes, los cuales pueden servirnos como base para nuestro estudio sobre la Astronomía en la

Polinesia.Sobre la Tierra hay un número de cielos, los cuales consisten, en hemisferios concéntricos de materia sólida, apoyándose en el plano de la superficie terrestre o elevados respecto a ésta por una serie de columnas. Estos cielos están situados o vienen dispuestos en una serie de gradas o hileras, uno sobre el otro. Entonces, donde ellos encuentran la Tierra, lo señalan mediante zonas circulares. Cada grupo de islas se consideró como "te pito"[39], el centro del Universo, y por tanto, fue localizado en el centro de este sistema de esferas concéntricas, separado de las otras islas por las cúpulas celestes. Por lo tanto cualquier viaje realizado a otro grupo de islas se entendía como un viaje a otro cielo. De esta manera se explica las constantes referencias, dentro de la tradición Samoana, a la comunicación del hombre con los cielos.

Cuando los europeos llegaron por primera vez a la Polinesia, los Samoanos pensaban que los recién llegados habían roto completamente una de las cúpulas sólidas del cielo y, por esta razón, los llamaron "papalangi"[40] que significa rompedores de cielo.

Por lo que se refiere al número de cielos, en las islas Tonga y Tuamotu, se asumió la idea de que tenían nueve, mientras que en las islas Sociedad , entre siete y diez. En el más alto de los nueve cielos Tuamotuanos estaban las estrellas, más abajo estaba el Sol y más cerca de la Tierra se encontraba la Luna. Los cuerpos celestes

---

[39] KJELL AKERBLOM, "Astronomy and Navigation in Polynesia and Micronesia", The Etnographical Museum, Publ. n°14, pág.13, Estocolmo 1968.

N.A. El "te pito" indicaría en castellano un archipiélago.

[40] WILLIAMSON R.C. "Religious and Cosmic Beliefs of Central Polynesia. Ed. Cambridge University Press. Vol. I, pág. 90, London 1933.

ascendían por el horizonte Oriental y se ponían por el horizonte Occidental. Las estrellas seguían constantemente la misma trayectoria mientras que el Sol causaba que los días variaran en longitud.

Creían también, que cuando los cuerpos celestes se situaban por debajo del horizonte, estos viajaban por debajo de la Tierra volviendo a salir por el punto opuesto.

En las Islas Sociedad se supuso que el Sol estaba hecho de una sustancia parecida al fuego, y que cada noche se sumergía en la mar viajando de Oeste a Este durante la noche, a través de un camino submarino.

En Hawaii el Horizonte fue llamado "Kukulu-O-ka-lani"[41] (Las paredes del cielo); la intersección del cielo con el horizonte del Océano.

Kukulu refleja la influencia de la Cosmología en los términos astronómicos.

Kukulu significa "pared" o "estructura vertical", y es usado para denominar las cuatro columnas que fueron los principales soportes de la Bóveda Celeste.

En Hawaii, el Zenith fue llamado "Ka hookui"[42] (el punto de conjuntura).

Maori llamó al Zenith "Puanga"[43], el cual fue también el nombre de la estrella Rigel de la constelación de Orión.

El Ecuador Celeste es el ecuador de la Tierra proyectado en la esfera celeste. En

---

[41] MAKESON, M. "Hawaiian astronomical concepts American Anthropologist", Vol.40, pág.370-383, Vol.41, pág.589-595, Menasha-Wiscosin 1938.

[42] MALO, D. "Hawaiian antiquities Bishop Museum", Special Publication n°2, pág.9-11, Honolulu 1951.

[43] MAKEMSON, M. "The morning star rises and Account of Polynesian astronomy", Yale University Press, pág.30, New Haven 1941.

Hawaii fue llamado "Ke Ala i Ka piko o Wakea"[44] (el camino del Ombligo de Wakea). Fornander todavía suministra otro nombre para el Ecuador Celeste "Ke Ala-ula a Ke Kuukuu" (el brillante camino de la araña).

1.3.2 EL SOL Y SU MOVIMIENTO:

Para un observador situado en la Tierra, el Sol parece moverse a través del Cielo. Durante el año, la mayor altura alcanzada por el Sol variará. Consecuentemente el Sol tiene un movimiento Norte-Sur. Si la posición del Sol en el Cielo es determinada, en el mismo momento, día tras día, durante el transcurso del año y unimos los puntos obtenidos, entonces obtenemos el camino a lo largo del cual el Sol parece moverse (Eclíptica). Durante los equinoccios de Primavera y Otoño, el Sol está directamente encima nuestro al mediodía en el Ecuador (la declinación es cero), el día y la noche son iguales (en tiempo) y el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste.

La división del año en cuatro estaciones parece completamente natural. Pero dentro de las regiones tropicales de la Polinesia, donde el Sol pasa más cerca del Zenith, las correspondientes variaciones, de la duración de los días y de las temperaturas del día y de la noche, son considerablemente más pequeñas, y la división del año en dos estaciones (una seca y otra lluviosa), parece más que suficiente.

A pesar de que, el cambio de la altura del Sol no es muy notable, los Polinesios tenían un buen conocimiento sobre el movimiento anual del Sol, y fueron capaces de fijar los Equinoccios de verano e invierno con la ayuda de sencillos observatorios.

---

[44] FERNANDER, A. "An accoun of the Polynesian race" Ed. Trubner, Vol.I, pág.127, London 1878.

En Pukapuka, latitud 11°S, la eclíptica fue llamada "Te Ala-o-te-la"[45] (el camino del Sol). La parte de la eclíptica en la que el Sol está al Norte del Ecuador fue llamada "Te Lua-poto" (el corto agujero). La palabra Poto viene referida a los cortos días del invierno, mientras que Loa se refiere a los largos días del verano. El nombre de Lua (agujero), refleja la creencia de que el Sol salía y se ponía a través de un agujero en el horizonte.

1.3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRELLAS

Cinco sistemas de clasificación de los cuerpos celestes han sido conservados según las tradiciones en Hawaii. La gran importancia de los cuerpos celestes tuvieron una conexión directa con la navegación, debido al hecho de que cuatro de estos sistemas incluían un grupo de "estrellas guiadoras de canoas". Otro grupo de estrellas comprenden las "estrellas para la gente" o "estrellas que nos dan la norma de los meses".

La salida y puesta de estas estrellas constituyeron el comienzo y el final de varios tipos de actividades dentro de la comunidad.

De acuerdo con el sistema de clasificación descrito por Kepelino[46], las estrellas estaban divididas en dos clases, "estrellas fijas" y "estrellas móviles".

Las estrellas fijas estaban divididas en tres grupos:

a) "estrellas de guía": cuando guiaban al navegante a su destino, como por ejemplo

---

[45] N.A. Es evidente la variedad de palabras polinésicas, éstas quedan reflejadas en la obra de BEAGLEHOLE E&P, "Ethnology of Pukapua", Museum Bulletin n°150, pág.349, Honolulu 1938.

[46] BECKWITH, M.W.; "Kepelinos traditions of Hawai"; Museum Bulletin, pág. 78-82. Honolulu 1932.

Hoku-Lea (Arcturus) la cual ascendía sobre las islas de Hawaii, o también La Cruz del Sur sobre Tahití, etc..

Kiopa (Polar) también fue incluida en este grupo.

b) "Las estrellas del Cielo": estrellas que eran tomadas como norma o regla.

c) "Las grandes estrellas": El Sol, la Luna y Venus estaban incluidas en este grupo. El Sol indicaba el Este y el Oeste, la Luna formaba las bases del calendario, y sus fases suministraban los nombres de los diferentes días del mes. Venus sirvió como estrella guía para los navegantes y como reloj para los granjeros.

Las estrellas móviles no tenían mucha importancia, y su única función era la de dar un poco de luz a la Tierra durante la noche.

1.4 SISTEMAS PRIMITIVOS PARA DETERMINAR LA POSICIÓN:

La manera que los Polinesios tenían para determinar la latitud era observando la estrella Polar. Esta estrella está localizada muy cerca del Polo Norte Celeste, y muy alta sobre el horizonte y por tanto muy cerca del mismo. En el Ecuador, la estrella Polar está situada en el horizonte y no puede ser visible en el hemisferio Sur, por lo que los Polinesios sólo podían usarla como estrella para la navegación al Norte del Ecuador, esto es, para navegar a Hawaii por ejemplo. La latitud de Hawaii es más o menos 19° .

De cualquier modo, situándonos 1000 años atrás, época supuesta de la colonización de Hawaii, la estrella Polar no se encontraba justamente en el Polo Norte Celeste, sino que estaba a unos 5° del mismo.

Consecuentemente no fue una estrella "fija", pero describía una órbita alrededor del

Polo. Es difícilmente factible que los Polinesios pudiesen observar y admitir este movimiento, el cual es muy difícil de determinar sin instrumentos. La estrella Polar fue llamada por ellos Kiopaa "inmóvil". La determinación de la latitud por la Polar podía por tanto, haberles conducido a un error de unas 300 millas.

La latitud puede ser también determinada por la observación de las estrellas circumpolares (las órbitas de las cuales, en la latitud del navegante, están siempre por encima del horizonte) y también por las estrellas en el meridiano. Pero esto sólo es posible al anochecer y al amanecer.

Hoku-lei (Alderbaran) tiene una declinación de 16°N y pasa alrededor de 4º al Sur del Zenith de Hawaii. Por lo cual, Makemson[47] considera, que esto puede ser usado para determinar cuando uno ha alcanzado la latitud de Hawaii, y consecuentemente, compensar esta diferencia. El navegante polinesio podría, en otras palabras determinar cuando la distancia al Zenith de Alderbaran fuese 4°, correspondiente a una altura de 87°-86° . En el año 1000 a.C. la declinación de Alderbaran era 14°N, lo cual significa que la distancia al Zenith en la latitud de Hawaii era de 4° a 5°.

El navegar por un paralelo se consigue una vez la canoa ha alcanzado la latitud de su destino, manteniendo un rumbo Este/Oeste. Esto , puede llevarse a cabo guiándose por las estrellas que tienen declinación cero (sus trayectorias coinciden con el Ecuador).

Sólo estas estrellas, nos indican el verdadero Este/Oeste, y tan sólo cuando ascienden y se ponen (excepto en el Ecuador).

---

[47] MAKEMSON M. "Hawaiian astronomical concepts american anthropologist", Vol.40, pág.375, Menasha Wis. 1938.

En cuanto a la determinación de la altitud de un astro nosotros medimos su altura respecto al horizonte con la ayuda de un sextante. Pero, ¿tuvieron los navegantes polinesios algún instrumento equivalente a "nuestro" sextante?.

H. Rodman[48], un almirante americano, cree que tenían un instrumento equivalente, en forma de "sagradas calabazas".

Según Rodman la calabaza fue usada durante los viajes de Tahití a Hawaii.

Observando la altura de la Polar con este instrumento (calabaza), el navegante determinó cuándo la canoa había alcanzado completamente el paralelo de latitud de Hawaii. La calabaza, de forma cilíndrica, hacía unos 3 pies de alta, y tenía 4 agujeros perforados formando ángulos rectos respecto a su eje longitudinal, justamente debajo de su borde o canto.

Cuando medían la latitud, las calabazas eran llenadas de agua a través de dichos agujeros; el observador miraba con atención uno de estos agujeros, y cuando veía que la estrella Polar "tocaba" el canto opuesto de dicho agujero, entonces sabía que había alcanzado la latitud de Hawaii.

El ángulo formado entre el canto de la calabaza y los agujeros era de 19°, exactamente igual que la deseada latitud.

Pero la descripción hecha por Rodman no fue del todo precisa:

En lugar de haber una fila de agujeros, habían 10 grupos conteniendo cada uno 3 perforaciones de lado a lado. El máximo ángulo que podía haber sido medido entre los agujeros y los cantos era de 11,5° y no de 19°. Consecuentemente las calabazas pudieron no ser usadas de la manera expuesta por Rodman.

---

48 RODMAN H. "The sacred calabash" U.S. Naval Institute Proceeding, Vol.53, pág.867-872, Annapolis 1927.

Stokes[49] pone en duda que el método de la "sagrada calabaza" fuese un instrumento cómodo para medir la altitud. El cree, que es posible medir el ángulo vertical de una manera mucho más simple: con los dedos extendidos de la mano.

La determinación en la dirección, es decir, la de los puntos cardinales, es de vital importancia para el navegante, fijarlos cuando marca su rumbo. Estos puntos pueden ser determinados mediante la observación del Sol y de ciertas estrellas (constelaciones), y así se determinaba la dirección, mediante la observación del Sol, cuando está en el meridiano, nos indica el verdadero Norte-Sur. De esta manera es posible que los polinesios pudieran determinar ésta dirección. Pero como normalmente sucede, no hay pruebas que lo demuestren .

Siempre hemos dicho que el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Estrictamente hablando, esto solo sucede dos veces al año[50], en los Equinoccios de Primavera y Otoño, cuando la declinación del Sol es cero (su trayectoria coincide con la del Ecuador Celeste).

Por otro lado, este Azimuth del Sol, varía respecto a la declinación y a la latitud del Observador. En el Ecuador esta variación oscila entre los +23,5° y los -23,5°. Si la salida y la puesta del Sol ha de indicarnos la dirección, es necesario conocer y ser capaz de medir, día tras día, la magnitud de la desviación de su azimuth hacia el Este/Oeste. Si los requisitos concernientes a la precisión, no son estrictos, y tomamos esta desviación cada 10 días, tendremos un error como máximo de 4°. Esto sucede en los Equinoccios, en los cuales, el Azimuth cambia más rápidamente.

---

[49] STOKES J. "The sacred calabash", The journal of the Polynesian society, Vol.37, pág. 85-87, Wellington 1928.

[50] N.A., En los puntos vernales Aries y Libra.

Por el contrario, en los Solsticios, el error es mínimo (tomando la desviación cada 10 días).

Como los polinesios observaron constantemente el Sol, es probable que estuviesen al corriente de estas variaciones del azimuth del Sol.

También por las estrellas, se determinó en Hawaii el Norte mediante la observación de la Polar "Kiopaa". La palabra usada para Norte fue "Koolau", la cual para los Tahitianos fue "Toreau".

1.5 LA NAVEGACIÓN CELESTE: UN ARTE Y UNA CIENCIA:

La complejidad y misterios de los sistemas de navegación polinesios han sido a lo largo del tiempo una gran incógnita, la cual hizo que desde el Capitán Cook[51] hasta Harold Gatty[52], se preocuparan por el tema, e intentaran hallar las bases de dichos métodos.

Los europeos, a partir de un largo estudio de Astronomía, geometría, cronología, hemos desarrollado unos complicados y precisos sistemas de medidas, de ángulos, distancias, de tiempo... Nuestro concepto más fundamental desde el punto de vista de la navegación fue la latitud y la longitud, teóricas líneas proyectadas sobre la totalidad de la superficie terrestre.

Para el navegante que navega mar adentro las únicas constantes que pueden guiarla

---

[51] BANKS J. "Journal of the Right Hon Sir Joseph Banks during Captain Cook first voyage",Ed. Mac Millan, London 1896.

[52] GATTY H. "Nature is your guide", Ed. Collins, London 1958.

son el Sol y los Astros.

Los europeos se ponen a trazar rumbos para encontrar por ellos mismos, sus islas y puntos geográficos de las mismas. El Ecuador y los Polos son entendiblemente suficientes, pero el cómo la circunferencia fue dividida en 360° y el cómo estos grados de arco y distancia fueron sincronizados con las unidades de tiempo es de admiración, lo cual parece ser atribuido más a la Naturaleza del Universo que inventado por el Hombre. Este concepto probablemente procede de los treinta días de Luna y de las doce Lunas del año.

La idea del "cielo" o "Tierra verdadera" de Sócrates[53] consiste en un dodecaedro. O sea, una esfera formada por doce piezas que de acuerdo con Plutarco "parecen asemejarse ambos, el Zodíaco y el año". El Oxford English Dictionary dice que el grado es un concepto muy antiguo originalmente aplicado al círculo del Zodíaco,esto es, el tiempo en grados o distancia recorrida por el Sol durante el transcurso de un día.

A lo largo de los siglos los europeos midieron sus ángulos y tomaron las declinaciones con la ayuda de astrolabios, cuadrantes y sextantes. Después de muchas pruebas y ensayos y muchas ingeniosas especulaciones, se desarrollaron prácticas aplicaciones, la latitud se volvió determinable, la longitud tuvo que esperar unos pocos siglos más, hasta la llegada de los cronómetros suficientemente precisos.

[53] N.A., Como es bien sabido, Sócrates (470-399 a. de J.C.), el más famoso de los filósofos griegos, no dejó nada escrito. Se conoce su filosofía por intermedio de sus discípulos Platón y Jenofonte.

1.5.1 NUESTRO SISTEMA CIENTÍFICO:

Este método es esencialmente una combinación de trigonometría y tiempo. Con el sextante, el navegante mide el número de grados del ángulo formado por el Astro y el Horizonte. Lo lleva a cabo cogiendo o tomando la doble imagen del Astro en los espejos de su sextante y entonces cuidadosamente baja uno de ellos hasta la línea del horizonte. Una vez realizado esto, da la señal "Top!" al que controla el cronómetro de a bordo, el cual registra la hora, minutos y segundos que marca éste. Entonces lee y registra los grados, minutos y segundos de arco mostrados en la escala del sextante. Posteriormente repite la misma operación con otro astro que previamente habrá seleccionado.

Todo esto constituye una cuidadosa operación, debido a las variables condiciones con las que se puede encontrar. En el primer lugar, el tiempo debe ser claro, a pesar de que un "astro familiar" puede ser muchas veces fácil y rápidamente localizado entre las nubes. Esto suele ser llevado a cabo al amanecer o al atardecer, preferentemente durante unos pocos minutos, cuando los astros son visibles, y la línea del horizonte esté definida, justo antes de que el Sol salga o justo después de que se ponga.

El astro escogido debe ser lo suficientemente brillante, y no debe estar ni muy alto ni muy bajo respecto al horizonte. Más o menos entre 20 y 40 grados. Si estuviese situado por encima de 70° , dicho ángulo no sería de confianza. Si por el contrario fuese más bajo de 20°, al ser un ángulo tan pequeño, y junto a las condiciones atmosféricas nos acercaríamos mucho al horizonte provocando distorsiones en la precisión. Por lo menos dos astros deben ser tomados lateralmente, y manteniendo unas distancias útiles (no mucho más de 120° y no mucho menos de 45°).

Esto requiere una astuta selección. Tres o cuatro estrellas son usualmente tomadas, y a veces son duplicadas en determinados intervalos. Esto no sería obstáculo alguno si el navegante es ingenioso, y si el crepúsculo es lo suficientemente largo.

El siguiente paso, por supuesto, es traducir las líneas de ángulos de ascensión de las estrellas en el plano, y donde estas líneas interseccionan, nos da nuestra posición en la mar. El paso de estos grados, minutos y segundos de arco y de tiempo en el plano es un proceso matemático complicado, el cual requiere la utilización de secantes, cosecantes. Pero afortunadamente para el navegante todo este trabajo ha sido hecho para él, y tan solo tendrá que consultar toda una serie de tablas y manuales.

Todo esto fue y es un elaborado y altamente sofisticado desarrollo de los sistemas de navegación. Pero ahora viene la gran pregunta: ¿Se puede concebir la idea de que en la antigüedad Tahuna, el cual era un navegante polinesio que tan solo llevaba una canoa, pudiera atravesar mil millas desde Manua hasta Raiatea?.

El siguiente paso que vamos a seguir, es intentar relatar cómo estos hombres primitivos lo pudieron llevar a cabo, sin la ayuda de cartas náuticas, compás...etc.

En principio rechazamos la idea de que pudiera tratarse de un viaje accidental.

Por si fuera poco, la zona de la que estamos hablando, no es, ni mucho menos, fácil a la hora de navegar por ella. Olas. vientos, troncos a la deriva, algas, nubes estacionadas en las cimas de las montañas, fragor de arrecifes, etc..., lo que obliga a tener una gran y constante capacidad de observación sobre todos ellos.

Esto resume las concesiones que el experto navegante europeo debe estar dispuesto a otorgar al navegante polinesio.

Harold Gatty[54] después de sobrevolar en avión durante la guerra miles y miles de millas, estuvo examinando la posible manera de sobrevivir, en el caso de estar perdido en la mar sin ningún tipo de instrumentos. Su perspicacia e intuición le llevó al desarrollo de la teoría de la estrella en el Zenith. Dicha teoría consistía en asignar a cada isla una estrella. De tal manera que podíamos navegar de una isla a otra, buscando y siguiendo siempre su estrella previamente asignada .

1.5.2 RECIBIENDO LAS ESTRELLAS POR LA PROA Y POR LA POPA

Cuando los primeros polinesios, en sus latitudes ecuatoriales, partían desde la isla A en dirección a la isla B, se guiaban por la estrella que ascendía (o se ponía) en el horizonte en el punto exacto de B visto desde A.

Ellos conocían esta estrella en particular (vamos a llamarla X), después de un largo período de observaciones. Ellos conocían igualmente bien, otra estrella en el lado justamente opuesto (180°). A esta otra estrella la llamaremos Y.

En otras palabras, mientras la estrella X aparecía en la dirección a la cual nos dirigíamos (isla B), la estrella Y estaría al mismo tiempo siempre presente en la dirección de donde habíamos zarpado (isla A).

Todo lo que se necesitaba hacer era mantener su canoa en el medio, lograr ver la estrella que nos marca el destino por la proa, y al mismo tiempo ver la estrella que nos marca nuestro punto de salida por su popa. En el caso de ser desplazados de este rumbo debido a la corriente o a una tormenta, tan solo tenían que marcar 180°

[54] GATTY H. "Nature is your guide", Ed.Collins, London 1958.

y entonces retomar a su antiguo rumbo, bien a remo o bien a vela.

Cuando estamos en la mar, la situación en la que nos encontramos, está cambiando constantemente, por lo que debemos estar corrigiendo la posición durante ciertos intervalos prácticos de tiempo, al mismo tiempo que también debemos ir reajustando el rumbo al cual nos estamos dirigiendo. Este es un complicado procedimiento, pero que hemos desarrollado durante muchos siglos y que actualmente, tenemos computerizado.

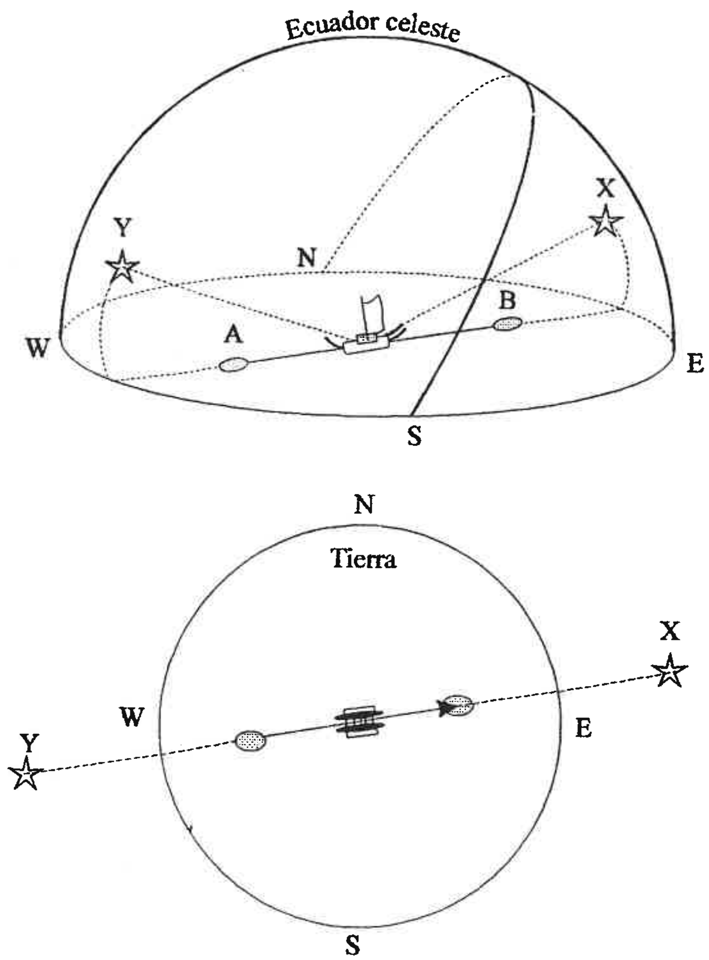


Figura nº5

Dicho concepto, para los polinesios, fue mucho más simple ; está basado en cuatro puntos fijos: una estrella a proa , otra a popa, y dos islas en línea recta entre dichas estrellas. El punto móvil, su canoa, tan solo tenía que preocuparse de mantenerse en dicha línea.

Nuestro sistema europeo, en comparación con el polinesio, está basado en un punto egocéntrico, nuestra canoa, la cual se desvía sobre nuestra supuesta posición en la carta. Pero siempre podemos localizarlos con la ayuda del compás. Como muchas cosas simples, esta línea constante, también acarreó toda una serie de dificultades. No fue siempre fácil de encontrar, ni de mantenerse en ella.

Por otro lado, estas dos estrellas no siempre se mantenían durante el trascurso de toda la noche, tan solo parte de ésta, por lo que debían escoger otro par de estrelllas, y no siempre se hallaban en la posición deseada, por lo que debían tener mucho cuidado a la hora de escogerlas.

Mientras las estrellas ascendían y se ponían en el horizonte tanto por la proa como por la popa, en determinados momentos debían de ser cambiadas, debido a que quizá ascendían demasiado alto o se ponían demasiado abajo. Delante de este problema, el navegante polinesio, tuvo otro hábil recurso para mantenerse en su rumbo. Kramer[55], da cuenta de ello, un poco escuetamente quizás, pero lo suficiente como para aclarármoslo. "Si las estrellas en el meridiano u horizonte estaban ausentes, todavía tenían otro método de su propia invención, el cual consistía en buscar una combinación de tres estrellas en línea, lo cual daría al navegante, similitud de tener sobre él un pequeño compás celeste, que podía alinear

55 KRAMER, A., "Hawaii ostmikronesien und samoa", Srecker & Schöder, pág.50-62, Stuttgart 1906. Citado por KJELL AKERBLOM, Ibidem op. cit. pág.21.

con la pequeña aguja de dicho compás que era su canoa sobre la superficie del mar. Otra variable fueron los cambios estacionales; las estrellas ascendían cuatro minutos antes cada noche, por lo que los polinesios debían tener en cuenta la secuencia de lunas del principio del año sidéreo con la primera aparición de "matariki" o Pleiades. Debían de tener presente constantemente en su memoria la época en la cual se encontraban. Afortunadamente su memoria fue amplia y precisa; los primeros misioneros y descubridores siempre se maravillaron de que pudieran predecir qué estrellas aparecerían en el firmamento.

"Matariki[56] fue originalmente una estrella. Dicha estrella brillaba intensamente, lo cual, provocó el enfado del Dios Tane, de tal manera que llegó a coger de Alderbaran (a Aumea), y de Sirius (a Mere).

La asustada fugitiva corrió y se refugió detrás de un río. Pero Sirius vació las aguas, lo cual capacitó a Tane a darle caza. Finalmente, Tane lanzó a Alderbaran contra la exhausta fugitiva, la cual se partió en seis fragmentos brillantes. Este grupo de pequeñas estrellas fueron llamadas Mata-riki, o pequeños ojos, debido a su brillantez. También fueron llamadas Tau-Ono o "Las Seis", por su número de fragmentos que lo forman.

Ua riri paa Vena ra ia Aumea

Noa Kite ake i te kakenga

Noa ui atu i te ara i pao ai

Matariki ma

[56] GILL W.W. "Myths and songs from the South Pacific", King pág.110-130, London 1876.

E Mere ma e!

Tuarangi maiti! Tuarangi maiti!

Viejo Mito Mangaiano registrado por W.W. Gill en 1891[57].

Vena fue una Diosa

representada por la estrella Procyron,

la cual fue enfurecida por Aumea,

debido a su brillo.

Entonces Sirius y sus amigos

la rompieron en seis trozos.

Dioses brillantes! Dioses brillantes!

Traducción (Viejo Mito Mangaiano registrado por W.W. Gill en 1891).

Siguiendo con el sistema de navegación que estamos estudiando (fore-and-aft), cabe señalar que los polinesios tuvieron que memorizar las estrellas más usadas para cada travesía. No fue necesario el usar las estrellas más brillantes; a veces, las menos brillantes, fueron mucho más efectivas y podían ser mucho más fáciles de identificar que las más brillantes. Teniendo esto en cuenta, parece evidente que el conocimiento de los polinesios sobre las estrellas fue enorme.

---

57 WILLIAMSON, R.C. "Religious and Cosmic Belief of Central Polynesia"; Ed. Cambridge University Press; Vol.I, pág.203, London 1933.

1.6 VIAJES EXPLORATORIOS

Dando por sentado que una de las principales incertidumbres es la navegación, podemos tomar un punto de vista diferente sobre las motivaciones de los antiguos navegantes polinesios, y de cómo ellos se enfrentaron a los problemas del tiempo. Ambos problemas, la navegación y el tiempo, fueron completamente diferentes y, por consiguiente requirieron diferentes soluciones.En primer lugar, convenir que el antiguo polinesio puede sin demasiada dificultad encontrar su destino con la ayuda de las estrellas. ¿Por qué querían ir de un lado a otro?. En segundo lugar, ¿Cómo descubre o determina los movimientos de las estrellas antes de que se pusiera en camino al lugar donde dichas estrellas lo guiaban?. Incluso con una habilidad a la hora de navegar bien desarrollada, es todavía una larga y dura sacudida, el ir desde Samoa a Raiatea e incluso desde Tahití hasta Nuku Hiva.

Una de las principales causas que impulsó a los polinesios a navegar fue la necesidad de emigrar. Navegando en busca de tierras desconocidas con mujeres y cerdos a bordo , es una tarea tan temeraria como intrépida, que nos puede dar una idea de lo intrépidos que algunos polinesios podían llegar a ser.

Tenían que estar dispuestos a no confiar para nada en la suerte, de tal manera, que en caso de fracasar, tenían que estar seguros de que en el viaje de vuelta los peligros fuesen mínimos. Tenían que ir tan lejos como les fuese posible hasta que las reservas de comida les hicieran volver a "casa".

Para realizar estos viajes de exploración, en primer lugar tenían que construir una canoa, ligera y resistente al mismo tiempo, con un flotador adosado (catamarán). Normalmente realizaban los viajes de ida con la ayuda de los remos, usando la vela en determinadas situaciones. Una vez ya en la mar, tomaban una serie de ángulos con la ayuda de los dedos de la mano, la cual se disponía extendida apuntando en dirección al Este. Cada "dedo" indicaba la trayectoria de una estrella preseleccionada y cuidadosamente memorizada noche tras noche, año tras año, antes de realizar dicho viaje.

La idea consistía en seguir la dirección indicada por uno de los dedos, (uno distinto en cada viaje), hasta que una apropiada isla o grupo de islas fuese encontrado. El cómo fueron capaces estas dobles canoas de soportar el viento y otros factores, es una pregunta pendiente.

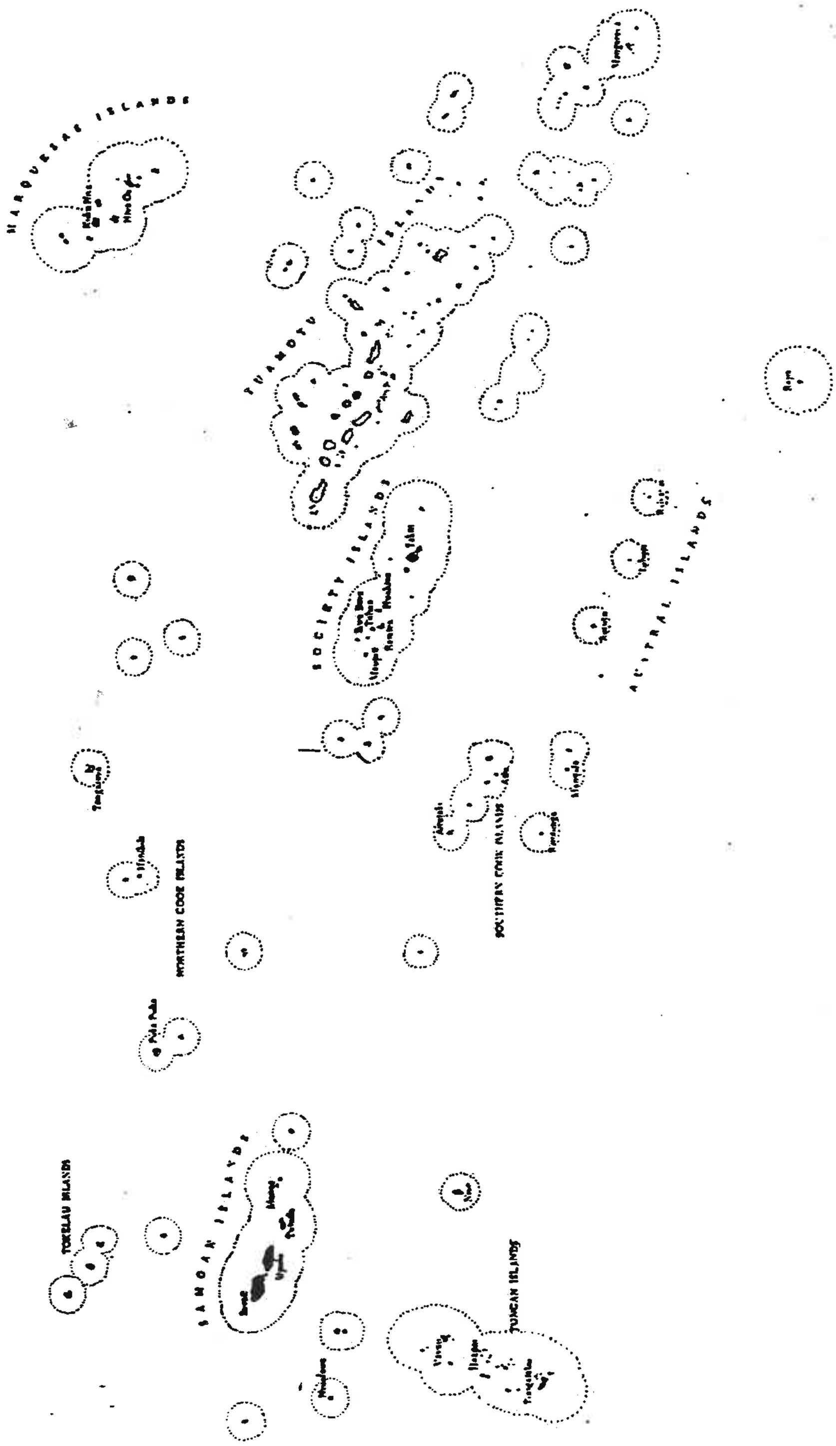

MARQUESAS ISLANDS
TUAMOTU ISLANDS
SOCIETY ISLANDS
AUSTRAL ISLANDS
NORTHERN COOK ISLANDS
SOUTHERN COOK ISLANDS
TOKELAU ISLANDS
SAMOAN ISLANDS
TONGAN ISLANDS

Figura nº6

Un profesor de la Universidad de California, el Dr.C.O.Bechtol[58], hizo algunos cuidadosos experimentos científicos con una canoa de ese tipo y expuso que "todos los tipos de canoas oceánicas, pueden navegar con éxito a barlovento".

Entonces, muchos de estos vientos, les permitían izar la vela, aunque principalmente estos viajes exploratorios preliminares, serían llevados a cabo mediante la fuerza de los remos a la ida, hasta el momento en que deciden volver, momento en el cual izaban las velas, ya que recibían el viento a favor.

El Dr. Lewis[59] en 1964 fue el primero en mostrar gráfica y convincentemente como los grupos de islas presentaban "zonas" como objetivo para los navegantes polinesios.

Dibujó un radio de 30 millas alrededor de cada isla , debido a que es generalmente considerada una distancia conservadora por el buen navegante polinesio, debido a que esta distancia eran capaces de detectar la presencia de "tierra". El Dr. Lewis despreció la altura de las posibles montañas existentes en determinadas islas, añadiendo 20 millas más.

Se puede ver fácilmente como las islas "entrelazadas" dan al navegante una muy considerable extensión de mar para recaladas.

J.P.Frankel[60] considera que el radio de 60 millas puede ser admitido y el Dr. William Van Dorn ha visto, de día, Manua Loa desde una distancia de 90 millas._

---

[58] BECHTOL C., "Sailing characteristics of oceanic canoes in Polynesian navigation", Ed. J. Golson 1963.

[59] LEWIS D.H. "Polynesian navigational methods J.P.S.", Vol.78, pág.364-373, Wellington 1964.

[60] FRANKEL J.P. "Polynesian navigation", Navigation Journal of the Institute of Navigation, Vol.9, pág.35-47, Washington 1962.

Volviendo otra vez a dichos viajes, los polinesios normalmente, establecían la siguiente proporción de tiempo: 24 días navegando en busca de nuevas islas y 8 días para retornar (32 días en total). Entonces, 24 días a una media de 50 millas recorridas por día de navegación, nos dan un total de 1200 millas. Esta distancia es casi la distancia que hay entre Savaii y Raiatea, la cual es la mayor distancia existente (de Este a Oeste) en la Polinesia Subecuatorial.

Maupiti se encuentra a 50 millas al Oeste de Raiatea, y Manua está a 100 millas al Este de Savaii. Asumiendo que Maupiti pudo ser vista o detectada a 50 millas de distancia (es una isla alta), pudo provocar el ganar 4 días de navegación, reduciendo dicho viaje a 20 días y quedando la media de velocidad en 3 nudos. Una vez se ha divisado Maupiti, será simple dirigirse a Raiatea, refrescarse y descansar durante unos días y retornar con el viento a favor, tomando como referencia una estrella previamente seleccionada.

Tan pronto hubieran regresado con exito del viaje de exploración, el siguiente paso era organizar una expedición formada por varias canoas completamente equipadas, en las cuales podrían llevar a bordo mujeres, cerdos, pollos,...para establecerse en la isla descubierta.

El tomar el viento en contra en el viaje de ida, pudo haber llevado a una navegación más lenta, pero fue mucho más fácil, al mismo tiempo que eliminaba la incertidumbre sobre el desconocido destino y la necesidad de preveer el viaje de vuelta.

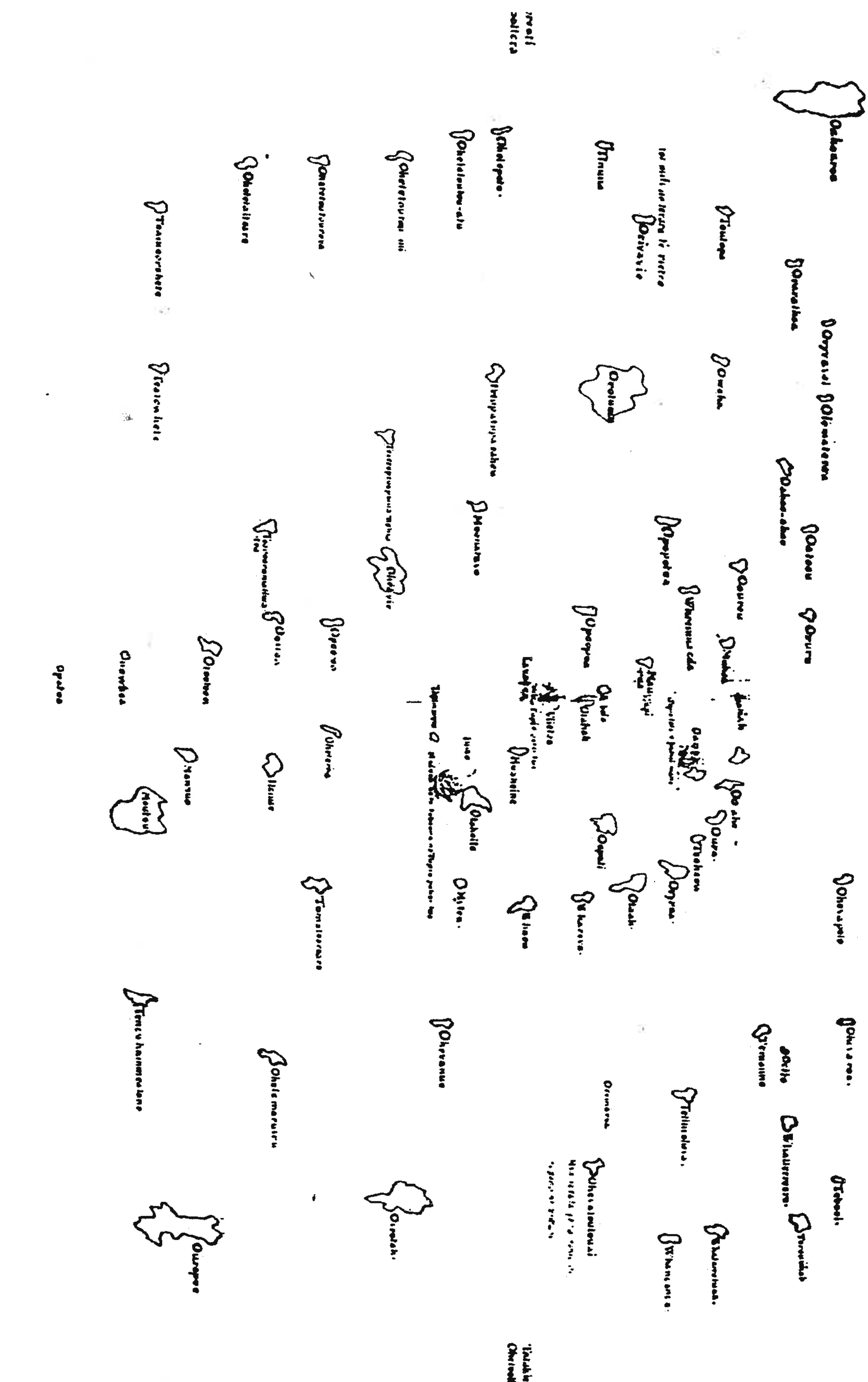


Figura nº7

Tupaia fue "tahuna o arri" (jefe principal) de Raiatea. Tupaia[61] acompañó a Cook en su primer viaje debido a su extraordinario conocimiento de la geografía polinesia y su asombrosa habilidad de conversar en otros dialectos de otras islas. A mitad del viaje , Cook le encargó a Tupaia que hiciera " La carta de las Islas", aunque no se pone en duda la posible ayuda de Cook a la hora de realizarla, debido a que la cartografía era completamente desconocida por los polinesios. El original de esta carta no parece haber sobrevivido, pero ésta es una copia de la misma, aparentemente realizada por Cook.

Es posible identificar en dicha carta, aunque no con una total seguridad, las siguientes islas:

En el "cuadrante NE" podemos reconocer algunos de los atolones de Tuamotu por ejemplo: oopate=Apata(k)i; Oryroa=Rairoa; Whareva=Fa(k)arava. En el mismo cuadrante Ohevaroa es evidentemente Hivaoa en las Marquesas, y Ohevapato es Fato Hiva.

En el "cuadrante NW" Opopatea es Papatea; Oahooahoo es Ahuahu (el antiguo nombre de Mangaia).

En el "cuadrante SW" han sido incorrectamente puestas las islas Samoanas de Tutuila o Otootooera, y Upolu o Opooroo; pero si fue correctamente marcado Haapaia en Tonga.

El Dr. Peter Buck (o Te Rangi Hiroa[62], como fue conocido en la lengua nativa Maori), afirmó rotundamente que algunos polinesios navegaron hacia América del

61 BEAGLEHOLE J.C. " The Journal of Captain Cook on His Voyage of Discovery"; Ed. University Press, Cambridge 1955.

62 ADAM P., Etude sur les migrations polynesiennes; Ed. La Revue Maritime n°105, pág.9-31, Paris 1955.

Sur trayendo boniatos al regreso. Viniendo o yendo, es concebible que diesen con Te Pito O Te Henua "el ombligo de la tierra", y de que fueran capaces de encontrarlo con mujeres, gallinas, etc...a bordo de las canoas.

Pudo ser un afortunado accidente, a pesar de que en algunos de los Mitos registrados por el Padre Sebastián (el cual vivió en la isla cerca de 35 años) dicen que Hau Maka de Hiva divisó la isla durante un sueño, y envió a 7 hombres jóvenes, a reconocer dicha zona. Posteriormente Hotu Matua se puso en camino. Desafortunadamente para nuestra teoría Hotu Matua llegó antes de que los 7 hombres volvieran. Por otro lado, evidencias etnológicas indican que allí se encontraban dos poblaciones distintas, lo cual podría significar como mínimo dos descubrimientos.

La mayoría, son partidarios de considerar que los grandes viajes fueron emprendidos cuando los vientos eran más favorables; estos son los estacionales vientos del Oeste que soplaban durante los meses de verano y durante las estaciones lluviosas (desde noviembre hasta febrero); partiendo con el viento del Oeste y volviendo con el del Este.

También realizaron cortas travesías entre islas "familiares" como por ejemplo, el conocido viaje entre Bora Bora y Tahití. En dichos viajes pudieron verse favorecidos por estos vientos estacionales.

Un factor muy importante,, que siempre se tiene que tener en cuenta, es la corriente. Pero en la zona de la que estamos hablando, si tomamos rumbos Este/Oeste, tan sólo es un pequeño obstáculo para la navegación ya que las corrientes se desplazan sobre la superficie del mar en la misma dirección del viento.

La idea de que las canoas podían fácilmente perderse en la mar debido a las corrientes existentes durante estos meses benignos, en estas latitudes, puede ser virtualmente rechazada. El argumento de que la corriente nos desviaría de nuestro rumbo progresivamente y acumulativamente es una suposición basada en nuestro método científico de localización por las estrellas. Ellos nunca podían conocer donde estaban situados con exactitud, pero podían corregir su rumbo (cada ciertos intervalos de tiempo) con la ayuda de dos estrellas. De esta manera, sus sucesores tan sólo tenían que memorizarlo.

2.- EL COMPÁS

2.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

En las primitivas navegaciones, cuando el bagaje de los conocimientos era rudimentario, sólo los accidentes de la costa, y por la noche, la trayectoria de las estrellas eran las únicas guías por otra parte insuficientes que tenía el marino primitivo.

Pero en la práctica continuada de la vida del mar es donde encontraron esos hombres la solución del problema de orientarse, cuando la distancia a la costa era grande, y con los cielos cubiertos.

Es una época incierta en la historia de la navegación aquella en que la brújula apareció en el mar. El mágico poder de la brújula dio ánimo a los nautas para avanzar hacia caminos desconocidos.

Se cree que la voz compás se deriva del italiano COMPASSO, palabra compuesta con y passo, que significa con regularidad.

De antiguo es conocida la propiedad que presentan pequeños trozos de ciertos minerales de hierro de orientarse según una determinada dirección cuando se les suspende libremente, como también la de atraerse entre sí y de atraer puequeños fragmentos de hierro o acero. Los griegos ya utilizaron la palabra imán para referirse a una piedra que presenta las propiedades citadas. Este imán natural es un óxido de hierro magnético (óxido ferroso férrico, representado por el símbolo

Fe_3O_4). Para el vulgo es la piedra imán[63]

En nuestra lengua esta voz se deriva de la palabra francesa aimant, derivada del verbo aimer, "amar", y que es llamada "amante".

Los hindúes la llamaban Thunbaga, que significa la que besa, llamada posteriormente en la India "la piedra amada del hierro".

En Japón y China es llamada "amadora", Inglaterra le llama "loadstar", es decir piedra que guía, o estrella que guía.

Los holandeses la llaman "zeilsteen" piedra del marino[64].

Hay una oscuridad absoluta en las fechas, en que la piedra imán fue utilizada para la orientación. Se dice en la interpretación de documentos chinos que, tres mil años antes de J.C. inventó la brújula el emperador Hoang-Ti[65], quién la colocó sobre un carro y este instrumento permitió al ejército imperial dirigir su marcha en una niebla muy espesa y sorprender al enemigo.

Cuenta la historia que Tachen-Kching-Wang, hace 2900 años dio a los embajadores del reino de Yang-Tchang-Chi un aparato milagroso que los debía guiar para regresar a su patria.

Ya en el siglo III de nuestra Era, utilizaban los chinos una lengüeta de hierro que frotada con la piedra imán y suspendida libremente se orientaba en la línea Norte-Sur.

Empleaban los hijos del Celeste Imperio, una balanza magnética, en la que una

---

63 D.ÁNGEL DE URRUTIA Y DE LANDABURU, Cátedra de Navegación de la F.N.B., Septiembre 1980.

64 SALVADOR GARCÍA FRANCO, Ibidem op. cit. pág.17-18.

65 MARTÍNEZ HIDALGO J.M., "Historia y leyenda de la aguja magnética"; Ed. Gustavo Gil, pág.16, Barcelona 1946.

figura humana con brazo extendido señalaba siempre hacia el Sur. Con ella por guía cruzaban las inmensas llanuras en sus viajes comerciales y cruzaban con sus juncos el Océano Indico. Este instrumento era llamado tchinan, que es el nombre actual del compás náutico entre los chinos.

Posiblemente fue transmitida la brújula directa ó indirectamente a los árabes y éstos la introdujeron en Europa.

Al apuntar hacia el Sur da la impresión que éste es el punto cardinal más importante para los chinos. Podemos fundamentar esta referencia porque los malos vientos proceden del norte y las lluvias favorables proceden del sur.

Es evidente que la brújula fue la puerta que abrió los caminos a todos los hombres de la Tierra.

Los historiadores cuentan que el uso de la brújula era familiar a griegos y romanos, fundándose en los versos de Homero.

Se ha querido encontrar en el Mercator de Accio Planto[66] año, 229, una cita de la aguja de marcar en su verso: "*Hic secundus ventus nunc est cape modo versoria*". Sin embargo es muy significativo el silencio de Plinio en sus detalladas narraciones sobre los utensilios de las naves y de sus inventores.

Los franceses se atribuyen la introducción de la brújula en el mar, por el empleo de la rosa de lis en el cartón o talco de la rosa de los vientos.

Nápoles reclama para Flavio Gioja el honor por el uso de dicha flor unida al blasón napolitano.

En el año 1471 falleció Antonio Panormite que en su poema: *Prima dedit nautis usum magnetis Amalphis* y que forma parte de la proclama en el escudo de ésta

66 SALVADOR GARCÍA FRANCO, Ibidem op. cit. pág. 20.

ciudad de Amalphis de abolengo marinero.

En los versos de la Biblia satírica del provenzal Guyot escrita en el 1200 dice:

Un art font qui mentir ne peut

per la vertu de la marinette.

Une pierre laide et noirette

....

Este monje trovador Guyot de Provins escribió parte de este poema en 1185 con el título "LA ROSE" y lo incluyó en 1203 en la Biblia y se designa a la piedra con el nombre de marinette, o compañera del marino.

En las citas de Cautu[67], que dicen:

Quand la mer est obscure et brume...par ce sont li marinier. Esta cita tiene una limitación cronológica inferior al año 900. Podemos deducir que empezó a ser un instrumento en la mar por el siglo X u XI.

Ari Frode Thorgilsson narrador de la colonización de Irlanda escribió en el siglo XII sobre su compatriota Flocki Vilgerdson en un viaje realizado el año 868. *"Llevó consigo tres cestos de palomas amaestradas para servir de guías porque en su tiempo los navegantes de las regiones septentrionales no poseían el imán".*

Hugo de Bertin en 1204 habló de la aguja imantada, también el cardenal Jacobo de Vithy, legado pontificio en la cuarta cruzada (1244), escribió que la aguja de hierro tocada por el imán tomaba una fuerza oculta que llevaba hacia el Norte la punta.

Recapitulando en esta ligera narración, en una rápida sucesión de nombres no encontramos un punto real desde Melicato, presunto descubridor de las propiedades

[67] SALVADOR GARCÍA FRANCO, Ibidem op. cit. pág. 20-22.

de la piedra, maestro de los fenicios desde Salomón que la empleaba para guiar sus ejércitos, a Tales de Mileto que encontraba un "alma" en los imanes, Anaxágoras, Pitágoras, Platón, Eudoxio, Aristóteles, y el misterio de la China y del Japón.

La palabra brújula se empleaba para designar el punto de mira en los arcabuces. Hay una correlación entre apuntar a un blanco y señalar a la estrella Polar[68].

No existiendo datos ciertos sobre fechas y lugares tampoco podemos precisar si la invención pasó de la China a la Arabia Siria y después a Europa, es decir de Oriente a Occidente. O si fue exportada por nosotros a través de las navegaciones por el Mar Rojo.En su forma primitiva, no era más que una vasija llena de agua y flotando en ésta un trozo de corcho que sostenía a la piedra o a una varilla de hierro tocada con el imán.

Lo que es tradicional es que los primeros modelos de brújulas consistían en una delgada barrita de hierro tocada con la piedra imán y envainada en un tubito de paja o caña[69]; y de ésta manera, al flotar en el agua se orientaba hacia el Norte-Sur[70].

También se empleaba una ampollita de vídrio, o el cañón de una pluma de ave llena de polvo de imán que se hacía flotar en el líquido de la vasija por dos trozos de

---

[68] Terreros; "Diccionario Castellano", Madrid, 1786.

[69] COLLET, "Traite theorique et Practique de la Regulation et de la compensation des Compás", pág.66, París 1882.

[70] N.A. Norte-Sur magnético que como sabemos, se separa del Norte-Sur verdadero un ángulo llamado variación local o declinación magnética que tiene un valor positivo o negativo, y que cambia de acuerdo con la posición geográfica y además anualmente un valor en incremento o decremento que recibe el nombre de variación secular.

corcho unidos y atravesados por sus extremos, dada la extraña forma que recordaba a una rana nadando en el agua, se le daba el nombre de calamita[71], con que designaron a la brújula.

Se dio éste nombre a un batracio pequeño y de color verde entre hierbas y cañas.

Por el mar de la India era muy usual una especie de pez de hierro imantado, que haciéndolo flotar en una vasija señalaba con la cabeza los dos puntos cardinales del medio día y del Norte. el pez oscilaba al principio, pero terminaba por quedar en posición estable.

Es posible que en un principio en la misma vasija se señalaran ya sea en su fondo o en el borde cuatro puntos correspondientes a los cardinales del horizonte, llamados, Oriente, Poniente, Mediodía y Septentrión[72]. El Norte se hacía distinguir por una flecha.

Fournier, dice que las denominaciones Norte, Sur, Este y Oeste son voces francesas usadas ya en tiempos de Carlomagno.

Argumento parecido tienen los italianos que argumentan que no solo dieron los nombres a los puntos principales si no que también llamaron Greco al NE, Siroco al SE, Garbino y también Africo al SW y Maestro al NW, el Norte se llama Tramuntana, el S Austro, al E Levante o Subsolano, y al W Poniente o Favonio. La primera referencia de los treinta y dos vientos está en la Cosmografía de Apiano[73] cuando dice: *Nautis alia ratio ventorum est. Hi enim horizonten in 32 partes*

---

[71] N.A. Deriva de la palabra Kalamos, caña o mejor "Kalamitas" que habita entre cañas.

[72] N.A. Llamados también Anatole, Aysir, Artos y Mesembria.

[73] GELCICH, "Estudios sobre el desenvolvimiento histórico de la navegación", Valencia 1885.

dividunt.

Los japoneses la representan en doce partes que tiene nombre de animales N (rata), E (usagi-conejo), S (Minuami) y el W (Nis).

En las brújulas chinas se aprecian veinticuatro divisiones[74].

El primer signo que figura se llama Tch'eou-Keu-In-Kia-Mao (voces figuradas)[75].

Las rosas tanto chinas como japonesas han sido en general sustituidas por nuestras rosas europeas, quedan muchas con sus caracteres jeroglíficos nacionales si bien van complementadas con la división de 0° a 360°.

Posiblemente la primera indicación del Norte fue la T inicial de Tramuntana, seguramente en forma de punta de lanza, tomando la forma de flor de lis como detalle decorativo.

El padre Dechales en su L'art de Naviguer [76], dice que: "*si se estropea la brújula, ésta puede ser sustituida por un papel sobre el que esté dibujada la rosa, colocando encima de ella una pequeña aguja imantada, y orientada la hoja de tal manera que la línea del rumbo que se quiera navegar mire hacia proa*".

Las frecuencias de las navegaciones a Oriente, aconsejaron la conveniencia de señalar también el rumbo E, con una marca especial, ésta fue la cruz griega. Los historiadores han querido ver en ella la divisa de los Cruzados.

Recordemos que las cruzadas fueron ocho, la primera en 1096 y la última en 1291, época en que se supone muy adelantada la construcción de la brújula.

---

[74] N.A. Se puede observar en el Museo Naval de Madrid.

[75] N.A., T quiere decir hijo o posteridad, Cheu significa explicar o repetir,K'ieu cielo, Ou medio día. Sur, punto principal en los hijos del Celeste Imperio.

[76] DECHALLES, El arte de Navegar, París 1677.

Pedro Pelerin, natural de Maricourt, en Picardia, conocido como Petrus Peregrinus, dirigió en 1269 una carta a su amigo Sygenus de Faucaucourt, en que sugiere la ventaja que se conseguiría colocando la aguja imantada sobre un pivote, en vez de hacerla flotar sobre el agua.

Como la visión de la rosa en el fondo de la vasija resultaba incómoda, además del error producido por la paralaje, aparece la línea de fe y la rosa de los vientos hace el oficio de horizonte fijo.

Sin poderlo asegurar históricamente podría ser Favio Gioja el innovador de ésta idea.

Las letras N, S, E, W, fueron adoptadas inicialmente por los franceses en el siglo XVI, y su uso se generalizó hacia el XVIII[77].

Se perfeccionó la aguja con la invención del chapitel, pequeño cono hueco de latón o cobre donde descansa el pivote o estilo.

Dechales[78], dice "*fe croy gestant de verre, ils rouleroit plus facilment*". Actualmente el centro del Chapitel se hace de ágata, rubí, zafiro, u otra materia dura y el estilo de bronce o mucho mejor de iridio.

Quedando así el centro de gravedad de la aguja más bajo que el de suspensión, lo que aumenta la estabilidad de la misma.

La caja que hoy llamamos mortero, se colocó dentro de otra semejante a las actuales bitácoras portátiles, a esta segunda se afirmaban los apoyos de la suspensión Cardano, ésta tenía el defecto de que con fuertes balances se producían

[77] N.A. Tienen carácter oficial desde 1932, por acuerdo de la Conferencia Internacional de Hidrografía.

[78] DESCHALLES, Ibidem op. cit., Paris 1677.

choques entre ambas cajas, con detrimento de la aguja y rosa que con frecuencia se desmontaban del estilete.

Algunas rosas empezaron a bordear su disco con una división en grados sin perjuicio de mantener el clásico estrellado de los rumbos.

Con defectos navegó la brújula, a bordo de las naves abriendo el comercio y las vías marítimas.

Ya era posible navegar de día y de noche, con lluvia y con niebla, abandonando el cabotaje.

Para hacer más cómoda la utilización de la brújula y para preservarla de accidentes se la empezó a guardar en una especie de armario situado en el puente de la nave, de tal manera colocada que le fuese fácil al timonel su inspección.

Estos armarios tenían tres compartimentos, en el central se colocaba la lantia o fanal[79], y en los laterales sendas brújulas o compases de ruta.

Algunos disponían también de dispositivos para la colocación de ampolletas de arena destinadas a la medida del tiempo. La luz débil de la lantia era la única que podía arder en la nave. Tan sólo el Capitán escapaba de esa excepción, y los oficiales no podían encender luces sin permiso del jefe de la nao. Se llevaban con extremo rigor estas órdenes por temor a los incendios.

Al débil resplandor de ésa luz, hacían guardia los "pajes de escoba"[80].

Si bien en las naves modernas no existen las lantias de aceite, sigue dándose éste

[79] (Es un candil en el que se hecha azeite o manteca, con que se alumbra en la vitácora a los que goviernan), GARCÍA PALACIO, "Instrucción Nauthica", Mexico 1587

[80] N.A. Encargados de la vigilancia de las ampolletas, dando los repiques de campana cada media hora.

nombre a las lámparas eléctricas que sirven para iluminar la rosa. Posteriormente y para protegerla se recubre con un cuerpo que recibe el nombre de cubichete. Esta cubierta metálica está provista de una ancha ventana que permite ver su interior y que al mismo tiempo impide la salida de la luz al exterior, que deslumbraría al oficial de guardia. Se empezó a notar que la proximidad de las brújulas producían errores a consecuencia de la acción mutua de las dos agujas.

Apres de Maneuillete en 1775 en sus experiencias encontró que la acción recíproca de las planchuelas se extendía a una distancia de catorce pies, y propuso que en cada bitácora sólo hubiera una aguja.

Es probable que la voz bitácora proceda de la palabra habitacle, palabra con que los franceses denominaron a este armario si bien pudiera derivar de la palabra latina habitaculum.

Los hierros de las agujas había que cebarlos, en especial en largas derrotas, con piedra imán natural, pues la fuerza magnética se iba debilitando. Parece que primitivamente sólo se imantaba una extremidad.

Seguramente para compensar esta debilidad de la aguja se inició en el siglo XVI la colocación de dos barras unidas por sus extremos, en vez de una sola, que aparecen después de 1614.

"Fontoura da Costa As agulhas que se costumaran até a anno 1614 todas tinham duas pontas uos ferros".

Pero antes de la fecha de Fontoura[81] existen noticias de ésta mejora en los documentos del Archivo de Indias, formado por Don Francisco Carrasco, se anota

[81] FONTOURA DA COSTA, " A marinharia dos descubrimientos", Lisboa 1939.

en la sección del patronato, año 1596 "Expediente promovido por Andrés García de Céspedes, cosmógrafo de las Indias Occidentales y dice entre otras instrucciones "dos padrones del aguja de marcar, en los cuales los aceros no sean dos hierros juntos en la parte donde se ceban, sino uno solo como arpón".

3.- LA CORREDERA

3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Así como el compás de bitácora nos proporcionó el conocimiento del rumbo, debemos ahora investigar que medios se emplearon para la determinación de la distancia recorrida. Conocidos estos dos elementos se podía obtener lo que se denominaba "punto de fantasía", expresión que nos indicaba que no se trataba de una situación obtenida por procedimientos muy seguros.

En un principio sólo la experiencia de los pilotos en las galeras y embarcaciones a remo, les permitía fijar la velocidad de la nave. En estos cómputos entraban como factores, el conocimiento de la fuerza del viento sobre el aparejo, la mar, las corrientes, las mareas, el estado del casco que podía estar más o menos ensebado, la carga y su estiba. Todo dependiendo del "ojo marinero".

En la narración del viaje de Magallanes alrededor del mundo "*La misura che facevano del viaggio colla Catena a poppa, noi percorrevano da 60 in 70 leghe al giorno*"[82].

Este método es probable que se tratara de un leño u otro objeto flotante, unido al buque por una cadena. Pero no hay noticias de otros viajeros de la época, Juan de Castro, Juan de Lisboa, sobre este instrumento ni de su manejo.

Se le da el nombre de loch a este instrumento descrito en 1577 por Willian Bourne,

[82] N.A. La medida que hacemos con la cadena popa nos marca 60 a 70 leguas por día, Pigafetta (Primero viaggio in torno ell globo terraqueo 1519-1522). A moretti Milano 1800.

en su obra "A regiment for the sea. Saverin"[83] atribuye al inglés llamado Lock, y de ahí el nombre como se conoce el aparato, pero es indudable que el fundamento procede de la voz inglesa log (leño), ya que un trozo de madera flotando es lo que caracteriza al instrumento. Parece que pasó inadvertido para la gente del mar, pues no aparece hasta transcurridos treinta años, es decir hasta 1607, en las relaciones de un viaje a las Indias Orientales hechas por Purcha.

Se generaliza el empleo a finales del primer cuarto de siglo XVII, donde ya figura en todos los tratados del arte de navegar.

Norwood[84] indicaba el método de señalar dos puntos distantes entre sí sobre la borda y contar el tiempo tardado en pasar la cresta de una ola entre ellos. Es evidente la dificultad de este sistema, por el arrastre del agua que produce el buque en su desplazamiento. Se podía con este sistema calcular unas tablas que dieran el resultado.

Por la noche, se usaba una luz Holmes, tomando nota en el instante del lanzamiento, midiendo la distancia al buque con un telémetro, transcurrido un intervalo de tiempo; el cociente de ambas cifras da la velocidad. Aún hoy en día se emplea este sistema rudimentario llamado corredera Holandesa (Autchman's log).

En 1766 Coubard y Lemonier[85] mantienen el criterio de hacer la estima de la marcha del tiempo, *"passer l'eau le long du bord du vaisseau"*, teniendo en cuenta el inflado de las velas.

---

83 Saverin; Dictionnaire historique; "theorique et practique de Marine", París 1758.

84 NORWOOD; "The seaman's practique", London 1815.

85 LEMONIER; "Abrégé de Pilotage", París 1766.

Con escasas modificaciones, la corredera de barquilla, instrumento simple utilizado en la época de la navegación a vela, consta de un sector circular de madera (la barquilla) de 20cm de radio y unos 60º de amplitud su arco, lastrado con una tira de plomo, para que al ser arrojado al agua quede flotando en posición vertical, parcialmente sumergido dos tercios de su altura, firme a un cordel que se va arriando, midiendo, al final de dicho intervalo, el cordel salido por la borda. Una sencilla proporción dará la velocidad del buque.

El cordel está dividido en porciones iguales mediante una lanilla de color vivo y que se les distingue por un nudo en el chicote, el siguiente dos nudos y así sucesivamente hasta cinco. En la primera señal se coloca el cero a una distancia igual a la eslora del buque para evitar los efectos perturbadores de la estela del buque. Una ampolleta de treinta segundos acompaña al equipo.

Hemos dicho que anteriormente a la invención de la barquilla, la distancia navegada se deducía por la intuición del Piloto.

Se cuenta que los romanos inventaron un aparato mecánico para la medición del camino recorrido, se llamaba "odómetro"[86].

A finales del siglo XVI Picard efectúa para la Academia de Ciencias de París, la equivalencia en metros. Picard obtuvo 5477 metros para la legua, o lo que es lo mismo 1826 metros para la milla, admitiendo que veinte de aquellas daban un grado de extensión del meridiano. Con esto estableció la equivalencia de un minuto

---

[86] N.A., Se trataba de una aceña de molino instalada en un navío, que llevaba en su eje un vaso con un pequeño agujero, que por cada diez vueltas que diera la rueda, caía una pelotita de plomo, y así contando las pelotitas caídas y la medida de la rueda se sabían multiplicando los pasos que la nave caminaba. Es evidente que una simple proporción nos dará el número de nudos en una hora o lo que es lo mismo, la velocidad.

de arco igual a una milla. si la ampolleta tenía treinta segundos, se necesitan ciento veinte ampolletas para componer una hora.

En estas condiciones, la distancia entre nudos de la driza se hacía igual a la ciento veinteava parte de la milla, el número de nudos deslizados durante la descarga de la ampolleta representa el de millas recorridas en una hora, es decir la velocidad horaria en millas de la nave.

Tenemos por tanto una nueva unidad de medida: el nudo y ciento veinte componen una milla. esta nueva unidad de medida combina el tiempo y la longitud, la milla sólo depende de esta última, de aquí que se puede decir "millas por hora" pero no "nudos por hora".

Para las mediciones de Picard el nudo tiene un valor de 15,21 metros, pero su verdadero valor es el de 15,43. Sin embargo los Pilotos disminuían la longitud teórica del nudo, para compensar el error que producía el no permanecer fija la barquilla en el lugar de la inmersión, puesto que la barquilla sufre una tendencia a seguir el buque.

Radouay en 1727[87] dice que en su tiempo se graduaban el cordel sobre la base de 13,34 metros.

En 1781 Gaigneur[88] indica que los Pilotos modifican esta longitud según su criterio usando unos 13,6 metros, otros 13,9 y algunos 14,62 metros[89]. sin embargo la ordenada por el conde de Maurepas, ministro de luis XV era de 15,23.

Futuras mediciones establecieron la longitud de la milla en 1851,85 metros y por

---

[87] RADOWAY, "Remarques sur la navigation", París 1727.

[88] GAIGNEUR, Le Pilot instruit, Nantes 1781.

[89] N.A., siendo ésta la más próxima a la real.

lo tanto la del nudo en 15,43.

Acuden a un artificio los Pilotos para burlar las restricciones de Maurepas. Se deciden a contar los segundos de las ampolletas en menor cantidad de veces, contando hasta veinticinco segundos en lugar de treinta, lo que en realidad trataban estos era poner en práctica su intuición.

Dadò el contraste que ofrecen los Pilotos en sus medidas aproximadas para la longitud del nudo práctico. Goimpy (1766) en Remarques sur le Pilotage apéndice de Coubard et Lemonier[90] los consejos que la ampolleta de treinta segundos "*ne doit durer que 23 1/3 à 29 1/2 secondes*", a causa que la voz de mando para lanzar la barquilla no es simultánea a la ejecución, que el cordel reduce su longitud, por las continuas caídas al agua, de dos pies siete pulgadas estando seco, al comenzar la travesía, a un pie seis pulgadas al final de la misma, que de ayudar con la mano al cordel, o dejarle salir del carretel sin auxilio hay un error de un noveno de la medida. También pide que se tenga en cuenta la latitud que tiene el buque, pues setenta leguas en el Ecuador son catorce minutos de tiempo, y a la altura de 45° corresponden a veinte minutos. Además de la curvatura del cordel, el impulso del viento sobre las aguas superficiales y otros detalles.

En las indicaciones del loch tenemos otro factor importantísimo, además de la atracción de la barquilla por la nave. Son las corrientes marinas sobre las cuales en un principio cayeron hipótesis irrisorias.

El Padre Fournier, en su Hydrographic dice que los vapores que surgen de los mares por los efectos del Sol, cuyos rayos caen a plomo sobre la zona tórrida, estos vapores, al subir hacia los polos terrestres se enfrían y caen en forma de lluvia. Y

---

[90] LEMONIER, "Abrégé de Pilotage", París 1766.

así se forma un movimiento de las aguas de dirección Norte a Sur y viceversa. Igualmente y también debido al Sol en su movimiento de Oriente a Occidente en su recorrido diurno, motiva el movimiento de la masa líquida.

Bernouilli en 1751[91], supone la existencia de un ciclo en la corriente, moviéndose las aguas en la superficie, cambiando la dirección del movimiento en aguas más profundas, no aceptando que ésta profundidad exceda de ciento veinte metros.

Sí acepta, como el Padre Fournier, que la causa es producida por el calentamiento de las aguas por el Sol, llegando a la afirmación que en las aguas del Ecuador se elevan veinte metros con relación a otras latitudes.

Entramos pues en los intentos hechos para eliminar de la corredera los efectos de las corrientes. Podemos citar a Bouguer, quien en su Navigation explica las modificaciones a dicho fin. Se fundamenta en que "*la mer dans la zone Torride se meut vers l'Occident*", por lo que se forma una corriente continua, de dos a tres leguas por día. Había pues la necesidad de tenerla en cuenta unas veces a favor y otras en contra.

No entraremos en los diferentes tipos de corredera y su evolución hasta nuestros días, mencionaremos no obstante sus principales inventores, la de Bouguer ensayada en 1773 por Phipps en su viaje a Spitzberg, la del marqués de Poleni. Gelcich[92] cita en su obra, otro tipo pero no su autor. La del tipo Aime-Pillsbury. El

[91] N.A., Bernouilli Daniel (1700-1782), hijo de Jean, que sentó sobre bases sólidas los principios de la mecánica, los de la hidrodinámica y enunció la teoría cinética de los gases.

[92] GELCICH, "Estudios sobre el desenvolvimiento histórico de la Navegación", Valencia 1889.

modelo Marey[93], modificación del tubo Pitot, la corredera Berthon[94].

J. Bustamante[95] Massey que la ideó en 1825 y fue muy conocida por los años 1885, la Kelway, cuya descripción leyó el autor en la sociedad de Aerostación de Inglaterra el 24 de Febrero de 1883.

La Froude, que fue la primera movida por la electricidad, en la que el circuito se cierra por la acción de una rueda dentada, y que va unida al extremo del eje de una corredera mecánica que acciona a una palanca situada en el aparato registrador y relacionada con éste y con el alambre conductor. La Froude es muy parecida a la Massey, con un aparato registrador semejante a la Kelway.

En la exposición de París de 1878 se presentó la construida por Clausel.

En Francia se dispuso que fuera reglamentaria la corredera Fleuriais, que era eléctrica y de molinete.

Otra corredera fue la del marinero americano Llogg, fundada en que la presión lateral que ejerce un fluido sobre una pared fija sumergida en él, es tanto menor cuanto mayor es su velocidad.

La corredera de Meurisse fundada en el regulador de fuerza centrífuga, y que recibió el nombre de velocímetro náutico, daba la velocidad por el desvío de las bolas del regulador.

En el año 1888 la Revista General de Marina describía una corredera eléctrica con timbre y cuatro aspas del Teniente de navío Rubio.

---

[93] MAREY, "Anneé Scientifique", Figuier 1867.

[94] BERTHON, "The gun, ram and torpedo", London 1874.

[95] BUSTAMENTE J., "Revista General de la Marina", Madrid 1877.

En el año 1889 el Capitán de la Marina Mercante López de Haro inventó una corredera eléctrica automática con hélice y contador, que fue premiada en 1891 por la ciudad de Filadelphia, en virtud de un legado hecho por Juan Scott, el informe del Franklin Institute, expresó que era la mejor de las conocidas hasta la fecha.

También tenemos la Nicholson, se trata de dos tubos verticales cuya parte superior atraviesa el fondo del buque. Con el buque parado, asciende el agua al mismo nivel, pero al ponerse en marcha se eleva el nivel del líquido en el tubo que sobresale del fondo, mientras que el otro señala el nivel exterior. La diferencia de niveles es una función de la velocidad de la nave, y con auxilio de un reloj se totalizan las distancias.

La corredera de Baule, Teniente de Navío de la marina francesa, era también a base de tubos que se adaptaban al pantoque y que dejaba correr una vena líquida cuya velocidad daba la del buque. otro tipo de corredera del mismo Baule, es la que una burbuja de aire recorre un tubo de longitud conocida, y el tiempo tardado en la traslación lo da la misma burbuja, pues al entrar en el tubo hace funcionar un cronógrafo y al salir lo para cortando un circuito eléctrico.

La corredera Walker, presenta una hélice en el extremo de un cordel, en el otro extremo hay un contador de revoluciones, montado en una horquilla, que está coronando la tapa de regala de la popa. Una variante de la Walker es la Trident. El modelo Cherub II de la marca Walker mejora el sistema incluyendo un volante de inercia en el centro, al objeto de evitar los parones producidos por las cabezadas del buque.

También tenemos la Forbes, pertenece al grupo de las que funcionan según la velocidad del agua. Básicamente tiene un tubo que al circular el agua mueve una pequeña hélice vertical y, ésta, merced a un juego de engranajes, mueve una magneto que genera una corriente.

La eléctrica sumergida Chernikeef, tiene un sistema parecido al anterior, la magneto y los engranajes van montados en el eje de la hélice en el exterior del casco.

La corredera Sal se basa en la presión que ejerce el agua sobre un tubo Pitot, que está firme al fondo del buque, saliendo unos veinticinco centímetros bajo la quilla. La sensibilidad de esta corredera es muy grande, indicando inmediatamente cualquier variación de la velocidad. Otro modelo es la Sal-Selsyn, que da velocidades inferiores a cinco nudos, y está fundada, como la anterior, en el tubo Pitot.

Keenpf y Sottarf idearon otro modelo. Un cono unido a un alambre resistente en un punto, que permanecía en el agua a una profundidad determinada. La otra extremidad del alambre se unía a un resorte con muestra marcada experimentalmente y graduada en kilómetros o nudos.

También aparece la corredera óptica, los detalles de su funcionamiento aparecen en la revista general de la Marina de 1945.

Tenemos las de hélice remolcada tales como la Aliss, Negus, Trident y Neptune.

Las correderas de barquilla, son sustituidas por la Harpoon.

Otro sistema para medir la velocidad del buque está basado en contar el número de revoluciones de la hélice. Es evidente que como consecuencia del mal tiempo, al salirse las hélices fuera del agua, el mal gobierno, y el casco sucio falseaban el resultado, pero siempre podemos obtener un coeficiente experimental.

La medición de la distancia navegada y la velocidad del buque sigue evolucionando más y más hasta nuestros días con correderas por medición del efecto Doppler sobre el fondo, y actualmente con los modelos de navegación inercial, especialmente empleados en altas latitudes. Y finalmente el cálculo de estos elementos dados por los modernos sistemas de navegación G.P.S.

4.- MEDICIÓN DE ALTURAS

4.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA INSTRUMENTACIÓN

Pasaremos a señalar los instrumentos ideados para la obtención de la altura de los astros sobre el horizonte, dando una ligera idea de los más primitivos hasta entrar en el medievo alfonsi, en el que no sólo se observaban alturas, sino también distancias angulares entre estrellas con aquellos instrumentos, a más de sus muchas y variadas aplicaciones.

Plinto: instrumento de la primitiva astronomía permitía obtener la altura del Sol a su paso por el Meridiano superior, aunque también está preparado para obtener las alturas del Sol desde el orto hasta el mediodía. Fue descrito este aparato por Ptolomeo.

Consistía en un bloque de piedra con una cara tallada en forma cuadrada, en la que se grababa un arco de un cuadrante de círculo. Instalado de tal modo que su cara estuviera dirigida hacia el Sur, llevaba una aguja horizontal, cuya sombra se proyectaba sobre un cuadrante hasta el mediodía. Antes de que desapareciera la sombra debía leerse su ángulo obteniendo por lo tanto la altura.

Kamal: instrumento, muy usado por los árabes y los indios y conocido también con el nombre de árabia Kawal, resulta muy parecido a la ballestina, donde las tablillas actúan como sonajas y el virote es substituido por un cabo con nudos.

Descrito someramente, el Kawal consta de tres tablillas rectangulares de distintas dimensiones, atravesadas por un cabo, que presenta distintos nudos situados a distancias determinadas, calculadas previamente dependiendo de la longitud de la tableta usada.

Para tomar alturas con este aparato, se extiende el brazo izquierdo, sujetando la tableta en posición vertical de modo que forma un ángulo recto con el antebrazo. Con la boca, se tensa el cabo sujetando la mano derecha el resto de nudos. El borde inferior de la tablilla, debe quedar alineado con el horizonte, siendo la altura del astro la equivalente al nudo apresado con los dientes[96].

El torquetum: a veces llamado Turquetum y de aquí la falsa etimología que han derivar su origen de Turquía, es un aparato tridimensional, como el astrolabio descrito por Ptolomeo (Almagesto 1,12).

Inventado por el sevillano Yahir b. Aflah alrededor del año 1150 y cuyo uso, a partir del siglo XIV, permite representar en el espacio, y para una latitud dada, los planos fundamentales de la astronomía esférica sin necesidad de ningún tipo de proyección. La configuración primitiva del mismo fue transformándose de un modo muy notorio, razón por la cual no coinciden completamente todas las descripciones escritas, conográficas o ejemplares que de él conservamos.

Substancialmente, aunque no siempre consta de:

Una plataforma horizontal que debidamente orientada, permite medir los azimutes mediante un círculo dibujado y graduado en la misma. Sobre una de sus aristas se articula, otra plataforma que forma con la primera un ángulo igual a la colatitud del lugar que se utiliza y que representa el plano del ecuador y continúa la circunferencia graduada (basílica) que representa éste. Formando un ángulo de 22°

---

[96] N.A. Algunos kawales primitivos estaban graduados con una unidad, el "isba" (1° 37'), que es aproximadamente el ángulo con el que se ve la anchura del pulgar de la mano en "martinete" cuando el brazo está totalmente extendido.

30' con la anterior se monta la tercera que representa el plano de la eclíptica que contiene la circunferencia correspondiente dividida en signos y grados.

Una armella o disco (crista) montado de manera perpendicular a este último plano. De los extremos de la alidada de ésta pende libremente un semicírculo (semissa). Del centro de la semissa cuelga una plomada que permite determinar la altura del astro observado.

A parte de la descripción más antigua y en árabe de este aparato, se conservan varias latinas y dos ejemplares del siglo XV, el del cardenal Nicolás de Luda y el de Martín Bylica de Olkurz.

El Torquetum del Hessiches Landesmuseum de Kassel (es del año 1590). Es de cobre dorado. La base es un cuadrado de 197 mm de lado y tiene una altura de 360 mm. Brújula en la lámina horizontal para poder orientar el aparato. La lámina ecuatorial consta de un círculo dividido en horas que puede colocarse en la posición deseada para la realización de las observaciones. Encima está colocada la lámina que contiene el círculo de la eclíptica con las correspondientes divisiones. Este ejemplar constituye una de las últimas variantes en la evolución de este instrumento.

El triquetrum: Ptolomeo hacía mención del Triquetrum o Reglas Paralácticas, y lo usaba para determinar la paralaje de la Luna, aunque también servía para determinar cualquier altura meridiana o no[97].

Consta de tres reglas la primera de las cuales se sitúa perpendicular al horizonte. Las otras dos podían orientarse en el plano del meridiano o en otro plano cualquiera; la segunda regla va sujeta a la regla vertical pudiendo pivotar y está

---

[97] N.A., Su descripción viene en el Almagesto (Libro V, cap. 12 pág. 113).

provista de dos pínulas de mira con las que se dirige una visual al cuerpo celeste cuya altura quiere medirse; la tercera regla, convenientemente graduada, permite medir el valor de la cuerda correspondiente al complemento del ángulo medido con la segunda.

El Triquetrum o regla paraláctica ya era conocido desde la segunda mitad del siglo X, ya que aparece descrito en los cánones de las tablas de al-Battani.

Este aparato es la madre del cuadrante graduado pero doble. Son dos cuadrados cuyos centros quedan en el plano horizontal sujetos a un círculo base graduados para acimutes y colocados de esta forma pueden girar libremente para determinar alturas y acimutes de dos cuerpos celestes.

Se encontraba en el observatorio de Maraga (Persia), provincia de Aserbeydan, y que durante la edad media fue un emporio de ciencias. Fue construido por el Khan para ponerlo a disposición del astrónomo Nasser Edin, en el siglo XIII.

El astrolabio: es seguramente este instrumento científico el que más tinta ha hecho correr. En los Libros del Saber de Astronomía del rey Alfonso X de Castilla se insertan descripciones del astrolabio redondo y del llano o plano, acompañadas de la resolución, con auxilio de estos instrumentos, de muchos problemas astronómicos, entre ellos los de determinaciones de la latitud.

También autores clásicos, como Geoffrey Chancer, autor de los Cuentos de Canterbury lo fue también del primer tratado en lengua inglesa sobre el astrolabio que redactó en 1391, dedicándolo a su hijo Lowys[98].

---

[98] "A Treatise on the astrolabe addressed to his son Lowys by Geoffry Chancer" Ed. W.W. Skeat; Londres 1872 reedición de 1967, New York. Tomado de la obra de Mercé Viladrich "Astrolabios andalusíes"; Universidad de Barcelona.

Más tarde se transformó en una representación de la esfera celeste, destinada a responder a interrogaciones más complejas, y el instrumento fue convirtiéndose en un conjunto de ábacos para llegar a extender su radio de acción a problemas de planimetría y de horas. Hasta la Astrología se entrometió en la construcción del instrumento y llegó a imponer sus curvas, destinadas a las cábalas y la magia, en el conjunto de sus láminas metálicas.

La invención del astrolabio está envuelta en una impenetrable oscuridad. Todos los nombres de los filósofos griegos que trataron de Astronomía aparecen en los libros dedicados al astrolabio, como presuntos inventores del mismo. Lo más seguro es situarse entre Hiparco y Ptolomeo para asegurar al instrumento una realidad de existencia.

En el Planisferio, obra de Ptolomeo, aparecen la primera formulación teórica del instrumento. El astrolabio obtuvo su máximo esplendor con la cultura islámica que la heredó del mundo helénico.

El astrolabio redondo fue en realidad una poma[99] o globo, sobre cuya superficie se resolvía un número grande de problemas. Como el astrolabio esférico o redondo era incómodo de manejo por su peso y volumen, se ideó el astrolabio plano *"porque ovo Ptolomeo que era estrumente muy grieve de traer de un lugar a otro"*, escribió el rey Alfonso.

Como el astrolabio llano servía para un limitado número de latitudes y necesitaba una proyección estereográfica para cada caso, nos cuenta el rey Alfonso que a

---

[99] N.A. Esta parte del astrolabio redondo, recibe el nombre de globo o poma, por su forma. No debe confundirse con la palabra catalana "poma" que es la traducción de "manzana", su forma figura en los "Libros del Saber de Astronomía", y su fotografía en las páginas siguientes.

mediados del siglo XI vio Abuicae Azarquiel un manuscrito, que suponía redactado por Ptolomeo, en el que se explicaba el modo de allanar la esfera en un plano. Encontraba Azarquiel que era un defecto del aparato el necesitar una lámina para cada "ladeza" o latitud en donde se le quisiera utilizar, y agregaba *"yo pensé de cuomo se deve fazer un instrumente que cumpla todas las ladezas".*

Azarquiel consiguió su propósito confeccionando en 1075, con un solo disco y una red, el "orizon universal", al cual denominó almemonia, como homenaje al rey Almeymon de Toledo, de cuya corte era astrólogo el sabio hispano-árabe. Pasados varios años, perfeccionó Azarquiel su instrumento y construyó en Sevilla un nuevo astrolabio universal, más exacto que el primero, al que llamó "alhabedia"[100], pero fue más conocido por la "azafea de Azarquiel". Ambas invenciones reposan en el empleo de una proyección de la esfera sobre un plano que pasa por los polos.

Como la principal, aplicación del astrolabio en la mar era la de medir alturas o distancias cenitales, el astrolabio plano se vio despojado de sus láminas, arañas y ábacos, para quedar reducido a una simple rueda con el limbo graduado, tres o cuatro radios y la medeclina o regla de enfilación, con sus correspondientes pínulas. Algunos conservaron la escala altimétrica, que pronto desapareció. En cambio el astrolabio náutico, como se denominó a este último tipo, se hizo de mayor diámetro, en beneficio de una graduación más clara y amplia, y más pesado para defenderse del viento en la mar.

En cuanto a la forma de graduar el limbo del astrolabio, se adoptó primitivamente el situar el 0º en el extremo del diámetro horizontal del mismo, en 90º quedaban

---

[100] N.A. Nombre derivado de Almuk-Tamid-Aben-Alhabed, señor de la ciudad del Betis, o río Grande de los árabes.

en la extremidad superior del diámetro vertical, y las cifras dadas por el índice de la medeclina representaban alturas. Después se invirtió el orden, y el 0º quedaba en la parte superior, junto al colgadero, y se medían distancias cenitales, parece ser que esta última forma la idearon los portugueses, la innovación era útil, porque en las reglas de determinación de la latitud el elemento necesario era el complemento de la altura, o sea, la distancia cenital.

Una tercera forma aparece en el Livro de Marinharia de Juan de Lisboa, el semicírculo superior está cifrado de 0º a 180º, y se empleaba el instrumento dirigiendo siempre el cero hacia el punto cardinal Norte, así se obtenía la altura meridiana del Sol o el suplemento de ésta, según el astro se encontrara hacia el norte o el Sur del observador.

Nos hemos extendido en la descripción del astrolabio porque, en una u otra de sus distintas apariencias, llena el instrumento la vida astronómica de varios siglos. En el año 1747 hablaba Bouger[101] del mismo.

El astrolabio náutico fue simplificado. Despojado de sus radios o cruceta, quedó reducido a un anillo metálico con pequeña abertura en su espesor, a distancia de 45º a partir del colgadero o anillo de suspensión. Este instrumento fue conocido con el nombre de annulo astronómico, y ya es citado por Denis en su L'art de Naviguer, editado en Nantes en 1666.

Este instrumento se empleaba aún a mediados del siglo XVIII, y Jorge Juan lo

---

101 BOUGER P. "Recuil des pieces qui ont remporté les prix de l'Academie des Sciences". París 1748.

empleó en su viaje al Perú[102] para la famosa medición del grado del meridiano.

Se atribuye erróneamente la invención del annulo a Gemma de Frísia, confundiéndolo con otro explicado por éste en la Cosmografía de Pedro Apiano, al que denominó también anillo astronómico.

El astrolabio esférico:

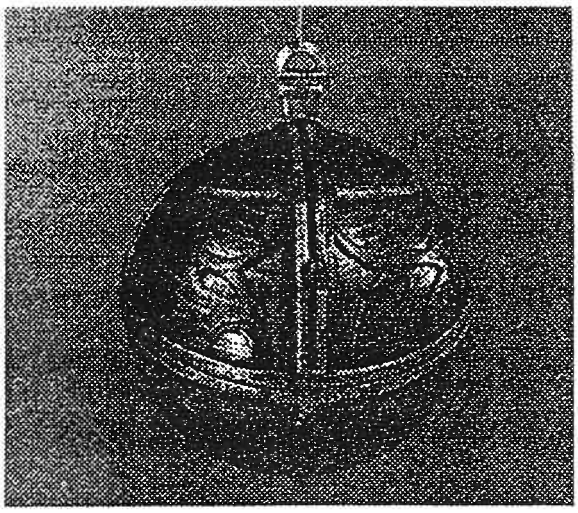


Figura 8.-

Astrolabio esférico construido por un artesano oriental llamado Musá en 885H./1480. Se conserva en el Museum of the History of Science de Oxford.

N° de catálogo: 62-25, B-M MUSA 1. Diámetro: 8,1 cm.

Esta pieza es el único astrolabio esférico completo que se conserva. El instrumento tiene, tal vez, un origen clásico y era conocido ya en el siglo X. En el siglo XI lo

[102] Dice en su libro que "deseosos de ocuparnos en hacer algunas observaciones, supimos que en poder de D. Joseph Herrera se hallaban un Annulo Astronómico y dos telescopios....Juan(Jorge) Observaciones Astronómicas y phisicas, Madrid 1748.

menciona Azarquiel y en el siglo XIII, los colaboradores del rey Alfonso X escriben un tratado sobre su construcción y uso.

Este astrolabio consta, básicamente, de dos piezas: 1) la esfera dividida en dos hemisferios por el horizonte. En la mitad inferior aparecen las líneas horarias correspondientes a las horas desiguales. En el hemisferio superior se encuentra el trazado de una red de almicantarats o círculos de altura (de 2º en 2º), así como el de una red de círculos verticales. Uno de estos círculos verticales lleva, a lo largo de un cuadrante, una serie de 45 agujeros (uno cada dos grados) a los que puede sujetarse, mediante un eje, el punto de la red correspondiente al polo del ecuador, de modo que éste forme con el horizonte un ángulo igual a la latitud del lugar; 2) La red se superpone a la esfera y va provista de índices para 19 estrellas. Lleva asimismo la eclíptica, un paralelo de declinación para medir coordenadas ecuatoriales y un cuadrante vertical graduado que permite medir latitudes celestes, distancias polares y distancias cenitales. En este cuadrante se encuentra un gnomon móvil que permite medir alturas del sol.

Astrolabio planisférico:

Se denomina astrolabio planisférico a un instrumento astronómico de forma circular, con un diámetro que oscila entre los diez y los cuarenta centímetros y un grosor de pocos milímetros. Pudo realizarse en distintos materiales, pero la mayor parte de los ejemplares que conocemos son de latón.

Para cualquier habitante de nuestro planeta, la rotación diaria de la tierra alrededor de su eje produce la impresión de movimiento de la bóveda celeste. Este desplazamiento se puede apreciar de día con el sol y de noche con una estrella. Si contempláramos diariamente los recorridos del sol y de una estrella, veríamos que cada día que pasa ambos astros se encuentran en un punto diferente del día anterior, y que, al cabo de un año, volveríamos a encontrarlos en el mismo lugar en que iniciamos la observación. Esto quiere decir que dos observadores en un mismo momento en diferentes latitudes geográficas tendrían una visión distinta del Sol, y podrán contemplar la misma estrella, pero no la verían a la misma hora.

Para poder comprender estos fenómenos, los astrónomos construyeron desde muy antiguo unos aparatos llamados esferas armilares que les permitía contemplar de una forma clara, cómo es el cielo. La introducción del astrolabio supuso la representación en un plano de los diferentes elementos de la esfera armilar: el ecuador, el trópico de cáncer, el trópico de capricornio, el recorrido del Sol o eclíptica...., tomando como centro de proyección uno de los polos celestes y como plano de proyección el ecuador celeste.

4.2 PROYECCIONES:

Se puede elegir como centro de proyección cualquiera de los dos Polos, pero lo más frecuente para los habitantes del Hemisferio Norte es elegir el Polo Sur. De esta manera se podrá representar con el astrolabio cualquier punto de la Esfera Celeste, excepto la parte comprendida entre dicho Polo y el Trópico de Capricornio. Esta proyección estereográfica septentrional tiene, entre otras, dos propiedades fundamentales: todo círculo de la esfera perpendicular al eje de proyección se traduce en un círculo en el plano, y toda medida angular de dos alineaciones celestes se proyecta en el plano en su verdadero tamaño.

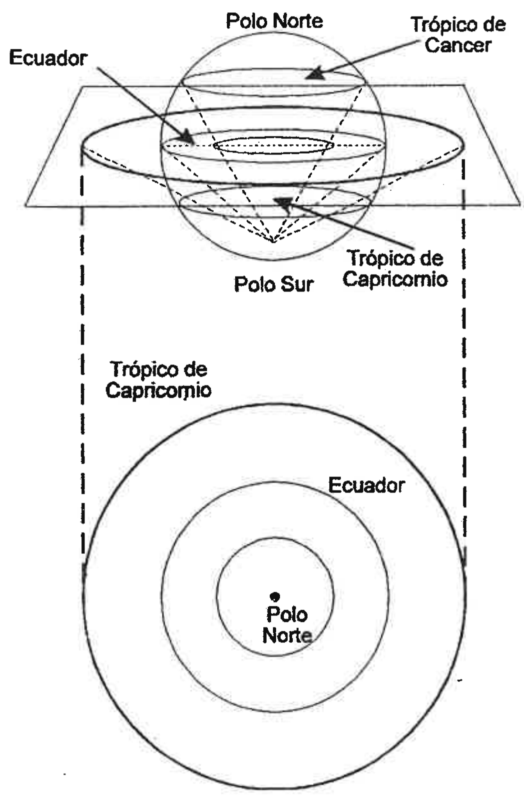


Figura nº9.-

4.3 PARTES DEL ASTROLABIO:

1. La madre.

2. El tímpano

3. La araña.

4. La alidada, con sus pínulas.

Dibujo de la proyección o desarrollo del astrolabio, con sus diferentes partes:

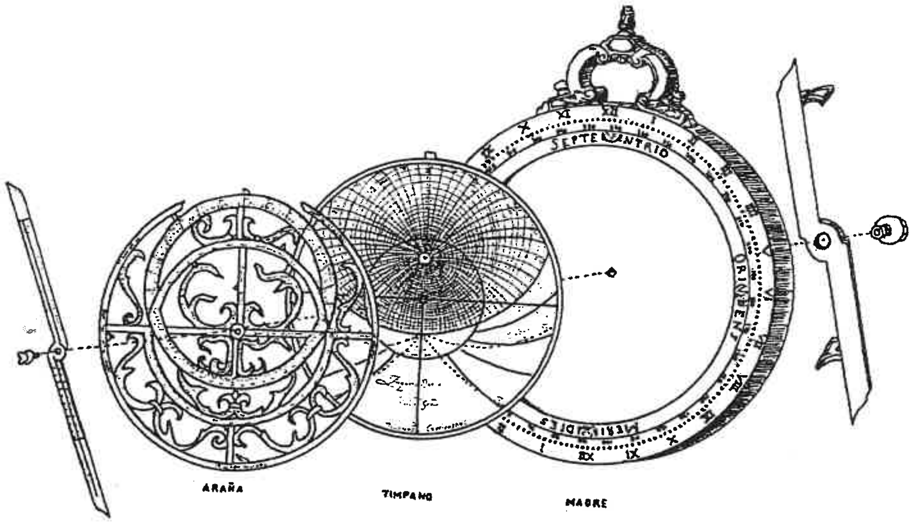


Figura nº10.-

La madre:

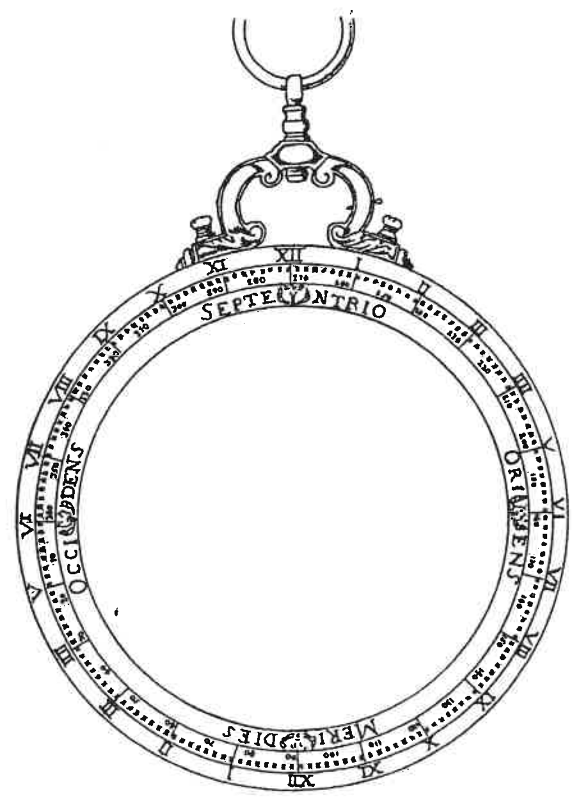


Figura nº11.-

La madre constituye el armazón del astrolabio. En la parte superior lleva un sistema de suspensión más o menos lujoso, al que va sujeta una anilla para poder colgarlo. Tiene dos caras, que se denominan faz y dorso.

a) La Faz tiene en el centro un hundimiento o rebaje circular en donde se colocan el tímpano y la araña. La corona circular que se ve en el dibujo se denomina limbo y lleva las siguientes anotaciones:

* Las cifras de las horas con la numeración romana y con dos series del I al XII.
* Una graduación de 0º a 360º.

b) El Dorso no es igual en todos los astrolabios, en el que presentamos como ejemplo las anotaciones más importantes van en el limbo y consisten en:

* Una corona exterior con la graduación de los cuatro cuadrantes del círculo, de 0º a 90º.
* Un calendario zodiacal o referencia al lugar que ocupa el Sol cada día del Zodíaco, que en esta pieza aparece representado por los nombres, símbolos y grados del Zodíaco.
* Un calendario según los días del año, con indicación, además, de los meses y días de cada mes.

La superficie central aparece dividida en dos partes, la inferior la ocupa el doble cuadrante de sombras, la superior muestra un doble cuadrante de curvas horarias iguales y desiguales.

Las horas desiguales son cada una de las partes iguales en las que se puede dividir el intervalo de tiempo de un día natural desde el nacimiento del sol hasta su ocaso, y también cada una de las doce partes en las que puede dividirse el tiempo transcurrido desde el ocaso del sol y su nueva aparición. Se llama de esta manera porque las horas no tienen igual duración a lo largo del año.

Las horas iguales son las que corresponden a nuestro día natural, es decir que cada una de ellas es la vigésimo cuarta parte del día. Son nuestras unidades convencionales, que como es lógico, duran exactamente lo mismo.

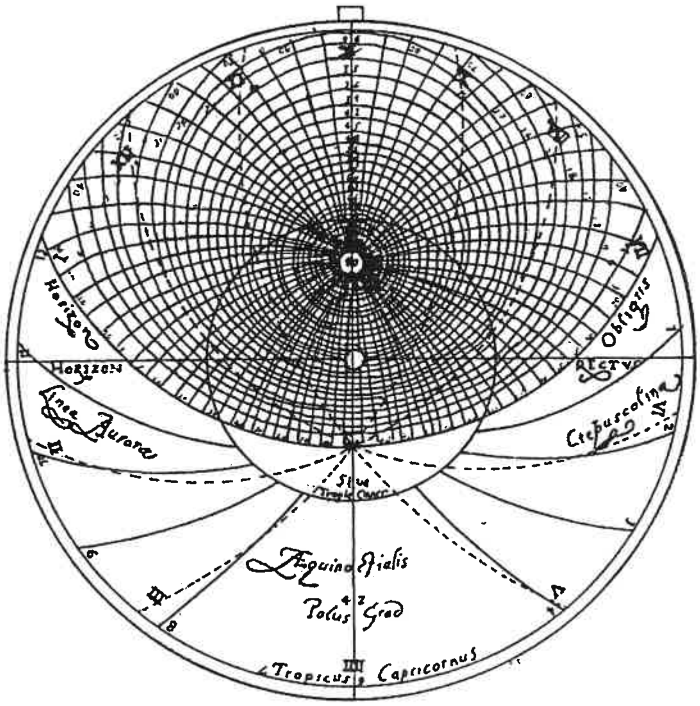


Figura nº12.-

Los tímpanos son discos muy delgados y planos que se insertan en el fondo de la madre. Es la única pieza intercambiable del astrolabio, porque cada uno sólo vale para una latitud determinada. Por lo general suelen ir grabados por las dos caras, y cada astrolabio lleva tres ó cuatro tímpanos, para poder ser utilizados en distintos lugares.

El orificio central del tímpano representa el Polo Norte celeste, y es común a todo el astrolabio. Los siguientes círculos concéntricos son las proyecciones de los círculos de Trópico de Cáncer, del Ecuador celeste y el Trópico de Capricornio. Como se ha indicado, la proyección estereográfica[103] meridional no representa la parte de la esfera situada al Sur del Trópico de Capricornio.

El tímpano que ilustra este texto tiene trazadas las líneas para lugares que tengan una latitud de 42º. Por tanto, un observador situado a 50º de latitud no podrá utilizarlo para reproducir la bóveda celeste desde su punto de observación porque su horizonte será también diferente.

El horizonte está marcado por una línea convexa bajo la cual pone "Horizon obliquus". Los círculos paralelos que están sobre el mismo son los Almicantarats o círculos de igual altura. Los arcos de círculos que irradian desde el Cenit y que se dirigen hacia el horizonte son los verticales círculos máximos cuyos planos son perpendiculares a los Almicantarats[104].

Las alturas y los Acimuts constituyen el sistema de coordenadas horizontales, y con ellas se puede situar la posición del astro.

La araña es una lámina calada, con una red, que se coloca sobre el tímpano. Al girar alrededor del eje del astrolabio sus perforaciones permiten localizar la posición de los astros.

---

[103] N.A. Casi todas las proyecciones empleadas en la marina están basadas en la proyección de la esfera sobre un cilindro, cono o plano y que pueden ser secantes, tangentes o exteriores a ella y efectuando la, proyección de los paralelos y meridianos desde un punto que puede ser el propio centro de la esfera (centrográfica), un punto de su superficie (estereográfica), del infinito (ortográfica), o desde un punto situado a una distancia finita (escenográfica).

[104] N.A. Reciben este nombre los círculos menores paralelos al plano del horizonte racional o verdadero, y que sirven para medir la altura de los astros. Definiéndose la misma como arco del vertical desde el horizonte al almicantarat del astro

Las estrellas están representadas con una especie de ganchos o garfios en los que se indican su nombre. El número de estrellas representadas oscila entre 10 y 50 de unas a otras arañas. La pieza reproducida incluye 42.

El círculo descentrado se denomina Eclíptica[105] y representa el recorrido del Sol, es decir el Zodíaco[105'], con indicación de los nombres, símbolos y subdivisiones de cada una de las doce constelaciones que lo componen.

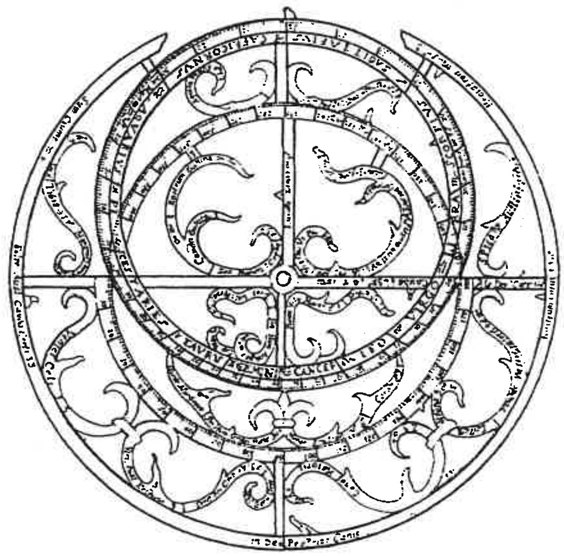


Figura nº13.-

[105] N.A. Camino que aparentemente recorre el Sol en su movimiento figurado alrededor de la Tierra.

[105'] Los signos del zodíaco son doce: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis.

El primer punto de Aries, es el orígen de las longitudes celestes. Cada signo del zodíaco abarca una zona de 30°.

Debido al movimiento del primer punto de Aries sobre la eclíptica, a causa de la precisión de los equinoccios, en los dos mil años últimos dicho punto se ha trasladado cerca de 30°, originando que el lugar de la constelación de Aries lo ocupe Piscis, o sea que todas esten desfasadas, aunque los signos del zodíaco mantienen sus nombres antiguos.

En el dibujo de la proyección del astrolabio se aprecian dos reglas, aunque muchos de estos instrumentos no llevan nada más que una, concretamente la situada a la derecha, detrás de la madre. Se llama alidada, y tiene la misma longitud que el diámetro del aparato. Puede girar sobre el eje central y sus extremos llevan dos pínulas para observar los astros. A la que se reproduce en la parte izquierda de la figura se la denomina segunda alidada.

4.3.1 UTILIZACIÓN DEL ASTROLABIO

Para observar la altura del Sol la primera operación consiste en orientar el astrolabio sujetándolo por la argolla en dirección a este astro, y a continuación colocar la alidada de tal forma que un rayo de sol atraviese una de las pínulas y caiga exactamente sobre el orificio de la otra. La alidada indicará sobre el cuadrante graduado de la madre, la altura del sol en relación al horizonte en ese momento. Si se trabaja durante la noche hay que hacer la misma operación con una estrella. La alidada indicará también la altura de la misma en el momento de la observación. La siguiente operación que hay que llevar a cabo es la de colocar la araña en la posición correcta. Para ello hay que girarla haciendo que el índice o garfio correspondiente a la estrella observada coincida con el arco de círculo del tímpano que refleje su almicantarat.

A partir de este momento, el astrolabio está en posición de trabajo, y todas las demás estrellas quedarán colocadas sobre sus respectivos almicantarats y acimuts. Si lo que se ha observado es el sol, y no hay una estrella, hay que tener en cuenta que lo que constituye su índice es el grado del zodíaco correspondiente al día de la observación, y será este grado el que hay que situar sobre el almicantarat que nos facilitó la alidada.

El astrolabio puede responder a una serie de preguntas, como la hora de salida o de crepúsculo del Sol, la hora de nacimiento o desaparición de una estrella, la duración de una jornada, etc., pero además, referidas a cualquier tiempo pasado, presente o futuro. Con dos datos conocidos se puede obtener un tercer dato.

Por ejemplo, si el aparato está preparado y queremos conocer la hora "igual", es suficiente colocar la segunda alidada sobre el grado zodiacal correspondiente al día de la observación para que ésta marque, sobre el limbo de la faz, la hora igual. Lógicamente, para conseguir este dato hemos tenido necesidad de averiguar previamente cual era la altura del sol o de una estrella en relación al horizonte, y cual era la posición del sol en el zodíaco el día de la observación.

4.3.2 EL ASTROLABIO: TIPOS

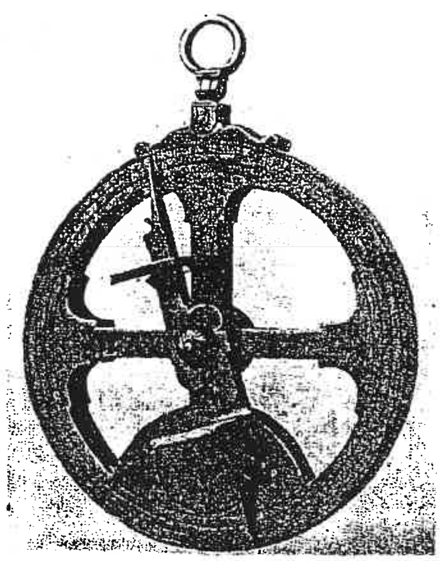


Figura nº14.-

Reproducción de un astrolabio náutico propiedad del Museum of the History of Science de Oxford. Diámetro: 17 cm. Grosor: 1,8 cm.

El instrumento original se encuentra en el National Maritime Museum de Greenwich y es, probablemente, de origen español: se encontró en 1845, en la isla de Valencia, en Irlanda, en un lugar muy próximo al del naufragio de tres barcos españoles de la Armada Invencible, por lo que debe fecharse hacia 1585. El instrumento parece inacabado ya que el limbo está dividido en grados pero éstos no aparecen numerados.

Este tipo de instrumento tiene poco que ver con el astrolabio esterográfico. Se trata de un instrumento de observación utilizado para determinar la altura meridiana del Sol o de una estrella: si se conoce la declinación del astro, una simple suma o resta nos dará la colatitud del lugar. Para ello se requiere únicamente un círculo graduado como el limbo y una alidada de pínulas que permita lanzar una visual. El mayor grosor del instrumento en su parte inferior tiene como función el desplazar hacia abajo el centro de gravedad y facilitar el que el diámetro horizontal coincida con el horizonte cuando el astrolabio esté suspendido de la anilla.

El astrolabio náutico surgió, tal vez, a fines del siglo XV como resultado de los estudios preparatorios para los grandes viajes y resulta, quizás, de una mezcla de elementos tomados del astrolabio estereográfico y de los grandes círculos (armillas) graduados que se utilizaron en los observatorios astronómicos medievales. Otra posibilidad sería relacionarlo con el astrolabio mencionado en los tratados de agronomía y utilizado por los agrimensores sobre todo para medir pendientes.

Astrolabio construido en 1598 por Michel Coignet, cosmógrafo flamenco que tradujo a su idioma el Arte de Navegar de Pedro de Medina. Museo Naval, Madrid.

Figura nº15.-

Astrolabio universal (faz):

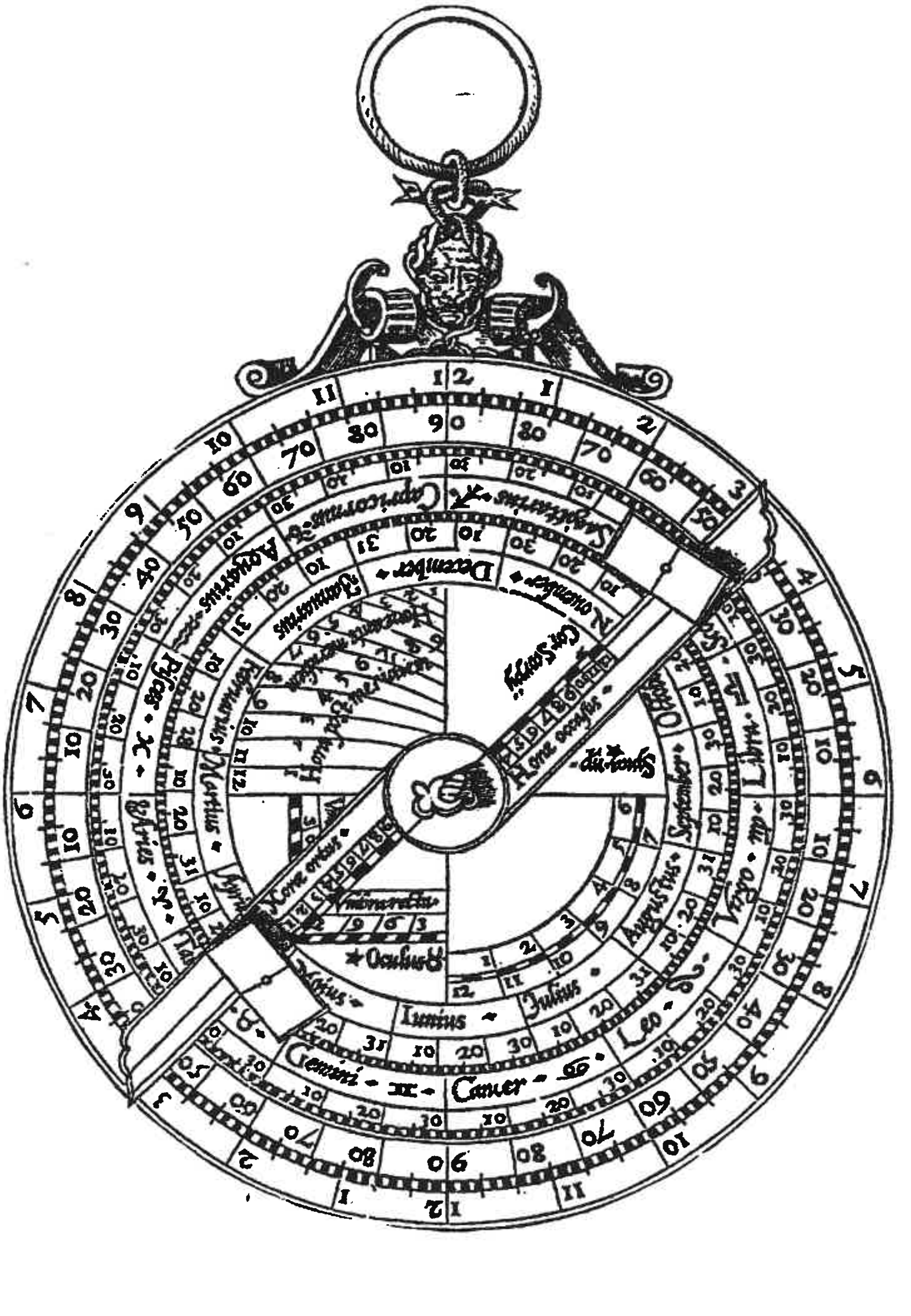


Figura nº16.-

Astrolabio universal (dorso):

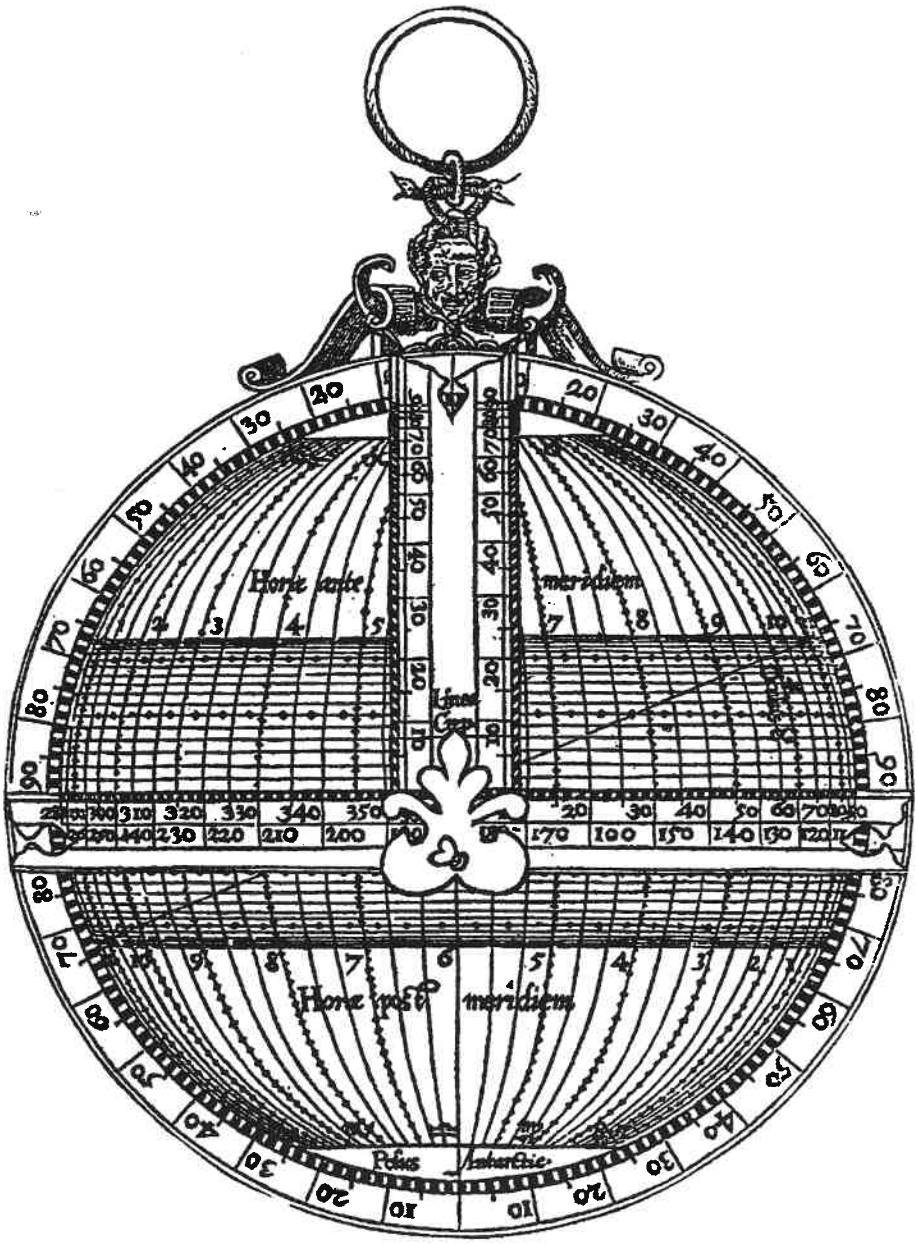


Figura nº17.-

Astrolabio "universal" de Juan de Rojas Sarmiento. Commentariorum in astrolabium...(París 1550). Biblioteca Nacional, Madrid. La faz lleva una serie de coronas concéntricas con los meses, signos del zodíaco, grados que corresponden a cada uno, etc. En su parte central, la superficie de la lámina está dividida en cuadrantes, dedicados a la conversión de horas iguales a desiguales, a una escala altimétrica y a indicar la situación de algunas estrellas. Sobre la lámina, aparece la alidada o regleta móvil destinada a observar los astros a través de los orificios circulares de sus pínulas, presenta un diámetro con divisiones de un radio con la inscripción "Horae ortus" y "Horae Ocasus" en el otro. El dorso, aparte de una corona graduada, tiene grabada una proyección ortográfica de la esfera celeste. Los paralelos aparecen como líneas rectas y los meridianos como curvas elípticas que tienen por eje mayor un meridiano central recto y perpendicular al ecuador celeste. Sobre la proyección hay una regleta que sirve de horizonte móvil y un cursor, ambos asimismo graduados.

Astrolabio fechado en 1483 (en la regla radial) y atribuido a Hans Dorn. Conservado en el instituto e Museo di Storia della Scienzia de Florencia. Inv. nº1096. Diámetro: 46 cm.

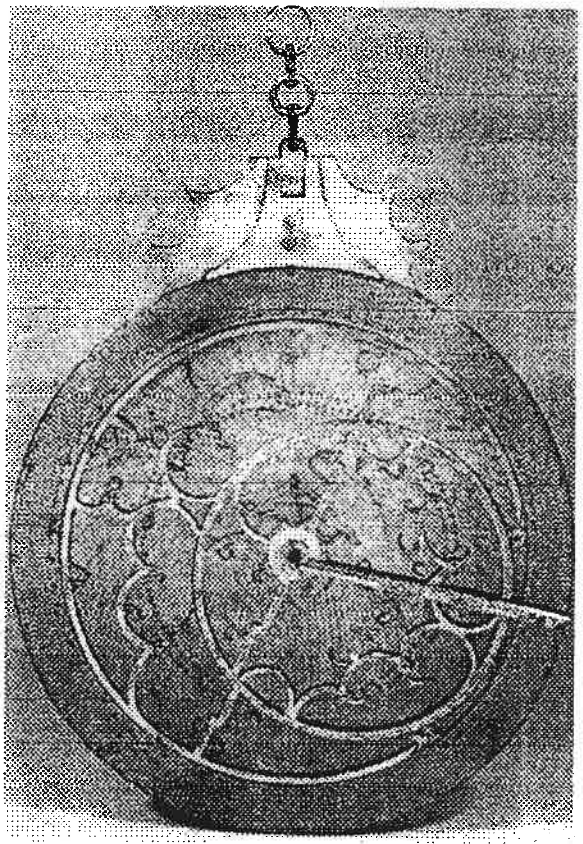


Figura nº18.-

Existe otro astrolabio prácticamente idéntico aunque sin fechar en la Universidad Jagelloniana de Cracovia (Polonia). Se conserva, así mismo, otro instrumento, éste firmado por Hons Dorn, en el Museo Británico, así como una esfera celeste y un torquetum del mismo autor también en Cracovia. Dorn pertenece a la generación posterior a la del célebre astrónomo alemán Regiomontano que introdujo, en el dorso del astrolabio, una proyección ortográfica de la esfera celeste diseñada específicamente para determinar la hora en función de la altura solar en cualquier latitud terrestre.

La idea subyacente remonta a Ptolomeo pero el desarrollo de la misma con vistas a su aplicación a un instrumento astronómico aparece por vez primera en el dorso de la azafea de Azarquiel.

Astrolabio lineal:

Reconstrucción de un astrolabio lineal realizada, en ébano y marfil, por Henry Michel en Bruselas en 1943. Se conserva en el Museum of History of Science de Oxford. 57-84/15. Longitud: 40 cm.

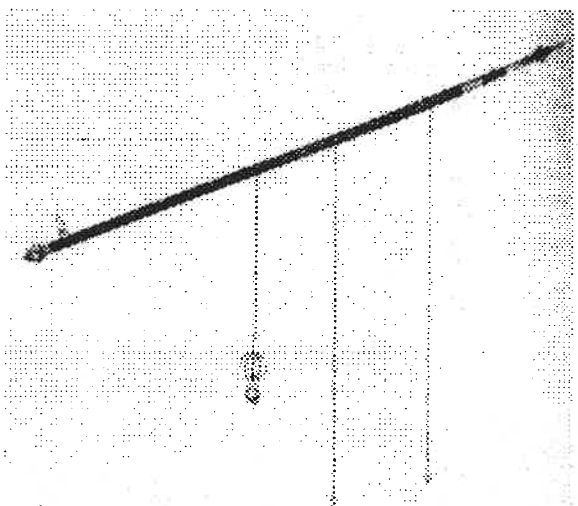


Figura nº19.-

Este instrumento, del que no se conserva ningún especímen antiguo, fue inventado por el astrolabista persa Saraf Al-Din al-Tusi.

En él, el astrolabio ha quedado reducido a la línea meridiana del mismo, representada, por una vara graduada sobre la que se han marcado la posición del Polo, los centros del ecuador, de los trópicos y de los paralelos de declinación, el cenit, las intersecciones de los almicantarats con la línea meridiana, una escala de cuerdas de 180º, etc. Esta vara se combina con un sistema de tres hilos y una plomada y proporciona un conjunto utilizable aunque, probablemente, menos preciso que un astrolabio convencional.

Astrolabio ecuatorial:

Astrolabio-ecuatorial del Merton College de Oxford, c. 1350. Diámetro: 37 cm.

Se trata del más antiguo que se conserva. El astrolabio lleva una lámina para la latitud 56.6 (Oxford). El dorso, correspondiente al mismo, tiene una cierta semejanza con el instrumento de Azarquiel, ya que los ecuantes planetarios aparecen en una única lámina introducidos unos dentro de otros, aunque los de Saturno y Marte se cruzan. El pequeño círculo central con agujeros se utiliza para que, sobre él, se desplace el centro del deferente de Mercurio, con lo que se abandona la tradición zargalí en la que el deferente de Mercurio aparece como una curva elipsoidal. El instrumento está incompleto ya que faltan, por lo menos, los epiciclos.

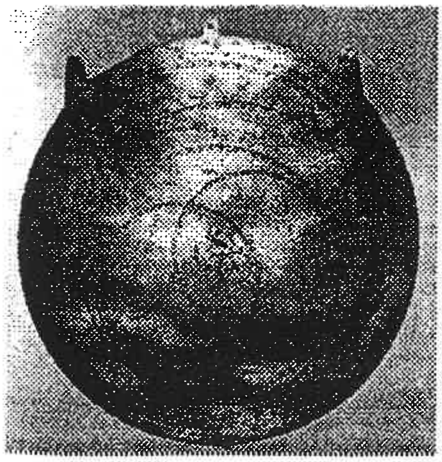


Figura nº20.-

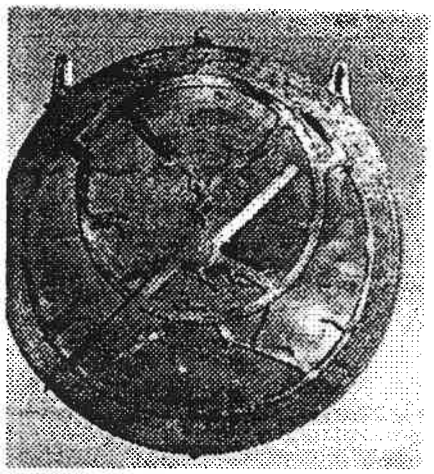


Figura nº21.-

Astrolabio construido en Toledo en el 460 H./1068 por el artesano andalusí Ibrahim ibn Sa id al-Sahli que se conserva en el Museum of the History of Science de Oxford (IC 118 B-M IBRHM SID 2). Diámetro: 16,8 cm.

La red lleva indicadores para 28 estrellas. Contiene cinco láminas grabadas por ambas caras y que corresponden a las latitudes siguientes: 21;40º (La Meca), 25; (Medina), 30º (El Cairo, etc.), 33º (Bagdad, Damasco, Túnez, Fez), 35;30º (Mosul, Sicilia, Ceuta), 36;30º (Almería, Samarcanda, etc.), 37;30º (Sevilla, Málaga, Granada...), 38;40º (Córdoba, Murcia, Baeza, Jaén), 40º (Toledo, Talavera...), 41;30º (Zaragoza, Calatayud, Huesca, Barbastro).

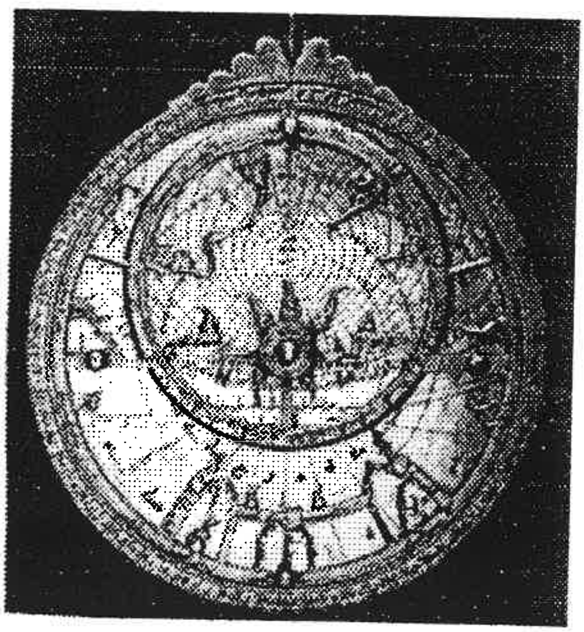


Figura nº22.-

Una sexta lámina corresponde, de nuevo, a una latitud de 40º: está grabada por un solo lado y no lleva mención de poblaciones. La séptima lámina está grabada sobre la madre del instrumento y corresponde a una latitud de 28;20º (Kabul...). Al dorso aparece el característico calendario zodiacal (equinoccio de primavera el 14 de Marzo) con los nombres de los meses julianos en árabe y en latín y un diagrama calendárico en torno al centro.

Astrolabio Magrebí en latón del siglo XVIII, conservado en el Science Museum de Londres. Inv. Nº1986-1190. Diámetro: 24,6 cm.

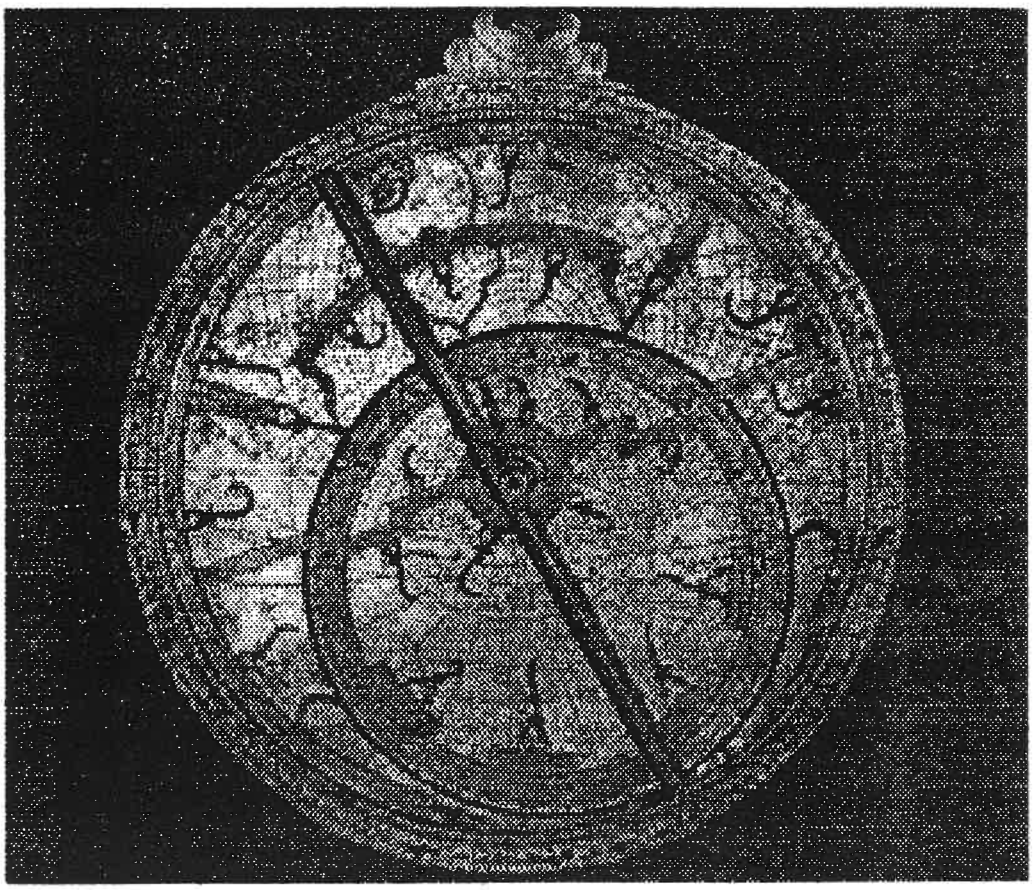


Figura nº23.-

De acuerdo con la ficha redactada por Anthony Turner para el catálogo de la subasta de esta pieza, la red de este instrumento excepcional lleva indicadores para 26 estrellas. El fondo de la madre está grabado como una lámina para una latitud de 16º. Se conservan asimismo 8 láminas, grabadas por ambas caras, con proyecciones estereográficas polares para las latitudes de 24º y 30º, 36;50º y 40;20º, 43º y 45º, 34º y 35º y 90º.Las restantes láminas llevan trazados menos corrientes: un diagrama para la división de las casas astrológicas del horóscopo para una latitud de 34º, tres series de tablas astronómicas, así como una lámina para todos los horizontes del tipo occidental.

4.4 EL CUADRANTE: TIPOS

El cuadrante compartió con el astrolabio la misión de apuntar al cielo con sus pínulas para la determinación de alturas de los astros sobre el horizonte. Pero mientras el astrolabio, en miscelánea de aplicaciones, encerró en sus discos muchos ábacos destinados a la resolución de temas astronómicos y astrológicos, el cuadrante fue más sencillo en sus orígenes, puesto que su única misión era la de obtener las alturas sobre el horizonte, de horas desiguales, y, a veces, presenta en sus superficies las rectas del cuadrado altímetro o de sombras.

Los primitivos cuadrantes se componían de una cuarta parte de círculo, llamado limbo graduada de 0° a 90° y limitada por dos radios, sobre uno de los cuales se situaban dos pínulas.

En el vértice de los dos radios, encontramos un grillete con un arganeo cerrando el conjunto, un perno de cuyo extremo pende el hilo con plomada destinado a servir de índice.

Este instrumento tuvo su máxima aceptación en el medievo, pero pese a su fácil manejo, no era un instrumento muy práctico, puesto que sólo se podía hacer uso de él con balances moderados del buque, pues de lo contrario, la dificultad de mantener el hilo en la vertical hacía que los resultados no fuesen demasiado fiables.
Existen numerosos modelos de cuadrantes con plomada, de distintas épocas. El cuadrante que figura en los libros del Saber de Astronomía del rey Alfonso el Sabio, es un tipo más complicado pues, además de lo expuesto anteriormente, ostenta también el cuadrante altimétrico y el ábaco de horas desiguales, estando sustituida la alidada o medeclina del astrolabio por la plomada. Este cuadrante fue encargado por el rey al sabio judio Rabiçaç y que recibió el nombre de Cuadrante Alfonsi.
Consta de una corredera o cursor que se mueve a lo largo de una entalladura, el cuadrante altimétrico y el ábaco de horas desiguales.
La corredera o cursor es una pieza en forma de segmento regular de corona geométrica que se desplaza a lo largo de la "zanja" cavada en los arcos y cuya función es la de actuar como tabla de declinación del Sol. Uno de los inconvenientes de este método es que debido a la variación del inicio de la primavera con el tiempo, se hacía inexacto.
El cuadrante de sombra lo encontramos trazado en el vértice del cuadrante y su función es la de efectuar operaciones de altimetría. Dos de los lados del cuadrante (llamados: sombra conversa el paralelo al radio portador de las pínulas y sombra expandida el contiguo), están divididos en doce partes cada uno recibiendo el nombre de "dedos de sombra" cada una de las partes.
El limbo lo encontramos dividido en 90º y el resto de la superficie del cuadrante aparece surcada por seis arcos de círculo que representan las horas desiguales,

temporales o planetarias.

En el cuadrante Alfonsi, los intervalos aparecen con las inscripciones: hora primera, segunda,...sexta, y aclarando que el arco limitador de esta hora, que resulta ser un semicírculo de diámetro, es "la línea del mediodía".

El peso que actuaba en la extremidad del hilo, era llamado almurí o demostrador y que más tarde, en el siglo XV se le denomina margarita, servía para la determinación de la hora.

Se lee en algunos autores, Delambre entre ellos, que las curvas horarias fueron importadas a Europa por Sacrobosco o Sacrobusto[106] el cual las aprendió en el lejano Oriente.

Cuadrante vetus:

Muy parecido al cuadrante alfonsi. Ambos instrumentos presentan en el anverso un limbo graduado, un cursor móvil, en el cual encontramos grabada la escala de declinaciones del Sol referidas a los meses del año, con la cual, sabida la latitud del lugar, puede obtenerse inmediatamente la altura meridiana del Sol para un día determinado, un cuadrante de sombras y las líneas horarias que nos permiten determinar la hora, antes o después del mediodía.

En el reverso encontramos un calendario zodiacal circular, presentando el equinoccio de primavera. La distinción estriba en que los vetus como distinguía

---

[106] N.A. Este autor fallecido en 1256, inglés de nacimiento, estudió en Oxford y enseñó en París matemáticas, donde escribió un tratado de Astronomía, que tituló Sphaera mundi, y que fue una obra muy conocida en Europa durante tres centurias.

Millas Vallierosa[107] en que los vetus eran sólo cuadrantes geométricos y horarios, en tanto que los novus resolvían otros problemas astronómicos. Este tipo de cuadrante deriva directamente del astrolabio a través de un doble rebatimiento de las caras de éste.

Cuadrante sinico:

Este cuadrante de construcción árabe, y conocido como Rabî-aldestur, data del año 1450 y se encuentra dentro de los cuarantes llamados "quadrans vetustissimus" que presentaban en su superfície las líneas de proyección, de las divisiones del arco del limbo, sobre uno o los dos radios limitadores ofreciendo de este modo una representación del seno y coseno trigonométricos.

los árabes sólo empleaban el coseno como seno del complemento del arco, obteniendo así el cuadrante sínico o "quadrans canonis", en el que encontramos el radio dividido en sesenta partes.

Es importante notar que el cuadriculado de senos y cosenos forma la parte fundamental del quartier de reducción o cuadrante dorado, que es probable concebiera Raimundo Lulio (1235-1305).

El gráfico del cuadrante sínico no es más que una sucesión de rectas perpendiculares al radio portador de las pínulas. En cuanto al modo de utilizarlo para tomar alturas, es idéntico al del cuadrante alfonsi.

---

[107] De esta manera considera el tipo de cuarante descrito por el rey Alfonso, para distinguirlo de otro más moderno, iniciado por el judío Tibhou hacia 1300, que complica sus curvas con nuevos ábacos tomados del astrolabio plano.
Millas Villierosa- La introducción del cuadrante con cursos en Europa (Revista de Marina n°1915, Brujas 1932).

Cuadrante universal:

Este cuadrante ideado por Thomas Stirrup, también llevaba plomada, y en una de sus caras ofrecía el cuadriculado típico del cuadrante de reducción, y en el dorso una corona destinada a estrellas y signos zodiacales, el autor escribió un libro[108] que además de describir al instrumento, insertaba numerosos casos de determinaciones astronómicas y náuticas a base de su cuadro.

Gnomon astronómico o cuadrante geométrico:

Las divisiones de este cuadrante vienen dadas en dedos de sombra, las dos pínulas usadas para enfilar el astro se encuentran situadas en una regla que puede girar sobre uno de los vértices del cuadrado. Este cuadrante geométrico[109] necesitaba del hilo a plomo para llevar un lado del mismo a la verticalidad.

Cuadrante náutico:

Este cuadrante que figura también en un manuscrito del Museo Naval de Madrid, y que se encuentra en muchos tratados de navegar, entre ellos el de Simao d'Olivera en su Arte de Navegar, editado en Lisboa en 1606.

En este modelo ha desaparecido el hilo a plomo y la perpendicularidad se confía al peso del instrumento, cuya parte principal se obtenía "fundiendo un cuadrante de metal del grueso y tamaño de un astrolabio", como explica el autor.

Si se sujeta el instrumento por su anilla la vertical del centro del instrumento coincide con la graduación de 45º del limbo, esto ocurre gracias al ángulo constante

---

[108] STIRRUP T. "The description and use of the Universal Quadrant" London 1655.

[109] N.A. En un manuscrito anónimo del siglo XVI, que se conserva en el Museo Naval de Madrid figura este Gnomon astronómico o cuadrante geométrico.

de 45º que forman el índice y la regla portadora de las pínulas.

4.5 EL SEXTANTE: TIPOS:

Meyner presentó en 1724 a la Academia de Ciencias de París otro instrumento para tomar alturas en la mar. Se trataba de un semicírculo de un pie de radio, con borde de latón, graduados el limbo, una alidada en uno de los extremos de la cual encontramos la pínula, un litón o plomada para efectuar las lecturas de las observaciones y una segunda pínula usada como ocular para visar el horizonte.
La graduación del limbo está compuesta de dos series de 90º, con el cero situado en mitad del arco común a ambas graduaciones. En 1729 ideó Meyner otro aparato destinado a medir alturas, consistente en un círculo de latón graduado sobre el espesor y suspendido por una bola mantenida entre dos casquetes. En la parte inferior del círculo, un peso a modo de péndulo se introducía en un depósito lleno de mercurio para que éste actuara de amortiguador de oscilaciones. Dos pínulas sobre los bordes del círculo y una brújula para orientar el instrumento completaban el conjunto.
Este instrumento, otro debido a Queineuf, y varios inventos más destinados a medir alturas, están descritos en los volúmenes de Machines et Inventions appruveés par l'Académie Royale des Sciences de Paris correspondiente a los años inmediatos a 1735.
Quedan por descubrir dos futuras etapas del instrumento, la primera se iniciará con el cuadrante de Davis, y la segunda con los tipos de Hadley y Newton. Pero antes hay que hacer mención de otros tipos de aparatos destinados a tomar alturas, cuyos fundamentos de construcción son completamente distintos a los hasta aquí

explicados.

En la narración de Diego Gómez de Cinta[110] relativa a su viaje a la Guinea (1460) se cita por primera vez el instrumento como empleado en la mar. La cita aporta la aseveración de Gómez de que el cuadrante le resultó más exacto que la carta de marear. Se refiere indudablemente a la consideración de la rueda de latitudes, y con la cual, tomando en un lugar desconocido la altura de la Polar en uno de los ocho rumbos de las Guardas, la diferencia entre la cifra dada por el cuadrante y la escrita en la rueda indicaba el "subir o bajar" en latitud respecto al lugar para el cual fue hecha la rueda.

En los años que vivió Jorge Juan había decaído en la mar el empleo del cuadrante. En cambio, su uso en tierra firme alcanzó una utilización estimable, y en operaciones geodésicas e instalaciones astronómicas se ve el cuarto de círculo antecesor de los cuadrantes y círculos murales de los observatorios soportado por fuertes trípodes.

Así lo empleó Ticho Brahe[111], reducidos al limbo y la plomada, con dimensiones extraordinariamente grandes y con una nutrida red de crucetas metálicas. Otros instrumentos más cómodos y precisos llegaron en el siglo XVIII a suplantar al cuadrante de plomada, enorme y pesado, del cual dijo nuestro ministro Mazarredo en 1790 *"que eran molestos con el engorro de niveles y plomos"*. Unicamente quedó la palabra "quadrante" para designar instrumentos futuros.

Ballestina:

Hay noticias de este instrumento en el siglo XIV por una descripción del judio

---

[110] GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 231.

[111] GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 232.

catalán Gerson, según Guimeraes[112] no aparece su cita y el detalle de su construcción en otros lugares y sólo se presenta en los libros de Náutica en la primera mitad del siglo XVI.

Ispizna[113] cree que el invento es anterior y se debe al célebre Azarquiel Werner.

Fue aceptado simultaneamente en distintos países de Europa con diverso nombres. Radius visorius, le dice Werner; baculus astronomicus, le llama Apiano, radius astronomicus, Pedro Núñez, baculus jacobis, le nombró el judio catalán Levi ben[114] gerson, en la descripción del instrumento traducida al latín en 1342. Cruz geométrica, verja de oro, baculo mensorio, son otros nombres.

En el diario de Colón no aparece el instrumento, pero se lee que Regiomontano observó con él el célebre cometa de 1472. Conti cree que es de orígen indio y lo trajo a Europa Vasco de Gama, pero seguramente es de Kamel o Tabla de la India. No consta su existencia entre el material náutico del viaje de circunnavegación de Magallanes y Elcano.

En el Regimiento de Navegación de Pedro de Medina, edición 1552, existe una figura en la que el autor apunta a la Osa Menor con la ballestina.

La ballestina sufrió varios cambios a lo largo de los años, adaptándose a las necesidades de los marinos. El modelo más simple, consta de una regla graduada de sección cuadrada, de unos cuatro codos de longitud, llamada flecha, vara, radio

---

112 GUIMERAES "Sur la vie et L'oeuvre de Pedro Núñez" Coimbra, 1915.

113 En su comentario al primer libro de la Cosmografía de Ptolomeo (Nuremberg 1514), explica como puede graduarse el instrumento. Ispizna "Historia de la Geografía y de la Cosmografía" Madrid 1926.

114 GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 233.

o virote sobre la cual se desliza formando un ángulo de 90º una pieza de forma rectangular llamada sonaja o cursor.

Si el virote era demasiado largo, corría el riesgo de flexionarse. Para solventar este problema, se añadió a cada virote un juego de sonajas con las cuales podían medirse gran variedad de ángulos.

Lo más común , es encontrar tres sonajas y un martinete por cada virote. El material de fabricación de la ballestina, era la madera, normalmente maderas resistentes, tales como ébano, ácana, o palisandro, a menudo oscurecida para resaltar más la graduación.

Los primeros usuarios de este instrumento efectuaban las observaciones de cara al Sol, del siguiente modo:

Se acerca el extremo del virote o coz al ojo., efectuándose una doble enfilación astro y horizonte, cosa que se consigue corriendo el martinete con suavidad a lo largo del virote. La altura del astro se lee en la escala grabada en la flecha o virote. Cuando el astro observado es el Sol se efectúa la medición de la altura del borde superior de éste, quedando así el Sol oculto por la sonaja y evitando cegar al observador. Al resultado obtenido, se le restan entonces 15', cantidad que en la época, consideraban equivalente al radio solar.

Más adelante, para evitar estas molestias, se ideó un método para observar el Sol de forma indirecta.

Se coloca en la coz una pínula con una ranura que coincide con la línea media del virote, y otra pínula, en uno de los extremos del martinete. Se efectúa la enfilación con la pínula de la coz-extremo libre del martinete-horizonte, procurando a la vez que la sombra arrojada por la pínula del otro extremo del martinete coincida con la ranura de la pínula de la coz.

Ballestina articulada:

Fue utilizada por los navegantes, aproximadamente entre los siglos XV y XVIII sin demasiado éxito, puesto que era un aparato frágil y de difícil manejo.

Está constituida básicamente por los mismos elementos que las ballestinas descritas anteriormente, pero en este caso encontramos que la pieza central del instrumento está formada por un triángulo articulado, actuando uno de los lados de virote, sobre el cual se desliza el martillo.

Ballestina crofs-bow:

Este instrumento descrito por Edmundo Gunter[115] es una especie de ballestina, con una combinación de la cruz latina, o capitata, y un arco de círculo que unía los extremos de los brazos pasando por la extremidad de la cabeza.

En el dorso o superfície no graduada del arco dibujábase una escala de meses y días del año tomando como referencias los 23º30' de la oblicuidad de la eclíptica.

En resumen el instrumento era una ballestina con una tabla de declinaciones del Sol, elemento indispensable para que, combinándolo con la altura obtenida, diese la latitud del lugar. Otros tipos de ballestina se emplearon, la figura variaba, pero el fondo teórico y la forma de operar eran los mismos. La Géodésie de Orsini, era un modelo construido por un cuadrilátero articulado al que una barra, situada según una diagonal, servía de virote.

La ballestina, antes y después de las reformas, tuvo sus partidarios y sus detractores. Aun concediendo al observador cierta práctica en el manejo del instrumento, los errores podían alcanzar el grado, y aun en las mejores condiciones de visibilidad no

---

[115] GUNTER "The Works", London 1673.

bajarían de 12'a 15'.

En 1749, vemos aun la ballestina en el libro de Sánchez Reciente, "Tratado de la navegación teórica y práctica".

Del interés que en España hubo para la construcción de los instrumentos citados haremos constar que las leyes de Indias disponían: *"Que haya marca con que se marquen las Cartas de marear; y asímismo otra para los Astrolabios, y otra para los Cuadrantes y Ballestinas..., y si el exámen que se hiciera de los instrumentos no los hallaren ciertos, y en el punto que deben tener en lo que toca al astrolabio, se rompa y se vuelva a fundir"*[116].

Cuadrante de davis

Davis, John (1550-1605), fue un navegante y explorador inglés. Inventó el primer cuadrante sin plomada digno de mención, el cual lleva su nombre. Davis publicó, en el año 1595, un pequeño manual[117] titulado "Los secretos del marino". Éste es un pequeño libro, bastante aceptable, pero con un estilo pedante, según lo califica Robertson[118], en el cual parece notarse una inspiración del de Martín Cortés, sin que esto quiera decir que se trate de un plagio.

Es bien sabido que el libro de Cortés fue traducido al inglés en distintas ocasiones y dio durante muchos años las reglas de la náutica en Inglaterra. Al final del libro de Davis (segunda parte) aparecía la figura de una ballestina de su invención para

[116] N.A. Las marcas se guardaban en la Casa Sevillana de Contratación, en un arca cerrada por dos llaves diferentes, de las que una estaba a cargo del Piloto mayor y la otra la tenía el cosmógrafo más moderno.

[117] DAVIS J. "The Seaman's Secrets", London 1657.

[118] ROBERTSON "Elements of Navigation", London 1780.

efectuar observaciones de espaldas al Sol. Dada la fragilidad del instrumento, pues sólo tenía un punto de apoyo, cayó en desuso y sólo existen de él escasas referencias.

Lo citan el capitán Saltonstall en su Navigator (primera edición, 1636) y el capitán Thomas James, en su viaje de 1631, encaminado a descubrir el paso del Noroeste, llevaba dos Davis backstaves. Marguet nos lo cita[119].

Davis[120], vio pronto la necesidad de modificarlo, y fue cuando entonces ideó el modelo usualmente conocido, pero una prueba de que en un principio encontró admirable el primitivo, es que en su libro escribió: "*Then which instrument the seaman shall not find any so good*", añadiendo vanidosamente que su invención era el resultado del talento que Dios le había concedido.

Fournier[121]cita unas modificaciones que permitían observar una estrella de una altura inferior a 30º. Más adelante perfeccionó el instrumento colocando, una lente convexa o "vídrio ardiente", que reproducía una minúscula imagen del Sol, la cual por su pequeñez resultaba muy clara y nítida si el instrumento no era defectuoso y que recibió el nombre de cristalina. Resultaba muy útil esta lente cuando el Sol estaba cubierto de celajería.

---

119 Cita en su obra a Pietro della Valle, que, en 1623 vio el instrumento en un barco inglés entre Ormuz y Suruta; dijeron los pilotos a della Valle que se trataba de una invención reciente. Histoire Générale de la navigation, París 1931.

120 N.A. Debemos recordar que en uno de sus numerosos viajes descubrió el estrecho que lleva su nombre. también Davis llamó navegación horizontal a la que considera el triángulo rectilíneo, suponiendo que una porción de la superficie del planeta pueda ser admitida como plana.

121 FOURNIER "Hidrographie", París 1667.

No se sabe quién fue el que ideó la colocación de una lente en el cuadrante de Davis pero se citan con este objeto los nombres de Flamsteed, Hook, Halley Waller[122]afirma que fue Roberto Hook. Moreno Zabala[123] dice que este cuadrante es fácil de comprender, porque en substancia no es más que la cuarta parte de un círculo. En la descripción que hace del instrumento, encontramos la particularidad de que el arco menor corresponde sólo a 25º, siendo el otro de 65º.En el museo Naval se conservan modelos con esta forma de graduación.

Con la invención de Davis, el hilo plomada desapareció definitivamente de los instrumentos para obtener alturas de astros.

Radoway:

Fue el primero que aplicó el nivel de burbuja de aire a los instrumentos construidos para la determinación de la latitud en la mar.

La propuesta de cuadrante, estaba formada por cuatro listones de madera, que formaban un cuadrado y dos arcos graduados situados en lados opuestos y cuyo centro era el del cuadrado. El otro se enfilaba con dos pínulas situadas en cada arco.

Para alturas inferiores a 45º se situaba un nivel en uno de los lados libres y para alturas superiores se colocaba en uno de los portadores de cuartos de círculo.

No hay que decir que el nivel, en cada caso, servía para disponer en línea horizontal

---

[122] WALLER "Posthmous works of Hooke", London 1705.

[123] "No ay quien se dediquen hazerlos con el primor que los de la Nación de sus primeros inventores". MORENO ZABALA "Práctica de la Navegación" Madrid 1732.

el lado correspondiente, con lo cual podía prescindirse del horizonte[124].

Thévenot, en 1668, presentó el nivel como instrumento más apropiado. La enciclopedia de Edimburgo (1817) afirma que Hook sustituyó el agua por el alcohol, y en 1755 Fontana empleó el éter, según puede leerse en el Berliner astronomisches fahrbuch de 1778.

Sin embargo este instrumento tenía también sus inconvenientes. Messier hizo notar la influencia de la insolación sobre el cero, que producía pasajeros desplazamientos del mismo y Belli notó la influencia del calor sobre la burbuja.

John Elton:

En el año 1732 otro astrónomo, John Elton presentó a la Royal Society una modificación del cuadrante de Davis, con el cual podían efectuarse observaciones sin necesidad de visar el horizonte. El sector de 30º manteníase en el instrumento; pero el arco mayor (60) del cuadrante de Davis, es reemplazado por una regleta que formaba triángulo con un radio del sector y una tiranta. Introducía también otra regleta móvil, la cual recorría el triángulo y con una lente en su extremidad y substituía la pínula que Davis ubicaba en el centro común de los dos arcos, por un pequeño escudete rectangular.

Elton sitúa el ocular en el extremo de una alidada, que recorre el sector como un radio móvil del mismo. La observación con este cuadrante, se efectúa también de espaldas al Sol. El rayo solar pasa de la lente, al escudete, y de éste a la pínula ocular situada en el extremo de la alidada. Ésta debe permanecer horizontal durante la observación.

---

124 "Ce que l'on n'a pû faire à la mer jusqu'à present". RADOWAY "Remarques sur la Navigation", París 1727.

Cuando se realiza la observación con el astro de frente, la alidada sirve de dioptría y es la regleta con la lente, la que debe permanecer horizontal.

Daniel Bernoulli:

Para optar al premio ofrecido por la Academia Francesa de Ciencias en 1745, cuyo tema era la obtención de alturas en la mar, tanto de día como de noche, especialmente con horizonte invisible, acudió al concurso Daniel Bernoulli[125].

Ideó éste un conjunto de tres péndulos de distintas longitudes que se podían inmovilizar simultáneamente en el instante de tomar la altura; un anteojo que recorría un semicírculo graduado completaba el aparato.

La Academia premió a Bernoulli, pero no debió quedar muy satisfecha porque en 1747 repitió el concurso.

La idea de prescindir del horizonte estuvo muy arraigada por aquellos tiempos y se ha mantenido hasta nuestros días.

Bernoulli aconsejó que se situara un fanal sobre un esquife para que actuase como mira. Pedro de Medina, anteriormente, escribió que el horizonte visual podía sustituirse por una percha de altura igual a la del ojo del observador mantenida verticalmente por un hombre a cierta distancia. Por la noche se colocaría una luz en el tope.

Bouguer[126] (1747) propuso que se montara un enorme sector en un mástil, añadido

---

125 N.A. A base de admitir que el buque oscilaba por impulso del oleaje como un péndulo simple, lo que está muy lejos de la realidad, trataba, con la parada de los tres péndulos, de obtener el ángulo que uno de ellos formaba con la vertical verdadera, midiendo lo que dicho péndulo formaba con cada uno de los otros dos.

126 GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 245.

a la arboladura con este único fin.

Hadley reprodujo la idea, añadiendo un curioso nivel para medir la inclinación que tenía el eje en el momento de tomar la altura.

Octante de Hadley:

A John Hadley (1682-1744), matemático londinense y fabricante de instrumentos, se le atribuyó el honor de construir el primer instrumento de doble reflexión. Tenía 19 años cuando Newton hizo su revelación. Treinta y dos años más tarde, Hadley, quien había llegado a ser un líder en su campo y vicepresidente de la Royal Society, presentó a la misma, en las sesiones del 6 y 13 de Mayo de 1731, las primeras noticias de dos modelos de instrumentos de reflexión. Entrándose en una nueva era instrumental, que se ha prolongado hasta nuestros días, con perfeccionamientos de construcción y de técnica pero con semejanzas de planteo teórico.

El primero de estos dos modelos es un octante construido de latón, formando sus radios limitadores un ángulo de 45º, cuyo arco encontramos dividido en 90º. Sobre uno de los radios queda situado el anteojo cuyo ocular cae hacia la extremidad del sector graduado.

Cumplíase ya en él la ley fundamental de la reflexión en los espejos. Con el instrumento podía medirse la altura de un astro sobre el horizonte, así como la distancia angular entre dos astros. Esto último resultaba de sumo interés, pues permitía la utilización del instrumento para el método de las distancias lunares o, lo que es lo mismo, para la determinación de la longitud. Este primer instrumento de Hadley fue inevitablemente comparado con el de Newton. Ambos usaron el mismo concepto de un anteojo fijo y un espejo rotatorio con la graduación en el brazo.

El segundo aparato presentado por Hadley era de madera, y tan aproximado en su técnica a un moderno sextante, que como escribió Leveque: *"No es comprensible que un instrumento tan poco común en aquel tiempo llegara a tan alto grado de perfección"* [127].

La dirección del eje del anteojo era transversal a los radios limitadores del octante; los espejos estaban provistos de tornillos correctores. El horizonte se visaba directamente, en tanto que el rayo procedente del astro sufre una doble reflexión. El propio Hadley modificó varias veces este segundo modelo, suprimió el anteojo para evitar el aumento de los errores que esto producía. Redujo su tamaño, haciéndolo más manejable e introdujo en la escala el nonius o vernier.

Primitivamente el octante alcanzaba un radio de medio metro. Los octantes eran de ébano o de caoba, con la graduación trazada en una placa de marfil incrustada en el arco y, de ordinario, con la alidada de latón. A fines del siglo XVIII se construían algunos enteramente metálicos, si bien los nervios normales en forma de T que hoy se emplean en los sextantes no se usaron en los octantes, estando tales angulares reservados, en esa época, para los grandes instrumentos de tierra. Más tarde se unieron al octante cristales de color modificadores de la luz[128]. La técnica de la fabricación estaba muy adelantada, porque la idea anterior del espejo de metal se razonaba diciendo que como el rayo de la luz incidía sobre él con varios ángulos, se hubieran interferido las imágenes en el cristal si no existiera un perfecto paralelismo entre sus dos caras. En cuanto a los espejos pequeños, no había que

[127] LEVEQUE "Le guide du navigateur", Nantes 1778.

[128] N.A. Uno de estos modelos está en el Museo Naval de Madrid, fue construido en Londres por R Lokoux en 1784. La única variación en éste instrumento es que el espejo grande es de cristal.

temer la doble imagen, porque ambos guardaban la misma situación de los rayos de luz en todas las observaciones.

El invento de Hadley produjo expectación en el mundo científico náutico que pensó enseguida en aplicarlo no sólo a la obtención de alturas, si no también a la medida de distancias lunares, como había indicado el inventor, pero no entusiasmó a los Pilotos esta idea, como asegura Maguellan[129].

Éste, en otra memoria de 1732, dijo que había construido en cobre el primitivo modelo de madera mostrado a la Real Sociedad de Londres, y explicó las diversas pruebas a que fueron sometidos sus instrumentos a bordo del Chathamyacht, cuyas experiencias se habían ordenado por The Lords Commissioners of the Almiranty.

Las pruebas se verificaron en los dos últimos días de agosto de 1732, observándose de cara y de espalda a los astros, distancias de la Luna a ciertas estrellas, así como un elevado número de alturas. Tales distancias aparentes habían sido calculadas a priori, siendo los resultados plenamente satisfactorios, y los errores inferiores al minuto de arco.

Por otra parte, en el volúmen V de la Historia de la Real Academia de Berlín[130] se hace eco de una frase de Hofmann relativa a Hooke, por la que se llegó a conocer que la prioridad del instrumento de reflexión hay que aceptarla para este astrónomo.

En 1666 había entregado Hooke a la Royal Society la explicación de un nuevo

---

[129] MAGUELLAN "Collection des differents traites sur des Instruments", París-Londres 1775-80.

[130] HOFMANN "Historie de l'Academie Royal des Sciences", Berlín 1749.

instrumento astronómico. En julio de 1670 fue examinado el octante[131] por la Sociedad, y en él aparecía un espejo para hacer cambiar la dirección del rayo de luz procedente de un astro a un objeto. Sin embargo, este instrumento no debió ser el único ideado por Hooke, puesto que por lo descrito por Hofmann se deduce la existencia de un aparato con dos anteojos, uno fijo y otro móvil, con sendos espejos.

Según consta en actas de la Royal Society, el 16 de agosto de 1699, *"Mr. Newton mostró un nuevo instrumento construido por él para observar la Luna, estrellas y la longitud en la mar"*.

Así puede verse en el número 465 de Philosophical tanssactions[132]. Comparando este instrumento con el de Hooke, se encuentra una enorme ventaja a favor del primero. Newton consiguió, con la idea de la doble reflexión, que una vez establecido en el mar el contacto de las imágenes, no se rompiera a pesar de los balances; las dos imágenes se desplazaban, pero unidas. Una de ellas resultaba de la observación directa; la otra, por la doble reflexión. El de Hooke, perdía el contacto astro-horizonte al menor movimiento de la nave.

Resulta sin ningún género de duda, que Hadley no fue el "primer" inventor del instrumento de reflexión.

También apareció por este tiempo Tomas Godfrey, de Pensilvania, vidriero en Filadelfia, con otro instrumento para tomar alturas o distancias, fundado también

---

[131] Waller nos proporcionó la figura del instrumento de Hooke en su libro pero, en realidad, no era octante, constaba de un sólo espejo y una regla graduada.
WALLER "Posthumous work of Hooke", London 1705.

[132] GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 249-251.

en el principio físico de los espejos. Presentado a la Royal Society en noviembre de 1732, le fue concedido un premio de doscientas libras. Este instrumento fue construido en 1730-1731 y ensayado en la mar, pero no dio buenos resultados.
También inventó Godfrey un tipo de ballestina denominado The Mariner's Bow.
En 1732 Grandjcan Foudry, secretario de la Academia de Ciencias de París, ideó un nuevo tipo de octante descrito en el tomo VI año 1735 de las Memorias de este Centro. Parecido al de Hooke, pero de una mayor sencillez.
El octante de reflexión, a la inversa de la brújula y del astrolabio, no sólo se tiene una clara y definida noticia de la época de su nacimiento, sino que nace casi al mismo tiempo en lugares distintos de la tierra. No debiendo extrañar que los nombres de Newton, Hadley, Hooke y otros aparezcan ligados al inicio de este instrumento.
Por el año 1738, ideó Caleb Smith un octante, que poco después fue modificado su sistema de reflexión. Sus descripciones figuran en las Mémoires de Mathematique et de Physique, editadas por el observatorio de Marsella[133].
Los dos modelos de Calib Smith eran octantes, con anteojo fijo sobre el radio del sector correspondiente al principio de la graduación en el limbo y en la misma dirección que dicho radio. La alidada-índice giraba, con centro en el octante.
Cita Leveque[134], en su obra, a Harris de la Tour como inventor de un octante de reflexión, pero no se encuentra ninguna descripción del instrumento en su libro.

---

133 N.A. Este observatorio fue en un principio el Colegio de Santa Cruz, perteneciente a la Compañía de Jesús. En él se instalaron un pequeño centro de observaciones astronómicas. Pasó a la administración de Marina en 1745.

134 LEVEQUE "Le guide du navigateur", Nantes 1778.

También Foudry ideó un nuevo octante, que no ofrecía mucho parecido con el que inventó unos años antes, en especial, el sistema reflector, que tenía una presentación totalmente distinta. Resolvió igualmente la subdivisión del grado del limbo.

Ewing[135] ideó un doble sextante, con el que pensaba eliminar los defectos del octante de Hadley. Propuso que el limbo abarcase 120º, comenzándose a cifrar las divisiones desde el punto medio del arco y a uno y a otro lado del mismo.

Grant, de Londres[136], inventó un semicírculo con el que podía observarse de espaldas al astro hasta alturas de 60º a 70º. El instrumento estaba ideado persiguiendo los mismos fines que el de Ewing.

También ideó Rowland, un sextante doble, pero poco manejable, pesado y de elevado coste, el cual no tuvo aceptación a pesar de haberse inventado a fines del primer tercio del siglo pasado (1834), o sea, bastante después de haber ideado Borda (1775) su círculo de reflexión. El inventor perseguía como Ewing y Grant, ángulos muy grandes en las medidas de alturas.

Tanto Ewing como Maguellan inician el paso al círculo repetidor, que había presentado Borda[137] a la Academia Francesa de Ciencias. Tomas Mayer dio esta idea de repetir los ángulos, no se proponía otra ventaja que la de corregir y disminuir los errores provinientes de la imperfección de las divisiones en los

---

135 EWING "Transactions philosophiques", London 1860.

136 LEVEQUE "Le guide du navigateur", Nantes 1778.

137 N.A. Borda ingresó en la Marina francesa ya cumplidos los treinta años, sin haber pasado por la Academia y este insigne hombre de ciencia fue conocido en un principio por sus compañeros como el "intruso Borda" pues con este mote se designaba a los marinos que hicieron los estudios reglamentarios en la Escuela.

octantes ordinarios.

El círculo repetidor de Mayer estaba formado por una circunferencia o limbo dividida en 720 partes iguales o medios grados, los cuales por la propiedad fundamental de los instrumentos de reflexión, equivalen a grados completos en las observaciones.

Bradley, sobrino del astrónomo que descubrió la aberración de la luz, encontró como principal defecto al círculo de Mayer, la pequeñez de su radio.

Borda fue quien verdaderamente ideó un círculo de reflexión exento completamente de los defectos del tipo ideado por Mayer. Introdujo, también, como mejora importante el método de montaje del anteojo sobre la alidada. Superó en mucho el invento de Mayer. Hizo el anteojo más corto, de modo que el objetivo no llegase al centro del círculo y separó más hacia la periferia el espejo llamado horizontal, consiguiendo la notable ventaja que el anteojo podía recibir la imagen reflejada, bien por la derecha, o bien por la izquierda.

Mientras que con el instrumento de Mayer se necesitaban cuatro observaciones para obtener el ángulo doble, Borda lo redujo a dos. El inventor aconsejaba determinar las latitudes por las alturas circunmeridianas, que era el método en que el aparato podía exibir la principal de sus ventajas, o sea, la repetición de ángulos.

Se llama círculo de Mendoza, a una modificación que introdujo este marino, consistente en la introducción de un arco concéntrico al usual, que permitían llevar los dos objetos al campo de visión.

Troughton ideó otro círculo de reflexión muy preciso pero que no tuvo aceptación.

El círculo repetidor de Dellond, consistía en dos concéntricos moviéndose el uno dentro del otro.

Otro círculo de reflexión con espejo y prisma fue ideado por Pistor y Martins[138], no tuvo aceptación, la alidada es un diámetro móvil con nonius en sus extremidades, y el sistema de reflexión lo forman, un espejo grande en el centro del círculo y un prisma recto montado sobre el radio de éste.

El círculo de Amici-Magnaghi[139] ideado por el primero y modificado por el segundo. Su fundamento es el mismo que el del sextante, pero los espejos fueron reemplazados por prismas rectangulares isósceles, pudiendo medir con él ángulos de hasta 185º.

De todos los modelos de instrumentos que hemos descrito, salió victorioso el de Hadley y puede encontrarse en todos los tratados de Náutica del siglo XVIII, fecha en que se inventó y que con los sucesivos perfeccionamientos de detalles, le han traido al estado actual.

---

138 SCHUMACHER "Astronomische Nachrichten", Altona 1845.

139 MAGNAGHI "Gli strumenti a riflessione per misurare angoli" Milano 1875.

5.- LA MEDICIÓN DEL TIEMPO

5.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA HASTA EL CRONÓMETRO

Desde el principio de los tiempos el ser humano relacionó su tiempo con el movimiento de los astros. El Sol le marcaba un intervalo, el día. La luna un período mayor, el mes lunar, y finalmente las cuatro estaciones, el año.

El firmamento era como un gran reloj que cumple con las siguientes condiciones: Es circular, porque todas las estrellas parecen describir circunferencias en la bóveda celeste. Es isocrono, porque cada uno de estos astros da una vuelta en un mismo espacio de tiempo. Es uniforme, porque los arcos recorridos son proporcionales a los tiempos tardados en recorrerlos. Es invariable, porque las posiciones de las estrellas no cambian. Es concéntrico respecto al eje terrestre, porque en este se encuentran los centros de todos estos círculos. Es paralelo, porque lo son los círculos descritos por las estrellas.

El día natural estaba dividido en dos partes, día y noche, separados por el orto y el ocaso, posteriormente se hizo una subdivisión, mañana y tarde, sin haber limitaciones precisas en sus comienzos y fines.

Los hebreos dividían la noche en tres vigilias o guardias, esta costumbre procedía de los babilonios; los griegos y los romanos dividían la noche en cuatro partes.

Una primera manera de medir el tiempo fue la observación de la sombra del Sol. En un principio el gnomon señala la dirección meridiana o la hora del mediodía, para más tarde, ir proyectado la punta del estilo sobre curvas que cada vez van siendo más complicadas y que dan origen a la Gnomónica, ciencia que enseña la construcción de relojes solares, sobre superficies planas o declinantes.

La forma de obtener la dirección del meridiano es la siguiente: Trazado sobre el terreno un arco de círculo con centro en el pie del gnomon, se señala sobre éste, antes del mediodía, el momento en que el extremo de la sombra cae sobre la curva; lo mismo se hace después del mediodía. Entonces el punto medio del arco entre los dos puntos de coincidencia unidos con la base del estilete, determina la línea Norte-Sur.

Es fácil pensar que el primer hombre que empleó este sistema fue al observar la variación de la sombra producida por el Sol sobre algún árbol.

Parece ser que el orígen del gnomos es chino, ya que éstos lo empleaban 2400 años a.C. y aparecen en sus libros en observaciones astronómicas mil años anteriores a Cristo.

El gnomom pasó de los babilonios a los griegos, en tiempos de Anaximandro, a quien algunos atribuyen su invención. Empezó su uso por el Mediterráneo y 320 años a.C. lo empleo Piltheas en Marsella; y la celebre medición del grado del meridiano por Erastótines (220 años a.C.) está relacionado con él.

Las casas opulentas de Roma tenían entre su servidumbre el esclavo de la hora, cuya obligación era leer ésta.

Como consecuencia del cambio de la declinación en el transcurso del año, variaba la longitud de la sombra de un día para otro. Es por ese motivo un reloj defectuoso, al no existir una proporcionalidad entre los intervalos de tiempo transcurrido y los ángulos recorridos por la sombra.

Para evitar este inconveniente se sustituyó el estilo vertical por otro paralelo al eje del mundo. Con esta variación la longitud de la sombra seguía siendo variable, pero la dirección se mantenía constante para una misma hora.

Así nació el cuadrante solar, cuya construcción está sujeta, cualquiera que sea el tipo empleado, a que el estilo apunte al polo celeste elevado.

Servía también en la mar el reloj de Sol, para conocer el momento del mediodía y tomar la altura del astro en ese instante con el cuadrante o astrolabio.

El reloj de Sol, se construía para una previa latitud, de tal manera que de utilizarlo en otros lugares distante del paralelo correspondiente, daba horas más erróneas, este reloj portátil estaba acompañado de una pequeña brújula para orientar su línea central con el meridiano.

Sin embargo en el empleo por los pilotos del reloj de Sol, se producían importantes errores. En la obra del portugués J.Loas del Castro[140] explica que el día 2 de Junio de 1538 tomó con otros pilotos la altura del Sol al mediodía, y hallaron valores diferentes. Motivado según el autor porque los otros dos marcaban once horas y un tercero y el cuarto once horas treinta.

Las diferencias estarían motivadas al estar cebadas las agujas con diferentes piedras[141].

Estos inconvenientes se remediaron con los relojes solares universales, que se empezaron a utilizar en el primer tercio del siglo XVI. Permitía, sin esperar al mediodía, saber la altura del Polo y la hora, por los rayos del Sol.

Su construcción permitía que el disco de las horas sea movible para poderle situar en cualquier latitud.

---

[140] (Anot. Andrade Corvo) LOAS DE CASTRO J. "Roteiro de Lisboa a Goa, 1538". Lisboa 1882

[141] N.A. Recordemos que estos relojes llevaban una aguja magnética.

La construcción de este tipo de relojes se encuentra en diferentes tratados, dentro de esta ciencia llamada Gnomónica.

Mención especial merece el de Clavius[142], escrito en 1581 y que consta de ocho tomos.

El problema que crea el cuadrante solar, es su necesidad de estar al aire libre y de que haya Sol. Por lo tanto se idearon simultáneamente otros tipos de relojes, que se basaban en la mecánica material del fluir de un líquido.

En un principio se componía de un vaso perforado por un pequeño agujero, que iba llenándose lentamente al estar flotando en una vasija con agua. Otro método era el ir llenando un vaso con el agua que gota a gota, caía desde un depósito más elevado y lleno de líquido.

Estos primitivos modelos se fueron perfeccionando, Vitruvio habla de un reloj construido por L.Tesibius, matemático alejandrino, que era movido por el fluir del agua y una estatuilla apuntaba las horas.

Estos relojes de líquido, anteriores a nuestra Era, reciben el nombre de clepsidras. La famosa Torre de los Vientos, de Atenas, también conocida con el nombre de Reloj hidráulico de Andrónico Cyrrhestes, alojaba en su interior una gran clepsidra. Las clepsidras anteriores en una centuria a Jesucristo no estaban muy extendidas en occidente, Julio César trajo consigo algunas de éstas de vuelta de sus expediciones, y con ellas comprobó la diferencia de la duración de las noches entre Bretaña e Italia. En el siglo VI la clepsidra fue llamada hydrarpax o raptor de agua. Este tipo de relojes de agua, tenían mucho volumen para que pudieran funcionar durante un tiempo sin ser cebados,y tuvieron un gran auge en la Edad Media. Los

---

[142] CLAVIUS "Gnomónicas hibri octo", Roma 1581

árabes fueron unos magníficos constructores de estos relojes.

El rey de Persia regaló, en el año 807, uno a Carlomagno que tenía doce puertas, una de ellas se abría cada hora y un número de bolitas igual al de la hora caía sobre un tambor, produciendo el consiguiente sonido.

En la Edad Media, siguiendo el principio de las clepsidras, apareció el reloj de arena. Mecanismo muy sencillo, compuesto por dos vasos de vidrio en forma de cono unidos por el vértice (ampolleta), que se comunican entre si por un pequeño orificio. Se sustituyó en ellos el agua o el mercurio de las clepsidras por arena fina o por polvo de mármol molido que se secaba al fuego. Repitiéndose las moliendas después de cada cocción. Operación que se efectuaba ocho o diez veces. El tiempo que tardaba en caer la arenilla de un depósito al otro solía ser de una hora.

El reloj de arena, es un instrumento que se ha mantenido a lo largo de los siglos. En la mar los encargados del cuidado de las ampolletas recibían el nombre de "pajes de escoba", por lo general se medía una hora en cada doble pasada, o media en una simple.

Mientras los pajes velaban la ampolleta, la voz del mismo decía:

La guardia es tomada
la ampolleta muele
buen viaje haremos,
si Dios quiere.

Y al acabar de posar la arenilla de la ampolleta decía el paje de vela:

Buena es la que va
mejor es la que viene

una es pasada y en dos muele;

más molerá si Dios quiere;

cuenta y pasa que buen viaje faze.

Para efectuar las medidas del cuarto, se empleaban ampolletas de media hora. Cada cuarto de vigía correspondía a ocho ampolletas, o sea a cuatro dobles pasadas, al primer cuarto se le llamaba de prima; el segundo era el cuarto de modorra, hoy la media, y al tercero se le denominaba el alba.

Se les construía también para medir cuatro horas de una pasada, se les denominaba "ampolletas de combate".

Bion[143],indica que se construyeron para el servicio de la tripulación, o sea para "hacer el cuarto".

Cuando el problema de la longitud se convirtió en una necesidad, se construyeron algunos que medían veinticuatro horas, y se arreglaban para iniciar la cuenta, al mediodía de partida de la nave.

Para las ampolletas de veinticuatro horas se aconsejaba arena de Venecia, consistente en una mezcla de polvo de plomo y de estaño calcinados.

Fournier[144] prefería el polvo de plata o el de estaño, como más resistentes que el de arena de playa, o el polvo de cáscara de huevo.

González de Ureña[145] apuntaba que los de arena tenían otros inconvenientes, recordando que las puntas debían tener una magnitud precisa y ser de vidrio, al

---

143 BION "Traité de la condtruction et des principaux usages des instruments de mathématiques", París 1752.

144 FOURNIER "Hydrographic", París 1667.

145 GONZÁLEZ DE UREÑA "Delineación de lo tocante al conocimiento de la longitud" Madrid 1740.

objeto de evitar el desgaste.

Éstos eran que el tiempo húmedo retardaba el paso de la arena y en el seco se apresura y hace más fácil el pronto paso.

Pero el mayor inconveniente del reloj de arena está señalizado en este hecho histórico. Navegaba en el siglo XVIII Du Guay Tronin[146] por las costas de Spitzberg en latitud de 81° en esas latitudes al ser el Sol circumpolar el día era continuo, pero con una cerrazón que duró nueve días que le impidieron observar el Sol en ese tiempo.

Los grumetes dedicados a su vigilancia la volvían antes de que descargara el depósito superior, al objeto de obtener una reducción en la guardia.

Con tal abuso que se llegó a comer cuando se debía dormir. Cuando Tronin pudo observar finalmente observó que la diferencia alcanzaba las once horas. De esta manera la ampolleta se prestaba a engañar sus indicaciones ya sea por defecto o por exceso.

Las clepsidras cuya vida se apagó, trató de renacer nuevamente intentando resolver el problema de la longitud geográfica en la mar. Así Dudleo en su obra intenta con su invento del "orivolo mercuriale", que se componía de dos vasos de vidrio superpuestos uno al otro y sostenidos ambos sólidamente en un mecanismo cardan, para evitar el movimiento del mar. Empleando el mercurio como cebo.

El vaso inferior estaba provisto de un sifón para que no varíe la altura de la carga y el sifón vacía de un modo regular el mercurio sobre un tercer vaso. Esta cantidad es la que se medía para saber la hora.

Otro sistema ideado para medir el tiempo fue la combustión por el fuego de palillos

---

[146] Du Guay Trovin M. "Vie", París 1884.

de una madera especial.

Después de todos estos inventos, relojes de Sol de agua, de fuego, de arena, aparecen los relojes mecánicos, en cuyo trabajo merecen especial mención los árabes. La pieza fundamental era un volante o balancín que actuaba de regulador; el motor rota por pesos, un conjunto de ruedas constituían el sistema transmisor para que una aguja señalara la hora. Se incluían en la maquinaria dispositivos para avisar con campanadas la marcha del tiempo.

Esta práctica permitió en los monasterios reemplazar el vigilante que señalaba las horas del rezo, durante la noche, por la observación de la marcha de las estrellas. Por tradición se atribuye estos rudimentarios relojes al monje profesor y después Papa conocido como Silvestre III[147].

Según Gelberto de Aurillac, en el siglo X, el empleo del péndulo físico para dividir el tiempo en espacios pequeños e iguales ya se empleaba en esta centuria para observaciones astronómicas de escasa duración.

Siglos después se encuentra el mismo mecanismo regulador de la péndola imperfecto hasta el extremo de que debía cuidarse de que la oscilación se efectuara en el mismo plano y de que la fuerza de impulsión no se debilitará ni anulará.

Vicenzo Galileo, hijo del famoso sabio, añadió un dispositivo ligado al péndulo para contar sus oscilaciones.

En el siglo XV se construyen relojes portátiles con resorte motor en vez de pesas y con un mecanismo de frotamiento para reemplazar la péndola, el cual moderaba la marcha, pero no conseguía una aceptable regulación.

Debemos citar que en los "Libros del saber de Astronomía del rey Alfonso X de

---

147 GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 343-344.

Castilla" hay cinco partes tituladas:

I Libro del relogio de la piedra de la sombra

II Libro del relogio dell agua

III Libro del relogio del argento vivo

IV Libro del relogio de las candelas

V Libro del relogio del palacio de las Oras

Este libro nos permite ver el estado de la medición del tiempo en el siglo XIII.

El tiempo estaba a la vez dividido en dos clases de horas: las temporales, planetarias o desiguales y las llamadas equinocciales, que son los que contamos actualmente los días.

Como curiosidad, podemos decir que los griegos dividían la hora en 20 partes iguales o puntos y cada uno de estos en doce ictus. Esta medida de pequeña duración, equivalía al tiempo que se tarda en abrir y cerrar los ojos, un cuarto de segundo aproximadamente.

Para obtener por observaciones astronómicas, la hora desigual se tomaba con el astrolabio la altura del Sol. Suponiendo que fuera de 60°, se miraba en el dorso del instrumento el lugar del astro en el Zodíaco en ese día. Llevándose el punto obtenido tomado, sobre el círculo zodiacal de la araña a coincidir con el almicantarat de 60°, a una u otra parte del diámetro vertical de la lámina, según la observación del Sol hubiese sido hecha a Oriente u Occidente del meridiano.

La hora desigual y fracción de la misma correspondiente al momento de la observación, quedaba así señalada por el punto zodiacal diametralmente opuesto al en un principio considerado.

Si la observación se efectuaba durante la noche, se escogía una estrella cuyo garfio apareciera entre los de la araña. Si observamos una estrella de 35° de altura se llevaba el puntero o garfio indicador del mismo al almicantarat de 35° en la lámina correspondiente a la latitud.

El punto del Zodíaco que correspondía a la posición del Sol en el día señalaba entonces entre las curvas horarias la hora de la noche.

Al describir el instrumento llamado nocturlabio o reloj nocturno, escribió Medina en su Regimiento: "*E finalmente proveyo Dios de un relox en el ciclo que nunca se desconcierta, que los relojes de arena y otros hechos de mano pueden tener desconcierto; éste es el relox del Norte*".

Repasando la Historia, encontramos que Raimundo Lulio[1], el Doctor Iluminado, por los años 1272 el sabio y santo mallorquín, inventó este procedimiento horario, traducido en un sencillo aparato que debía servir para saber durante la noche los momentos en que había de administrar los medicamentos a los enfermos.

Llámole el autor Astrolabii nocturni. Se ha insistido mucho que Lulio ideó un astrolabio, e incluso que fue el inventor del astrolabio náutico. Una segunda referencia aparece en una de las hojas que forman el célebre Atlas Catalán, debido al judío mallorquin Abraham Cresques.

El instrumento de Lulio, fue perfeccionado en su construcción siglos después.

No hay duda que Colón conocía el instrumento o las reglas, porque en relación a su primer viaje, escrito por Las Casas, se lee el 30 de Septiembre de 1492. "Que parece que en toda la noche no andan salvo tres líneas, que son 9 horas".

El nocturlabio, se componía de tres piezas de madera resistente de cuatro milímetros. La primera inamovible, era un disco circular con mango y una uña o

---

[148]GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 349.

índice, en la parte opuesta a este; en su periferia aparecía la división del año en meses y días. La segunda pieza, circular y movible, de menor diámetro que la anterior, era concéntrica a ésta, portaba otro índice y tenía grabadas en su limbo la división en veinticuatro horas y fracción en dos grupos de doce, situado de modo que uno de los doce coincidiera con la uña. La tercera pieza era una regleta giratoria sobre el centro de la primera y segunda. El centro de giro estaba perforado con un agujero circular.

Para usarlo se cogía por el mango de tal manera que quedara en plano vertical, con la uña hacia el zenit.

Previamente se giraba el círculo menor hasta llevar el subíndice a coincidir con la fecha del día grabada en el limbo del círculo mayor.

Después, situado el aparato a una distancia de veinticinco centímetros del ojo, se miraba a la Polar por el agujero del centro, haciendo girar al mismo tiempo la regleta hasta que su borde pasara por Kochab. Entonces este borde indicaba la hora sobre el círculo menor.

Otros nocturlabios estaban preparados para emplear las estrellas alfa o beta de la Osa Mayor.

Los más perfeccionados presentaban además un círculo dividido en veintinueve partes y media, correspondientes a los días de lunación, el cual servía para el cálculo de las mareas.

Cuando los nautas exploran el hemisferio Sur, perdiendo de vista el polo boreal, toman por guía al Crucero, para la determinación de la latitud, pero ideando reglas para obtener la hora durante la noche. Las dos estrellas que forman el eje mayor de la Cruz, sirven como punteros o agujas en este reloj austral.

Como reloj astronómico y fundado en el principio de los cuadrantes solares en el siglo XVIII se usó el "Universal ring dial". Tratabase de un doble aro metálico, de tal forma que el interior podía resbalar sobre el exterior.
El primero de éstos sostenía los dos ejes, presentando una ranura longitudinal graduada, por la que se podía deslizar un rectángulo perforado.
Finalmente, una tercera anilla rebatible, dividida en horas podía ser girada para que su plano quedase normal al eje.

5.2 GÉNESIS DEL CRONÓMETRO:

Los premios ofrecidos por distintos países actuaban de poderoso acicate para intentar resolver el problema. En el año 1715 se estableció el premio Roullé de Meslay instituido por este consejero del Parlamento Francés y propuesto en 1720 por la Academia de Ciencias de París. Concurrió al mismo un relojero holandés, Massy, éste no presentó un tipo de reloj, sino que se limitó a dar reglas sobre la construcción; la de mantener la máquina a una temperatura constante, encerrado en un armario y calentando el aire por una lámpara. Proponía que, para mantener la verticalidad del mecanismo, se le suspendiera de una articulación.
En 1725 la Academia insistió en el tema aplicándolo a las clepsidras y relojes de arena. Daniel Bernoulli propuso uno de estos últimos. En cuanto a las clepsidras,propuso colocarlas sobre bases de hierro flotante en el mercurio contenido en un depósito. Esta idea no era nueva puesto que Ticho Brahe en 1588 la había empleado en sus observaciones astronómicas.
Heinrich Jully relojero inglés, establecido en Francia desde 1715, en este país fue

nombrado director de la fábrica oficial de relojería de Versalles. En Viena publicó un libro sobre relojería[149]. Tuvo Jully ideas muy interesantes, como la adopción de palanca y horquilla en el regulador para compensar la variación de la marcha debida a la temperatura; si bien este invento no cuajó si tuvo efecto en su idea en 1716 de disminuir los rozamientos, situando la extremidad del balancín apoyada en dos juegos de cuatro rodillos[150].

Estas pruebas fueron efectuadas en tierra y otras en la mar en el puerto de Burdeos, en el año 1726.

Ya en 1716, había presentado un cronómetro marino que se diferenciaba de los anteriores por el escape.

Jully falleció en 1728, y Leveque[151] dijo de él, *"que era un artista ingenioso y sabio en todo lo que se conocía en relojería"*.

Un nuevo premio se ofreció por la academia de Ciencias de París en 1745, para compensar la mejor manera de hallar la hora en la mar, sea durante el día, en el crepúsculo y sobre todo en la noche. Le fue concedido a Daniel Bernoulli.

Contemporáneo y compatriota de Jully fue el carpintero John Harrison, nacido en Faulby, condado de York, en 1693 que fue el ganador del premio instituido por el Board of Longitude inglés, a quien encontrara un método fácil de utilizar, es decir no muy complicado para hacer las observaciones. El Board of Longitude se creó después de un naufragio, acaecido en 1707, que suscitó gran conmoción en

---

[149] JULLY HEINRICH "Regle artificielle du temps", Ucana 1714

[150] JULLY "Machines et inventions approuvées par l'Académia Royal des Sciences". París 1735.

[151] LEVEQUE "Le guide du navigateur", Nantes 1778.

Inglaterra, porque había costado la vida a casi dos mil personas.

En realidad, el error que había producido el desastre había sido en la medida de la latitud, pero cualquier navegante sabía, por poca experiencia que tuviera que la longitud era la coordenada más difícil de calcular. Ya se usaba algún método exclusivamente astronómico para establecerla pero, además de depender casi siempre de los caprichos de la meteorología, no siempre proporcionaba resultados precisos y requería generalmente fatigosos cálculos matemáticos.

Este premio fue establecido en 1714, y el Parlamento inglés propuso que se concediera a quien consiguiera encontrar un método useful and practicable para determinar la longitud en el mar. Los 22 comisionados que formaban el denominado Board of Longitude estaban autorizados a pagar:

-10.000 libras esterlinas, si el método permitía una precisión de 1 grado.

-15.000 libras esterlinas, si la precisión era de 2/3 de grado.

-20.000 libras esterlinas, para una precisión de 1/2 grado.

La mitad del premio se pagaría en cuanto la mayoría de los comisionados hubiese juzgado satisfactorio, dentro de los límites mencionados, en el método propuesto. La otra mitad se pagaría solo después de que una nave hiciera un viaje desde un puerto de las Islas Británicas hasta otro de las Indias Occidentales y lo realizara sin errores de cálculo en la longitud superiores a los valores indicados.Por fin el Board of Longitude estaba autorizado a pagar con sumas inferiores los métodos menos precisos y a subvencionar hasta con 2.000 libras los proyectos de experimento considerados teóricamente válidos.

Además de los métodos que se basaban en la brújula los marinos de la época utilizaban otros cinco o seis. Los dos métodos relativamente más seguros eran el de las "distancias lunares" descrito por Johanes Werner hacia 1514 y el cronométrico propuesto en 1533 por Gemma Frisius que recurría a un marcatiempos utilizable por los marinos. Pero ningún método alcanzaba la precisión requerida por el Board of Longitude. De todas maneras, los caminos ya estaban marcados y sólo se trataba de perfeccionar los medios para aplicarlos.

John Harrison y Tobias Mayer, como muchos otros, cada uno basándose en su propia experiencia y preparación, se dedicaron a mejorar los métodos ya existentes. Harrison construyó sus crónometros, mientras que Mayer preparó sus tablas del movimiento lunar utilizando las ecuaciones de Euler para la parte teórica y muchas observaciones directas. A finales de 1737, Harrison había recibido una contribución del Board para mejorar sus cronómetros y en 1757 Mayer había presentado en Göttingen sus tablas con las indicaciones para utilizarlas en el mar pero dudaba que una nave, agitada por las olas, pudiera realizar observaciones suficientemente precisas.

Ambos sufrieron desilusiones. Los métodos que propusieron no fueron aprobados de una forma sistemática a causa de la Guerra de los siete años (1756-63) y Mayer murió en 1762, antes de que terminara la guerra. Harrison consideraba que algunos de los comisionados del Board no estaban capacitados teóricamente para juzgar la validez de su trabajo, y temía que otros comisionados, expertos en mecanismos para contar el tiempo, se apropiasen de sus ideas. El alemán Mayer pensaba que el Board inglés no habría premiado nunca a un extranjero y no presentó directamente sus trabajos, sino que aceptó que fuera el Presidente de la Sociedad Científica de Göttingen el que se lo propusiera a los comisionados.

Harrison se sentía excluido del mundo académico y, con los años, se volvió huraño e introvertido. Mayer formaba parte del mundo académico y le apoyaban todos los astrónomos alemanes, ingleses y franceses; pero sabía que el método de las distancias lunares requería observaciones precisas y cálculos laboriosos (un calculador experto necesitaba más de cuatro horas para determinar la longitud de la nave).

Hasta 1765 no tomó el Board of Longitude la decisión, recogiendo, en una famosa reunión, los testimonios de los navegantes y astrónomos que habían utilizado los dos métodos. El día 9 de Febrero de 1765, los comisionados, "recomendaron" al Parlamento que premiara a Harrison con 10.000 libras esterlinas como máximo, ya que, aunque el método cronométrico era practicable y "useful" (no había querido proporcionar los planos para construir el cronómetro H1. Y a los herederos de Mayer con un máximo de 5.000 libras porque el método de las distancias lunares era menos preciso y, aunque "useful", era difícilmente practicable, debido a la complejidad de los cálculos.

Después de una lucha que duró años, Harrison, obtuvo el premio de 20.000 libras previsto por el reglamento para la determinación más exacta de la longitud. Sin embargo los herederos de Mayer solamente obtuvieron 3.000 libras esterlinas, ni siquiera la tercera parte del premio que el reglamento preveía para la determinación menos exacta, ya que el Parlamento juzgó esencial para las tablas presentadas por Mayer el trabajo teórico de Euler.

Pero sin las observaciones realizadas por Mayer, las ecuaciones de Euler, no se habrían podido usar nunca.

Como argumento y demostración del rigor con el que se realizaron, en la mar, las pruebas al reloj de Harrison, en el transcurso del viaje comprendido entre los días

28 de marzo y 18 de septiembre de 1764, en que la nave volvió a Inglaterra, cabe destacar que el cronómetro estuvo a bordo, durante todo el viaje, encerrado bajo tres llaves: Una de ellas en poder del propio Harrison, otra en manos del Capitán del buque, Digger, y la tercera bajo la custodia del oficial de derrota más antiguo, así como que siempre estuvieron presentes las tres, cada vez que se abría el armario, para dar cuerda al reloj o para observar la hora.

Hemos de aclarar que en estas y otras pruebas intervinieron un total de cuatro relojes. El primero fue presentado el año 1735, el segundo en 1739, el tercero en 1748 y el cuarto en 1760. El primero presentaba y presenta, pues aún existe, cuatro esferas: para segundos, minutos, horas y días.

Los números dos y tres no fueron probados en la mar. El cuarto, presentado en 1761, hizo el viaje a Jamaica en período de pruebas; en el navío inglés Deptford, embarcó Guillermo, hijo del inventor. Zarpando del puerto de Portsmouth el 18 de noviembre. Este último fue construido en plata, tenía doce centímetros de diámetro y constaba de dos partes: una muy pequeña, que actuaba propiamente de reloj y, otra más voluminosa, que encerraba el mecanismo destinado a dar automáticamente cuerda a la primera.

Este célebre cronómetro fue copiado pieza por pieza, en Londres, por el relojero Larcum Kendall por mandato del Board of Longitude. Este duplicado acompañó al descubridor y navegante Jaime Coock en sus viajes entre 1772 y 1779.

El primero de ellos está en el National Maritime Museum de Greenwich y los otros tres en el South Kensington. El comandante Gould se dedicó a su limpieza durante varios años y marcaban el tiempo con exactitud asombrosa como dos siglos antes. Debemos recordar que el modelo HI pesaba casi 50 kilos.

El cronómetro de Harrison tenía escape de rueda como un reloj ordinario; motor de resorte; balancín mucho más pesado y mayor que en los tipos comunes. Estaba exento de rodillos; la compensación por temperatura se cumplía por medio de un termómetro bimetálico de acero y cobre, y el regulador era un espiral plano.

Estas características permitieron no dar un error en longitud superior a cuatro minutos de arco en el espacio de 156 días.

Los cronómetros de marina fueron perfeccionándose progresivamente en el curso de un par de siglos, siendo de tipo mecánico hasta 1960. Solo entonces hicieron su aparición los cronómetros de marina electrónicos que han alcanzado hoy una precisión y una fiabilidad excelentes conservando la hora de Greenwich con un error de una fracción de segundo. Sin embargo, el conocer la hora de Greenwich, o la del puerto de partida de la nave, como se solía hacer en un tiempo[152], no es suficiente para calcular la longitud; hay que conocer también la hora local de la nave para poder hallar, mediante la diferencia de tiempos la diferencia de longitud.

Para determinar el punto de la nave es necesario efectuar también observaciones astronómicas precisas para poder establecer el tiempo local. La más elemental de ellas consiste en determinar el instante en el que pasa el Sol por el meridiano real local; de noche, se puede establecer el momento en que una estrella, de ascensión recta conocida, pasa por el meridiano y, así se puede hallar el tiempo real local.

[152] N.A. No hay que olvidar que el sistema de los husos horarios se introdujo en 1885 y antes todas las naciones regulaban los relojes según criterios locales.

Al cerrar este capítulo, queremos hacer mención especial a la figura de Harrison, y no olvidar que durante tres siglos, los científicos conocidos de todo el mundo, que vivieron esos años, estuvieron intentando encontrar una solución al problema de la longitud, y que no fue resuelta hasta que aparece en la historia, el carpintero John Harrison, nacido en Faulby, condado de York en 1693. Aficionado a la mecánica, y esa afición le llevó a la construcción de su famoso reloj. Alcanzó en sus primeras pruebas (1726) un alto grado de exactitud, el péndulo que presentó no se separaba más que un segundo por mes del tiempo real, según escribió el editor del libro publicado por los comisarios de longitudes en 1767, y denominado " The principes of Mr. Harrison's time keeper ". Recibió por sus trabajos varias recompensas , la del Comité de Longitudes (1737) y el fundado por Godfrey Copley (1749), con el que se premiaban anualmente las más útiles invenciones. Pero a pesar de que los Comisionarios de Longitudes declararon el 9 de Febrero de 1765, de que el invento se ajustaba mucho más de los límites preescritos en el acta de la reina Ana, y de haber, éste, entregado, según la condición establecida, toda la información necesaria para que pudiera generalizarse la construcción del mismo. No fue hasta el año 1775 cuando recibió el premio poco antes de su muerte, acaecida el 24 de Marzo de 1776. Este retraso fue producido por las pruebas que sometió Nevil Maskelyne, al cronómetro, director del observatorio de Greenwich y que concluyó, indicando que los cambios de temperatura podían alterar la fiabilidad de las lecturas. Harrison en la disputa, interpeló a los astrónomos de más reputación, para que declararan a su favor, sobre la fiabilidad de su cronómetro. Todo ello determina que el premio quedara en suspenso, hasta la aclaración de los hechos que indicaba Maskelyne.

6.- DETERMINACIÓN DE LA LATITUD

6.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El problema de la latitud geográfica fue fácilmente resuelto con una aceptable aproximación, desde la más alta antigüedad. Los navegantes fenicios, los mejores pilotos de su tiempo, sabían ya que la altura del polo celeste sobre el horizonte equivalía a la latitud del lugar. En el transcurso de los siglos esta coordenada se ha obtenido siempre poniendo los ojos en el cielo[153].

Para el estudio de la latitud, es necesario conocer algunas de las hipótesis que se formularon en la antigüedad para explicar aquellos movimientos que se notaban en los astros, principalmente en lo que se refiere a las estrellas fijas. Podemos tomar como punto de partida a Pedro de Medina[154].

Así lo estimó Ptolomeo, y después Alfragano, Albategnio y otros astrólogos. Pero los astrólogos modernos, como el Rey Alfonso el sabio, Juan de Lineris, Juan de Monterregio y otros, alegan que es muy probable que exista un décimo cielo sobre las nueve esferas. que es el primer móvil único, probando que hay diez cielos

[153] Martín Cortés "Breve compendio de la Sphera y de la arte de Navegar", en la dedicatoria de su libro al emperador Carlos V dice: "carecían de la consideración de las estrellas fasta que los fenices la inventaron y fueron los primeros que entendieron que era necesario para caminar por la mar poner los ojos en el cielo. Sevilla 1551

[154] En su capítulo primero de su obra, nos dice que los antiguos dividían la región celeste en nueve cielos, siete, de los planetas; el octavo es el firmamento donde estaban las estrellas fijas, y el noveno, que es el primer móvil. PEDRO DE MEDINA "Arte de Navegar" Valladolid 1545.

móviles por el movimiento de la octava esfera. Añadiendo que las estrellas fijas tienen tres movimientos, los cuales se verifican en la octava esfera; uno es el del primer móvil o décima esfera, que es el diurno, de Oriente a Occidente, en veinticuatro horas. Otro en la novena esfera, que es el segundo móvil, según la sucesión de los signos zodiacales, de Occidente a Oriente y según el Rey Alfonso llamado " auge de las estrellas ". El tercero se denomina según el mismo Alfonso, trepidación y es un movimiento de acceso y receso de la octava esfera. Y sigue con lo más interesante de esta descripción al decir "*como no se debe dar a cada cielo más que un movimiento propio, y el octavo cielo tiene tres, dos de ellos son impropios y están causados por los otros dos cielos superiores, o sea, el noveno y el décimo*".

Algunos autores dibujan estos diez cielos en una elemental grafía de la disposición del Universo. Sobreponiéndole una onceava esfera, la cual, según los teólogos, es el Empireo, por razón de su gran resplandor.

Sacrobosco, en su Tratado de la Esfera, considera nueve cielos o esferas, "la novena es el primer móvil" , la esfera de las estrellas fijas, que se llama el firmamento, y las siete esferas de los siete planetas; de las cuales unas son mayores y otras menores.

Jorge Purbacchio[155] escribió una Teoría de los Planetas que tuvo mucha resonancia. Este libro tan leido y comentado como el de Sacrobosco fue reproducido en distintas ediciones. Purbacchio considera el movimiento de la octava esfera.

Pedro Núñez publicó comentarios a las obras de Sacrobosco y Purbacchio,

---

[155] PURBACCHIO JORGE (Defendió la existencia de los cielos sólidos de cristal, que dejaban entre si el espacio estrictamente necesario para que en ellos pudieran moverse los astros) "Theoricae novae planetarum", Norimbergae 1472.

pudiéndose encontrarse traducido al portugués, en el "Tratado da Sphera", publicado en 1537. Núñez, también se declaraba convencido del triple movimiento de la octava esfera.

Martín Cortés y Jerónimo Chaves también aceptan los tres antedichos movientos. De modo general todos los escritores de Cosmografía, suponen en el octavo[156] cielo, firmamento o cielo de las estrella los tres movimientos citados, esta aceptación iniciada a mediados del siglo XIII, por los astrónomos judíos, árabes y cristianos que confeccionaron las tablas de Alfonso el Sabio, continua hasta un siglo después de que Copérnico diera a la luz su obra con la hipótesis del sistema heliocéntrico.

---

[156] N.A. En cuanto a los tres movimientos de la octava esfera, tenemos: uno primero de veinticuatro horas debido al décimo cielo o primer móvil de Oriente a Occidente, sobre el eje del mundo, un segundo giro de Occidente a Oriente causado por la novena esfera, primer móvil según Ptolomeo, y segundo en la cuenta de Alfonso, que se cumple en 45000 años, teniendo por eje el de la eclíptica, por último, el que fue llamado trepidación, "quiere decir movimiento a manera de temblar", como escribió Pedro Apiano en su obra: libro de la Cosmographia, Enveres, 1548. Y que tiene un período de 7000 años y se produce pivoteando sobre el principio Aries-Libra de la novena esfera.
Pedro de Medina admite una cifra más, cuyo origen está en Hiparco "El décimo cielo efectúa su vuelta en veinticuatro horas, el noveno cielo que está junto a él en cuarenta mil años, el octavo parecidamente tiene un movimiento en treinta y seis mil años y otro en siete mil. No es que éstas dos últimas cifras se refieran a dos movimientos independientes, sino a dos distintos valores asignados al octavo cielo.
El movimiento en veinticuatro horas de la octava esfera es el que resulta de la rotación diurna de nuestro planeta. El de 45000 años no es más que el movimiento que conocemos por precesión de los equinoccios, si bien con un período de 26000 años, año platónico, que es casi la mitad.
En cuanto al tercero se dice que Thebit ben Chorab lo ideó. Entre los escritos de este astrónomo ninguno fue impreso, se conserva en la Biblioteca Nacional de París el Libellus de motu octavae spherae, analizado por Delambre en su "Histoire de l'Astronomie du moyen âge", París 1819.

El judío Isaac ben Said, astrónomo del Rey Sabio, que era chantre principal de la sinagoga toledana, quiso ligar la ley mosaica con dos movimientos estelares. Tomando como orígen el año sabático[157], que era un período de siete años, y siguiendo con el 7x7=49, representativo del año jubilar o de jubileo, nos encontramos con un siete cabalístico que no sólo integraba los días de una semana y los valores de estos años, sino que, cumpliendo su radio de acción, va a formar el múltiplo de 7000 o año grande, cuya duración se va a ligar al período de la trepidación; y siete veces éste último, o sea 49000 años va a representar el segundo movimiento que hemos identificado anteriormente con la precesión de los equinoccios.

Las Tabulae Alphonsis insertan tres cuadros para el cálculo de los antedichos movimientos.

Según Ricci[158] el Rey Alfonso desaprobó este trabajo efectuado por los rabinos de

[157] N.A. El año sabático instituido por Moises preceptuaba un descanso de un año después de seis en el cultivo de las vides y los campos; el jubilar se producía cada cincuenta años o sea el año después de haber transcurrido siete sabáticos. Como 49 años constituyen 17896,68 días, que hacen 606 lunaciones, con escaso error podemos ver que estamos ante un ciclo lunisolar tan preciso como el ciclo de Metón.

[158] RICCI (En el año 1256 el Rey Alfonso hizo traducir a nuestro idioma el libro de Abul-Hazan sobre el movimiento de las estrellas fijas, desechando el Rey la hipótesis de acceso y receso y se atuvo a la opinión de Albategnio, que creía en una precesión regular de un grado en sesenta años. La versión latina de las tablas del Rey Alfonso "Coelestium motuum tabulae" en su edición de Venetiis, en 1483, y que aparece en los últimos años del siglo XV sin fecha ni autor conocido, se admite la existencia simultánea de un movimiento de precesión de 49000 años y el de trepidación en 7000. Este raro y complicado movimiento siguió aceptándose hasta que Ticho Brahe lo desechó por absurdo).
"De notu octave sphere", Lutetiae 1521.

Toledo.

El eje del mundo describe alrededor del eje de la eclíptica un tronco de cono, a consecuencia del fenómeno llamado precesión de los equinoccios. Este fenómeno lo descubrió Hiparco al comparar las posiciones de las estrellas en relación a la órbita solar, con las que astrónomos más antiguos les habían atribuido. Fue comparando sus propias observaciones de la Espiga de la Virgen (alfa de Virginis) con las efectuadas un siglo antes por Tiocaris (siglo III) en Alejandría, cuando comprobó que las estrellas avanzaban lentamente en sus posiciones de Poniente a Oriente en relación con los puntos equinocciales. Sus cálculos le llevaron a comprobar un aumento anual de las longitudes estelares en 36".

Hiparco dudó entre atribuir el desplazamiento al conjunto de las estrellas situadas en la octava esfera o a que el equinoccio de primavera o punto de partida para la cuenta de las longitudes tenía un movimiento retrógrado de igual magnitud. Se decidió por la segunda hipótesis y de aquí el nombre con el que el fenómeno es conocido.[159]

Hemos dicho anteriormente que los navegantes fenicios sabían ya que la altura del polo norte sobre el horizonte de un lugar medía la latitud geográfica del mismo. Pero el polo norte no está señalado en el cielo; por lo que, para determinarlo, se recurrió desde los primeros tiempos a las estrellas vecinas.

Asignamos hoy a la estrella alfa Ursae Minoris una distancia polar inferior a 1º, de modo que, prácticamente la mencionada estrella indica el polo. Pero en épocas remotas de los navegantes fenicios no ocurría así, a causa del movimiento de

---

[159] N.A. En un principio fue denominado "apokatastasis" o restitución, y también "movimiento de los auges y de las estrellas fijas".

precesión de los equinoccios. De tal manera que hacia el año 2000 antes de J.C. la estrella beta de la Osa Menor estaba mucho más cerca del polo que la estrella alfa; se fue acortando la distancia de ambas estrellas al polo norte a medida que pasaron los siglos, pero conservándose más cercana la beta que la alfa hasta el año 1000 antes de J.C., desde cuya fecha la primera de estas dos estrellas comenzó a separarse, aumentando cada vez más la distancia al polo, en tanto que la segunda siguió disminuyendo su distancia polar, continuando así hasta nuestros días[160].

En consecuencia cuando se cita la estrella Polar de los fenicios, hay que entender que la referencia es a la beta de la Osa Menor, que ha recibido de los árabes el apelativo de Kaucab-al-Schemali- la Kochab de nuestros días, que significa precisamente estrella polar.

Cerca de la Osa Menor aparece en el firmamento un asterismo semejante, la Osa Mayor, llamada también por los antiguos Carro Mayor, Carro de David y La Barca, ambas constelaciones brillan en el cielo boreal, enviándonos cada una las luces de sus siete principales luminares. Setemtriones, llamaban en latín a las dos Osas, aunque el apelativo se aplicó más a la mayor, y de aquí que al norte se le llama también Septentrión, las estrellas más distantes de la Polar en la Osa Menor son las gamma y beta, apareciendo esta última la más brillante de las dos, y son conocidas como las Guardas de la Polar, siendo beta la que camina por delante en el

[160] N.A. Por el año 2000 alcanzará el mínimo 40'esta distancia, y en el transcurso de los siglos venideros otras estrellas irán tomando su puesto para indicar la proximidad del polo, y dentro de 14.000 años alfa de Lira (Vega) indicará a los navegantes la dirección aproximada del polo norte; entonces nuestra estrella Polar Algedi (el Cabrito) de los árabes, y Alrukaba de los astrólogos estará separado del polo unos 46°.

movimiento diurno, y por consiguiente la primera en llegar al meridiano.[161]

También se conoció a dichas estrellas por los dos Hermanos siendo Kochab por esta razón y su mayor brillo, designada como Mayor Frater por los catalanes y mallorquines, como lo consigna el beato Raimundo Lulio.

También beta ha sido, además, denominada Estrella Horologial, porque servía para determinar la hora durante la noche.

A la Osa Mayor la veían los hebreos como la figura de un aventador[162]; y los chinos, en el Scilh-king dicen que del lado del Norte hay un cucharón, esto último quieren significar los países de habla inglesa, que llaman Big Dipper a esta constelación.

Ala Osa Menor llamaban Corneta los navegantes italianos; los mallorquines y peninsulares la denominaron Bocina, como se puede apreciar en muchas citas y locuciones[163]

Este nuevo nombre (La Cabeza) que aparece en la disertación de Sancho, necesita una aclaración.

6.1.1 EL HOMBRE DEL POLO

En la fantasía de los tiempos pretéritos, que llenó el cielo de seres salidos de la

---

[161] N.A. Es conocida por la clara de las guardas, además del nombre de Cochab.

[162] N.A. Instrumento con el que se desparrama el grano por el aire para descascararlo (Isaías XXX, 24).

[163] N.A. Cervantes pone en boca de Sancho Panza, en la aventura de los batanes: " a lo que a mí me muestra la ciencia que aprendí cuando era pastor, no debe haber de aquí al alba tres horas, porque la boca de la Bocina está encima de la Cabeza y hace la medianoche en la línea del brazo izquierdo.

Mitología, añadieron los nautas del Medievo un ente más. Imaginaron el Hombre del Polo. Con éste punto celeste en el centro del cuerpo, la cabeza en el meridiano superior, los pies en el inferior y los brazos en cruz; la Polar se confundía con el centro, y Kochab recorría la circunferencia circunscrita a la figura en cruz del Hombre.

Mirando ésta figura el observador, quedaban la cabeza y los pies según la línea meridiana, los brazos derecho e izquierdo del Hombre apuntando, respectivamente a Poniente y Oriente; las bisectrices de estos cuatro ángulos rectos formados por la cruz se dirigían al hombro derecho e izquierdo, las dos superiores, y debajo del brazo derecho izquierdo, las inferiores.

No fue ésta la única posición asignada al Hombre del Polo de las observaciones efectuadas por Colón y relatadas en su diario por el P. Las Casas[164], se deduce que el Almirante ve al Hombre de espaldas correspondiendo así la nomenclatura de los brazos del mismo en relación a la línea Este-Oeste, con los del observador.

Su hijo don Fernando aclara esta explicación, pues de modo explícito llama brazo derecho al que corresponde al Este.

En el movimiento diurno del cielo estrellado, la Polar aparece, fija en un punto del cielo en tanto que las demás estrellas describen círculos alrededor del Polo. Las guardas de la Polar, en relación con ésta última, permitían a los observadores deducir cuando la estrella del Norte se encontraba, ya por encima, ya por debajo

---

[164] N.A. En carta a los reyes de julio de 1498 se expresa: "Hallo que la estrella del Norte escribe un círculo, el cual en el diámetro cinco grados, y estando las guardas en el braço derecho entonces será la estrella en el más baxo, y se va alçando fasta que llega al braço izquierdo: y entonces está cinco grados y de allí se va abaxando fasta llegar a bolver otra vez al braço derecho".

de este punto celeste o del almicantarat que pasa por él, en magnitudes graduables dependientes de la distancia polar.

Y aplicando ciertas reglas prácticas para deducir de la altura observada de la Polar la altura del Polo o latitud del lugar.

Entre las reglas del Manual de Munich, las de Pedro de Medina, o las de Serrao Pimentel (1673) nos vamos a referir a las de Martín Cortés y a una de las Guardas[165]; a Kochab.

Diego garcía Palacio, Juan de Lisboa, Francisco Falero y en general en todos los tratados de navegación de la época se dan las reglas antedichas. Martín Cortés comete el yerro de admitir que para su época la Polar tiene una declinación de ochenta y cinco grados y cincuenta y un minutos siendo por tanto la distancia polar cuatro grados y nueve minutos, y dice que aunque los marineros tienen que no se aparta más de tres grados y medio, aún me da más crédito los astrólogos que los marineros.

Si calculamos la distancia polar del año 1500 vemos que valía 3,42º, y en 1600 2,86º, de donde resulta que los marineros estaban, con sus 3,5º más próximos a

---

[165] N.A. La guarda delantera en el este está la estrella del norte un grado y medio baxo del polo.
La guarda en el nordeste está la estrella tres grados y medio baxo del polo.
La guarda en el norte está la dicha estrella tres grados baxo del polo.
La guarda en el norueste está la estrella medio grado baxo del polo.
La guarda en el oeste está la estrella un grado y medio encima del polo.
La guarda en el sudeste está la estrella tres grados y medio encima del polo.
La guarda en el sur está la estrella tres grados encima del polo.
La guarda en el sueste está la estrella del norte grado encima del polo.

la verdad.

Algunos autores exponen las reglas del Norte, considerando, en vez del Hombre del Polo, una rosa de plano perpendicular al eje del mundo, en el bien entendido que al citar por ejemplo, el Sudoeste para situar un astro, Sol, Luna, estrellas, se referían a su separación angular del meridiano, no indicaban, pues el rumbo Sudoeste de la aguja, sinó un "rumbo horario".

Sin salir de la trigonometría rectlínea, podemos comprobar de modo aproximado, las cifras dadas por las reglas.

Para facilitar el empleo de las reglas se idearon sencillos instrumentos, entre ellos el nocturlabio, que por una cara de un disco indicaba la corrección y por la cara opuesta obtenía la hora.

Distintos instrumentos fueron inventados para que materializaran la aplicación de las reglas, los empleados para la obtención de la hora de la noche con auxilio de la Polar y sus guardas son mucho más antiguos[166].

Tenemos que decir que Pedro Núñez, había notado que cuando la Polar estaba fuera del meridiano las correcciones propuestas en las reglas eran variables con la latitud de los distintos lugares situados a lo largo de un mismo meridiano.

También podemos resumir las reglas en una rueda, las cifras indicadas en la rueda indicarían las correcciones a efectuar a la altura de la Polar, observadas con astrolabio o ballestina para pasar a la altura del Polo o la latitud del lugar. La colocación de las cifras corresponden a la respectiva situación de la Guarda

---

166 RAIMUNDO LULIO, trata en su libro de Medicina del modo de saber la hora por la noche para la debida administración de los medicamentos a los enfermos, describe el instrumento adicionando a la explicación una figura, a la que titula Sphoera horarum noctis: Opera omnia, Maguncia 1721.

delantera.

El uso de la rueda de correciones sigue en boga en la época de Dechales, pues éste publica un cuadro con las cantidades a aplicar en cada rumbo de la rosa del Polo, en analogía con la confeccionada para el empleo de la guarda.

Los navegantes se interesaron también por conocer en que momentos estaba la Polar en el meridiano sin necesidad de recurrir a las Guardas, y lo consiguieron con el auxilio de algunas alineaciones estelares[167].

Otro tipo de ábaco, fundado también en el Hombre del Polo y en la consideración de que el promedio de dos alturas de la Polar en situaciones del astro diametralmente opuestas, daba la latitud del lugar.

6.1.2 LA LATITUD EN EL HEMISFERIO SUR

Cuando los navegantes se encontraban en latitud distinta de la de Lisboa, bastábales observar la altura de la estrella del norte en uno de los ocho rumbos principales, y la diferencia entre la cifra obtenida y la que en semejante rumbo aparecía en la rueda les indicaba el "subir" o el "bajar" en latitud respecto a Lisboa.

El procedimiento de los promedios de alturas está ya inserto solo para la situación meridiana del astro en los codices del Rey Alfonso X de Castilla[168].

---

[167] N.A. Por ejemplo cuando Benetnash y Alioth de la Osa Mayor se encontraban en línea horizontal, las Dubhe y Merak, así como la Polar, se hallaban en el meridiano.

[168] Alfonso X: Capítulo LXIII del libro de las armellas: De saber la ladeza (latitud) de la villa por la altura de qual estrella fixa quier de las estrellas que parescen todavía. Cuando esto quisierédes saber rectifica la mayor altura de cual estrella fixa quier de las estrellas que se nos asconden de yuso so la tierra, et guárdala, et toma so altura quando es más baxa que puede seer, et guárdala, et ayunta amas estas alturas, et lo que

Cuando los nautas se aventuraron a navegar hacia el Ecuador, penetrando en el hemisferio sur, perdieron de vista la Osa Menor y buscaron un asterismo austral que sustituyera a la anterior, y lo hallaron en un grupo de estrellas, que hoy conocemos por la Cruz del Sur.

Se ha querido ligar la existencia de la Cruz del Sur, como constelación independiente, con el descubrimiento de Brasil, que en un principio se denominó Vera-Cruz y más tarde Santa Cruz. Si bien no hay duda que sus principales estrellas eran conocidas en la antigüedad como componentes del Centauro, como indica Humboldt.[169]

Si aceptamos la opinión de Flammarión y otros autores, hay que admitir que el primer documento astronómico en el que se ve la Cruz del Sur como constelación, es el Atlas de Bayes de 1603. Sin embargo aseguran que Agustín Royer fue el primero que formó la constelación austral denominándola Cruz o Tronco de César.

Zanoti Bianco.[170]

Referencias a la Cruz del Sur pueden verse, o suponerse según los casos, en el Catachillay de los peruanos; en las quatro stelle de Dante; en la crux aurata del

---

fuer toma so meatad, et esso será la ladeza de tu cibdat. Libros de Saber de Astronomía (Publicados por Ríos y Sinubas, Madrid, 1863-1867) .

[169] Estima en su obra que el nombre actual proviene de los navegantes cristianos del siglo XIV, porque en 1316 Jaime Ferrer y los catalanes habían alcanzado el Río de Oro y la costa occidental de frica. Humboldt "Histoire de la geographie du nuveau continent", París 1837.

[170] ZANOTI BIANCO dice:" La formación o, más bien, la inclusión de la Cruz del Sur como constelación es muy oscura, y se atribuye a Royer en 1679. Pero era conocida como tal dos siglos antes de éste". "Astrología e Astronomía", Turín 1905.

poeta Stella; en la nova estrella de Camoeus; en la quatro estrellas en cruz de Oviedo y Valdés, que más tarde por concesión real, pasaron al escudo heráldico de éste.

También Dante. En el canto I del purgatorio aparecen los versos que dicen:

Io mio volsi a man destra e posi mente
all'altro polo, o vidi quattro stelle
non viste mai furor che alla prima gente;

en los que se ve una alusión a las estrellas de la Cruz del Sur.[171]

También Américo vespucio en carta que escribió a Lorenzo de Pierfrancesco de Médecis el 18 de julio de 1500, hace referencia a la Cruz del Sur. Máxime cuando Vespucio declara "*que perdei molte volte il sonno di notte in contemplare il movimento delle stelle dell'altro polo*".

Para determinar la latitud por la Cruz del Sur tenemos que la estrella más cercana al Polo Sur es alfa, que tenía en 1500 179,97º de ascensión recta, en tanto que la gamma, Cabeza de la Cruz tenía 181,08º en la misma fecha, vemos por tanto que la diferencia era solo de 1º. Se esperaba que la línea, gamma menos alfa, estuviese a plomo, se tomaba la altura de alfa y se aplicaban 30º, la distancia polar

---

[171] N.A. Angelitti en la Revista de Astronomía, Torino, t VI-VII indica que, de no ser imaginarias o ficticias, las cuatro estrellas a las que el poeta se refiere corresponden a la constelación de Ara. También se ha escrito que estas cuatro estrellas pudo citarlas en sentido figurado, queriendo significar Dante las cuatro virtudes cardinales. En el canto XXXI dice: "noi sem qui Ninfe, e nel ciel semo stelle", osea aquí ninfas y en el cielo estrellas.
También es posible según Humboldt como escribe en su Histoire de la Gèographie du nouveau continent, París 1837, que hubiera podido tener conocimiento de las cuatro estrellas de la Cruz del Sur, por los viajeros venecianos que visitan Egipto, la Arabia y Persia.

era 29,7º y resultaba la altura del Polo Sur sobre el horizonte o latitud del lugar. Se ve que el crucero tiene sus estrellas bastante menos circumpolares que las de la Osa Menor; pero desde las primeras expediciones al hemisferio boreal se le señaló para fijar el polo Antártico. Y también se le quiso aplicar para la obtención de la hora por la noche, como se hacía con la Osa Menor y posteriormente Juan de Lisboa ideó la correspondiente rueda para éste fin.

La observación de la altura meridiana del Sol era un antiguo medio de obtener la latitud. Sin embargo, sólo la empleaban, en general en días señalados cuando el Sol se encontraba en los puntos equinocciales (declinación 0º) o cuando alcanzaba los solsticiales (declinación 23º27').

Para cualquier otro día del año se necesitaba el conocimiento de la declinación del Sol.

6.1.3 CÁLCULO DE LA DECLINACIÓN SOLAR: SISTEMAS

A la operación de tomar la altura del Sol con el astrolabio se le denominaba "pesar el Sol", porque en las proximidades del meridiano se efectuaban varias mediciones de alturas hasta obtener la máxima, y la medeclina del instrumento semejaba en sus oscilaciones para acertar la sombra, el brazo de una balanza.

En las determinaciones por la altura del Sol, se hizo uso constante la consideración de las sombras arrojadas por el astro, cuyos fundamentos son debidos al sabio cordobés Azarquiel y que se insertan en los manuscritos del Rey Alfonso.

Debía poseer el observador tablas o cuadros conteniendo el valor de la declinación día por día, datos que no estaban al alcance de todos los navegantes, aunque los codices alfonsies comprendían tablas de la declinación solar para todos los días de un año[172].

En el manuscrito de orígen catalán, nº17961 de la Biblioteca Nacional de Madrid se encuentra una traducción latino-arábiga de un almanaque perpetuo calculado según la octava esfera, como era la costumbre de todos los astrólogos y escritores de náutica hasta que se aceptó el sistema copernicano. Este almanaque está calculado para el año 1307, tomando como meridiano el de Tortosa.

Después de los códices alfonsinos han de pasar más de dos siglos para encontrar otra obra cumbre. El Almanach perpetuum del famoso judío salmantino Abraham bar Samuel bar Abraham Zacuto[173]. En este almanaque perdurable, las tablas de declinación del Sol y de lugares del astro en la eclíptica están compuestas a base de una oblicuidad de 23º33', valor excesivamente grande y que fue dado por Iahia ebn Abumanzor, en Bagdad el año 829. Pudo decidirse por el 23º21'48", obtenido por Ulug Beg, en Salamanca (1487), por el de 23º28'de Purbachio (1460) o por los 23º 31'40" de Regiomontano, obtenido en Viena en 1460 por observaciones con el cuadrante.

Para establecer su almanaque perpetuo: Calculó las longitudes del Sol para los cuatro años 1473 a 1476, ambos inclusive, de los cuales el último fue bisiesto;y por medio de una tabla de correciones, pasábase a la longitud de cualquier día de un año posterior a estos.

---

[172] De la asamblea de Sabios que el Rey Alfonso X de Castilla reuniera en su corte imperial de Toledo, surgieron manuscritos que se extendieron por la Península Ibérica y por toda Europa, figurando la declinación solar. En el capítulo XXX del segundo libro del Astrolabio llano, en los Libros del saber de Astronomía del Rey Alfonso de Castilla.
GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 167.

[173] GARCÍA FRANCO SALVADOR. Ibidem op. cit. pág. 171.

Estas tablas las denominó Zacuto con los nombres de Tabula solis prima, secunda, tertia y quarta, seguía la Tabula equationis solis, con los treinta y cuatro primeros múltiplos de 1'46"[174], lo que hacía perdurar el Almanach hasta más allá del año 1600. Los años comenzaban en Marzo en las tablas de lugares. Finalmente conocida la longitud del Sol para un día de cierto año, se entraba en la Tabula declinatoris planetarum et solis ab equinocialis, en la misma página que la de equationis solis, con la longitud calculada, y se obtenía la declinación.

Con las efemérides calculadas por Regiomontano, para el meridiano de Nuremberg o de Ulma y con las tablas publicadas en 1475 (Tabulae directionum profectionunque) permitían ambas obras, obtener la latitud observando el sol al mediodía.

En la Biblioteca Real de Munich existe un incunable, escrito en lengua portuguesa, de un Regimento, ejemplar único, en el que falta la fecha y nombre del impresor. Parece ser que se le puede asignar la de 1509.

El Regimento trata del cálculo de latitudes por la altura del Sol, reglamento de la estrella Polar, lista de latitudes, reglas para determinar el recorrido de la nave, calendario, tablas náuticas para un año bisiesto. Da las reglas de latitud por las guardas de la polar. Este Regimento se le conoce con el nombre de "Manual Munich".

Otro Regimento como el de Munich fue encontrado por Cordeiro en la Biblioteca de Euora. Está escrito en portugués y, aunque sin fecha, se le supone de 1517. Trata con más concisión los datos de que consta, y además de los datos que

---

174 N.A. Tomando como cifra media del movimiento diario del Sol 59,14', corresponden 1'46,45" a la anterior fracción del día.

suministra el "Manual de Munich" comprende reglas para obtener la hora durante la noche por la Polar y sus Guardas así como las determinaciones del momento de la pleamar.

No entraremos en distintos autores ni en distintas tablas que harían interminable la exposición.

Una vez los nautas contaron con las tablas de declinación solar, les faltaba saber ligar la cifra del día con la altura observada del Sol. Se empezó por hacer distinciones según que las sombras producidas por la luz solar al encontrar los objetos fuesen arrojadas en dirección norte o sur; después se cambió la consideración de la sombra por la posición del observador. Con escasas y mínimas variaciones han llegado esas reglas hasta nuestros días.

$$l=d-z$$

Siendo d, positivo o negativo según su valor y la distancia cenital positiva o negativa, según si la observación se hizo cara al Norte o cara al Sur.

En el tiempo que las reglas fueron compuestas, no se hacía una distinción entre la altura observada y la verdadera, por ignorar las correciones de refracción, semidiámetro, depresión de horizonte, que no se llevaban en cuenta.

Hasta aquí los métodos de observación para obtener la latitud geográfica están fundados en reglas más o menos precisas, cuya multiplicidad las hace confusas. El triángulo de posición no existe explícitamente.

Pedro Núñez comprendiendo que los métodos trigonométricos no estaban al alcance de los navegantes, resuelve el problema de la observación extrameridiana de los astros empleando pomas o esferas. Hay quien afirma, Gauss entre ellos que, en la época de Núñez, este problema y su resolución era familiar a los astrónomos y Schoners, en la Edición del Scripta clarissimi mathema, de Monte Regio, cree que lo empleó, cuando la aparición del cometa de 1472. Pero la forma práctica de la resolución es debida indudablemente a Núñez.

Con el auxilio de su sencillo instrumento resolvió Núñez, gráficamente, la determinación de la latitud por altura extrameridiana del Sol.

La solución gráfica sobre la poma no podía ser muy exacta. Se oponían a la veracidad del resultado: el tamaño siempre exiguo del globo; las diferencias en las graduaciones, el error en la altura, y especialmente, una imprecisa determinación acimutal, en las que influían la graduación del limbo del instrumento de las sombras, y por último el conocimiento sólo aproximado de la declinación magnética en el lugar.

No son éste ni otros métodos similares los únicos procedimientos extrameridianos para obtener la latitud. En el mismo Núñez, se encuentran otros como la obtención de la latitud en la mar por tres alturas del astro y las diferencias acimutales, y también empleando distintos astros y simultaneando las medidas de sus respectivas alturas.

En el siglo XVII ya encontramos los anteriores métodos y otros similares explicados en los tratados de Navegación y Artes de Marear. Se tienen en cuenta las refracciones, las paralajes y semidiámetros cuando es necesario corregir éste elemento, y la Astronomía y el triángulo esférico se introducen profundamente en la Náutica.

En este siglo XVII se tiene una idea clara de que la depresión del horizonte influye en la altura obtenida, pero en medio de ideas muy confusas que inducen al error.

Esto unido a los instrumentos de la época, y al desprecio de las correciones en la masa general de los pilotos, y otros por ignorancia, hacen que las situaciones no sean todo lo exactas que podían ser.

En esta primera mitad del siglo décimo séptimo se obtiene la latitud por la altura meridiana de una estrella, por la amplitud ortiva de una estrella, por dos alturas extrameridianas del Sol y el tiempo transcurrido entre ambas; por dos alturas de este astro, o de una estrella y la distancia entre las correspondientes verticales, por dos alturas simultáneas de dos estrellas; por dos de estos astros que tengan el orto y el ocaso al mismo tiempo. Y otros propuestos como el de obtener la latitud por la inclinación de la aguja imantada, creyéndose erróneamente que la inclinación magnética era igual a la altura del Polo elevado.

Para obtener la latitud por la altura meridiana de una estrella hacía falta previamente conocer su declinación, y para ello, no existiendo efemérides regulares, era necesario servirse de tablas que dieran las coordenadas ecuatoriales de estos astros.

La llegada o aproximación de la estrella al meridiano la determinaban con la brújula, y tomaban varias veces la altura en estas proximidades hasta que el astro empezaba a descender, la práctica era la misma que para "pesar el Sol" como se llamaba, a la observación de la altura meridiana de este astro.

Para el método de la amplitud ortiva de las estrellas, era necesario observar con la brújula acimutal la graduación correspondiente al orto de uno de estos astros, así como la del ocaso, la mitad del arco del horizonte comprendido entre ambas marcas daba el punto del mediodía, el complemento a 90º de este arco era la amplitud obtenida, de donde resultaba la latitud del lugar.

Como es natural, para que el tiempo transcurrido entre el orto y el ocaso no fuese excesivo, se empleaban estrellas que en su movimiento diurno, solo estuvieran invisibles o visibles unas dos o tres horas.[175]

El método de latitud por dos alturas extrameridianas de Sol, y el intervalo transcurrido entre ambas observaciones, resuelto más adelante por Douwes, se empleaba a mediados del siglo XVI, utilizando una buena ampolleta bien construida y comprobada por comparación, en tierra, con un péndulo. Se prefería que la duración del tiempo medido fuese la suma de los tardados en caer la arena en dos posiciones consecutivas de la ampolleta. Observadas pues, las dos alturas, la primera al comenzar a fluir la arenilla, y la segunda al terminarse la doble pasada, se recurría a marcar las situaciones del astro sobre un globo. El método es modificación del iniciado por Pedro Núñez, siendo aquí la diferencia de acimutes sustituida por un horario, y este ángulo en el Polo es el que, como dato, sustituía al ángulo en el cénit empleado por Núñez, los radios o aberturas del compás eran distancias cenitales, en vez de las polares, y el punto de intersección daba la situación del cénit.

En este siglo se empieza a convencer a los navegantes de las ventajas que obtendrían aplicando fórmulas trigonométricas.

Desde muy antiguo se conocían las tablas de senos, a las que siguieron las de tangentes. Pero cuando el cálculo se hace fácil y tiende a imponerse es cuando el

[175] N.A. Este método es defectuoso, porque en el pequeño círculo de la brújula se cometía error al marcar el astro, y además, no se atendía a la refracción.

escocés barón de Markiuston, Juan Napier[176], publica la invención de los logarítmos en 1614, tres años antes de su muerte.

Enrique Briggs, profesor de Astronomía en Oxford y de Geometría en el Colegio Gresham de Londres, construyó las primeras tablas de logaritmos, en base 10, el año 1624; las mantisas alcanzaban la octava cifra decimal. Las tablas en que por primera vez aparecieron las unidades del argumento separador de las cifras del orden superior, se deben a Edmundo Wingate, quién las publicó en Londres en 1624; y la primera vez en que las mantisas aparecen descompuestas en dos grupos de cifras, se encuentra en las tablas del inglés Nathaniel Roe, que fueron impresas en Londres en 1633, haciendo su presentación en la Náutica, la mecánica logarítmica, como desde el primer instante se adueñó de la Astronomía.

Gunter, para las aplicaciones a la navegación, con vistas a las tablas meridionales de Wright y a otras ramas de las matemáticas, ideó su famosa regla, "la Gunter" se la denominaba, en la que aparecían escalas de logaritmos de los números y de senos y tangentes de los arcos. También construyó un sector con el mismo fin cuyo uso explicó muy detalladamente Roberto Hood en su tratado de 1598.

Débese igualmente a Gunter (1620) la primera tabla de logaritmos de los senos y tangentes, calculada con un minuto de intervalo en el argumento. Le siguió Vlacq (1633), dando en su trigonometría los mismos elementos para cada 10" del cuadrante.

El reverendo William Oughtreed, en 1663 proyectó su regla logarítmica en forma

[176] El inventor tendió desde el primer momento a la construcción de tablas logarítmicas de senos con preferencia a otros fines, como ha sido la aplicación de los mismos a los números. T. NAPIER: "mirifici logarithmorum Canonis Descriptio", Edimburgo 1614.

circular, dando explicaciones para su uso en la navegación.

Pero en realidad fue Tomás Addison quien aplicó ampliamente la invención de Napier a todos los casos que se ofrecían en la Náutica de posición.

Pero ni las pomas, ni otros instrumentos similares, ni los métodos gráficos dejaron de existir. Con tenacidad se resisten a desaparecer.

Oroncio Fineo[177], al explicar su método de longitud, parecido al de Werner, hace uso del globo para situar a la Luna.

Emery Mullineus construyó varios en 1593, entre ellos, dos mucho mayores que el de 1541, fabricado por Mercator.

Robertson resuelve problemas varios sobre las pomas con el título Globular Sailing. En este título comprendió todos los problemas relativos al ángulo de rumbo, distancias y cambios de latitud y longitud, considerando a la tierra como una esfera.

Haciendo un salto en la historia, pero sin olvidar los diferentes tipos de globos y aparatos que intentaban resolver las distintas incógnitas del triángulo de posición en función de valores conocidos, como el de Gemma de Frissia, y su discípulo Miguel Coignet. La idea de este inventor fue la materialización en todo momento del triángulo de posición, que permitía obtener la latitud del lugar y el horario, de donde inmediatamente resultaba la hora verdadera.

No obstante Roberto Norman, en su obra The New Attractive, encontraba al Hemisferio náutico de Coignet el defecto de falta de simetría.

---

[177] Situada la Luna sobre la superficie del globo, y trazada sobre la misma, y con el punto obtenido como centro, un círculo de latitud que debía pasar necesariamente por el polo de la eclíptica.
FINEO ORONCIO "De invenienda longitudinis locorum differentia", París 1544.

Fournier estimaba que el instrumento de Coignet era "*casi inútil en la mar*", indicando cuatro razones: la primera, que no llevaba en cuenta la declinación de la aguja; la segunda, que se necesitaba previamente obtener la altura del Polo, que es precisamente lo que se quiere hallar empleando el instrumento; la tercera , que el semicírculo equinoccial no resultaba equilibrado, pudiendo inclinarse por la acción de la gravedad, y la cuarta, que el movimiento y balance de la nave hace perder su estabilidad al aparato.

Vemos, en definitiva, que los métodos de cálculo, más o menos exactos, los globos o pomas, como medios auxiliares para resoluciones gráficas, y los procedimientos mecánicos, como el de Coignet, eran todos empleados en la mar.

En el siglo XVIII, cuya importancia en la historia de la Náutica es innegable, los métodos teóricos de los siglos que le precedieron cedían el paso a otros procedimientos más firmes y seguros para situarse en la mar, y el Arte de Navegar se convierte en Ciencia, si bien no es rápida la transición.

La centuria del XVIII no trajo a los métodos de determinación de latitud adelantos que merezcan ser destacados. El medio de obtención de la latitud por tres alturas observadas y los intervalos de tiempos transcurridos entre las observaciones, se encuentra resuelto en "Comentarii Academiae scientiarum Petropolitanae", de 1729-35 pero no fue bien recibido por los marinos, que sólo lo tomaron en consideración cuando se hacían iguales los dos intervalos.

Únicamente debemos hacer resaltar una mejora interesante en el método de determinación de la latitud por las observaciones de dos alturas y el intervalo transcurrido entre ambas. Este problema resuelto anteriormente sobre un globo o esfera, recibió también una solución de Roberto Hues (1594) operando igualmente sobre un plano.

Siguiendo un procedimiento de proyección sobre un plano, lo resolvía Colins (1659) y Leadberters (1729) en su Astronomía, como igualmente el Padre Pèzenas (1741) y Maupertnis (1744), tratado ampliamente por todos con métodos ingeniosos, pero que no convencían al marino.

El cálculo directo era excesivamente laborioso y sólo se hizo asequible cuando lo solucionó Cornelio Van Douwes[178].

Hay que hacer constar que hasta la solución de Dowes, a los cronómetros no se les admitía la perfección correspondiente para poderles confiar la resolución del problema de la longitud, pero se les consideraba suficientemente seguros para medir un corto intervalo de tiempo.[179]

Podemos observar que Dowes no resolvió directamente este método de "dobles alturas" como impropiamente se le llamó, y precisamente estriba en ello el mérito del marino holandés, pues las fórmulas generales que sirven para el caso no son

[178] N.A. Cornelio Van Dowes, fue examinador de Pilotos en Amsterdam y perteneciente al Colegio del Almirantazgo en esta ciudad, dio un procedimiento hacia 1740, introduciendo en el cálculo la latitud estimada, y admitía constante la declinación del astro en el intervalo de las observaciones.

[179] N.A. En este momento el cronómetro se valoró para el marino, puesto que para este cálculo interviene el espacio de tiempo transcurrido entre las dos observaciones de altura y era indispensable conocerlo con la mayor exactitud posible.
Como en la mar se conoce aproximadamente la latitud con auxilio de la estima, Dowes se sirvió de ésta como dato, dividiendo el problema en dos partes, la primera consistía en determinar con auxilio de la latitud estimada, el ángulo horario medido entre las dos observaciones de altura, y como consecuencia, el correspondiente a cada una. La segunda parte obtenía la latitud empleando de nuevo la estima y uno de los horarios obtenidos, en realidad lo que encontraba era la altura meridiana del astro, a base de admitir como exacta la latitud estimada.

cómodas para llegar rápidamente al resultado.

Aunque el método de Dowes sólo tiene en la actualidad interés histórico, conviene hacer resaltar la aceptación que tuvo entre los marinos, pues con ayuda de las tablas correspondientes, bastaban tres números y cinco logaritmos para resolver un problema que rigurosamente tratado por trigonometría exigía veintitrés logaritmos. Nació Cornelio Dowes en 1712 y murió en 1773.

La determinación de la latitud por el método de Dowes sufrió un eclipse con el perfeccionamiento de los cronómetros, con la utilización de estos para la obtención de la longitud.

Resurgió nuevamente cuando Littrow dio una forma más simple al método Borda y de Lalande en 1830. El método de la doble altura quedó relegado a los casos en que la observación de la altura meridiana o de la altura circunmeridiana dejaba de efectuarse por impedirlo el estado del cielo.

Dowes en su método indirecto, se concretó a observaciones solares como la práctica más generalizada, dada la comodidad que el Sol ofrece a la visión con instrumentos portátiles. De aquí el inconveniente que surgía cuando el astro se ocultaba entre nubes, y entonces había que recurrir a la noche y observar estrellas. Fue Gauss[180] el que dio solución directa y completa al problema de la determinación de la latitud y horario por la observación de alturas de dos estrellas introduciendo una incógnita auxiliar para facilitar el caso. También Gauss[181] explicó el método

[180] GAUSS C.F. "Metodus peculiaris Elevationem Poli determinandi" Gottingae 1808.

[181] Igualmente dio solución al problema de determinar la latitud por observación de la altura de tres estrellas, que aunque en astronomía se conoce éste procedimiento con el nombre de Método de Gauss, se ciñó este tan solo, al caso particular,

para obtener la latitud por el promedio de varias distancias cenitales de una estrella, tomadas lejos de la culminación; procedimiento que resultaba especialmente práctico empleando la Polar.

Calkoen, director del observatorio de Utrech ideó también una solución que no mejoraba lo hasta entonces practicado; y Camphausen[182] ofreció alguna novedad. J.J.Litrow[183] consiguió hacer menos laborioso el cálculo de las fórmulas obtenidas por Gauss en 1808. En 1820 hizo muy práctico el método de determinación de la latitud por medio de la Polar, en un trabajo que se publicó en "Correspondance Astronomique".

La determinación de la latitud por pasos en el vertical primario es debido a Bessel. Pagel escribió, en 1847, un trabajo titulado: "*La latitude par les hauteurs hors du méridién*", en él daba fórmulas para la corrección de la latitud que aparecen en el método Lalande-Pagel[184].

---

de que las tres alturas fueran iguales.
GAUSS C.F. "Berlinier Astronomisches fahbuch", Berlín 1812.

[182] En su método ampliaba la observación a la medida de la diferencia de acimutes de las estrellas, y obtenía la latitud y hora por diferencias en alturas y acimutes y el intervalo transcurrido. Camphausen, "Astronomía Esférica", Bronnaw, traducida por Pardo y Villavicencio, Cádiz 1869.

[183] J.J.LITROW "Berlinier astronomiches fahrbuch", Berlín 1817.

[184] N.A. Este estudio se publicó separado en un libro con el antedicho título, impreso en París en el mismo año.
La tesis de la obra es la pregunta que se hizo el autor: "¿Es lógico el suponer que cuando la observación del meridiano es muy buena para dar la latitud, y la efectuada en el primer vertical muy buena para dar la longitud, se pase de esta observación a la otra o viceversa, obteniendo alturas sin valor, o al menos de escaso valor?, ¿no debe creerse, por el contrario, que todas las alturas intermedias deben tener tanto valor como las tomadas en el meridiano y en el primer vertical...? A base de este tema

El empleo de la diferencia logarítmica preconizado por Pagel y, antes por Raper, hizo innecesario la determinación del acimut. Por lo que esta modificación del cálculo fue muy bien acogida.

Perrin publicó una memoria en los Annales du Bureau des Longitudes, relativa a la latitud y al tiempo, en las que dio reglas prácticas para efectuar con el sextante observaciones de alturas, dándole vida a los trabajos de Knorre (1832) y Anger (1835), sobre la determinación de las observaciones sobre el mismo almicantarat, y un trabajo en relación con los métodos de navegación ideados, en su inicio, por Summer.

Liagre propuso determinar la latitud por varias observaciones de una estrella, y Babinet explicó otro método muy parecido, fundado en la observación de los acimutes extremos de dos estrellas circumpolares.

A mediados del pasado siglo se empleaban en algunas Marinas un método de determinación de la latitud por alturas circunmeridianas del Sol, llamándose el procedimiento del cálculo "Nord-deutsche Methode" y también método de Domkes.

Pero fue en Mayo de 1878 cuando, en "Revue maritime", apareció el método seguido por el profesor de navegación de Elsfleth, Mr. Preuss. Consistía el procedimiento en observar dos alturas de Sol, no muy lejos del meridiano, antes o después del paso o una antes y otra después; anotar las horas de tiempo verdadero de cada observación y por último entrar en una tabla en la que se obtenía una corrección. Aplicando ésta a la altura mayor observada, ya reducida a verdadera, se obtenía la altura meridiana. La principal ventaja del método de Preuss era no necesitar más que una tabla, en vez de las dos o tres exigidas por otros.

---

desarrolló sus determinaciones y cálculos.

6.2 CASO DEL ASTRO EN LAS PROXIMIDADES DEL ZENIT

Es evidente que si consideramos un astro en un paralelo de declinación AA' con una declinación igual a QZ (latitud del observador), e igual signo, el astro culminará en el zenit con una altura de +90°. Este caso se da, entre trópicos aquel día que la declinación del Sol coincide con la latitud del observador, es decir entre 23° 27 N y 23° 27 S.

El astro alcanza 90° de altura, al pasar por el meridiano superior y es el único caso que una sola observación se puede obtener la situación del observador que será la del punto astral o polo de iluminación del astro, cuyas coordenadas son: latitud igual a la declinación del astro y la longitud igual al horario en Greenwich del astro.

Si obtenemos alturas próximas a la culminación, aunque l y d, no sean exactamente iguales, estaremos sobre una circunferencia de alturas iguales de radio pequeño, que podrá ser trasladada como tal circunferencia a la carta mercatoriana sin que el error cometido sea importante. Si poco después con un intervalo pequeño observamos nuevamente el Sol, tendremos una segunda curva de alturas iguales cuyo centro será el nuevo polo de latitud que la anterior y cuya longitud estará al oeste del anterior con una diferencia en longitud igual al intervalo entre ambas observaciones convertido en arco. Esas dos circunferencias, salvo en el caso que fueran tangentes, caso muy particular, se cortarán en dos puntos creando una ambigüedad que la podemos deshacer por el conocimiento del punto de estima, o por el conocimiento de si el astro culmina cara al Norte o cara al Sur, este problema será muy sencillo teóricamente, tiene el inconveniente de la dificultad que presenta el observar astros con alturas próximas a 90°.

6.2.1 ASTRO PRÓXIMO AL ZENIT: CASO PRÁCTICO:

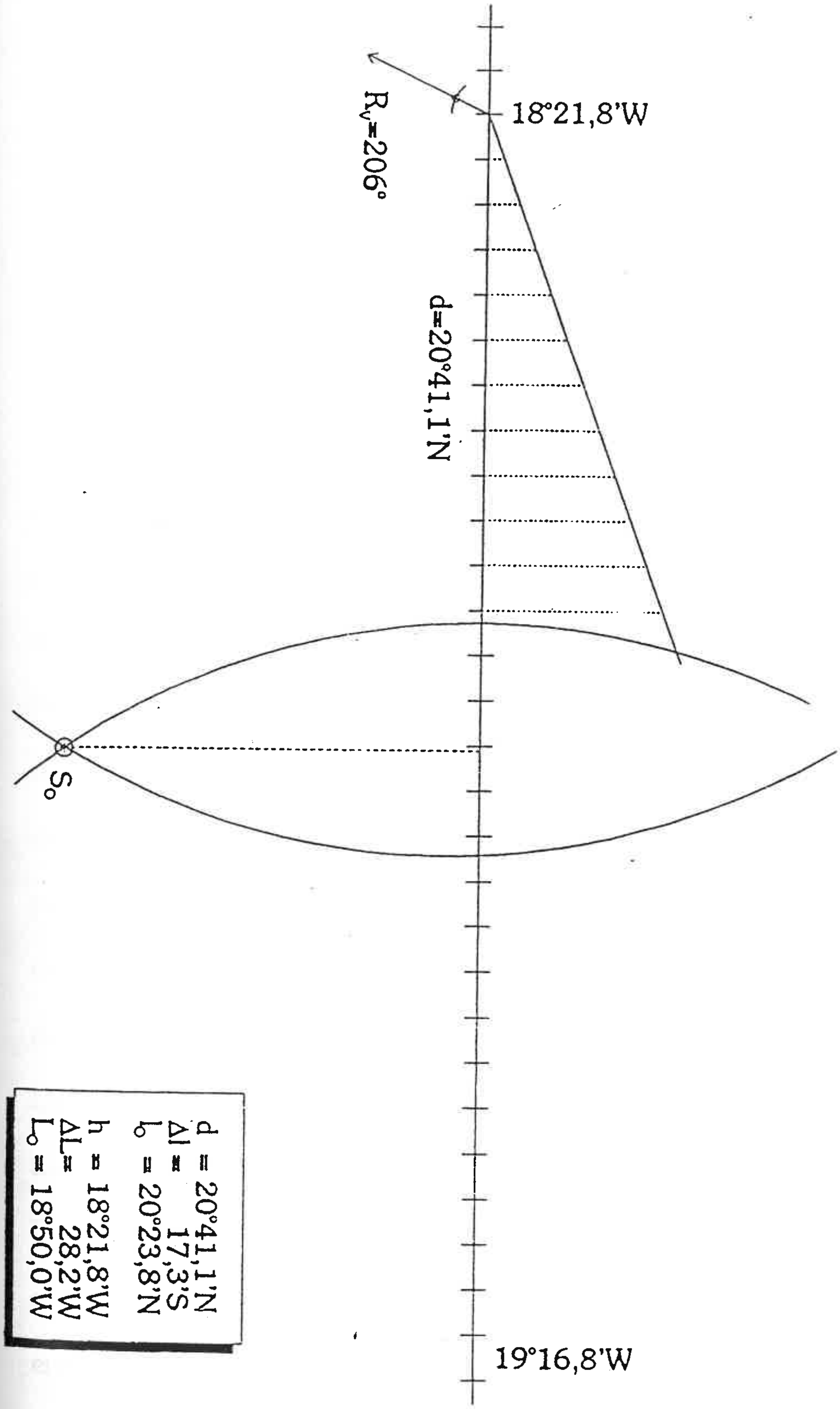
El día 20 de julio de 1955, en viaje de Ceuta a Buenos Aires, al ser H_{cro} de TU = $13^h19^m45^s$ se obtuvo $a_v\odot = 89^o\ 32'$ y $3^m\ 40^s$ más tarde $a_v\odot = 89^o\ 31'$. El Sol culmina cara al Norte.

En el intervalo el buque navega al $R_v = 206^o$ y una distancia de 1,5 millas.

$TU = 13^h\ 19^m\ 45^s$	$d = 20^o\ 41,1'\ N$	$h = 18^o\ 21,8'$
$TU = 13^h\ 23^m\ 25^s$	$d = 20^o\ 41,1'\ N$	$h = 19^o\ 16,8'$

$a_v\odot = 89^o28' \rightarrow z = 32'$

$a_v\odot = 89^o\ 29' \rightarrow z = 31'$



18°21,8'W
Rv=206°
d=20°41,1'N
So
19°16,8'W
d = 20°41,1'N
Δl = 17,3'S
lo = 20°23,8'N
h = 18°21,8'W
ΔL= 28,2'W
Lo = 18°50,0'W

7.- LA LONGITUD

7.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS:

Durante los siglos en que la navegación se limitó a los mares interiores, especialmente al Mediterráneo, sin que los hombres que pilotaban las naves perdieran de vista la costa, navegando de cabo a cabo, el problema de la situación podía considerarse inexistente. A finales del siglo XV, cuando los marinos pierden el miedo que les infundía el Mare Tenebrosum, y se hace necesaria la determinación de la latitud, más o menos exacta, los marinos sabían obtenerla. Pero no ocurría lo mismo con la longitud, que los pilotos de nuestra península conocían como "altura del lesteoste". Empezaron los pilotos y cosmógrafos un estudio de los métodos empleados en tierra firme, para determinar cuales de ellos, modificados o no, podían ser aplicados en la mar. Debemos recordar la costumbre de designar con la palabra Leste el punto cardinal Este, sin duda por una mayor facilidad de pronunciación.

Desde el primer momento el punto de partida para la cuenta de las latitudes fue el Ecuador Terrestre, es decir que la latitud es una coordenada absoluta, sin embargo para iniciar la medición de la longitud, desde un primer meridiano, o longitud cero, fue tomando un papel errante, desplazándose a capricho o conveniencia de los hombres, según fuera por consideraciones deducidas de los conocimientos geográfico u obedecieron a razones políticas.

Aristóteles contaba la longitud de polo a polo y la latitud siguiendo la equinoccial[185]. La forma de cifrar estas coordenadas era por ejemplo 30.38.36.26., que significaba 30° 38' en longitud y 36°26' en latitud, siendo corriente escribir 8° 1/2° 1/3° 1/12° = 8° 55'.

Pero la idea que predominó en la cuenta de las longitudes en el cielo, es decir de Occidente a Oriente. Y establecer el criterio de situar el primer meridiano en las tierras más occidentales de las entonces conocidas Piteas de Marsella fijó el primer meridiano en la isla de Thule[186], según se lee en Estrabon, como la parte más occidental del mundo. Eratóstenes contaba desde las columnas de Hércules en el estrecho de Gibraltar. Marino de Tino, Ptolomeo y otros en la antigüedad fijaron el primer meridiano en la extremidad occidental de África, a 20 leguas al W de las Islas afortunadas, es decir el límite occidental de las tierras conocidas. Ptolomeo denominó así al grupo de las Canarias.

Pero este geógrafo supone a ese grupo en la zona tórrida entre los 10° y 16° de latitud norte, y a la que llama Canarias le asigna 11° . Presentándolas casi en un mismo meridiano. Cuando en realidad están en un sentido Este-Oeste- Algunos opinan que se refería a las islas de Cabo Verde, que gozan de dichas latitudes y su situación tiende a la dirección meridiana, pero se entiende que se refiere a las Afortunadas al mencionar a Canarias.

Los árabes hacían pasar el primer meridiano 8° más a Oriente que Ptolomeo por

---

185 PÉREZ DE MOYA: Tratado de Geometría práctica y especulativa. Alcalá, 1573.

186 N.A. Algunos autores modernos la identifican como las islas Shetland, otros como Noruega. Localidad incierta de la geografia antigua en que se la creía el límite del mundo.

las columnas de Hércules como lo hizo Eratóstenes.

Sedillot[187] traduciendo los escritos de Abul Hassán de Marruecos dice: "*La longitud terrestre es un cuadrante de ecuador comprendido entre el meridiano del lugar propuesto y el horizonte occidental de Khobbet-Arine*". Se cuenta desde las Canarias. Esta localidad cuya situación en la tierra no aclara Abul Hassán y que significa casa de Arín, debió tener una gran importancia entre los árabes orientales, porque se conocen tablas de eclipses calculadas para el meridiano de este desconocido lugar.

Podía estar 80° al Este del meridiano de la Isla de Hierro, y Sedillot cree reconocerla en Arîne-Giâmen en Samarcanda, provincia de la rusia asiática, en el Turquestán.

Hay datos[188] de que el astrónomo persa Abu-Maschav, en 84° y Hassán-ben-Ali-Alkami, en 99° tomaban la longitud a partir de un primer meridiano oriental contado para Occidente, hasta las Islas Afortunadas; y que en 1030 hizo correr 10° hacia Levante este primer meridiano el Astrónomo Abu-Riham, y que este último cuenta, el meridiano de noventa grados pasaba o por Viena por monte Malma o por la cúpula de Arin, pudiendo ser este lugar una isla situada en la línea equinoccial.

Alfonso X el Sabio, al calcular sus tablas escribe que éstas "*son hechas et compuestas al mediodía de la cibdat de Toledo et la longura desta cibdat sobre dicha del cerco occidental del orizón de Arin*".

---

[187] SEDILLOT J. "Traité des instruments astronomiques des arabes". París 1834

[188] SEDILLOT: "Matériaux pour servir à l'histoire comparée des sciences mathématiques". París 1835

En la cartografía moderna pudiera situarse este lugar a unos 58° a oriente de Greenwich sobre la línea equinoccial, es decir en pleno Océano Índico, a unas ochocientas millas de la costa de Zanzíbar. Era un umbiculus Terrae, que equidistaba de los cuatro puntos cardinales según la leyenda.

Los holandeses situaron el primer meridiano en las Canarias, pasando por el Pico del Teide. Los franceses, por la Isla de Hierro, la más occidental del grupo.

En asamblea convocada por el cardinal Richelieu, a la que acudieron muchos matemáticos de toda Europa, se acordó que se fijase como primer meridiano la parte más occidental de Canarias. Confirmando esta decisión el Rey Luis XIII el 1 de Julio de 1634, firmada en San Germán, en Laye.

Cuando en tiempos del Descubrimiento se comprobó que la declinación de la aguja era nula en las Azores,se trató de trasladar a ellas el punto de partida de la cuenta de longitudes, suponiendo el primer meridiano entre las islas del Cuervo y de las Flores. Así, entre otros lo fijo Mercator.

Fue esto debido a la errónea creencia de que la línea de declinación nula se conservaba fija y seguía la dirección de un meridiano terrestre.

En el paso del tiempo se establece una elección de primeros meridianos. Cada nación escoge el de su respectiva capital o el de una de sus más importantes ciudades; los franceses cuentan a partir del meridiano de París; los ingleses toman el de Londres; los rusos el de Vilna, los españoles el de San Fernando (Cádiz) y el de Madrid. Nápoles, Pulkowa, Lisboa, Estocolmo, Copenhague, Bolonia, Río de Janeiro, han servido de primeros meridianos. Si bien hubo sugerencias para que la gran pirámide de Cheops o Jerusalén sirvieran como puntos de paso del primer meridiano.

7.1.1 GREENWICH COMO PRIMER MERIDIANO:

Finalmente en la conferencia celebrada en Roma en 1883 se acentuó la idea de considerar a Greenwich como el primer meridiano, indicando que las longitudes, se debían contar de W a E en única dirección.

En el Congreso Internacional celebrado en Washington en 1884 se declaró en su acta final:

I) El congreso cree que es de desear la adopción de un meridiano único para todas las naciones, en vez de los meridianos hoy existentes.

II) La Conferencia propone a los gobiernos representados en el Congreso la adopción del meridiano que pasa por el centro del instrumento meridiano de Greenwich para magistral de longitudes.

III) A partir del meridiano de Greenvich, la longitud se contará en dos direcciones, de 0º a 180º; la longitud E será positiva (+) y la W negativa (-).

Otros puntos acordados se refirieron a la adopción de un Día Universal.

El acuerdo del meridiano único llegó después de muchas discusiones entre los miembros del Congreso. *El Director del Observatorio de Astronomía Física de París llegó a decir que debía llamarse el "Meridiano de mayor clientela" y el español Ruiz del Árbol, agregado naval en Washington, le denominó "Meridiano del tonelaje".*

7.1.2 LOS GRUPOS DE PRESIÓN:

En el pasado, cuando españoles y portugueses empiezan a rodear la circunferencia del mundo en sus viajes, empezaron discusiones y recelos por ambas partes.

Ambos países y dada su rivalidad clamaron por una línea fronteriza o rayo, que señalaron los límites de las respectivas zonas de influencia. Según el padre José de

Acosta[189]: *"Se han ya topado por Oriente y por Poniente los otros a las Filipinas"*.
El rey Fernando el Católico inició gestiones en Roma para que el Pontífice le reconociera en una Bula el derecho a los territorios descubiertos y por descubrir.
Este Papa, que ocupaba la silla de San Pedro con el nombre de Alejandro VI, en una primera Bula-Intercoetera, fechada en Roma el 3 de Mayo de 1493, seguida de otra más amplia de fecha 4 de Mayo, concede la demarcación.
A estas dos siguió una tercera "Dudum siquidem", expedida el 26 de Septiembre del mismo año.
En la del día 4 de Mayo decidía el Pontífice, *"moter proprio y no a instancia vuestra ni de otro"*, *"todas las islas y tierras firmes halladas y que hallaren, descubiertos y que se descubrieren hacia Occidente y Mediodía, fabricando y componiendo una línea del polo ártico, que es el setentrión, al polo antártico, la cual diste de cada una de las islas que vulgarmente dicen de las Azores y Cabo Verde cien leguas hacia el Occidente y Mediodía"*.
En esta división quedaba el hemisferio occidental reservado a las exploraciones de españoles, y el oriental destinado a los portugueses. Con todo ello se demuestra la sagacidad de los Reyes Católicos, que con tales palabras declaran sus designios de operar de Norte o Sur sin limitación alguna como hasta entonces estaban obligados por el tratado de 1481. Pues según éste, pertenecían a Portugal *"Cualesquier otras yslas que se fallaren de las yslas Canarias para baxo contra Guinea"*.
Los pontífices intervinieron anteriormente en temas análogos.
Cuando Núñez Tristán dobló el cabo Blanco en 1442, solicitó el infante portugués

---

189 ACOSTA J. "Historia natural y moral de las Indias. Sevilla 1590".

don Enrique, del Papa Nicolás V, que le fueran adjudicados la perpetuidad a su nación todos los territorios descubiertos en el litoral atlántico de África. El papa expidió la Bula el 8 de Enero de 1455. Un año después la confirmó Calixto III. Se rectificó el tratado en fecha 9 de Junio de 1451 por Sixto IV. Este tratado entre Portugal y Castilla reconoció a los Reyes Católicos la posesión de las Islas Canarias, aunque limitaban la expansión española al sur de estas islas.

En virtud de la segunda Bula que Alejandro concedió a los Reyes Católicos, quedó sentada la posesión de las mismas y demás tierras situadas a cien leguas al occidente de las Azores y de las islas de Cabo Verde.

Los portugueses no quisieron admitir las Bulas, porque les perjudicaban. Y dadas las discusiones y el peligro de romper la paz con el rey Juan II, se firmó un nuevo tratado el 4 de Junio de 1494, aprobado en Arévalo el 2 de Julio por los Reyes Católicos, y el 5 de Septiembre, en Setúbal, por el rey de Portugal.

La parte más sustancial puntualizaba *"que se faga e señale por el dicho mar ociano una Raya o lina derecha de polo a polo, conviene a saber del polo ártico al polo antártico, que de norte a sur, la cual Raya o lina se aya de dar e de derecha, como dicho es, a trescientas e setenta leguas de las yslas de Cabo Verde hacia la parte de poniente, e que toso lo que farta aquy se ha fallado e descubierto, o de aquí adelante se fallare e descubriere por el dicho señor Rey de Portugal, e por sus nabíos, así yslas como tierra firme, falladas e por fallar, descubiertas o por descobrir por los señores Rey e Reyna de Castilla e de Aragón e por sus nabíos, desde la dicha Raya, facia el poniente o el norte o el sur de ella, sea pertenesca a los dichos señores Rey e Reyna de Castilla e de León e a sus subcesores para siempre jamás".*

En esta reunión de Tordesillas asistieron en representación de los reyes Católicos, Enrique Enríquez, Gutierre de Cárdenas y el doctor Rodrigo Maldonado, y por la nación portuguesa por Rui de Sousa, su hijo Joao, Duarte Pacheco y Arres de Almada.

Este meridiano acordado en este "Tratado de Tordesillas" había de ser fijado por una comisión de castellanos y portugueses, que debían juntarse en un punto de la raya de los dos reinos.

Como consecuencia de este Tratado, cuando seis años después fue descubierto Brasil quedó incluido en el área de influencia portuguesa. Los embajadores portugueses tuvieron un tenaz empeño en fijar la línea a trescientas setenta leguas, en vez de las ciento al Oeste de cabo Verde que decretó el Pontífice Alejandro VI. Por que tal vez la tierra brasileña se había descubierto en una expedición clandestina, que Portugal silenció.

El problema que se presentó a los comisionados era cómo se podrían medir las trescientas setenta leguas para trazar el famoso meridiano hacia Poniente desde Cabo Verde, Porque los elementos que se contaban para la resolución eran muy imperfectos además de desconocer la verdadera longitud del grado terrestre, porque como escribía más tarde Hernando de Colón, "*son muy grandes en tierra, hay otros que dicen ser pequeñas, porque cada uno juzga a su arbitrio*"-

La reunión de astrólogos , pilotos, no llegó a efectuarse por el fallecimiento de don Juan II en octubre de 1495, pero se seguía estudiando el tema, el cosmógrafo Jaime Ferrer en carta a los Reyes Católicos daba una solución al problema, pero que se apartaba de la exactitud. El tratado de Tordesillas no llegó a tener efectividad, pero las famosas trescientas leguas trajeron como consecuencia un nuevo pleito. Brasil quedó incluido en la zona portuguesa, pero las islas Molucas quedaron en la zona castellana. Podemos observar que ni el tratado de Tordesillas ni la Bula alejandrina de 1493 pensó en fijar el "antimeridiano" que caía en el Pacífico. Para dirimir la contienda se celebró la junta de Badajoz en 1524. Giró toda la controversia alrededor de la verdadera longitud del grado meridiano, dándole el valor en leguas de (14 1/6,.15, 16 2/3, 17 1/2, 18 y 21 7/8) en base a los estudios de Aristóteles, Estrabon, Macrobio, Marino de Tiro, Ptolomeo, Alfragano y otros geógrafos. El nudo de Maluco fue resuelto por otro procedimiento: Carlos V vendió estos bienes en 1529.

Posteriormente, cuando se efectuaron otras mediciones más exactas, se pudo comprobar que las Molucas quedaban dentro de la zona de influencia portuguesa, pero a principios del siglo XVI no había elementos de juicio que pudieran arbitrar una solución del problema.

El 13 de Enero de 1750 el rey Fernando VI y el monarca portugués, Juan V, abolieron la línea de demarcación del tratado de Tordesillas. De haberse llevado a feliz término este meridiano, es posible que en los tiempos modernos, le hubiese disputado al meridiano de Greenwich la categoría de "meridiano universal".

Los métodos de triangulación permitían en tierra un conocimiento, aunque inexacto, de la longitud. Podíase obtener aisladamente una latitud y una longitud, pero la solución de la "altura del leste-oeste" en el océano era imposible, si el navegante no sabía obtener la latitud.

En la época de los descubrimientos se clamó por un sistema fácil para el cálculo de la longitud, o de la llamada "altura del leste-oeste". Se idearon diversos métodos, hasta que con el perfeccionamiento de las tablas lunares, y con un mejor conocimiento de la hora e instrumentos más perfeccionados, se dió solución al problema con el método de las distancias lunares, que más adelante fue desplazado por el método cronométrico.

En la Junta de Badajoz, Fernando Colón, hijo del Almirante y uno de los miembros de la misma, apuntó una solución[190], siendo un español el primero que puntualizó un procedimiento con vistas a una forma práctica.

Gemma de Frisia, de verdadero nombre Rainer Vandensteen, en 1530 insinúa el método del reloj portátil, dada la ligereza y la posibilidad de que su marcha dure unas veinticuatro horas. El método, en sus fundamentos teóricos, es el que hoy se sigue, pero en la práctica resultaba muy diferente, a causa de la marcha irregular de aquellos rudimentarios mecanismos, que no llegaron a ser auxiliares del marino hasta los tiempos de Harrinson y de Berthond. Añadiendo a esto la escasa precisión en la graduación del cuadrante o del astrolabio.

El problema estuvo siempre latente y no apareció como exigencia en la mar, hasta que los navegantes abandonan las costas para no abarcar con los ojos nada más que la inmensidad de los océanos.

Magallanes y Sebastián Elcano habían dado ya la vuelta al mundo, demostrando la redondez del planeta, y aún estaba pendiente el problema de la longitud.

Deseosos los monarcas españoles de dar solución al empeño, decidieron animar a los investigadores con ofertas de premios en metálico. Felipe III en 1598 instituye una recompensa de seis mil ducados de renta perpetua, otros dos mil de renta vitalicia y mil de ayuda de Costas.

En este concurso tomó parte Galileo Galilei, según se comprueba por un despacho

---

[190] NAVARRETE DE FERNÁNDEZ: "Colección de los viajes y descubrimientos". Madrid 1837.

real destinado al virrey de Nápoles, duque de Osuna, el 28 de Enero de 1620 decía "*que Galileo Galilei , matemático del Gran Duque de Toscana y lector de la Universidad de Pisa, ofrecía el modo para graduar la longitud... y también una invención que descubrían los bajeles del enemigo diez veces más lejos que la vista ordinaria*".

El descubrimiento del punto fijo o de la navegación leste-oeste se puso de moda y se presentaron numerosos proyectos a instrumentos[191].

El Parlamento Inglés en 1714, los estados de Holanda y la Academia de Ciencias francesa, prometieron valiosas recompensas, siguiendo el ejemplo de España. El duque de Orleans, regente de Francia, prometió un premio de cien mil libras según carta escrita a Bignon el 15 de Marzo de 1716.

El consejero del Parlamento Francés, Rouillé de Leslay, instituyó otro premio propuesto por la Academia en 1720.

En Inglaterra, Godfray Copley, siguió este ejemplo en 1749. En acta del Parlamento Inglés de 1714, ofreció el premio del año decimosegundo del advenimiento al trono de la reina Ana. De veinte mil libras esterlinas, por lo que recibió el nombre de "premio de la reina Ana". Para obtener esta recompensa había que obtener la longitud en la mar con error inferior a medio grado, y diez mil al que las obtuviera en menos de un grado.

Dada la importancia de los premios fueron atraídos matemáticos, inventores, mecánicos; otros, lo eran guiados por alcanzar la fama. La Academia de Paros, para evitar dar trabajos inútiles a comisiones, explicó en sus Memorias qué se

---

[191] N.A. Miguel de Cervantes en su novela "El coloquio de los perros" pone en boca del can Bergonza "Veintidós años ha que ando tras el punto fijo".

entendía por longitud y lo que se pretendía.

Estas investigaciones se pueden dividir en dos grandes grupos, los que perseguían la solución por medios mecánicos y los que la buscaban por medios auditivos. Entrando así en el problema, la hora, los procedimientos astronómicos, las efemérides y los instrumentos independientemente. A medida que cada rama obtenía resultados más exactos y precisos les fue uniendo, dependiendo unos de otros.

7.2 METODOLOGIA

En la determinación de la longitud aparece en primer lugar la observación de los eclipses de luna. Como el eclipse es visible desde todos los lugares que tienen la Luna sobre el horizonte, puede servir este fenómeno para determinar la longitud de dos observadores muy separados dentro del hemisferio terrestre cuyo polo fuese el lugar del astro.

Hiparco empleó este sistema en sus intentos de trazar mapas situando los lugares por latitudes y longitudes. Ptolomeo en su Geografía, cita una determinación entre Arbelas[192], ciudad de Asiria, y Cartago. Obtuvo Ptolomeo una diferencia en longitud de 45°, cuando realmente sólo existen 34°.

La práctica resultaba difícil e imprecisa en resultados, a causa de la inexactitud de la hora de cada observador, ya empleara relojes de sol, clepsidras, ampolletas, o

[192] En Arbelas fue observado el fenómeno a la hora quinta *y en Cartago a la segunda hora. Sin embargo es insuficiente* para obtener deducciones precisas, porque se desprecian fracciones, y se emplean horas temporales. SALVADOR GARCÍA, FRANCO. Ibidem op. cit. pág.284.

péndulos rudimentarios de marcha irregular.

Detalla Fournier el eclipse ocurrido el 23 de Septiembre de 1577, por ser objeto de una observación múltiple. Juanelo Turriano observó el fin del fenómeno en Toledo a 02^h 12^m después de medianoche. Juan López de Velasco, en Madrid, a 02^h 16^m. El doctor Sobrino a 02^h 8^m en Valladolid, y Rodrigo Zamorano lo observó en Sevilla a 02^h04^m. López de Velasco había redactado, para los cosmógrafos de España y de las Indias, instrucciones para la observación de las eclipses de luna, cantidades de sombra y para calcular en las ciudades y pueblos la longitud y altura de ellos. Entre las observaciones hechas en nuestro país y otras del mismo eclipse efectuadas en Méjico, resultó una diferencia en longitud Méjico-Toledo de 99°, cuando la realidad es 95°.

Las diferencias de Madrid-Toledo es de 4^m=1°, cuando en realidad la diferencia en tiempo entre las dos ciudades es de 1^m 36^s.

A pesar de la dificultad de precisar los comienzos y fin del fenómeno por la imposibilidad de distinguir entre la sombra y la penumbra del casco terrestre[193]. Colón empleaba las efemérides que facilitaban las horas notables de estos fenómenos en Europa en lugares de situación geográfica conocida.

Las obras más importantes consultadas por el Almirante, para estos fines fueron: Las Ephemerides de Regiomontano y el Almanach perpetúan de Zacuto. También

[193] Este método es el que empleó Colón en dos determinaciones de longitud, cuyos datos nos ha conservado la Historia siendo el Almirante, el primer hombre que intentó de situar los lugares descubiertos en el Globo. El primer eclipse fue el ocurrido el 14 de Septiembre de 1494, y el segundo el 29 de Febrero de 1504. SALVADOR GARCÍA, FRANCO. Ibidem op. cit. pág.286.

había almanaques de un menor valor astronómico como Granolash[194] , Engel[195].
El primero de los eclipses de Luna observadas por el Almirante ocurrió durante su segundo viaje, el día 14 de Septiembre de 1494, aunque su hijo Hernando y Las Casas lo consignan el día 15.

Sacando una diferencia en tiempo de 1^h 14^m de error, puesto que Colón daba 5^h 23^m de diferencia en tiempo entre Saona-Cabo de San Vicente, cuando la verdadera es de 04^h 09^m.

En la segunda observación obtuvo una diferencia en longitud Cádiz-Jamaica de 05^h 53^m, siendo la verdadera de 04^h 43^m, resultando que Colón se equivocó por exceso en 01^h 10^m [196].

Fácilmente podemos ver lo poco exacto del método de eclipses de Luna para la determinación de la longitud. Faltaba la hora de a bordo y conocer el momento de paso del Sol por el meridiano, los instrumentos defectuosos, la apreciación imprecisa del contacto, y los errores de las efemérides.

Un sistema ingenioso es el método de Langrenus[197] basado en apreciar el momento en que los bordes de manchas y cráteres desaparecían en la sucesión de las fases lunares. Este método mereció que el rey de España Felipe IV premiase al autor con

---

[194] N.A. El cual contenía las conjunciones y oposiciones, los eclypses del Sol y Luna, calculado según las Tabulae Alphousinae y tomando como primer meridiano el de Barcelona; Barcelona 1488.

[195] Para el meridiano de Vindobanae. ENGEL "Ephemerides motuum coelestium. Viennae 1494.

[196] N.A. Recordemos que una hora de tiempo equivale a 15° de longitud.

[197] LANGRENUS "Tratactus de vera longitudine". Antuerpiae 1644.

mil doscientos escudos.

De todas maneras el fenómeno de un eclipse no es tan frecuente y no está a disposición del que lo necesita pues sabemos que se repiten en un ciclo llamado Saros[198].

Otro método ideado para el cálculo de la longitud, era basado en la falsa creencia de ser constante la declinación magnética, en esta teoría se aceptaba el ser proporcionales las variaciones de la aguja y las longitudes.

También apoyándose en la variación de la latitud de nuestro satélite, la cual es nula cuando el astro se encuentra en los nodos, y va adquiriendo valores crecientes, hasta obtener el de la inclinación de su órbita sobre la eclíptica, para empezar posteriormente a decrecer. Comparando el valor obtenido a una cierta hora en un lugar con el deducido de una efemérides para igual instante, podía calcularse la longitud.

Fournier explica, en su Hydrografie, otro procedimiento que consiste en observar la conjunción de una estrella fija con la Luna.

Americo Vespucio[199] comprendió que era necesario fijarse en el rápido movimiento de la Luna, según cartas escritas a Lorenzo Pierre de Médicis, Vespucio efectuó el 23 de Agosto de 1499 el cálculo de una longitud en las costas de Venezuela aprovechando una conjunción Marte-Luna.

---

[198] N.A. Este período tiene una duración de diez y ocho años y once días, o de diez días si en el intervalo han entrado cinco años bisiestos, durante el mismo se verifican veintinueve eclipses de Luna, y no todos visibles desde un lugar dado de la Tierra.

[199] "El corso piú leggier de la Luna". Lanovai: Viaggi d'Amerigo Vespucci, Firenze, 1817".

El método de las conjunciones era grato a los pilotos en la época de los Descubrimientos. Castanheda refiere que Fernando de Magallanes reunió a sus pilotos y a su astrónomo Andrés de San Martín para consultarle la verdad de las instrucciones para obtener la longitud, por el método que había indicado Rui Falero. El acuerdo fue que de los treinta capítulos que constaba el Regimiento, nada era aprovechable, *"salvo ao quarto, que dizia que pola conjunsao que a luna tem com as estrêlas fixas, e com o sol se pode saber o que uma terra dista da outra na altura de leste a oeste".*

Otro de los procedimientos citados por el padre Jorge Fournier en su obra que es de 1643 es el de le urai lieu de la Lune, para obtener la longitud por tener un movimiento diario con independencia del arco diurno de más de 13° en el sentido Occidente a Oriente.

Keppler prefería tomar las distancias cuando nuestro satélite estaba en el meridiano, procedía viendo en qué lugar del zodíaco estaba la Luna, y anotaba la hora: por unas efemérides lunares calculadas para un cierto meridiano, obtenía la hora del lugar de las tablas en que la Luna tenía la antedicha posición, deduciéndose la diferencia en longitud.

También podía hacerse uso de globos o pomas, sobre los cuales se situaban el Sol y la Luna según sus posiciones respectivas tomadas de tablas o efemérides se añadían tres signos, 90 grados a la situación del segundo astro y se giraba el globo para llevar este punto al horizonte racional.

Este método no era factible nada más que dos veces cada lunación.

Morin escribió un tratado compuesto de nueve partes, en el que se resolvía el problema, cualesquiera que fuesen los ángulos horarios de la Luna, resolviendo un triángulo Estrella-Luna-Polo. Morin nació en 1583 y anunció su descubrimiento en 1634. Se formó una junta por orden del cardenal Richelieu, que presidió De la Porte. A pesar del mérito indudable de los trabajos de Morin, la junta de comisarios se pronunció en sentido desfavorable.

Otro método citado por Fournier, es el de la observación de la Luna pasando por el meridiano al mismo tiempo que una estrella. Si esta no aparecía calculada en las efemérides se obtenía su longitud o su ascensión recta por medios trigonométricos. La idea se encuentra en el Cursus mathematicus de Herigono, editado en París en 1644, este fue uno de los descubrimientos de Morin.

Herigono explicó otro método; conociendo la latitud del lugar y estando el centro de la luna en el meridiano, se observaba la altura de una estrella de las contenidas en las tablas, por la posición de este luminar se obtenía su ángulo horario, o sea la diferencia entre la ascensión recta de la estrella y la de la Luna. Sin embargo este método no era práctico en la mar.

Otro método de este mismo autor está fundado en la observación con un buen anteojo de la hora en que algunos satélites de Júpiter aparecían en conjunción con su primario.

Viendo "posteriormente" en las efemérides a que hora del meridiano principal de las mismas ocurría el fenómeno, se obtenía la longitud por la diferencia de las horas.

En la noche del 7 de Enero de 1610, Galileo, observando a Júpiter con su anteojo descubrió cerca del disco planetario tres pequeñas estrellas[200] , los satélites I, III, IV

[200] GALILEUS: "Sydereus nuncius". Francofurti 1611.

de Júpiter, Al día siguiente, Marius vio el cuarto satélite[201], descubriendo el II. La fecha que da S. Mayer (Marius) es 29 de Diciembre de 1609, debido a que en el país en que vivía aun no había aplicado la corrección gregoriana al calendario.

Estos satélites fueron bautizados por S. Mayer con los nombres de Io, Europa, Ganimedes y Calisto[202]; Hodierna les llamó Principharus, Victripharus, Cosmipharus y Ferdinandipharus.

Cinco días después de su descubrimiento Galileo, pudo observar en un eclipse, la emersión del satélite II que había sido eclipsado por el planeta.

Inmediatamente el mundo cosmográfico pensó en el nuevo papel que podían representar los satélites en la determinación de las longitudes. Así lo hace constar W. Smyth[203] citando una observación hecha en Malta en 1612.

Hasta 1643 no se observó el paso de la sombra de un satélite por el disco del planeta. Fontana fue el primero . También J. D. Casini en 1664 efectuó este tipo de observaciones. Como caso curioso está la observación de Galileo el 15 de Marzo de 1611, en la misma, Júpiter aparece sin satélites, por estar unos detrás del disco planetario y otros en el casco de sombra.

Para determinar las posiciones de los satélites de Júpiter, eclipses, ocultaciones y configuraciones en relación al planeta, se emprendió la confección de tablas. Alberi dio a luz las que hizo Galileo pocos años después de su descubrimiento. Hodierna[204] dedicó la mayor parte de su obra a los satélites de Júpiter.

---

[201] MAYER "Frankischer Kalender". Norimbergae 1612.

[202] N.A. Nombres que tienen en la actualidad.

[203] SMYTH W. "A cycle of celestial objects". London 1844.

[204] HODIERNA "Mediceorum ephemerides". Panormi 1656.

J. D. Cassini, en 1668 y 1693, efectuó muchas observaciones de pasos sobre el disco y de eclipses y ocultaciones.

Varias de estas tablas publicaban los cálculos necesarios para obtener las configuraciones de los satélites, las cuales estuvieron muy en boga en las efemérides astronómicas. La idea de la representación gráfica la expresó por primera vez Peiresc, según afirmó Gassendi en la biografía del mismo.

La de obtener la diferencia en longitud por la observación de los satélites de Júpiter en sus eclipses y ocultaciones, parece haber sido propuesta por Galileo en 1615[205].

Se sabe que en 1631 dirigió una Memoria al rey de España exponiendo su método.

El proyecto solo fue convertido en realidad por Picard muchos años después.

El método es de una gran sencillez: una lucecilla que se extinguía o aparecía en el mismo instante absoluto para todos los que estuviesen observando el fenómeno.

Inmediatamente podía obtenerse la hora del primer meridiano y, en consecuencia, la longitud del lugar.

Se comprende la ventaja de este sistema sobre el de los eclipses de Luna, muy expuesto a errores, por la observación en si, y por las deficiencias de las tablas de nuestro satélite. En cambio, los del planeta Júpiter, más lejanos y diminutos eran más fáciles para calcular sus posiciones.

Se ha dicho que Cassini empleó los satélites de Júpiter, por primera vez para determinar las longitudes. No es cierto por cuanto ya en 1640 se indicaban para este fin. La primera determinación de longitudes era muy incierto y sólo se podía efectuar en tierra, contando para ello con observaciones correspondientes en otro lugar de situación bien conocida. Esto no era práctico para la mar. Pero en la tierra

---

205 VENTURI: "Memorie di Galileo". Módena 1848.

la mayor parte de las situaciones obtenidas por la época fueron fijadas por este medio.

El inconveniente de este método es que cuando Júpiter se encontraba en las proximidades de su conjunción[206] con el Sol, no podían observarse los fenómenos de que tratamos, por impedirlo la luz solar. En las épocas de oposición[207] no tenían los primitivos anteojos empleados suficiente poder para separar la visión de Júpiter de la de sus lunas.

Era necesario un anteojo de más de treinta aumentos, lo que determinaba una longitud impropia, por falta de estabilidad, para su uso a bordo.

Sólo, a partir de 1755 con la invención de los anteojos acromáticos se pudo reducir considerablemente el largo de estos primitivos instrumentos. Debemos recordar que un aumento de treinta y cinco a cuarenta veces exigía el empleo de tubos de más de cinco metros.

Como consecuencia de sus distintos movimientos angulares, el primer satélite era el más apropiado para las observaciones, los otros se pegaban al disco del planeta o al borde de la sombra.

Por otra parte el movimiento de las naves ofrecía grandes dificultades para poder mantener el planeta y el satélite observado en el mismo campo de visión.

Distintas soluciones se buscaron para resolver el problema desde Gelio. Whiston (1738) buscó una parecida al anterior, construyó un anteojo con un solo ocular y varios objetivos, formando así un haz compacto de rayos visuales divergentes.

---

[206] N.A. Cuando dos astros tienen la misma longitud celeste.

[207] N.A. Cuando dos astros su diferencia en longitud celeste tiene un valor de 180°.

Bouguer inventó un dispositivo que consistía: en un anteojo de tres metros, que por medio de una palanca y un contrapeso podía mantener sobre su hombro, pero la nave en su balanceo desarreglaba el aparato. Bouger explicó otra máquina destinada al mismo fin.

Fue propuesta la idea de una tabla o de una silla suspendida de un mástil a guisa de columpio. Ya en 1567 había propuesto Jacobo Besson, profesor de matemáticas, el empleo de una tabla colgante sobre la que se sentaba el observador. El abate Rochon a fines de 1766, presentó una Memoria a la Academia de Ciencias de París sobre una silla-columpio, pero parece que la empleó en pocas ocasiones durante su viaje a Marruecos en 1767. El autor declaró obtener resultados satisfactorios, comprobando marcaciones a puntos de la costa conocidos.

El mejor método de la silla fue el empleado por el inglés Irwin en 1759, consistiendo en una esfera hueca articulada a la cubierta, con un pesado lastre debajo de la plataforma.

Rochon empleó un anteojo acromático, al que acopló un buscador, colocado a una distancia tal del anteojo principal y paralelo a éste, que podía aplicar un ojo a cada ocular.

A mediados del siglo pasado, Liais[208] insistía en el método de determinación de longitudes en la mar por los satélites de Júpiter, afirmando que un método excelente era disponer de un anteojo de treinta aumentos, pero plegado dos veces, y con auxilio de prismas de reflexión total y un buscador de mucho campo. Sin embargo en ese tiempo ya estaba en auge el método de las distancias lunares y se conocían los perfeccionamientos aportados por el cronómetro.

---

[208] LIAIS: "Traité d'Astronomie". París 1867.

No olvidemos que gracias a las observaciones del primer satélite de Júpiter dieron a Olaus Roemer (1644-1710) la evolución de la velocidad de la luz.
Otro método indicado por Fournier, para indicar la longitud, empleando el reloj y otras máquinas, consistía en poner un índice en la muestra que marcase el lugar de salida. En el lugar de llegada se esperaba que el índice volviese a marcar precisamente dicha hora. En este instante se determinaba con el astrolabio o el cuadrante la hora local. La diferencia entre ambas horas equivale a la diferencia en longitud entre dos lugares.
El último procedimiento indicado por Fournier, consistía en que conociendo la posición de un lugar A, en latitud y longitud, y la latitud de otro B, consideraba el triángulo esférico formado por el Polo y los dos cénites como vértices. Siendo por tanto los datos del problema las coordenadas de A, la latitud de B y el ángulo en el zénit de A, formado por el meridiano de éste y el círculo que pasaba por A y por B, que se media sobre el horizonte del primero. Obteniéndose por trigonometría el ángulo en el Polo, es decir la deferencia en longitud, al conocer del triángulo dos lados y el ángulo opuesto a uno de ellos.
Como podemos observar por alguno de los sistemas tratados anteriormente, el problema estaba generalmente bien enfocado, y se hubiesen conseguido buenos resultados si se hubiese contado, con horas y efemérides más exactas.
Volviendo sobre alguno de los métodos ya citados, Cassini aplicó la observación de los eclipses de Sol a la determinación de longitudes. Siendo este sistema más complicado que con los eclipses de Luna, al no ser simultáneos los momentos notables para todos los observadores que tienen sobre el horizonte el astro del día.
Tratando de encontrar una determinación más exacta de la ascensión recta de la

Luna, tuvo Halley la idea de aprovechar los apulsos[209] y ocultaciones de estrellas, de posición calculada, con nuestro satélite. No fue Halley partidario del método de distancias lunares por la dificultad de observar las distancias y por la escasa exactitud de las tablas lunares; de aquí esta preferencia que él señala hacia las observaciones de apulsos.

Tiene este procedimiento la ventaja de fundarse en un fenómeno instantáneo; pero, exige un cálculo laborioso, a causa de que la paralage lunar modifica la situación relativa de nuestro satélite respecto a la de la estrella.

Un procedimiento nada astronómico fue propuesto por los profesores de Matemáticas Whiston y Di Hón[210]. Consistía en establecer baterías de morteros sobre todas las costas e Islas del Océano y disparar a ciertas horas fijadas de antemano; los tripulantes de los buques que escucharan el estampido podrían anotar la hora del reloj y obtendrían, por diferencia de ambas horas, la longitud del lugar. Levêque[211] dijo al respecto: "*Apenas se concibe que hombres de mérito hayan podido proponer seriamente parecido medio*". Si bien el sistema era impracticable en la mar y aún en tierra, no lo fue el empleo de señales por fuegos de pólvora. Newton fue uno de los comisionados al proyecto de Wiston y Ditton, este último publicó en el "Journal Li Hevaire" en Julio de 1714, una nota afirmando que Wiston no había hecho más que perfeccionar la idea.

Otro método para calcular la longitud según D'Albert fue calcular las horas de ortos

---

209 N.A. Apulso: momento en que un astro parece tocar a otro.

210 WHISTON "A new method for discovering the longitude". London 1714.

211 LEVEQUE "Le guide du navigateur". Nantes 1778.

y ocasos del Sol para cada día del año y para todas las latitudes. En "Machines et Inventivus" de la Academia de Ciencias de París, están los detalles en la sección correspondiente al año 1724.

Bouguer[212] explicó su método que consistía en observar las alturas correspondientes del Sol y de la Luna, efectuando las del Sol en dos mediodías verdaderos consecutivos que comprenden el paso lunar que se piensa utilizar; resultan las horas verdaderas de ambos pasos y, en consecuencia, la marcha del reloj en veinticuatro horas. Las alturas de la Luna se obtienen para determinar el tiempo verdadero de su paso por el meridiano y restarlo del correspondiente de las tablas. Este método, es de una gran dificultad sobre todo para obtener las alturas en circunstancias favorables; los relojes guardaban una marcha muy irregular, aún dentro del día, por lo que una variación de medio minuto desde el mediodía hasta el momento del paso del meridiano de la Luna arrojaba sobre la longitud un error de varios grados.

La única ventaja consistía en eliminar las correcciones de paralaje y refracción. Fue ampliando el sistema observando las horas de culminación de la Luna y de alguna estrella próxima a su paralelo, con lo que se eliminaba el error instrumental. En realidad, si las observaciones hubiesen gozado del grado de exactitud y perfeccionamiento de los aparatos modernos y, además, las tablas lunares no hubiesen adolecido de las deficiencias que tenían el método hubiera sido viable.

Los astrónomos y marinos mantenían el convencimiento de que las observaciones de la Luna, eran las únicas que podían conducir a un método general y práctico para la determinación de la longitud en la mar.

---

212 BOUGUER P. "Nouveau Traité de Navigation". París 1773.

El método más sencillo e ingenioso a base de emplear las alturas de la Luna se debió al astrónomo Piugré, aunque fundado en uno expuesto por Le Monnier y que consiste en obtener la altura meridiana del satélite, anotando la hora de la observación, y determinar la altura del Polo. Puesto que estas observaciones no eran simultáneas, había que corregir esta última según rumbo y distancia navegada, para llevarla al lugar en que se observó el paso meridiano. Una vez obtenidos los tres lados del triángulo de posición del astro, calculando en éste el ángulo en el Polo, se obtenía la distancia de la Luna al meridiano del buque. Comparando esta distancia o ángulo horario, con el de las efemérides para un primer meridiano, en el mismo instante de tiempo verdadero que el de la observación se hallaba la longitud.

La precisión insuficiente de los relojes que servían para marcar el intervalo de la observación influía mucho sobre el ángulo horario. La altura de la Luna se obtenía de noche con dificultad, y esto unido a otras circunstancias como son los instrumentos empleados ya que el cálculo del horario estaba supeditado a una latitud observada algunas horas antes o después del paso de la Luna por el meridiano, determinaba errores en la longitud obtenida que podían alcanzar hasta 3°.

La Caillé estudió el procedimiento y en un viaje efectuado en 1750 al Cabo de Buena Esperanza, concluyó que entre las latitudes inferiores a 60° se obtenía la longitud con un error de un centenar de leguas, cantidad que podía doblarse, navegando por encima de esta latitud.

Piugré admitía errores de un grado; y Le Gentil, en un viaje a Poudichery en una observación del paso de Venus, el 6 de Junio de 1768, solo tuvo, por el método de alturas, llegando a la Isla Rodríguez, seis leguas de error.

La determinación del ángulo horario de la Luna por observación de su altura era muy atrayente por el poco trabajo que exigía el cálculo.

Pero faltaba conocer la latitud del lugar y la declinación del astro, y no siempre se podía practicar el método, pues cuando el Sol y la Luna se encontraban, ambos, sobre el horizonte, la luz del primero hacía poco visible el incompleto disco de la segunda, y con horizonte brumoso o de noche, era muy errónea la altura tomada con aquellos rudimentarios instrumentos.

Todos los marinos y astrónomos coincidían que si la longitud podía obtenerse mirando al cielo, era la Luna el astro destinado a facilitarla.

En este lógico criterio, la latitud y la declinación lunar eran preferibles a la declinación del Sol; las ascensiones rectas de la Luna eran a su vez más variables que las anteriores coordenadas, y aun el movimiento en longitud era más variable que el de ascensión recta en nuestro satélite. Y todo ello con preferencia a cualquier otro astro. Era comprensible, que se abandonara el incierto ángulo horario de imprecisa determinación para volver los ojos a las distancias lunares.

También el método tenía un inconveniente: el de que tres días antes y tres después de la Luna nueva este astro era invisible.

Cuando el segundo astro era el Sol, ocurría que ambos se encontraban en posiciones opuestas en los días cercanos, anteriores y posteriores, al plenilunio.

El método de las distancias lunares, comienza por ofrecer varias ventajas en la determinación de la longitud: Depende de una sola observación, no exige precisión extremada en la medida ni un horizonte claro y despejado. La declinación lunar, y la altura del astro no influyen directamente. Finalmente la reducción de la distancia aparente a verdadera podía hacerse, en lo que a refracción y paralaje se refiere, por fáciles medios gráficos.

En 1759 "La Caille" envió a la academia de Ciencias de París, una Memoria en la que manifestaba su decisión de aceptar el método de distancias lunares. Publicando después un modelo de Almanaque Náutico para un mes (julio de 1768) en el que figuraba un cuadro, para intervalos de cuatro horas , de distancias de estrellas al borde iluminado de la luna. La comisión de longitudes tomó el modelo en consideración cuando Halley, reproduciendo la idea lo presentó, y desde 1767, el Nautical Almanac fue dando estos cálculos con la antelación conveniente.

Recordemos que el Observatorio de Greenwich fue edificado en 1675 en virtud de ordenanza de 4 de Mayo de este año, dada por Carlos II, y que en la justificación de motivos se decía:

"*Para rectificar las tablas de los movimientos de los cielos y de las posiciones de las estrellas fijas, a fin de determinar en la mar la tan deseada longitud.*"

Con éste plan de trabajo, asignado a los observatorios, se evitaba una gran parte de cálculo a los marinos , que ya tenían suficiente con la reducción a verdaderas de las distancias que observaban.

Cuando se creó en Cádiz el primer observatorio de nuestra Marina, ya se pensó en la publicación de unas efemérides náuticas; y antes del traslado al actual emplazamiento en la ciudad de San Fernando (1793), decía el Estado General de Marina (1786) " *Ha parecido conveniente añadir a este Estado General de Marina dos Almanaques para los años 1786 y 1787 y, en cada uno de sus meses, las tablas astronómicas variantes, sacadas del conocimiento de los tiempos y arreglada al meridiano de París, con el fin de que cualquier navegante, tenga a mano lo preciso*". Y en este libro aparecieron publicadas, en cuadro, por primera vez en

España, las distancias lunares tomadas del Almanaque Náutico Inglés.

Debemos recordar que bajo la dirección de Maskelyne, se calcularon entre 1767 a 1813 los primeros tomos del Nautical Almanac. Cada volúmen del Almanaque publicaba más de doce mil distancias calculadas.

En 1828 se incluyó en Copenhague, siguiendo inspiración del almirante danés Löwenorn, el cálculo de distancias de la Luna a los planetas Venus, Marte, Júpiter y Saturno; era entonces director de este observatorio, fundado en 1637 e inicialmente dirigido por C. Lumborg,-H.C. Schumacher.

En 1779 había propuesto Lalande el cálculo de distancias a Venus y en 1783 el de distancias a Saturno.

Como curiosidad hacemos constar que d'Aprés de Mannevillete, en su viaje a las costas occidentales de Africa en 1749, fue el primer navegante que ensayó en la mar el método de distancias lunares por un procedimiento especial. Para su longitud estimada y para ésta, aumentada en 6º, se calculaban dos distancias aparentes. Después hacía la observación directa. Por interpolación entre los dos valores calculados deducía el lugar de la distancia medida y, en consecuencia, la longitud geográfica del buque.

7.2.1 DE LAS DISTANCIAS LUNARES :

Para obtener la distancia de la Luna a una estrella, se consideraba el triángulo de vértices, Polo de la eclíptica, Luna y estrella, en el cual se conocía el lado de la colatitud de la Luna, la colatitud de la estrella, y el ángulo en el Polo, que es igual a la diferencia en longitudes de ambos astros. Para más fácil solución se trazaba el perpendículo sobre el lado correspondiente a la colatitud de la Luna.

Era una práctica de uso universal, la descomposición del triángulo esférico oblicuángulo en otros dos rectángulos, este sistema se empezó a trabajar según Leveque, conociendo dos lados y el ángulo comprendido, siendo el otro lado el desconocido, a principios del siglo XVIII.

Como en este tipo de observaciones se tomaba de distancia del borde de la Luna a la estrella, era necesario en el caso Luna Sol, aplicar el valor obtenido a la suma de los semidiámetros de ambos; pero si en vez del Sol, se consideraba una estrella, se disminuía o aumentaba el valor calculado al semidiámetro lunar, según la posición del borde iluminado de la Luna con relación a su centro y a la estrella.

La resolución del problema náutico es fácil en teoría, y fue evolucionando con distintos formatos matemáticos. En el Nautical Almanac para 1767[213] aparecieron los primeros cuadros de distancias.

Al aparecer en la fórmula las alturas verdaderas y aparentes de los dos astros, es preciso observar las alturas además de medir la distancia entre las dos luminares. Como las tres operaciones no podían ser simultáneas, se escogió como mejor método, el efectuar una observación de alturas antes de medir la distancia y tomar, después de obtenida ésta, otras dos alturas. Admitíase una proporcionalidad en la variación de distancias cenitales durante el corto intervalo transcurrido entre ambas

---

[213] N.A. El mencionado Almanac fue tabulado con la fórmula debida a R. Dunthorne.

$$\cos d' = \cos(h'-H') - \frac{\cos h' \cos H'}{\cos h \cos H'}[\cos(h-H) - \cos d]$$

la fracción que multiplica al corchete es muy próxima a la unidad y fue tabulada con el título de Logarithmic diference.

series de alturas, y deduciéndose ambas para el momento en que se observó la distancia lunar. De las alturas observadas se deducían las verdaderas aplicándoles paralajes y refracción. Los métodos analíticos demuestran que no influyen en los cálculos los errores naturales cometidos en las alturas de los astros, y que el error que resulta en la distancia verdadera es casi igual al de la observada.

Después se operó con la longitud estimada, con la que se obtenía la hora aproximada del primer meridiano, se entraba en las efemérides buscando para ésta las coordenadas de ambos astros. Con la posesión de estos elementos y con la latitud estimada, deducíanse las alturas verdaderas. Por último se obtenían las afectadas por paralaje y refracción, es decir las aparentes.

El Almanaque Náutico de San Fernando de 1822 indicaba: "*Advertimos que teniendo reloj de segundos, es mejor averiguar la hora de la observación de la distancia, inmediatamente antes o después de ella, que no tomar tercer observador para la altura*".

Se ve que el segundo procedimiento presenta menor precisión, a causa del empleo de las coordenadas de estima. Pero como operación mecánica, sólo exige la medida de la distancia lunar aparente.

En estos años el astrónomo Borda escribe:

"*Il est temps que les marins cessent de regarder les sciences mathématiques et physiques comme inutiles à la practique de la navigation*". Bouguer invitaba a todos los marinos a reemplazar con sus estudios a esos hombres "*qui sur l'exposition des besoins du marin ont découvert, etant à terre, l'art de naviguer*".

Dos siglos largos después de Medina y Cortés, siguen todavía los nautas aferrados a la estima, a la "modeste estime" como la llamó Fournier.

los astrónomos, además de disponerse a la elaboración por adelantado de cuadros de distancias, se esforzaron por simplificar las fórmulas y abreviar los cálculos por medio de las tablas auxiliares. Surgiendo autores que se ceñían a las tablas logarítmicas y fórmulas trigonométricas, y los que se dedicaron a construir tablas especiales y aquilataron los efectos de refracción y paralaje, los que se aplicaron a soslayar el inconveniente del signo algebraico del coseno de la distancia en el segundo cuadrante, los que se dedicaron a buscar las soluciones que daban directamente la distancia verdadera, y otros a conseguir ecuaciones de corrección a la distancia aparente medida.

La Caille dio una fórmula para obtener las distancias lunares, basándose en la reducción de las distancias aparentes a verdaderas.En realidad empleó La Caille un método diferencial desarrollado por Taylor, deteniéndose en los términos de primer orden. Empleando, por otra parte, medios geométricos, dio reglas para la construcción de gráficos o ábacos para obtener los términos de su fórmula que aparecieron en el Connaissance a partir de 1761. Lalande entre otros autores publicó este método gráfico[214] destinado a obtener "le moyen de dispenser les navigateurs de toute espèce de calcul au moyen de quelques operations de la règle & du compas". termina Lalande en su astronomía con estas frases relativas a las distancias lunares: *"Il ne nous reste q'uà inviter les navigateurs à en étudier les calculs, a en accquérir l'habitude, & à rendre cette practique aussi général qu'elle*

[214] La gráfica comprendía varias partes: Construir chasis de reducción; trazar el cuadro del chassis; construir la escala de corrección de la paralaje; dibujar la escala de medida de los movimientos de los astros en altura, y por último, la que da la corrección por refracción. LALANDE, "Exposition du calcul astronomique". París 1762.

est utile pour la navigation".

Maskelyne introdujo la distancia verdadera en el término del segundo orden.

Dio también al año siguiente en su "British mariner's guide", publicada en Londres en 1765, reglas para calcular los efectos de la refracción y paralaje.

Y para interpretar las distancias lunares, hizo uso de los logaritmos logísticos[215]. Podían ser muy útiles en las reglas de tres, en las cuales el primer antecedente es un número fijo, y, por consiguiente, para obtener las partes proporcionales en los cálculos astronómicos de interpolación, lo usual en Náutica es que la constante en el numerador sea 3600 o 10800[216]. La primera tabla de éste tipo se debe a Kepler. Tomas Street las presentó en la Astronomía Carolina compuesta en Londres en 1661.

En los cuadros de distancias lunares de las efemérides náuticas aparecían estos logaritmos logísticos. Así, el Almanaque Náutico de nuestro observatorio de Marina publicaba, a la derecha de cada distancia, el logaritmo proporcional de la diferencia (L.P. de la dif.) que no indica otra cosa que las cuatro primeras cifras de la mantisa del logaritmo logístico, a base 10800s, sobrentendiéndose la característica, que siempre era cero.

Fundado en la descomposición del triángulo en otros dos rectángulos, dio Witchell

---

[215] N.A. Sabemos que al Algebra se le llamó Logística, que los números quebrados se denominaron antiguamente números logísticos. Pues bien; una tabla de logaritmos logísticos corresponde a logaritmos de números fraccionarios en los que el numerador es constante y el denominador variable.

[216] N.A. 3h=10800s

otra fórmula[217]. También hizo uso Witchell de los logaritmos proporcionales.

Las tablas de Witchell daban correcciones de refración y paralaje para cada grado de distancia y de altura. A base del método y de una fórmula de Lyon (1766) los Comisarios de Longitudes lo redujeron a unas tablas que aparecieron en 1772, en la que intervinieron el propio Lyon, Parkinson, Fellow y Willians, y que llevó el nombre de Tables for convecting the Apparent Distance of de Moon and a Star from de effects of Refraction and Paralla, fueron impresas en Cambridge, por esta razón se les conocía como Tablas de Cambridge, y contenían más de 1100 páginas de cálculo, además de un elevado precio, obligaban a un difícil trabajo de interpolación; por ambas causas no tuvieron aceptación entre los marinos.

Jorge Margetts (1790) dio expresión gráfica a estas tablas, para lo cual en setenta grandes planchas de cobre trazó sus curvas, las líneas verticales representaban las alturas de la Luna, y las ordenadas correspondían a las alturas del otro astro.

Los gráficos daban con bastante precisión la diferencia entre las distancias aparente y verdadera, en su conjunto de ciento diez figuras. Aunque exactas, estas tablas, tampoco encontraron aceptación.

Hay escritores que estiman a Pouchet como inventor de la sistematización de estos ábacos, según las explicaciones que insertó en su libro de Aritmética, que salió a la luz cinco años después que las tablas de longitudes y horarios de Margetts.

Hay una lógica atracción de los ábacos en todas las manifestaciones analíticas. La Caille expuso su método gráfico, le siguió Lalande. Encontramos ahora a Margetts

---

[217] Considerando, como arco auxiliar, el segmento comprendido entre el punto medio de esta distancia aparente y el pie de una vertical trazado desde el cénit. WITCHELL "The Nautical Almanac". London 1772.

y podemos añadir el marino francés Maingon, que por medio de cuatro ábacos daban los coeficientes de la fórmula que dependían de la refracción y de la paralaje, se auxiliaba, además, del ábaco muy conocido por los pilotos, llamado "quartier de reduction" para terminar el cálculo.

Hay otros métodos gráficos, pero el de Maingon, en su gran carta trigonométrica, parece que tuvo una aceptación preferente, según informó Levêque.

El empleo de un globo de relativa dimensión fue el método escogido por Le Monnier, quien ideó un compás esférico para el fácil trazado de triángulos de posiciones aparentes y del de posiciones verdaderas de los dos astros considerados en la distancia. También empleó el "quartier" para el cálculo.

De los medios de reducción sin cálculo, o de cálculos sencillos, merece mención el procedimiento de Francisco Richer[218] basado en una propiedad de los triángulos esféricos demostrada por Legendre.

Como método puramente analítico, Charnieres[219] ideó un procedimiento, en el que se consideraba un vértice del triángulo, el polo de la eclíptica, en lugar del cénit del observador, los otros dos vértices eran las situaciones de los astros al igual que en

---

[218] Consta éste aparato de tres reglas graduadas en partes desiguales, según combinaciones de los cosenos y senos que integran las expresiones de dichos lados. El conjunto está complementado con microscópios que corrían sobre las reglas, en los cuales había ya una causa de error, porque siendo iguales y constantes las divisiones de éstos, no podían medirse exactamente las fracciones en toda la longitud de las reglas. LALANDE, "Astronomie". París 1762.

[219] CHARNIERES, "Traité et practique des longitudes à la mer". París 1772.

los otros métodos[220].

Entre los trabajos dedicados a las distancias lunares y los procedimientos de reducción de la distancia aparente y verdadera, son los más interesantes los de L. Euler[221] y Bowditch[222].

En 1795 publicó el español Mendoza su Memoria sobre algunos métodos nuevos de calcular la longitud por las distancias lunares, impresas en Madrid, una decena de años después, sus tablas alcanzaron varias ediciones en diversos idiomas y merecieron el honor de la aceptación universal. Delambre[223] dijo "*Il parait imposible d'ajouter rien désormais à la simplicité et à l'uniformite de cette mèthode...*"

Podemos considerar la figura de Mendoza como la más brillante de la Astronomía española en el siglo XIX, como lo atestigua Sánchez Pérez[224].

---

220 N.A. Con éste método se obtenía la longitud verdadera de la Luna, elemento que se comparaba con una longitud aproximada de éste astro correspondiente al tiempo medio de París; tiempo también aproximado por deducirlo del tiempo local y de la longitud de estima. Conociendo la longitud de nuestro satélite se obtenía el tiempo exacto de París.

221 EULER, "De invencione longitudinis" (Acta Academia Scientiarum, Petropoli, 1780).

222 BOWDITCH, "The Practical Navigator". Boston 1800. N.A. Este trabajo puede encontrarse también en las Memoirs of the American Academy of Arts and Sciences de Boston correspondiente al año 1800.

223 DELAMBRE, "Connaissance des temps". París 1808.

224 SÁNCHEZ PÉREZ, "Las matemáticas en la Biblioteca de El Escorial". Madrid 1929.

El verso subverso[225] y otras análogas funciones trigonométricas fueron introducidas en los cálculos náuticos por Mendoza.

Escribió al respecto-suseno-verso de un arco al seno verso de su suplemento.El suseno-verso es un correlativo del seno-verso tan natural como el coseno lo es del seno y la cotangente de la tangente. En cuanto al seno verso de un arco, es el duplo del cuadrado del seno de la mitad. La principal significación, es que hace positivos los signos dudosos de otras expresiones análogas.El ángulo alfa fue tabulado por el autor con el título Mendoza argumento auxiliar.

En el año 1805 publicó Legendre una fórmula de aproximación dando el valor de la corrección de la distancia aparente, que fue muy elogiada por los técnicos.

No son interesantes los procedimientos de reducción dados por Huber en los años 1791 y 1805, ni aun con las simplificaciones introducidas por Ligowsky en el año 1863 empleando las ecuaciones gaussianas.

En el año 1803, J.W. Noire escribió una obra sobre Astronomía Náutica: "A complete set of nautical tables", en la que daba reglas para la determinación de la latitud y longitud en la mar. En las tablas que publicó figuraban los valores de la refracción, con los efectos de la paralaje, y reglas para el cálculo de la distancia Luna-astro.

En el año 1820 aparecen las tablas de diferencias logarítmicas calculadas por Burckhardt para facilitar el método de las distancias lunares; de la misma fecha son las tablas de Turner que eran en realidad un estracto de las de Cambridge.

También el profesor americano de náutica, Elford, publicó unas tablas en 1811,

---

225 N.A. En realidad el primero que introdujo en la trigonometría el seno verso en vez del coseno, fue Alba Tegnio el ilustre astrónomo que sustituyó también el seno a la cuerda.

Horner en 1803, J. Plana, escribió un trabajo dedicado a explicar el método del capitán Elford. D. Thomson confeccionó también, unas tablas de las que entre los años 1820 y 1851, se hicieron cuarenta y dos ediciones.

Simonoff (1832) transformó el producto cosh cosh', de la ecuación fundamental, en una diferencia.

Bessel que en el número 220 de "Astromische Nachrichten", había dado un método de obtención de la longitud por observación de distancias lunares, pudo comprobar que el cálculo de la reducccción de la distancia era algo erróneo porque no llevaba la debida cuenta del efecto de la refracción sobre los semidiámetros del Sol y de la Luna.

La lista de trabajos relacionados con este estudio sería interminable.

El método de las distancias lunares entrañaba dos problemas; el de la reducción de la distancia observada a verdadera y el de obtención por medio de esta última de la hora del primer meridiano. Como hemos visto, se idearon numerosos métodos, los que pasaban directamente de una distancia a otra y los que daban la diferencia entre ambas distancias. Además se emplearon métodos gráficos.

En las distancias lunares se hizo también intervenir, por los matemáticos, la consideración de ser la Tierra un esferoide, lo que complicaba los cálculos preliminares[226].

En el año 1875 no se preocuparon los marinos de tener en cuenta esta realidad,

---

226 N.A. Es necesario calcular las refracciones correspondientes a las alturas observadas y corregir la distancia de sus efectos, después corregir otra vez las alturas para referirlas al horizonte de los paralajes, y por último, corregir de nuevo la distancia entre ambos para eliminar de ella este efecto de paralajes. Es decir, tener en cuenta que el cenit dado por la plomada no coincide con el cenit geométrico.

que podía producir un error de hasta 6'. Borda, había estudiado cuidadosamente esta corrección en la descripción de su círculo.

Al finalizar el primer cuarto de la pasada centuria el progreso conseguido en los cronómetros fue demostrando que éstos estaban en camino de resolver el problema de la longitud.

En la segunda mitad de la pasada centuria aparecen ya escasos trabajos didácticos relativos a las distancias lunares, y solo alguna que otra variación en la disposición de las tablas es lo que se puede encontrar. La medición de la distancia Luna-astro no exigió en ningún momento la invención de instrumentos adecuados. los mismos octantes y sextantes de reflexión empleados para la obtención de alturas servían para el caso, y hasta en varias de las memorias escritas por los inventores de éstos se lee que fueron delineados simplemente para medir distancias lunares, quedando en segundo lugar la utilización del instrumento para obtener alturas.

8.- LA RECTA DE ALTURA

8.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Cuando el marino pierde la costa de vista, nace la navegación astronómica. Haciendo un salto en el tiempo podemos decir que la "navegación astronómica" no fue dueña del mar hasta que se perfeccionó el método de las distancias lunares.

La obtención de la situación al mediodía, practicada por los navegantes se fue imponiendo con la diaria observación del Sol.

En el momento del paso por el meridiano del astro, terminaba para el piloto un día y comenzaba el siguiente[227]. Se llamaba singladura al camino hecho por la nave entre dos mediodías consecutivos. Aunque en el diario de Colón no se especifica, parece deducirse, por la lectura del mismo, que el Almirante contaba las singladuras de puesta a puesta de Sol.

A mediados del siglo pasado era regla practicada entre los marinos la de observar el Sol por la mañana o por la tarde, preferentemente lo primero, y lo más próximo al vertical primario, y después o antes según el caso, otra observación al paso del Sol por el meridiano determinaba la situación; este método era conocido por horario y meridiana.

En este sistema se determinaba el cálculo del horario, pero al no conocerse la latitud verdadera quedaba incompleto, pero si adelantado, quedando pendiente el cálculo de la latitud.

Al mediodía al determinarse la latitud por la altura meridiana del Sol, ésta se pasaba

[227] N.A. Recordemos que en ese momento el horario es 000° y su equivalencia en tiempo es 0.

a la observación de la mañana: con esta latitud, se obtenía la longitud para este instante, y aplicándole a esta última la diferencia en longitud estimada se obtenía la del mediodía.

Se sabía corregir la longitud por el error de estima, y se publicaron tablas para abreviar el cálculo[228] que, como consecuencia a la obligación del cálculo del acimut, no fueron bien aceptados por los marinos. Volvieron a ser publicadas en el Nautical Magazine de 1832.

En 1846, esta misma publicación insertó tablas para la corrección fundadas en las fracciones tagl/tagP y tagd/tagP, éstas tablas así como las dadas por Auhamel, recuerdan al llamado "Coeficiente Pagel". Gelcich[229] muy explícitamente dice "las tablas de Auhamel son, mutatis mutandis, las de Pagel".

Sin embargo el momento más importante para el marino había llegado unos años antes.

El 17 de Diciembre de 1837 navegando el Capitán Tomas M. Sumner, en su buque mercante entre el puerto de Charleston, en los Estados Unidos de América, hacia el de Greenock, de Inglaterra. Navegando el buque los primeros días impulsado por un viento fresco de poniente.

Sumner se situaba a diario por la meridiana y el horario del Sol.

Cambió el tiempo, rolando el viento al sur, fue cubriéndose el cielo de negros y densos nubarrones, que le impidieron efectuar sus diarias observaciones

---

[228] N.A. En la Memoria sobre la Astronomía Náutica, publicada en París por Auhamel en el año 1822, se insertaba una tabla que daba el error del ángulo horario como consecuencia de un error de 1'en la latitud; los argumentos de entrada eran la latitud y el acimut.

[229] GELCICH "Le sviluppo maritimo nel secolo XIX". Roma 1905.

astronómicas. Después de veintidós días de navegación, se encontraba Sumner, según la estima a cuarenta millas de Tusker Light, a la entrada del Canal de San Jorge.

El Capitán Sumner estaba preocupado, pues había recorrido prácticamente setecientas millas sin haber obtenido ninguna situación astronómica.

El viento aumentó de intensidad hasta tener la intensidad de huracán, al estar navegando por estima con el rumbo y correra así como la poca sonda que obtenía, inducían a Sumner a pensar que se encontraba muy cerca de la costa inglesa, a la que suponía a sotavento.

Decidió el Capitán capear hasta el alba, moviéndose en muy poco espacio durante la noche, virando continuamente a la espera del alba.

En la mañana del día 17 entre las nueve y las diez de la mañana, entre nubes, en una clara apareció el Sol. Sumner que estaba a la espera pudo, obtener una altura del Sol y tomar la hora del cronómetro en ese instante: con esta altura, la latitud de estima y con la declinación deducida de las efemérides, calculó el horario por el triángulo de posición, que comparado con el del primer meridiano obtuvo una longitud que le situaba cerca de la boca del canal de San Jorge, quince millas a oriente referente al punto de estima.

En ese instante el Capitán Sumner pensó que si su latitud estaba equivocada también lo estaría su longitud, y se le ocurrió repetir el cálculo incrementando la latitud en diez millas y luego nuevamente aumentándola en 20 millas.

Al llevar estas tres posiciones a la carta, Sumner, observó con sorpresa, que los tres puntos estaban en línea recta orientada hacia el ENE.

La mencionada línea prolongada pasaba muy cerca del faro de la isla de Small, el

Capitán tuvo la feliz idea de ponerse al rumbo que marcaba esta línea, pensó que el faro de Small, le aparecería por la proa. Y así ocurrió: arrumbado al ENE, que era la demora, vio Sumner una hora después el faro por la misma proa, y que desde entonces quedó ligado al descubrimiento.

Acababa de descubrir el método de las circumferencias de alturas iguales.Todos los puntos de la tierra que tengan en su mismo instante el Sol con la misma altura, están en una circunferencia cuyo centro es la proyección terrestre del astro, siendo su radio la distancia cenital del mismo. Hasta ese momento el triángulo de posición en la navegación astronómica, tenía dos vértices fijos el polo y el observador. A partir de ese momento serían el polo y el astro.

La recta obtenida por Sumner sobre la carta mercatoriana, era un pequeño segmento de secante de la curva dicha anteriormente, con una flecha despreciable.

El descubrimiento casual de este marino americano, lleva una simple construcción. Con la altura observada y dos latitudes próximas a la de estima se calculan dos longitudes y se obtenían dos puntos determinantes de una recta. Una segunda observación con idéntica forma de cálculo determinaba una segunda recta. Efectuando el traslado de la primera al instante de la segunda observación en función del rumbo y la distancia navegada, la intersección de ambas determinaban la situación.

Sumner trabajó con las latidudes de 51º37'N, 51º47'N y 51º57'N. En realidad bastaban dos puntos para determinar la recta, Sumner trabajó un tercer punto para comprobación, en el folleto que escribió explicando el método dijo[230]:

---

[230] N.A. Then if the three points be not very nearly in the same straight line, you have made a mistake in your work.

Es posible que si en el momento de la observación el Sol hubiera tenido otro acimut, hubiere trazado una zona de seguridad en la recalada, limitada por las rectas que, partiendo de las situaciones extremas obtenidas, se orientarán según el rumbo.

Quizás no hubiese pensado Sumner en la propiedad del lugar geométrico, sin restar méritos a este marino, de grandes cualidades investigadoras, se encontró éste con unas circunstancias propicias, ya que la zona de seguridad que era la que seguramente intentaba buscar, se redujo a una recta, que además estaba en la dirección de la derrota que tenía que seguir y también la de encontrarse su situación de estima afortunadamente muy próxima a la línea obtenida.

En Boston publicó su descubrimiento[231], una segunda edición fue editada en 1845, y poco tiempo después, la tercera. El gobierno de los Estados Unidos ordenó que ningún barco se hiciera a la mar, sin llevar las instrucciones. Fue Maury el jefe del Servicio Hidrográfico de Washington quien lo impuso, y quien también dijo el 9 de Octubre de 1943 que este método era el inicio de una nueva era en la navegación Astronómica.

Este método fue conocido en Europa por medio del Nautical Magazine en el año 1844, y por un artículo que publicó en 1849 el marino Barther, en Annales Maritimes, y por el alemán Henry A. Tobiesen que lo tradujo a este idioma[232].

Con el método de Sumner se resolvía el problema.

El método de Sumner perfeccionado, no solo permitía determinar la latitud y la

---

[231] SUMMER "A new and accurate method of finding a ships position at sea, by, projection on Mercator's Chart". Boston 1834.

[232] HENRY A. TOBIESEN "Neue sichere methode den standpunkt einer Schiffer auf der see durch proyektion auf Mercator karte zur bestimmen". Hamburg 1865.

longitud, sino la distancia a la costa, acusando por tanto los efectos de las corrientes sobre el buque.

Sumner había denominado a estos círculos menores, como paralles "of equal altitude", llamándole "pole of illumination" del astro al centro de este circulo, que más adelante fue sustituida por "Punto subastral".

Este método fue introducido en España por el Teniente de Navío Montojo[233], que fue el Director del Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando. Este método fue, sin embargo, ya usado en 1857 por el Capitán de la Marina Mercante Quijano[234].

Hay sin embargo una cierta analogía con el sistema inventado por Ciscar[235] y el ideado por el Capitán Americano.

Si la solución del problema pudiera hacerse sobre una esfera, la obtención de la solución sería muy sencilla, pero para que tuviera una milla una extensión de un mm. ésta tendría que tener un diámetro de siete metros con la ocupación de un espacio exagerado y un manejo dificultoso. Se impuso pues una solución analítica, pero resultando ésta laboriosa se buscó un método mixto.

Los círculos de altura, de fácil trazado sobre una esfera son curvas trascendentes en la carta mecatoriana. Sobre ésta no queda otro remedio que proceder al levantamiento de los puntos que unidos den la representación de la curva.

Se volvió a la idea de lo que hizo Sumner, utilizar el segmento indispensable

---

[233] MONTOJO "Anuario de la Dirección de Hidrografía". Madrid 1865.

[234] QUIJANO "El compañero del nuevo Almanaque Náutico". Cádiz 1857.

[235] CISCAR "Tratado de Pilotaje". Madrid 1868.

sustituto de la curva, evolucionando de un trazado de la curva, en un segmento de recta. El método de Sumner aceptado por americanos e ingleses, fue perfecionado por los franceses, aunque no usado. La corrección Pagel intervino en otra forma de tablas.

El método de Sumner que en un principio necesitó de cuatro cálculos de longitud, con el inconveniente de obtener cuatro observaciones, no tuvo una larga vida.

En el año 1867 el profesor A.C. Johnson de la Escuela Militar Inglesa publicó una serie de artículos en el Nautical Magazine, relacionados con las rectas de altura y estudiando los métodos analíticos con el objeto de abreviar las operaciones de cálculo.

En el año 1879 publicó sus métodos geométricos, haciendo pasar a un segundo lugar el método de la secante Sumner, al presentar el método de la tangente en una serie de artículos. Con su método solo era necesario el cálculo de un punto y del acimut, contra dos del método de Sumner, rápidamente se hizo más aceptable el método de Johnson. El acimut se obtiene por formula o tablas y el punto por la intersección de la curva con el paralelo de estima.

Johnson defendió el método analítico del horario, de tal manera que su sistema se conoce por el del horario, cuando el astro este en las proximidades del vertical primario[236];y el método de la latitud cuando se encuentra cerca del meridiano.

Hay que hacer constar que el holandés Luitz en 1847 desarrolló la transformación del método de Lalande que resolvía la dificultad de la falta de cartas de grandes dimensiones para poder seguir la construcción gráfica de la línea de posición en las

---

[236] N.A. Vertical primario es el que pasa por los puntos cardinales E-W.

grandes travesías.

El método Johnson descansa en ésto, emplea además los valores de la corrección Pagel y que ésta solo puede emplearse en el caso del determinante Johnson o Sumner[237]. Es por esta razón que hay quien tiene el criterio de que el método Johnson es llamado así injustamente.

El estudio del trazado de la curva de alturas iguales sobre la proyección mercatoriana fue emprendida por diversos países, en Francia el profesor de Hidrografía Fasci[238] emprendió el de los lugares geométricos rectilíneos, indicando en su trabajo el medio de representar el arco por una tangente que la sustituía y que la denominó "recta de altura" a la llamada línea de Sumner ó línea de posición. También este autor, en 1875 efectuó estudios para obtener las curvas de alturas sobre el elipsoide, pero no tuvo resultados prácticos. Fasci aplicó también el método de aproximaciones sucesivas, denominado Méthode Générale mixte.

Con las dos alturas calculaba las longitudes, y trazando las líneas de posición obtenía una latitud, repetía el cálculo, obteniendo un punto más real que el primero.

En el año 1874 el francés Hilleret partiendo de las mismas expresiones analíticas obtuvo la relación entre las distancias cenitales y polares. Demuestra también, que la diferencia entre los puntos obtenidos, según se empleaba la tangente o la secante era muy pequeña, a menos que existieran errores considerables en las latitudes y se tratara de distancias cenitales muy pequeñas. El mismo Hilleret introdujo el empleo de la expresión trascendente que da la latitud creciente en la proyección

---

237 RIBERA "Tratado de Navegación". Ferrol 1907, Bilbao 1947.

238 FASCI "Mémoire sur le point observé" (Revue Maritime, XXXIV, 1872).

mercator por primera vez.

En el año 1877 el ingeniero hidrógrafo Estignaid presentó otra forma de la ecuación que si bien era muy complicada se prestaba muy bien a la discusión de las tres fases en que los círculos de altura aparecen sobre la proyección mercatoriana: curvada en forma de elipse, abierta en sinusoide y abierta en forma parabólica, si bien éste estudio fue efectuado en 1862 no fue publicado hasta el mencionado 1877.

Al decidirse los marinos por la tangente, el único punto determinante provenía del horario calculado, y de la latitud calculada, necesitando unas circunstancias favorables para la observación. No pudiéndose por esto último efectuar observaciones en cualquier momento.

Estas limitaciones fueron superadas por el francés Marcq Blond de Saint Hilaire[239].

Este marino francés inventó el "método del punto aproximado", con el que la recta de altura se obtiene en todos los casos de un modo general sin limitaciones de circunstancias.

Fue ensayado por el propio autor, con feliz éxito a bordo del buque escuela Renomme el año 1874. El año 1877 se dio a conocer en España en el Anuario de la dirección de Hidrografía, y el insigne marino R. Estrada hizo un estudio en la Revista General de Marina el año 1883.

Hasta el momento del descubrimiento del punto aproximado, los marinos se abstenían de observar en zonas intermedias a la observación, próximas al vertical primario, método del horario, o en las proximidades del meridiano, método de la latitud.

---

[239] SAINT HILAIRE "Revue Maritime et Coloniale", 1875.

La inmensa ventaja del método de Saint-Hilaire respecto a los otros métodos, es que su determinante es cercano al verdadero si la estima no es muy errónea, en los otros métodos puede ocurrir que se aleje demasiado para un pequeño error en estima.

Para este método se exige el trazado, en la carta, del vertical del astro desde el punto de estima, tomando como magnitud la diferencia entre la altura estimada por fórmula y la verdadera y el acimut también calculado por fórmula o por tablas.

Trazaremos sobre el acimut la diferencia en millas en el sentido del acimut si la diferencia es positiva, es decir si la altura observada es mayor que la estimada, y en sentido contrario al acimut en el caso que la altura estimada sea mayor que la altura verdadera. Así resulta el punto aproximado y trazando por este punto una perpendicular al vertical, se obtiene la recta de altura.

Sabemos que en cualquier punto de la curva el vertical del astro es normal a la misma. Dicho de otra forma: la tangente es perpendicular al acimut.

En éste procedimiento podemos ver que Marq Saint-Hilaire sustituyó también la curva de altura por su tangente, ésta no pasa por el punto que corresponde a la latitud de estima, pero pasa por otro que está más próximo que el anterior a la verdadera situación del buque.

Las ventajas de este sistema sobre los métodos de Johnson o Sumner hicieron que este sistema fuese aceptado universalmente por todos los marinos.

Gelcich[240] indica que ningún marino conocedor de este sistema determinaría la latitud según los métodos de Ivory o de Litrow.

---

240 GELCICH "Estudio sobre el desenvolvimiento histórico de la navegación". Valencia 1885.

El aspecto geométrico del problema estaba fácilmente solucionado pero quedaba el analítico y a tal objeto encaminaron los esfuerzos los marinos y astrónomos, dando lugar a uno de los momentos más florecientes de la navegación astronómica, con la producción de un gran número de tablas como lo indica el Capitán de Corbeta español García y García[241].

Resumiendo: La recta de altura puede ser una tangente o una secante. La tangente de altura tiene como determinante un punto y el acimut del astro, obteniéndose el punto por la intersección del meridiano de estima con la circunferencia de altura, o por la de ésta con el paralelo estimado, o el cruce de la circunferencia de altura con el vertical del astro que pasa por el punto estimado. Las secantes de altura, que exigen la obtención de dos puntos han caído en desuso.

Los métodos de determinación del punto por medio de las rectas de altura dieron lugar a innumerables trabajos pudiéndose decir que la segunda mitad del siglo XIX fue muy fecunda en estos estudios en todas las revistas de navegación.

La seguridad de los resultados en los nuevos métodos dependían del cronómetro, en el método de Sumner se necesita el conocimiento de la hora del primer meridiano, en el método de Saint-Hilaire también, y la altura resulta del conocimiento del ángulo horario del astro en el punto de estima correspondiente al momento de la observación.

No podemos olvidar, en la historia de la moderna navegación, a las grandes figuras que fueron las que forjaron sus cimientos y entre ellas merecen destacarse: el astrónomo Ivon Villarceau y el marino Aved de Magnac que publicaron en 1877

[241] GARCÍA y GARCÍA "Revista General de Marina". Madrid 1941.

en Francia numerosos artículos[242].

En un minucioso trabajo, Villarceau, desarrolla perfectamente el dibujo, en la proyección mercatoriana, de un pequeño segmento de circulo de posición, después, la sustitución de este segmento por otra línea de más fácil trazado, llegándo al final, como sustitutivo más simple, a la línea recta. Villarceau demostró que la circunferencia osculatriz se confundía sesiblemente con la curva en una longitud de hasta cuatrocientas millas sin que la separación máxima excediera de media milla, siempre que no se actuase en los puntos de inflexión de la curva, o en sus proximidades. Se ve en el libro[243] una vacilación en aconsejar los nuevos métodos, en tanto que el cronómetro no desplazase a las distancias lunares, cuyo empleo ya empezaba a ser discutido. El cronómetro era una máquina que podía fallar o falsear los resultados.

También Ledieu[244] en ese mismo año detalló y enfrentó los nuevos métodos que implicaban un cambio radical en la navegación con los usados hasta ese momento. Admitía el autor que el empleo de las rectas de altura debía ser al aproximarse a la costa y en recaladas, y que en alta mar, debería emplearse el método de las distancias lunares.

Fasci, ya citado, había propuesto la sustitución de la curva por la secante a la parábola osculatriz y Boitard proponía la misma parábola en vez de la tangente o la secante.

---

242 MAGNAC "Nouvelle Navigation Astronomique". París 1877.

243 VILLARCEAU "Nouvelle Navigation Astronomique". París 1877.

244 LEDIEU "Les Nouvelles Méthodes de Navigation", París 1877.

Lalande había propuesto una solución analítica, al cálculo de las coordenadas del buque , aceptando variaciones proporcionales a las longitudes y latitudes.

Pagel lo que hizo fue generalizarlo; formando parte de un gran número de tablas náuticas, y con el nombre de método Lalande-Pagel.

Los métodos analíticos consideran los elementos de altura, latitud, declinación y horario, y dan lugar al cálculo de la altura, del horario o de la latitud según cual sea la incógnita que obtengamos con los otros tres elementos como datos.

La situación obtenida por la intersección de dos líneas de posición astronómicas será aceptable si éstas se cortan bajo un ángulo superior a 30°. Sin embargo, la exactitud de este método puede resultar insuficiente a causa de los errores sistemáticos y accidentales que, en ocasiones, pueden afectar a los datos.

Para soslayar en lo posible esta contingencia se emplea la bisectriz de altura como línea de posición, por ser independiente o no afectarle los errores sistemáticos[245].

La introducción de las bisectrices como líneas de posición trajo como consecuencia la necesidad de la observación simultánea, o en cortos intervalos de tiempo, de tres astros para poder considerar dos bisectrices cuya intersección proporcionará una situación más fiable.

También se generalizó la obtención del punto Grebe, que en la superficie de

---

[245] N.A. Errores que comete, siempre iguales, el observador y que afectan a todas las observaciones por igual. Como por ejemplo:

a) Tangentear el astro por debajo o por encima del horizonte de la mar, por un defecto de visión.

b) Corrección de índice del sextante mal determinada que afectará por igual a todos los ángulos medidos con el mismo sextante.

c) Operación del observador errónea que afectará a la corrección aplicada a la altura observada por depresión aparente del horizonte de la mar.

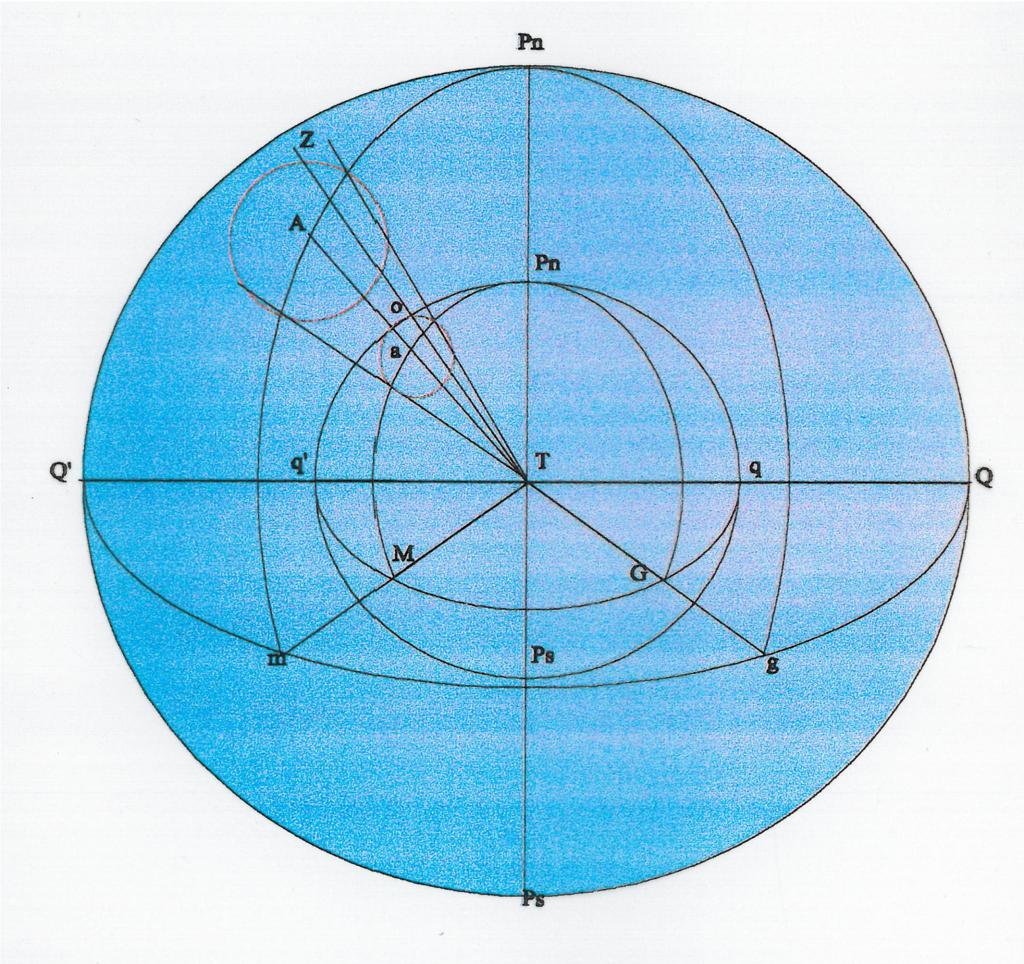
posición encerrada entre tres rectas de altura, es el punto más probable de la situación del buque en función de los errores cuadráticos de los lados.

SEGUNDA PARTE

9.-INTRODUCCIÓN A LA SITUACIÓN EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO

9.1 CIRCUNFERENCIAS DE ALTURAS IGUALES

Se llama polo de iluminación del astro o punto astral, al punto a de la superficie terrestre, que se puede observar en la figura inferior, que resulta de la intersección con la misma de la recta que une el centro del astro A con el de la Tierra T.



Las coordenadas horarias del astro en la esfera celeste son el horario del astro en Greenwich, arco gm (en el caso de la figura occidental), y la declinación del mismo, arco mA (en el caso de la figura es norte). Estas coordenadas se corresponden con las terrestres del polo de iluminación, de forma que la latitud del mismo, arco Ma, es igual a la declinación del astro, norte o sur según lo sea esta última, al tener los arcos Ma y mA igual magnitud angular por ser semejantes. Por la misma razón, la longitud del polo de iluminación, arco GM, es igual al horario del astro en Greenwich, oeste si dicho horario es occidental y leste si es oriental.

Al observar una altura de un astro A y tomar la Hcro correspondiente al instante de la observación, la altura convertida en verdadera y la Hcro pasada a TU, nos permitirán obtener la declinación del astro, el horario del mismo en Greenwich (oriental u occidental menor de 180°) y su distancia cenital. Si hacemos centro en A y con un radio esférico igual a la distancia cenital AZ, trazamos sobre la esfera celeste una circunferencia, ésta será el lugar geométrico de los puntos de dicha esfera a los que les corresponde igual distancia cenital, como el punto Z. Si proyectamos dicha circunferencia sobre la superficie terrestre, con semirrectas partiendo del centro de la Tierra, tendremos una circunferencia de radio esférico ao, igual en magnitud angular al AZ, o sea, a la distancia cenital, que es el lugar geométrico de los observadores que, como el situado en o, ven al astro con la misma distancia cenital, o lo que es igual, con la misma altura, aunque con diferentes azimutes, como se puede apreciar perfectamente en la figura. Por esta razón, dicha circunferencia recibe el nombre de circunferencia de alturas iguales. Luego, si con la declinación del astro como latitud, situamos el polo de iluminación y trazamos la mencionada circunferencia, tendremos un lugar geométrico de la situación del buque. Si hacemos lo mismo con otro astro B, observado en el mismo instante, cuyo polo de iluminación designaremos por b (como vemos en la siguiente figura), en la intersección de los dos lugares geométricos se hallará el buque.

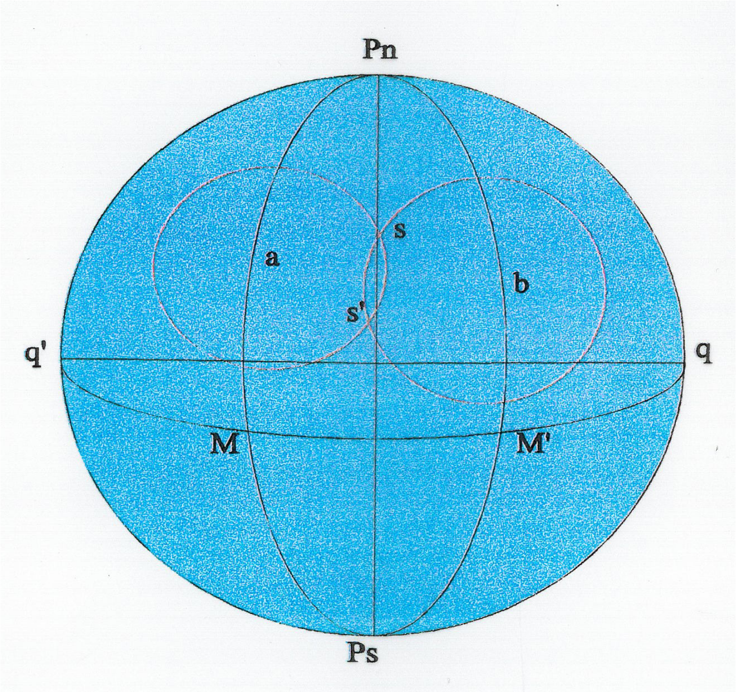


Figura 25

Al cortarse dichas circunferencias en dos puntos, excepto en el caso especial de que sean tangentes, existirá una antigüedad que se resuelve normalmente tomando como situación del buque el punto más cercano a la situación estimada, dado que generalmente los dos puntos están muy alejados el uno del otro. En el caso de que dichos puntos estuvieran próximos, se deshará la ambigüedad tomando los azimutes de aguja de los astros en el instante de instante de la observación, los cuales convertidos en verdaderos nos indicarán en cual de los dos puntos se verían dichos astros con estos azimutes, o sea, el punto correspondiente a la situación del buque.

Los casos particulares de las circunferencias de alturas iguales, son las siguientes:

1º - Cuando av = 0°, en cuyo caso la circunferencia de alturas iguales es una circunferencia máxima.

2º - Cuando av = 90°, en cuyo caso la circunferencia de alturas iguales se transforma en punto y la situación del observador coincide con la del polo de iluminación.

3º - Si la declinación del astro es próxima a 90°, caso de la estrella Polar, la circunferencia de alturas iguales viene a ser casi un paralelo.

La propiedad más importante de la circunferencia de alturas iguales, es la de ser normal en cada uno de sus puntos a la circunferencia máxima trazada por el polo de iluminación del astro. Es decir, considerando el punto donde se halla el buque en el momento de la observación, que supondremos sea el o de la primera figura, correspondiendo el arco de circunferencia máxima ao al vertical del observador, resultará que la circunferencia de alturas iguales es normal al mencionado vertical.

Este procedimiento, que resulta muy sencillo y rápido para resolver el problema de la situación astronómica, no se puede utilizar a bordo, dado que se necesitaría una esfera de unos 7 metros de diámetro para que un milímetro represente una milla, al no poder llevar en los barcos esferas de tan grandes dimensiones; y al mismo tiempo la dificultad que representaria el manejo del compás que tuviera que trazar las mencionadas circunferencias.

Recordemos que una altura de 30°, su distancia cenital sería de 60°, es decir 3600', por lo tanto el compás tendría que trazar un radio de 3,6 metros.

9.2 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN EXACTA, POR LA OBSERVACIÓN DE ALTURAS SIMULTÁNEAS O NO, DE DOS ASTROS, PREVIO EL CÁLCULO DEL ÁNGULO PARALÁCTICO DE UNO DE ELLOS.

En este sistema para obtener la situación observada no es necesario el conocimiento de la posición de estima ni tan siquiera en la forma que se ha hecho en los ejemplos anteriores, en los que, únicamente, se ha dado como conocido el océano en el que se encontraba el observador, caso que en la práctica es imposible no saber.

Los datos conocidos serán siempre las horas y fecha en el primer meridiano correspondientes a la observación de las alturas, a_1 y a_2, de los dos astros.

Con las horas de TU obtendremos en el Almanaque Náutico la δ y el hG de cada uno de los astros que, como sabemos, se corresponden con las coordenadas de los polos de iluminación de cada uno de ellos, o sea de la proyección de cada astro sobre la superfície terrestre en el momento de la observación. En el caso, por otra parte normal, de que las observaciones no sean simultáneas, trasladaremos por estima el primer polo de iluminación al momento del segundo.

En la figura 1, A_1 y A_2 son los polos de iluminación de los astros observados cuyas alturas son a_1 y a_2, Z es la proyección del cenit del observador sobre la superfície terrestre y, por consiguiente, la posición geográfica del mismo cuyas coordenadas deseamos determinar.

En el triángulo $A_1 PA_2$ el ángulo en P es la diferencia de longitud entre ambos de iluminación. El lado A_1A_2 es la distancia ortodrómica, D, entre los mismos y el ángulo en A_1 el rumbo ortodrómico en ese punto para dirigirnos siguiendo el círculo máximo a A_2. Valores que podemos calcular por medio de las fórmulas:

$$\cos D=\sin\delta_1\sin\delta_2+\cos\delta_1\cos\delta_2\cos P$$

$$\cot R=\frac{\tan\delta_2\cos\delta_1-\sin\delta_1\cos P}{\sin P}$$

Conocido D en el triángulo esférico A_1ZA_2, en el que los otros dos lados $A_1Z=90-a_1$ y $A_2Z=90-a_2$ son las distancias cenitales de los astros observados, calcularemos el ángulo en A_1, que llamaremos X, por medio de la fórmula:

$$\cos X=\sin a_2\sec a_1\operatorname{cosec}D-\tan a_1\cot D$$

que restado de R, calculado anteriormente, obtendremos A=R-X, ángulo paraláctico del triángulo de posición A_1PZ del que también conocemos los lados $PA_1=90-\delta_1$ y $ZA_1=90-l$ y el ángulo en el polo $ZPA_1=h$ y por consiguiente la situación del observador.

Si X fuera mayor que R, entonces, A=X-R.

En la fig.1, X<R y en 2, X>R. En un caso el hLA sería oriental y en el otro occidental.

Las fórmulas a emplear para resolver el problema son:

$$\sin l = \sin a_1 \sin \delta_1 + \cos a_1 \cos \delta_1 \cos A$$

$$\cot h = \frac{\tan a_1 \cos \delta_1 - \sin \delta_1 \cos A}{\sin A}$$

$$L = hGA_1 - hLA_1$$

Fórmulas que nos proporcionan la l y L de la proyección del cenit sobre la tierra

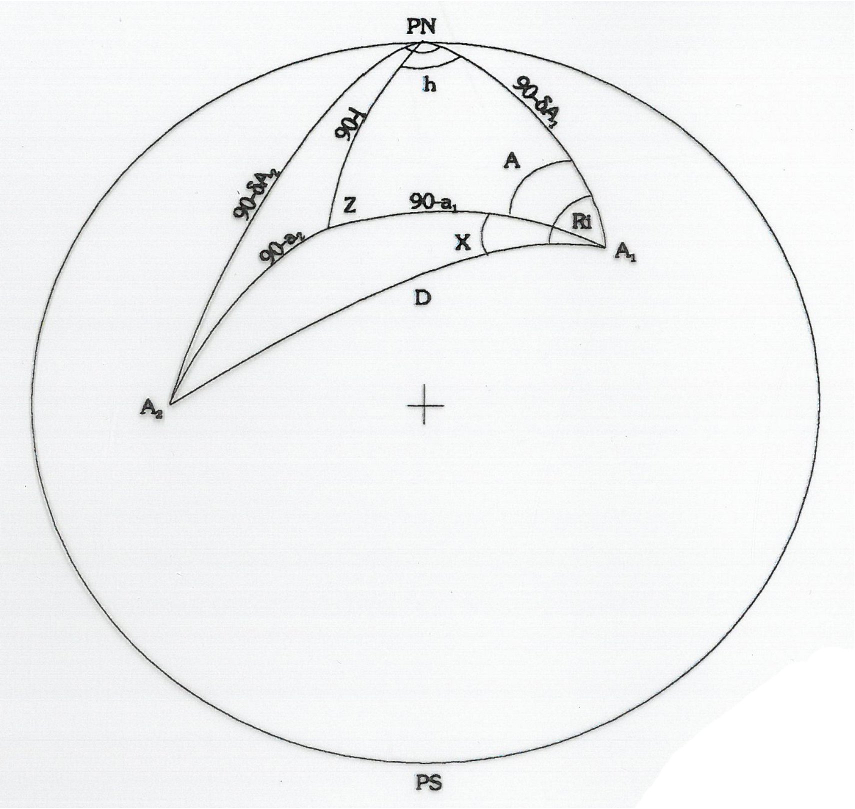


Figura 26

y por consiguiente la situación del observador. En el caso, por otra parte absurdo, de que no tuviéramos la más ligera idea de la posición de estima del momento de la observación, lo que pudiera dar lugar a la duda de si la situación de Z quedaba

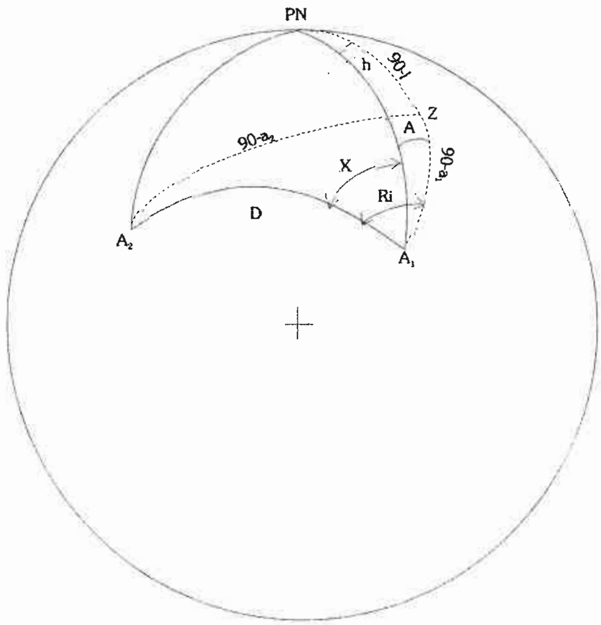


Figura 27

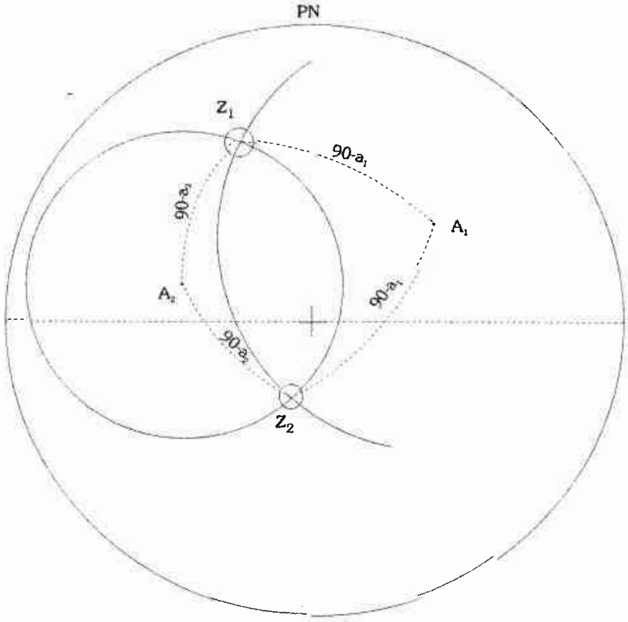


Figura 28

más al norte o más al sur que la de los polos de iluminación, o más a oriente u occidente de los mismos, la simple inspección visual de la esfera celeste, sin

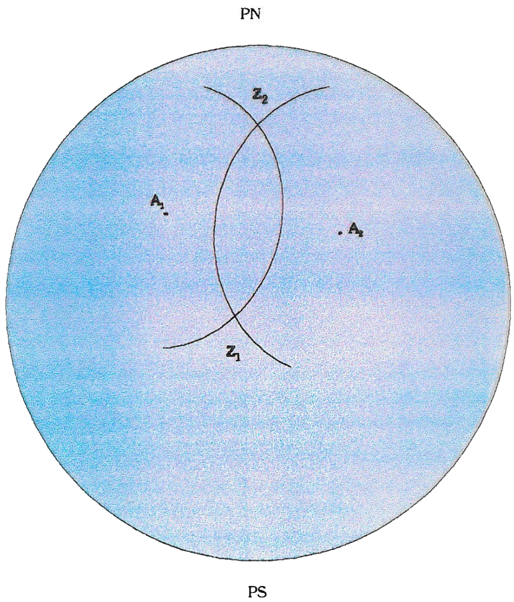


Figura 29

ningún otro tipo de ayuda, sería suficiente para deshacer esta ambigüedad.

Z_1 y Z_2 son las posiciones geográficas desde las cuales se ven los astros A_1 y A_2

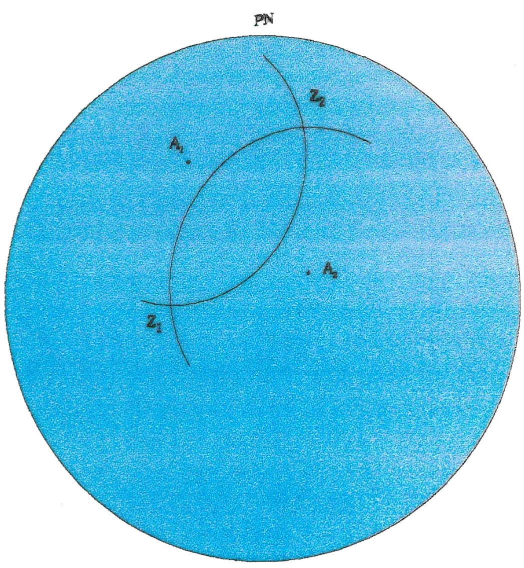


Figura 30

Si las observaciones se han efectuado con las dos distancias zenitales iguales. Sin los astros han sido observados hacia el norte no hay duda que la situación del buque se encuentra en Z_2 , astros a occidente, la situación estaría en Z_1.

Si uno de los astros está claramente hacia el Sur, no hay duda de que la situación estaría en Z_2.

DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN VERDADERA EN FUNCIÓN DE LA DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO

EJEMPLO:

En viaje de San Francisco a Yokohama, al ser T.U. del día 6 de Mayo fecha de Greenwich de 1995 = $03^h\ 01^m\ 20^s$, se observó simultáneamente a_{VSol} = 42º 17,8' a Occidente del meridiano y $a_{V\ Luna}$ = 53º 03,8' a Oriente del meridiano.

Vamos a calcular primero los polos de iluminación o puntos astrales del Sol y de la Luna.

$$
\begin{aligned}
h\odot G &= 225^\circ\ 49{,}8' & d\odot &= +16^\circ\ 22{,}6' \\
C^{on} &= 20' \\
h\odot G/c &= 226^\circ\ 09{,}8' \\
h\odot G/c &= 359^\circ\ 60' \\
Lp &= 133^\circ\ 50{,}2'\ E & l\odot &= +16^\circ\ 22{,}6'
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
h_{Luna} &= 152^\circ\ 32{,}7' \quad dif = 128 \\
C^{on} &= 000^\circ\ 19{,}1' \\
C^{on} &= 000^\circ\ 00{,}3' \\
h_{Luna}\ G/c &= 152^\circ\ 52{,}1' \\
Lp_{Luna} &= 152^\circ\ 52{,}1'
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
d_{Luna} &= +16^\circ\ 01{,}1' \quad dif = 58- \\
C^{on} &= -00^\circ\ 01' \\
d_{Luna}\ /c &= +16^\circ\ 01' \\
lp_{Luna} &= +16^\circ\ 01'
\end{aligned}
$$

A continuación calcularemos el rumbo ortodrómico y la distancia ortodrómica entre ambos polos, por la fórmula de las cotangentes y la de los cosenos, dando valores nos dará:

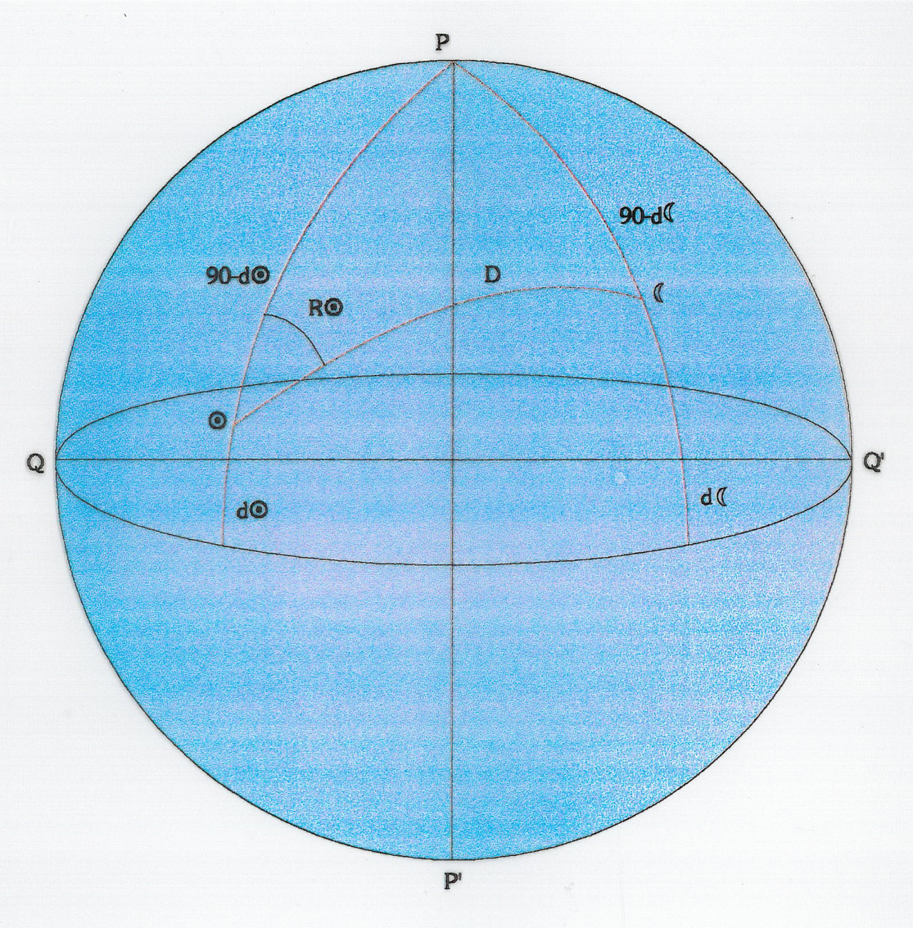


Figura 31

$$R_o = 78°31,7'$$
$$D_o = 4196,9'$$
$$D_o = \frac{4196,9'}{60°} = 69°56,9'$$

En el triángulo Z Sol Luna, conocemos la distancia cenital del Sol y la de la Luna, con lo que podemos calcular el ángulo que forman, que restado del ángulo del rumbo ortodrómico obtendremos el ángulo Paraláctico (A) del triángulo de posición POZ, triángulo en el que conocemos, distancia polar del Sol, y la distancia cenital del Sol que junto al A citado podremos calcular la colatitud del cénit PZ por la fórmula de los cosenos, y por la fórmula de las cotangentes el ángulo en el Polo

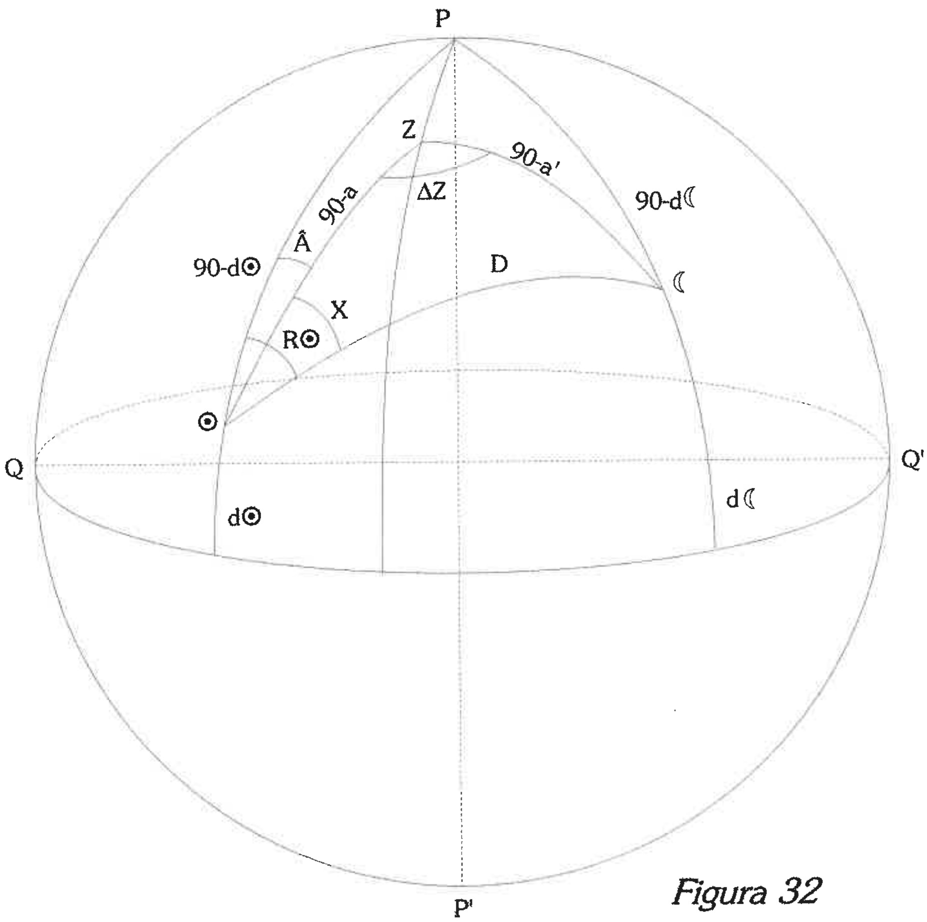


Figura 32

OPZ, que aplicado a la longitud del polo de iluminación del Sol nos dará la longitud del cénit.

$$\cos Z_{Luna} = \cos Z\odot \cos D_0 + \sin Z\odot \sin D_0 \cos A$$

$$\cos A = \frac{\cos Z_{Luna} - \cos Z\odot \cos D_0}{\sin Z\odot \sin D_0}$$

Solución

$$\begin{aligned} & 90^\circ \\ a_V\odot &= 42^\circ\ 07{,}8' \\ Z\odot &= 47^\circ\ 52{,}2' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 90^\circ \\ a_{V\ Luna} &= 53^\circ\ 03{,}8' \\ Z_{Luna} &= 36^\circ\ 56{,}2' \end{aligned}$$

$$\cos x = \frac{\cos 36^\circ 56{,}2' - \cos 47^\circ 52{,}2' \cos 69^\circ 56{,}9'}{\sin 47^\circ 52{,}2' \sin 69^\circ 56{,}9'}$$

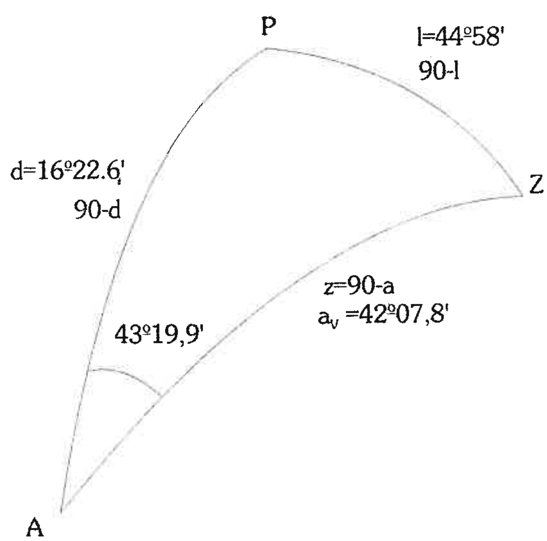
$$\begin{aligned} x &= 35^\circ 11{,}8' \\ R_V/ort &= 78^\circ 31{,}7' \\ x &= 35^\circ 11{,}8' \\ A\odot &= 43^\circ 19{,}9' \end{aligned}$$

$$\cot Z \sin\Delta = \cos\Delta \cos A + \sin A \cot P$$

$$\cot P = \frac{\tan a \cos d - \sin d \cos A}{\sin A}$$

$$\begin{aligned} P &= 045^\circ 59{,}8' \\ Lp/ilum &= 133^\circ 50{,}2'E \\ L &= 179^\circ 50'E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 42^\circ 07{,}8'N \\ d &= 16^\circ 22{,}6'+ \\ A &= 43^\circ 19{,}9' \end{aligned}$$



Comprobación

$l=44°58'N$
$L=179°50'E$

$h\odot G=226°09,8'$
$L=179°50,0'E$
$h\odot L=405°59,8'$
$h\odot L=045°59,8'$
$d=16°22,6'+$
$l=44°58'N$

$a_v=42°07,8'$
$Z_v=248°31,3'$

$h_{Luna}G=152°52,1'$
$L=179°50'E$
$h_{Luna}L=332°42,1'$
$d=16°01,0'+$
$l=44°58'N$

$a_v=53°03,8'$
$Z_v=132°48,8'$

9.3 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN VERDADERA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO, POR DOS OBSERVACIONES NO SIMULTÁNEAS DEL MISMO ASTRO

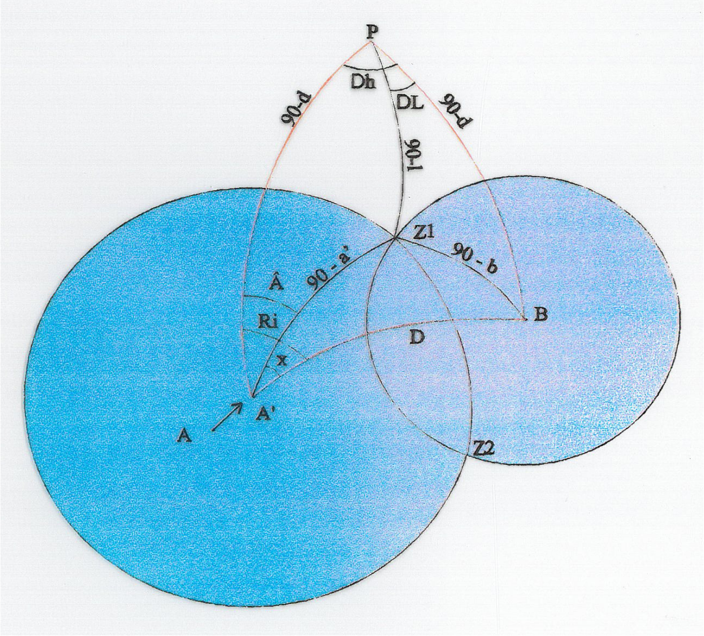


Figura 33

En la figura podemos observar el traslado del círculo de altura del astro A, en función del rumbo navegado, y la distancia entre ambas observaciones. Siendo por tanto A' la posición del horario y declinación trasladada, la intersección con el círculo de alturas correspondiente al astro en la segunda posición B, nos determinará los puntos 1 y 2, como posibles situaciones; la ambigüedad la podemos resolver fácilmente por el conocimiento visual del astro (cara al Norte o Sur, en la figura).

La resolución del problema, es una repetición del caso anterior.

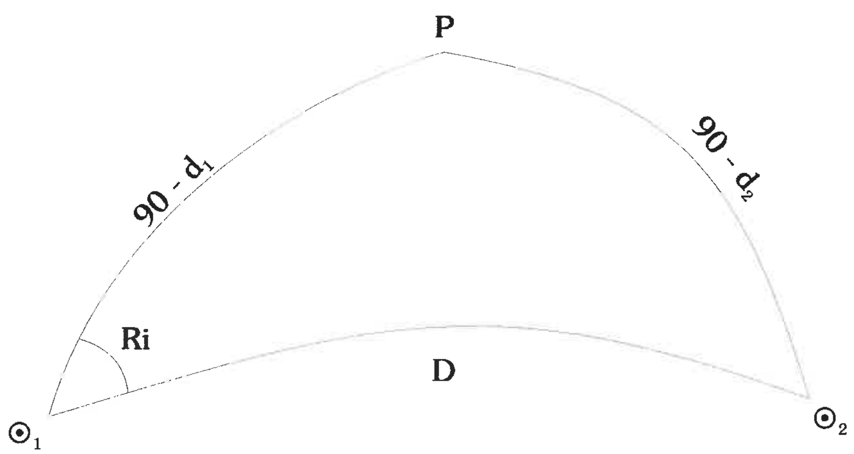
Es evidente que para evitar la influencia de los errores del rumbo y la distancia, deberemos procurar que los intervalos no sean muy grandes.

EJEMPLO:

El día 20 / 02 / 97, al ser T.U. = $08^h\ 15^m\ 20^s$. Se observó el Sol con una a_v=15° 47,5', y nuevamente a las $11^h\ 05^m\ 10^s$ de T.U. observamos el Sol con una a_v = 35° 57,6'.El buque está fondeado.

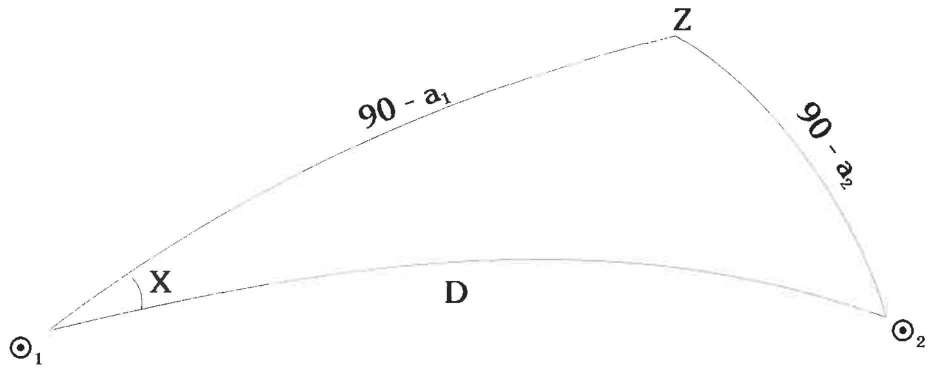
Determinar la posición en función del ángulo paraláctico.

h⊙G a 08^h =	296° 33,6'	h⊙G a 11^h =	341° 33,8'
c x m/s =	003° 50'	c x m/s =	001° 07,5'
h⊙G / c =	300° 23,6'	h⊙G / c =	342° 50,3'
d⊙/c =	-10° 52'	d⊙/c =	-10° 49,2'



Ri = 265,526°

D_o = 2500,4 = 41° 40,4'

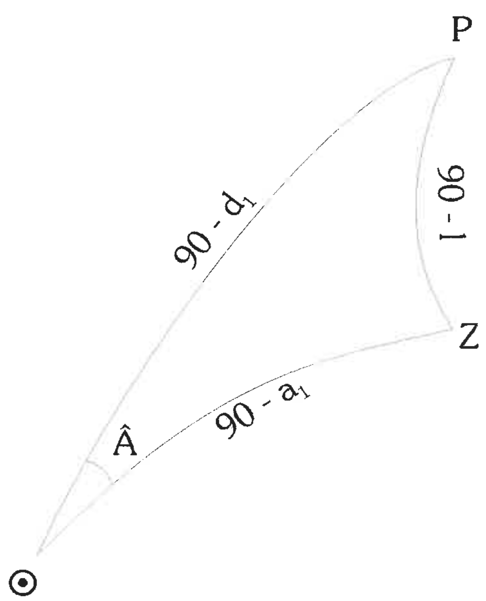


$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

X = 53° 02,1'

Ri =	265°	52,6'
X =	053°	02,9'
	318°	55,5'
Â =	041°	04,5'



$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_1 \cos d_1 \cos \hat{A}$$

$$l = 41^\circ\ 22{,}8'\ N$$

Con la fórmula de la cotangente determinaremos el ΔL:

Quedando :

$$\Delta L = 057^\circ\ 25{,}3'$$

$$h\odot_1 G = 300^\circ\ 23{,}6'$$

$$= 357^\circ\ 48{,}9'$$

$$359^\circ\ 60'$$

$$L = 002^\circ\ 11{,}1'\ E$$

Coincidiendo con su situación verdadera ($l = 41^\circ\ 22{,}8'$ N y $L = 002^\circ\ 11{,}1'$ E), caso de que el buque estuviera navegando, las diferencias que pudieran aparecer, estarían ocasionadas por los errores del traslado de la posición del horario y la declinación, en función del rumbo y la distancia.

9.4 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN VERDADERA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO, POR TRES, O CUATRO OBSERVACIONES SIMULTÁNEAS

PRIMER CASO: TRES OBSERVACIONES

En el supuesto de que el corte de las tres circunferencias de altura coincidan en el mismo punto, la situación la podemos determinar, apoyándonos en las posiciones de cualquiera de dos, de los tres observados independientemente, es decir el (A, y C); (A, y B) o (B y C).

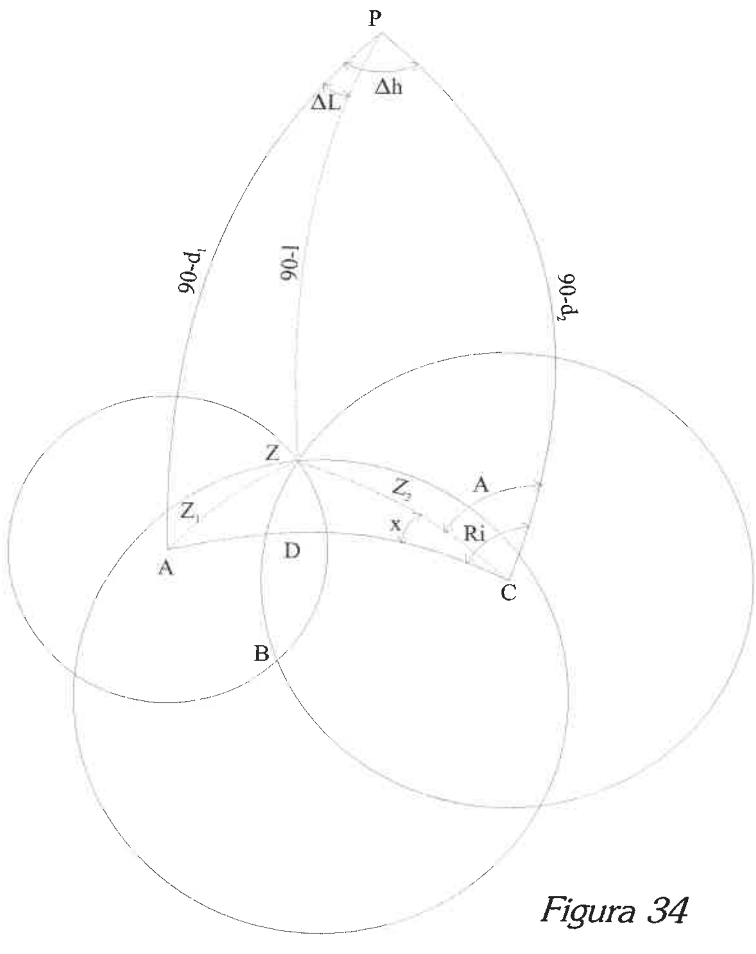


Figura 34

EJEMPLO:

El día 8 de Marzo de 1997, al ser T.U. = 23^h 32^m 18^s, se observó simultáneamente, estando fondeado en situación verdadera l = 41° 22,8' N y L = 002° 11,1' E, a_v CAPELLA = 32° 42,7', a_v CASTOR = 50° 35,3' y a_v ARCTURUS = 40° 52,3'.

Determinar la posición en función del ángulo paraláctico de los mismos.

Vamos primeramente a determinar la situación con dos astros:

CAPELLA CON CASTOR

	CAPELLA	CASTOR
$h\gamma G$ =	151° 40,9'	151° 40,9'
c x m/s =	008° 05,8'	008° 05,8'
$h\gamma G$ /c =	159° 46,7'	159° 46,7'
A.S. =	280° 52,8'	246° 23,5'
h*G =	440° 39,5'	406° 10,2'
	080° 39,5'	046° 10,2'
d =	45° 59,7' +	31° 53,6' +

D_o = 1798,8 = 29° 58,8'

Ri = 105,498°

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

$$X = 43° \; 35{,}7'$$

$$Ri = 105° \; 49{,}8'$$

$$\hat{A} = 62° \; 14'$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_1 \cos d_1 \cos \hat{A}$$

$$l = 41° \; 22{,}8' \text{ N}$$

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$\Delta L = 82° \quad 50{,}6'$$

$$Lp/ilum = 080° \quad 39{,}5'$$

$$\Delta L = 082° \quad 50{,}6'$$

$$L = 002° \quad 11{,}1' \text{ E}$$

A continuación con otros dos :

CAPELLA CON ARCTURUS

$h\gamma G$ /c =	159° 46,7'	$h\gamma G$ /c =	159° 46,7'
A.S. =	280° 52,8'	A.S. =	146° 06,8'
h*G =	440° 39,5'	h*G =	305° 53,5'
	080° 39,5'		054° 06,5'
d =	45° 59,7' +	d =	19° 1,7' +

$$D_o = 61821 = 103° \, 02{,}1'$$

$$Ri = 43{,}295°$$

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_c}{\cos a_1 \;\; \text{sen } D_c}$$

$$X = 18° \, 44{,}5'$$

$$Ri = 43° \, 29{,}5'$$

$$\hat{A} = 62° \, 14{,}0'$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \;\; \text{sen } d_1 + \cos a_1 \;\; \cos d_1 \;\; \cos \hat{A}$$

$$l = 41° \, 22{,}8' \text{ N}$$

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$\Delta L = 082° \quad 50{,}6'$

$h^*G = 080° \quad 39{,}5'$

$\Delta L = 082° \quad 50{,}6'$

$L = 002° \quad 11{,}1'$ E

Y finalmente con otros dos astros:

CASTOR CON ARCTURUS

hγG /c = 159° 46,7'	hγG /c = 159° 46,7'
A.S. = 246° 23;5'	A.S. = 146° 06,8'
h*G = 406° 10,2'	h*G = 305° 53,5'
046° 10,2'	054° 06,5'
d = 31° 53,6' +	d = 19° 1,7' +

$$Ri = 68{,}232°$$

$$D_o = 5294{,}7 = 88°\ 14{,}7'$$

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \ \text{sen } D_o}$$

$$X = 06°\ 20{,}6'$$

$$Ri = 68°\ 23{,}2'$$

$$\hat{A} = 62°\ 02{,}6'$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \ \text{sen } d_1 + \cos a_1 \ \cos d_1 \ \cos \hat{A}$$

$$l = 41°\ 22{,}8'\ N$$

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 \ - \text{sen } d_1 \ \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$\Delta L = 048°\ \ 21{,}2'$$

$$Lp/ilum = 046°\ \ 10{,}2'$$

$$\Delta L = 048°\ \ 21{,}3'$$

$$L = 002°\ \ 11{,}1'\ E$$

Podemos observar que las tres situaciones obtenidas tienen las mismas coordenadas, lo que nos indica que el corte es perfecto, coincidiendo en un mismo punto.

9.5 SEGUNDO CASO: CUATRO OBSERVACIONES

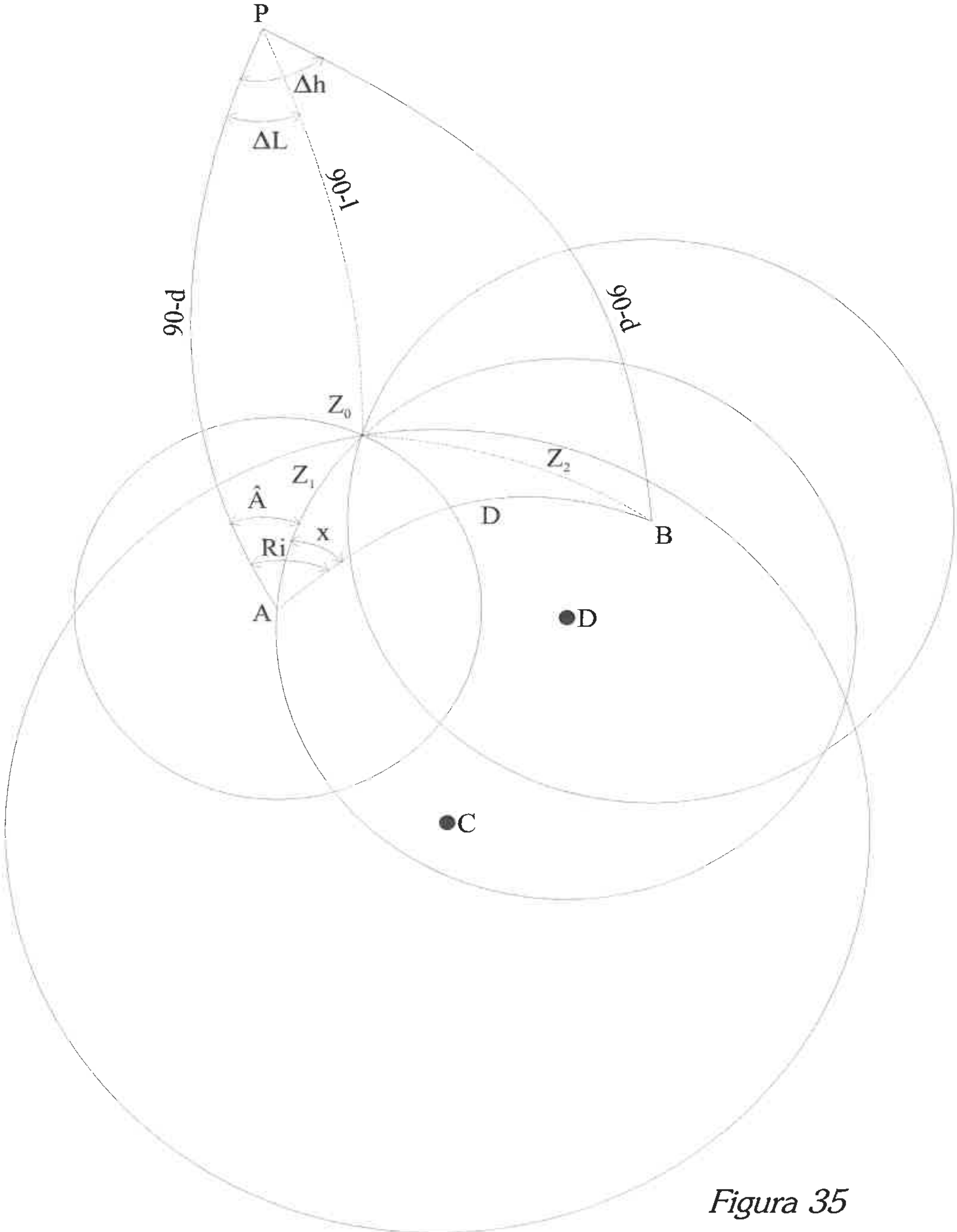


Figura 35

Al igual que en el caso anterior, podremos determinar la situación en función de dos astros, (A, B); (A, C); (A, D); (B, C); (B, D), indistintamente siguiendo la misma metodología.

Es evidente que si tratamos de encontrar la situación por la intersección de tres círculos de alturas, en función del ángulo paraláctico explicado anteriormente, nos encontraremos en el caso de que no coinciden las situaciones de los puntos de corte en tres posiciones próximas Z, Z_1 y Z_2 dando lugar a un triángulo esférico, en el caso de ser cuatro o más observaciones, nos determinaría un número de situaciones Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, ... Z_n.

Esto nos obliga a determinar un punto de situación único, que sea el más exacto posible.

Sabemos que en la resolución clásica, empleando rectas de altura y azimutes, obtenemos la situación final, empleando las bisectrices de altura o bien el punto Grebe.

Las diferencias que hemos obtenido en las distintas observaciones, serán consecuencia de los datos erróneos empleados y que básicamente son :

1º Errores en la situación de estima.

2º Errores en la observación (alturas).

3º Errores en el T.U.

Dado que el sistema que tratamos de desarrollar no depende de nuestra situación de estima, nuestros errores quedaron ligados a la situación de los polos de iluminación de los astros y a las distancias cenitales de los mismos.

Básicamente no debemos cometer errores en el T.U. en el momento de la observación, por lo que los errores serian consecuencia de la mala observación en la medición de las alturas.

Sabemos que los errores en la altura, pueden ser la suma de los errores accidentales y sistemáticos, y que el empleo de las bisectrices de altura eliminan estas últimas.

En el caso de efectuar cuatro observaciones procuraremos que sean observaciones óptimas las mismas, es decir azimutes opuestos dos a dos.

A continuación vamos a efectuar un estudio de la situacción desde un punto determinado de estima, y seguidamente por el método de círculos de altura, buscando el punto ideal de la situación, comprobando la diferencia entre ambos sistemas, al objeto de determinar las conclusiones comparativas de estos métodos.

9.6 SITUACIÓN EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO, Y COMPARACIÓN CON UNA SITUACIÓN VERDADERA, Y SISTEMAS CLÁSICOS

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U.= $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación verdadera, l = 41° 22.8' N y L = 002° 11.1' E.

Se observó:

a_v* Denebola = 53° 53' y simultáneamente a_v* Rasalhague = 31° 45.8'

DENEBOLA			RASALHAGUE		
hγG =	192°	22.8'	hγG =	203°	00.9'
c x m y s =	10°	09.2'	A.S. =	96°	17.9'
hγG / c =	203°	00.9'	h*G =	299°	18.8'
A.S. =	182°	46'	=	60°	41.2'
h*G =	285°	46.9'	d =	12°	33.7'
=	25°	46.9'			
d =	14°	35.1'			

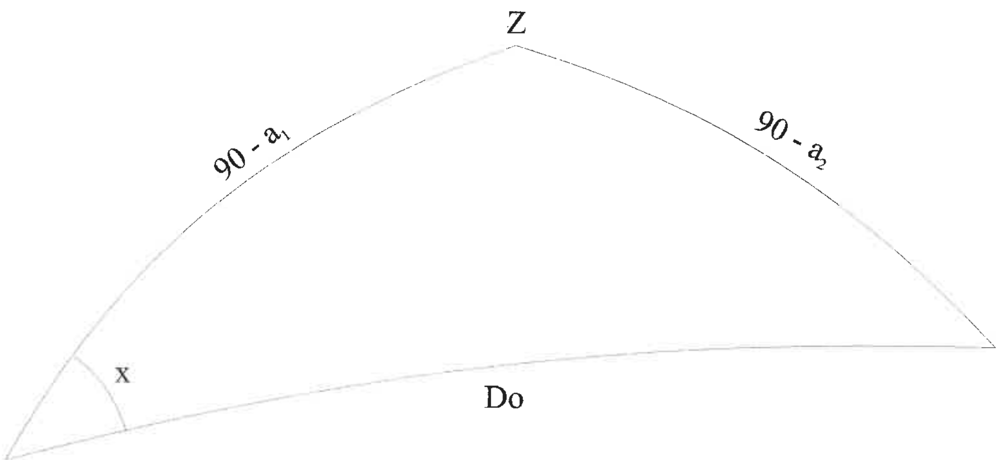
Calcularemos inicialmente el Ri y la D ortodrómica entre ambos puntos.

$$\text{cotg Ri} = \cos d \left(\frac{\text{tag } d'}{\text{sen}\Delta h} - \frac{\text{tag } d}{\text{tag } \Delta h} \right)$$

Ri = 78° 39.7'

D = 5010.9' = 87° 30.9'

A continuación calcularemos en función de las alturas y la Do, el ángulo opuesto en función de la fórmula.



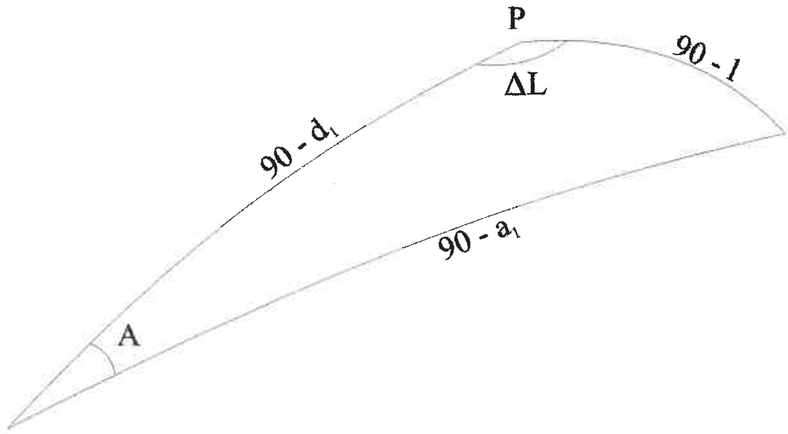
$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \ \cos Do + \cos a_1 \ \text{sen } Do \ \cos X$$

$$\cos x = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \ \cos Do}{\cos a_1 \ \text{sen } Do}$$

X = 42° 00.5'

Al ser X menor que el Ri, nos indica que la posición es interior al triángulo que forma con los astros.

Â = 78° 39.7' - 42° 00.5' = 36° 39.2'



Determinaremos la latitud de la fórmula:

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \ \text{sen } d_1 + \cos a_1 \ \cos d_1 \ \cos \hat{A}$$

$$l = 41^\circ\ 22.8'\ N$$

A continuación determinaremos el ΔL, del mismo triángulo, quedando:

$$\text{cotg } (90-a_1)\ \text{sen}(90-d_1) = \text{sen}(90-d_1)\cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A}\ \text{cotg } \Delta L$$

despejando:

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \ \cos d_1 - \text{sen } d_1 \ \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$\Delta L = 27^\circ\ 58'$$

$$L_1 = 25^\circ\ 46.9'$$

$$\Delta L = 27^\circ\ 58' \ -$$

$$L = 02^\circ\ 11.1'\ E$$

Coincidiendo exactamente con la situación verdadera.

A continuación vamos a obtener la situación por métodods clásicos, y nos apoyaremos en una situación próxima a la verdadera .

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 41°\ 11'$ N y $L_e = 002°\ 00'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG = 192° 51,7'	hγG = 192° 51,7'
c x m/s = 010° 09,2'	c x m/s = 010° 09,2'
hγG/c = 203° 00,9'	hγG/c = 203° 00,9'
L = 002° 00' E	L = 002° 00' E
hγL/c = 205° 00,9'	hγL/c = 205° 00,9'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*G = 387° 46,9'	h*G = 301° 18,8'
= 027° 46,9'	= 058° 41,2'
d = 14° 35,1' +	d = 12° 33,7'

Cálculo de las alturas estimadas y diferencias :

$$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$$

DENEBOLA	RASALHAGUE
$a_v = 53^\circ\ 53'$	$a_v = 31^\circ\ 45{,}8'$
$a_e = 54^\circ\ 07'$	$a_e = 31^\circ\ 40'$
$\Delta a = 14'\ -$	$\Delta a = 05{,}8'\ +$

Cálculo de los acimutes :

$$\text{cotg } Z = \text{tag } d \cos l \text{ cosec } P - \text{sen } l \text{ cotg } P$$

$Z_1 = S\ 51\ W$ $\quad\quad$ $Z_2 = S\ 78{,}5\ E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41^\circ\ 23'\ N \\ L_o = 002^\circ\ 11{,}1'\ E \end{cases}$$

Situación muy aproximada a la verdadera, con pequeñas diferencias de décimas de milla.

A continuación vamos a repetir el cálculo, variando nuevamente la situación de estima, con una diferencia de más de veinte millas.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 41°\ 00'$ N y $L_e = 001°\ 50'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA		RASALHAGUE	
hγG =	192° 51,7'	hγG =	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	c x m/s =	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	hγG/c =	203° 00,9'
L =	001° 50' E	L =	001° 50' E
hγL /c =	204° 50,9'	hγL /c =	204° 50,9'
A.S. =	182° 46'	A.S. =	096° 17,9'
h*L =	387° 36,9'	h*L =	301° 08,0'
	027° 36,9'		058° 51,2'
d =	14° 35,1' +	d =	12° 33,7' +

Cálculo de las alturas estimadas y diferencias:

```
sen a = sen l sen d + cos l cos d cos P
```

DENEBOLA	RASALHAGUE
$a_v = 53° \ 53'$	$a_v = 31° \ 45{,}8'$
$a_e = 54° \ 19{,}8'$	$a_e = 31° \ 34{,}9'$
$\Delta a = \quad 26{,}8'$ -	$\Delta a = \quad 10{,}9'$ +

Cálculo de los acimutes :

```
cotg Z = tag d cos l cosec P - sen l cotg P
```

$Z_1 = S\ 50\ W$ $\qquad$ $Z_2 = S\ 79\ E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \quad 23{,}2'\ N \\ L_o = 002° \ 10{,}8'\ E \end{cases}$$

Vamos nuevamente a repetir el cálculo desde una nueva situación de estima, más alejada de la verdadera.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 40°\ 22{,}8'$ N y $L_e = 001°\ 11{,}1'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG/c = 203° 00,9'	hγG/c = 203° 11,9'
L = 001° 11,1' E	L = 001° 11,1' E
hγL /c = 204° 12'	hγL /c = 204° 12'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*L = 386° 58'	h*L = 300° 29,9'
026° 58'	059° 30,1'
d = 14° 35,1' +	d = 12° 33,7' +

Cálculo de las alturas estimadas y diferencias:

$$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$$

DENEBOLA	RASALHAGUE
$a_v = 53° \ 53'$	$a_v = 31° \ 45{,}8'$
$a_e = 55° \ 06{,}3'$	$a_e = 31° \ 12{,}9'$
$\Delta a = 01° \ 13{,}3'$ -	$\Delta a =$ 32,9' +
73,3' -	

Cálculo de los acimutes :

```
cotg Z = tag d cos l cosec P - sen l cotg P
```

$Z_1 = S\ 50\ W$ $\qquad\qquad$ $Z_2 = S\ 79\ E$

$$\text{Corte} \left\{ \begin{array}{l} l_o = 41° \quad 23{,}3'\ N \\ L_o = 002° \ 10{,}6'\ E \end{array} \right.$$

A continuación vamos a repetir el cálculo, desde una situación que dista 98,8 millas de la verdadera.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 40° 00'$ N y $L_e = 001° 00'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

	DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG =	192° 51,7'	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	203° 00,9'
L =	001° 00' E	001° 00' E
hγL /c =	204° 50,9'	204° 00,9'
A.S. =	182° 46'	096° 17,9'
h*L =	386° 46,9'	300° 18,8'
	026° 46,9'	059° 41,2'
d =	14° 35,1' +	12° 33,7' +

Cálculo de las alturas estimadas y diferencias:

$$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$$

DENEBOLA	RASALHAGUE
$a_v = 53° \; 53'$	$a_v = 31° \; 45{,}8'$
$a_e = 55° \; 27{,}4'$	$a_e = 31° \; 08{,}6'$
$\Delta a = \quad 94{,}4' -$	$\Delta a = \quad 37{,}2' +$

Cálculo de los acimutes :

$$\text{cotg } Z = \text{tag } d \cos l \text{ cosec } P - \text{sen } l \text{ cotg } P$$

$Z_1 = S \; 48{,}5 \; W$ $\qquad$ $Z_2 = S \; 80{,}5 \; E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \quad 23{,}4' \; N \\ L_o = 002° \;\; 09' \; E \end{cases}$$

Vamos a repetir los cálculos anteriores, empleando para el corte la tangente Marcq y el determinante Johnson.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 41°\ 11'$ N y $L_e = 002°\ 11'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA		RASALHAGUE	
hγG =	192° 51,7'	hγG =	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	c x m/s =	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	hγG/c =	203° 00,9'
L =	002° 00' E	A.S. =	096° 17,9'
hγL/c =	205° 00,9'	h*G =	299° 18,8'
A.S. =	182° 46'	d =	12° 33,7' +
h*G =	387° 46,9'		
=	027° 46,9'		
d =	14° 35,1' +		

DENEBOLA RASALHAGUE

$a_v = 53° \; 53'$ $a_v = 31° \; 45{,}8'$

$a_e = 54° \; 07'$

$\Delta a = 14' -$

$Z_1 = S \, 51 \, W$

$$\cos P = \operatorname{sen} a \sec l \sec d - \operatorname{tag} l \operatorname{tag} d$$

$P_E = 58° \; 33{,}4' = 301° \; 26{,}6'$

$= 299° \; 08{,}8'$

$L = 002° \; 07{,}8'$

$Z = S78{,}5E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \; 22{,}8' \, N \\ L_o = 002° \; 11{,}3' \, E \end{cases}$$

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 41°\ 00'$ N y $L_e = 001°\ 50'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA		RASALHAGUE	
hγG =	192° 51,7'	hγG =	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	c x m/s =	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	hγG/c =	203° 00,9'
L =	001° 50' E	A.S. =	096° 17,9'
hγL /c =	204° 50,9'	h*G =	299° 18,8'
A.S. =	182° 46'	d =	12° 33,7' +
h*L =	387° 36,9'		
	027° 36,9'		
d =	14° 35,1' +		

DENEBOLA RASALHAGUE

$a_v = 53° \; 53'$ $a_v = 31° \; 45{,}8'$

$a_e = 54° \; 19{,}8'$

$\Delta a = 26{,}8' -$

$Z_1 = S \, 50 \, W$

$$\cos P = \text{sen } a \sec l \sec d - \text{tag } l \text{ tag } d$$

$P_E = 58° \; 36{,}4' = 301° \; 23{,}6'$

$= 299° \; 18{,}8'$

$L = 002° \; 04{,}8'$

$Z = S79E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \; 22{,}9' \, N \\ L_o = 002° \; 10{,}8' \, E \end{cases}$$

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 40°\ 22{,}8'$ N y $L_e = 001°\ 11{,}1'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG/c = 203° 00,9'	hγG = 192° 51,7'
L = 001° 11,1' E	c x m/s = 010° 09,2'
hγL /c = 204° 12'	hγG/c = 203° 00,9'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*L = 386° 58'	h*G = 299° 18,8'
026° 58'	d = 12° 33,7' +
d = 14° 35,1' +	

DENEBOLA | RASALHAGUE

$a_v = 53° \ 53'$ | $a_v = 31° \ 45{,}8'$

$a_e = 55° \ 06{,}3'$

$\Delta a = 01° \ 13{,}3'$ -

$73{,}3'$ -

$Z_1 = S\ 50\ W$

$\cos P = \text{sen } a \sec l \sec d - \text{tag } l \text{ tag } d$

$P_E = 58° \ 46{,}1' = 301° \ 13{,}9'$

$= 299° \ 18{,}8'$

$L = 001° \ 55{,}1'$

$Z = S79E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \ 23{,}5'\ N \\ L_o = 002° \ 10{,}6'\ E \end{cases}$$

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 40°\ 00'$ N y $L_e = 001°\ 00'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA		RASALHAGUE	
hγG =	192° 51,7'	hγG =	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	c x m/s =	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	hγG/c =	203° 00,9'
L =	001° 00' E	A.S. =	096° 17,9'
hγL /c =	204° 50,9'	h*G =	299° 18,8'
A.S. =	182° 46'	d =	12° 33,7' +
h*L =	386° 46,9'		
	026° 46,9'		
d =	14° 35,1' +		

DENEBOLA RASALHAGUE

$a_v = 53° \ 53'$ $a_v = 31° \ 45{,}8'$

$a_e = 55° \ 27{,}4'$

$\Delta a = \quad 94{,}4'$ -

$Z_1 = S \ 48{,}5 \ W$

cos P = sen a sec l sec d - tag l tag d

$P_E = 58° \ 51{,}9' = 301° \ 08{,}1'$

$= 299° \ 18{,}8'$

$L = 001° \ 49{,}3'$

$Z = S80{,}5E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \ 27{,}5' \ N \\ L_o = 002° \ 04{,}0' \ E \end{cases}$$

9.7 COMPARACIÓN DIFERENTES MÉTODOS

	1	2	3	4	5
VERDADERA	l=41°22,8'N	41°23,0'N	41°23,2'N	41°23,3'N	41°23,4'N
	L=02°11,1'E	02°11,1'E	02°10,8'E	02°10,6'E	02°09,0'E
VERDADERA	l=41°22,8'N	41°22,8'N	41°22,9'N	41°23,5'N	41°27,5'N
	L=02°11,1'E	02°11,3'E	02°11,0'E	02°10,6'E	02°04,0'E

Como podemos observar en la primera linea, al emplear el método del ángulo paraláctico (1), la situación observada se corresponde con la verdadera, sin embargo, en las 2, 3, 4, y 5, empleando dos tangentes Marq, que corresponden a diferentes puntos de estima en la misma observación, aparecen diferencias con el sistema del ángulo paraláctico y la situación verdadera.

En la segunda línea, el sistema empleado ha sido el de obtener las situaciones por Johnson y Marq, apoyándonos en los mismos puntos de estima anteriores obteniendo diferencias más acentuadas.

La razón de estas diferencias , es debida a que en los casos de trabajar con rectas de altura, tanto sean tangentes Marcq o Johnson, se introducen errores al sustituir arcos de círculo máximo por líneas loxodrómicas - caso de los azimutes, sobre los que medimos las diferencias de altura, y también al sustituir tangentes o secantes a ellas.

Error que será tanto mayor, cuanto mayor sea la diferencia de alturas, así como cuanto más alejada esté la situación de los puntos de tangencia de las rectas de altura, con los correspondientes círculos de alturas iguales, error que prácticamente no existe cuando el punto de estima empleado en el cálculo se encuentra cerca de la posición real del buque.

Como se demuestra en el ejemplo que sigue, en el que se ha tomado como situación estimada la situación más errónea de las obtenidas por tangentes Marcq.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 41°\ 23{,}4'$ N y $L_e = 002°\ 09{,}0'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG = 192° 51,7'	hγG = 192° 51,7'
c x m/s = 010° 09,2'	c x m/s = 010° 09,2'
hγG/c = 203° 00,9'	hγG/c = 203° 00,9'
L = 002° 09' E	L = 002° 09' E
hγL/c = 205° 09,9'	hγL/c = 205° 09,9'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*G = 387° 55,9'	h*G = 301° 27,8'
= 027° 55,9'	= 058° 32,2'
d = 14° 35,1' +	d = 12° 33,7'

Cálculo de las alturas estimadas y diferencias :

$$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$$

DENEBOLA	RASALHAGUE
$a_v = 53° \ 53'$	$a_v = 31° \ 45{,}8'$
$a_e = 53° \ 53{,}9'$	$a_e = 31° \ 44{,}1'$
$\Delta a = \quad 0{,}9' \ -$	$\Delta a = \quad 01{,}7' \ +$

Cálculo de los acimutes :

$$\text{cotg } Z = \text{tag } d \cos l \text{ cosec } P - \text{sen } l \text{ cotg } P$$

$Z_1 = S\ 50\ W$ $\qquad$ $Z_2 = S\ 79\ E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \quad 22{,}8'\ N \\ L_o = 002° \ 11{,}1'\ E \end{cases}$$

10.- DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN POR ÁNGULO PARALÁCTICO. COMPARACIÓN DE LA SITUACIÓN OBTENIDA CON LA VERDADERA AL INTRODUCIR UN ERROR SISTEMÁTICO EN LAS DOS OBSERVACIONES (PARALÁCTICO Y TANGENTES MARCQ)

10.1 SOLUCIÓN CON ERROR EN LAS DOS OBSERVACIONES

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 40^m\ 30^s$ en situación de estima:

$l_e = 40°\ 22{,}8'$ N y $L_e = 002°\ 11{,}1'$ E

observamos simultáneamente:

a_v * Denebola = 53° 55' y a_v * Rasalhague = 31° 47,8'.

DENEBOLA		RASALHAGUE	
hγG =	192° 51,7'	hγG =	192° 51,7'
c x m/s =	010° 09,2'	c x m/s =	010° 09,2'
hγG/c =	203° 00,9'	hγG/c =	203° 00,9'
A.S. =	182° 46'	A.S. =	096° 17,9'
h*G =	385° 46,9'	h*G =	299° 18,8'
L =	002° 11,1' E	L =	002° 11,1' E
hγL /c =	387° 58'	hγL /c =	301° 29,9'
	027° 58'		058° 30,1'

DENEBOLA	RASALHAGUE
$d = +14° \; 35{,}1'$	$d = +\,12° \; 33{,}7'$

sen a = sen l sen d + cos l cos d cos P

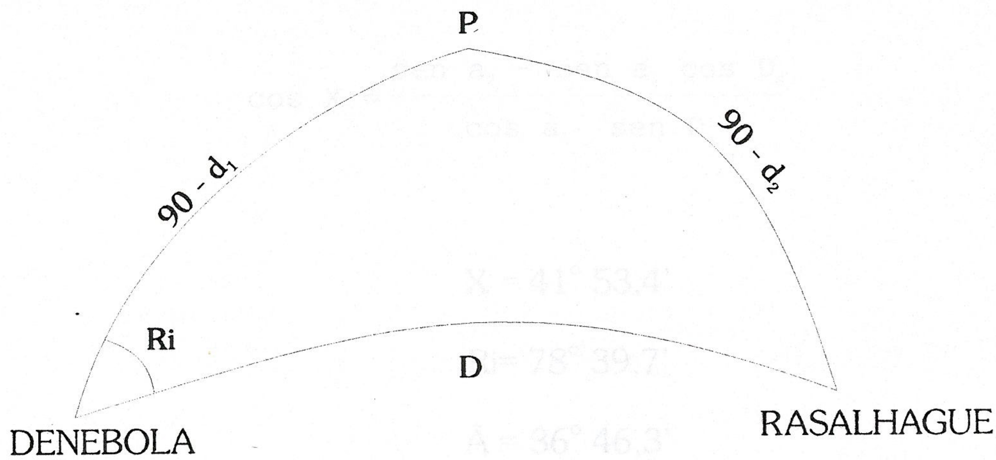
$a_v = 53° \; 55'$	$a_v = 31° \; 47{,}8'$
$a_e = 53° \; 53'$	$a_e = 31° \; 45{,}8'$
$\Delta a = \quad 02'+$	$\Delta a = \quad 02' +$

cotg Z = tag d cos l cosec P - sen l cotg P

$Z_1 = S\ 51\ W$ $\qquad$ $Z_2 = S\ 78{,}5\ E$

$$\text{Corte} \begin{cases} l_o = 41° \quad 18{,}3'\ N \\ L_o = 002° \; 12{,}6'\ E \end{cases}$$

EJEMPLO CON ÁNGULO PARALÁCTICO

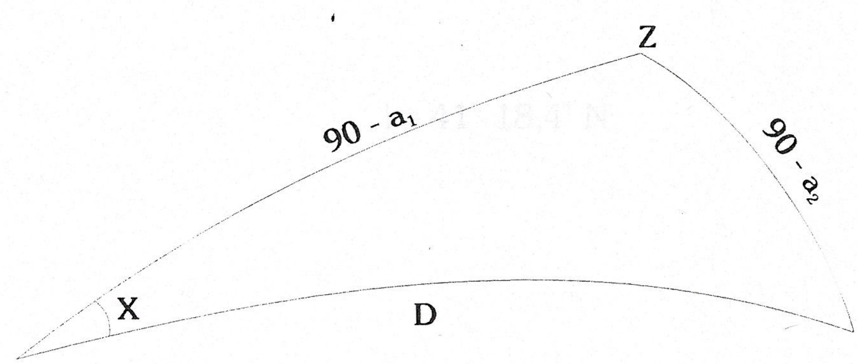


h*G =	25°	46,9'	h*G =	299°	18,8'
d =	14°	35,1' +	h_E =	060°	41,2'
			d =	12°	33,7' +

$$\text{cotg Ri} = \cos d \left(\frac{\text{tag } d'}{\text{sen } \Delta h} - \frac{\text{tag } d}{\text{tag } \Delta h} \right)$$

Ri = 78° 39,7'

D = 5010,9 = 83° 30,9'



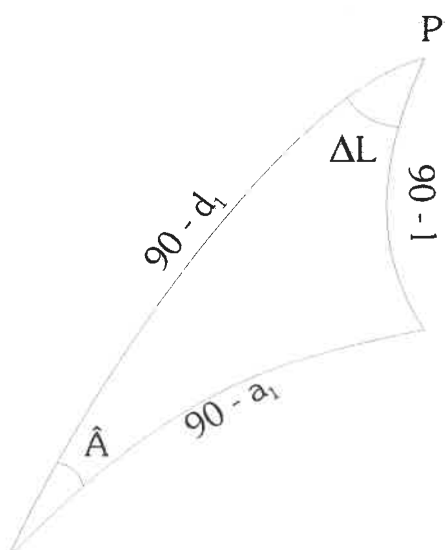
$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \ \cos D_o + \cos a_1 \ \text{sen } D_o \ \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \ \text{sen } D_o}$$

X = 41° 53,4'

Ri= 78° 39,7'

Â = 36° 46,3'



$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \ \text{sen } d_1 + \cos a_1 \ \cos d_1 \ \cos \hat{A}$$

l = 41° 18,4' N

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$\Delta L = 027° \; 59{,}5'$$

$$h^*G = 025° \; 46{,}9'$$

$$L = 002° \; 12{,}6' \; E$$

Podemos observar que esta situación coincide con la de la obtenida por las dos rectas Marq, estando la situación en la bisectriz de alturas.

10.2 SOLUCIÓN CON ERROR EN TRES OBSERVACIONES

El día 8 de Marzo de 1997, al ser T.U. = 23^h 32^m 18^s, se observó simultáneamente, estando fondeado en situación verdadera l = 41° 22,8' N y L = 002° 11,1' E, a_V CAPELLA = 32° 44,8', a_v CASTOR = 50° 37,3' y a_v ARCTURUS = 40° 54,2'. (Error sistemático introducido 2' + en las alturas)

Se pide situación por bisectrices.

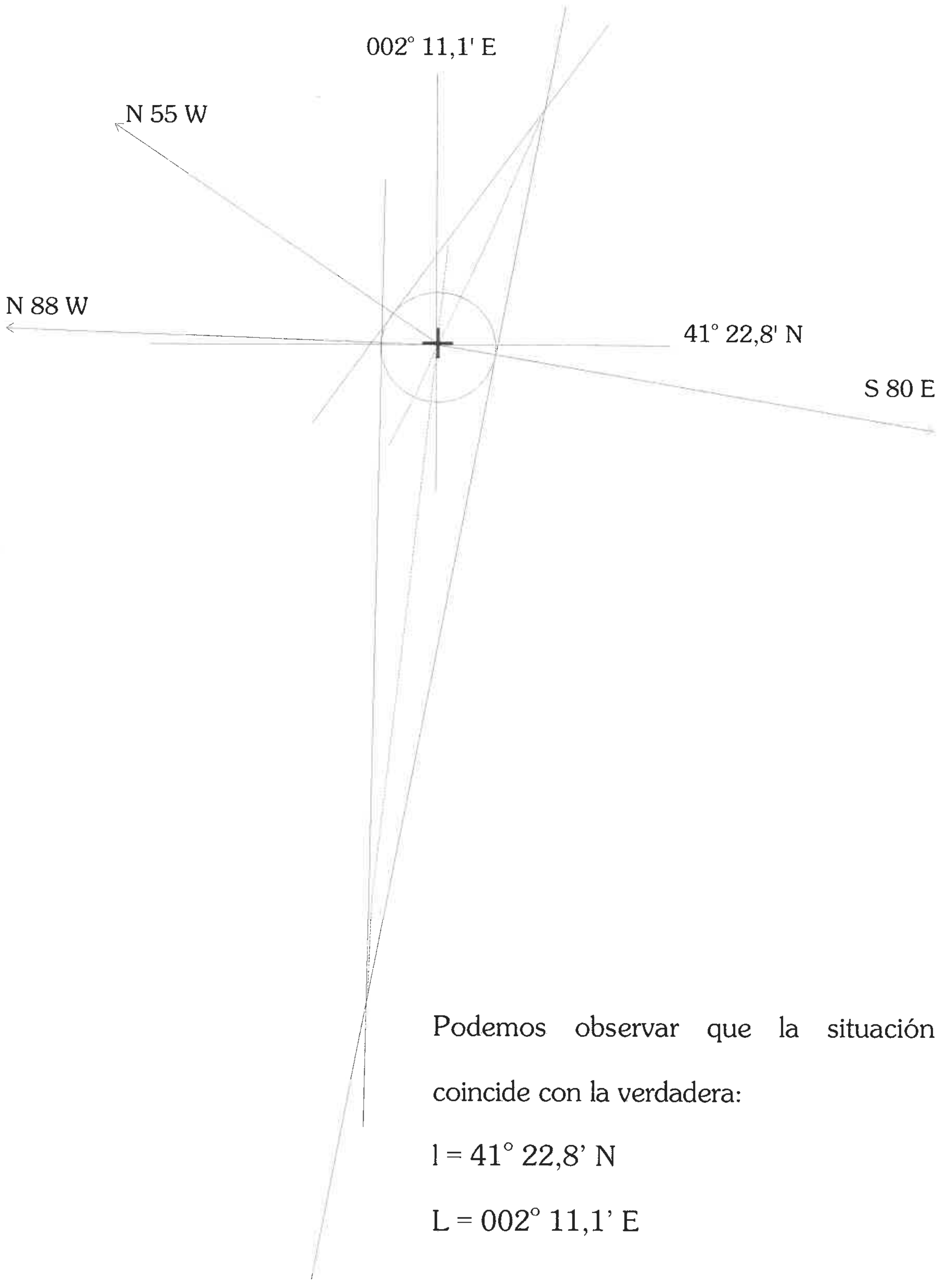
	CAPELLA	CASTOR	ARCTURUS
hγG=	151° 40,9'	151° 40,9'	151° 40,9'
c x m/s =	008° 05,8'	008° 05,8'	008° 05,8'
hγG /c =	159° 46,7'	159° 46,7'	159° 46,7'
A.S. =	280° 52,8'	246° 23,5'	146° 06,8'
h*G/c =	440° 39,5'	406° 10,2'	305° 53,5'
L =	002° 11,0' E	002° 11,0' E	002° 11,0' E
h*L =	442° 50,5'	408° 21,2'	308° 04,5'
	082° 50,5'	048° 10,2'	051° 55,5'
d =	45° 59,7' +	31° 53,6' +	19° 1,7' +

$$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$$

CAPELLA	CASTOR	ARCTURUS
$a_v = 32° \; 44{,}8'$	$a_v = 50° \; 37{,}3'$	$a_v = 40° \; 54{,}2'$
$a_e = 32° \; 42{,}8'$	$a_e = 50° \; 35{,}3'$	$a_e = 40° \; 52{,}2'$
$\Delta a = \quad 02' \, +$	$\Delta a = \quad 02' \, +$	$\Delta a = \quad 02' \, +$

$$\text{cotg } Z = \text{tag } d \cos l \text{ cosec } l - \text{sen } l \text{ cotg } P$$

CAPELLA	CASTOR	ARCTURUS
Z_v = N 55 W	Z_v = N 88 W	Z_v = S 80 E



Podemos observar que la situación coincide con la verdadera:

l = 41° 22,8' N

L = 002° 11,1' E

10.3 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN POR TRES ASTROS OBSERVADOS SIMULTÁNEAMENTE, EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO DE LOS MISMOS

El día 8 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $23^h\ 32^m\ 18^s$, se observó simultáneamente, estando fondeado en situación verdadera l = 41° 22,8' N y L = 002° 11,1' E, a_v CAPELLA = 32° 44,8', a_v CASTOR = 50° 37,3' y a_v ARCTURUS = 40° 54,2'. (Error sistemático introducido 2' + en las alturas)

CAPELLA CON CASTOR

hγG= 151° 40,9'	hγG= 151° 40,9'
c x m/s = 008° 05,8'	c x m/s = 008° 05,8'
hγG /c = 159° 46,7'	hγG /c = 159° 46,7'
A.S. = 280° 52,8'	A.S. = 246° 23,5'
h*G = 440° 39,5'	h*G = 406° 10,2'
080° 39,5'	046° 10,2'
d = 45° 59,7' +	d = 31° 53,6' +

D_o = 1798,8 = 29º 58,8'

Ri = 105,498°

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

$X = 43° \ 35{,}2'$

$Ri = 105° \ 49{,}8'$

$\hat{A} = 62° \ 14{,}6'$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_1 \cos d_1 \cos \hat{A}$$

$l = 41° \ 23{,}5' \ N$

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$\Delta L = 82° \quad 47{,}9'$

$Lp/ilum = 080° \ \ 39{,}5'$

$\Delta L = 082° \ \ 47{,}9'$

$L = 002° \ \ 08{,}4' \ E$

CAPELLA CON ARCTURUS

$h\gamma G\ /c = 159^\circ\ 46{,}7'$		$h\gamma G\ /c = 159^\circ\ 46{,}7'$	
$A.S. = 280^\circ\ 52{,}8'$		$A.S. = 146^\circ\ 06{,}8'$	
$h^*G = 440^\circ\ 39{,}5'$		$h^*G = 305^\circ\ 53{,}5'$	
$080^\circ\ 39{,}5'$		$054^\circ\ 06{,}5'$	
$d = 45^\circ\ 59{,}7' +$		$d = 19^\circ\ 1{,}7' +$	

$$D_o = 61821 = 103^\circ\ 02{,}1'$$

$$Ri = 43{,}295^\circ$$

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

$$X = 18^\circ\ 31{,}3'$$

$$Ri = 43^\circ\ 29{,}5'$$

$$\hat{A} = 62^\circ\ 00{,}8'$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_1 \cos d_1 \cos \hat{A}$$

$$l = 41^\circ\ 33{,}0'\ N$$

$$\cot (90-a_1) \operatorname{sen} (90-d_1) = \operatorname{sen} (90-d_1) \cos \hat{A} + \operatorname{sen} \hat{A} \cot \Delta L$$

$$\cot \Delta L = \frac{\tan a_1 \cos d_1 - \operatorname{sen} d_1 \cos \hat{A}}{\operatorname{sen} \hat{A}}$$

ΔL = 082° 55,5'

h*G = 080° 39,5'

ΔL = 082° 56,8'

L = 002° 17,3' E

CASTOR CON ARCTURUS

hγG /c =	159° 46,7'	hγG /c =	159° 46,7'
A.S. =	246° 23,5'	A.S. =	146° 06,8'
h*G =	406° 10,2'	h*G =	305° 53,5'
	046° 10,2'		054° 06,5'
d =	31° 53,6' +	d =	19° 1,7' +

$$Ri = 68{,}232°$$

$$D_o = 5294{,}7 = 88° \; 14{,}7'$$

$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \cos D_o + \cos a_1 \text{ sen } D_o \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

$$X = 05° \; 36{,}1'$$

$$Ri = 68° \; 23{,}2'$$

$$\hat{A} = 62° \; 47{,}1'$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_1 \cos d_1 \cos \hat{A}$$

$$l = 40° \; 54{,}0' \text{ N}$$

$$\text{cotg } (90-a_1) \text{ sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \text{ cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

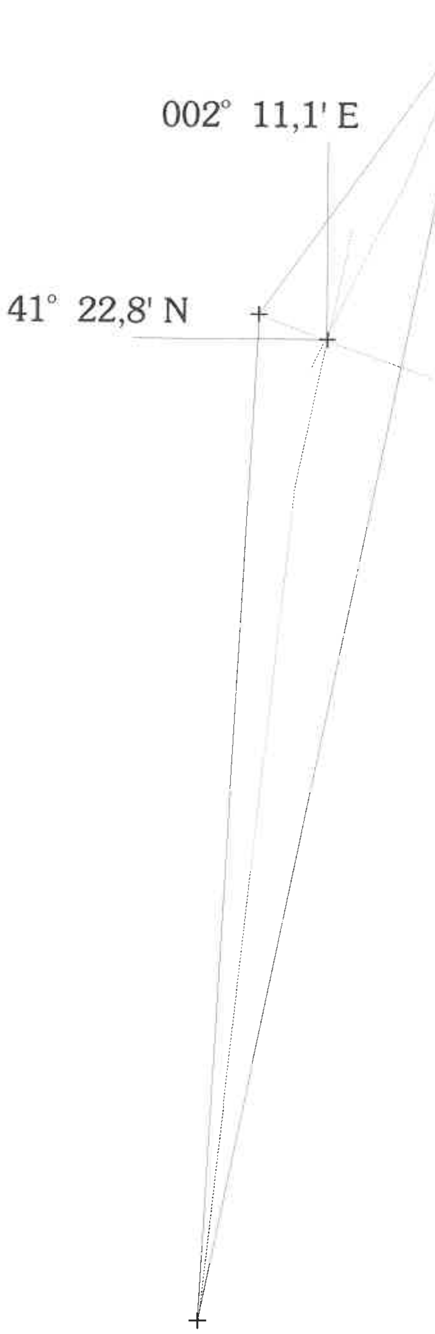
$$\Delta L = 048° \; 16{,}9'$$

$$Lp/ilum = 046° \; 10{,}2'$$

$$\Delta L = 048° \; 17'$$

$$L = 002° \; 06{,}8' \text{ E}$$

SITUACIÓN DE LOS TRES PUNTOS DE SITUACIÓN Y SOLUCIÓN POR BISECTRICES



Como podemos observar la situación obtenida corresponde, previa solución por bisectrices, a la verdadera.

10.4 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS MÉTODOS CLÁSICOS, Y POR ÁNGULO PARALÁCTICO, AL INTRODUCIR UN ERROR EN EL T.U.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 41^m\ 02^s$, se observó simultáneamente, estando fondeado en situación l = 41° 22,8' N y L = 002° 11,1' E :

a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

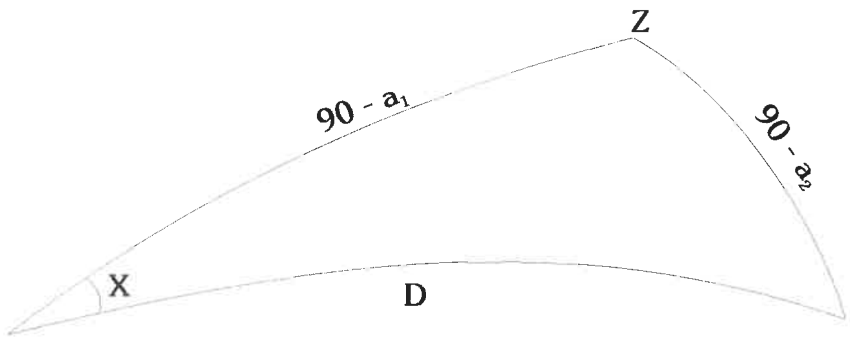
DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG/c = 203° 08,9'	hγG/c = 203° 08,9'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*G/c = 385° 54,9'	h*G/c = 299° 26,8'
025° 54,9'	60° 33,2'
d = 14° 35,1' +	d = 12° 33,7' +

$$\cot g\ Ri = \cos d' \left(\frac{\tan g\ d'}{\operatorname{sen} \Delta h} - \frac{\tan g\ d}{\tan g\ \Delta h} \right)$$

$$\cos D = \operatorname{sen} d \operatorname{sen} d' + \operatorname{sen} d \cos d' \cos \Delta h$$

$Ri = 078{,}397°$

$D_o = 5010{,}9' \quad = 83°\ 30{,}9'$



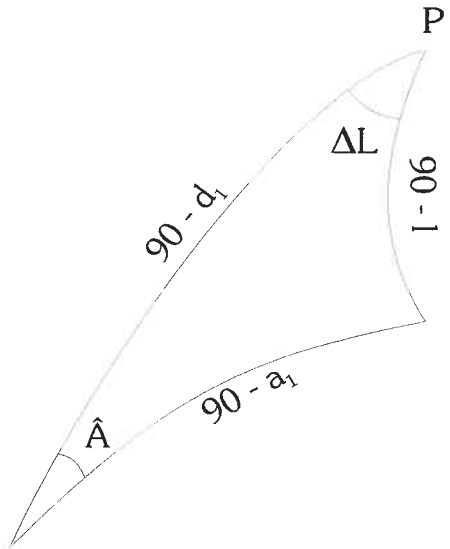
$$\text{sen } a_2 = \text{sen } a_1 \ \cos D_o + \cos a_1 \ \text{sen } D_o \ \cos X$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \ \text{sen } D_o}$$

$X = 42°\ 00{,}5'$

$Ri = 78°\ 39{,}7'$

$\hat{A} = 36°\ 39{,}2'$



$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \ \text{sen } d_1 + \cos a_1 \ \cos d_1 \ \cos \hat{A}$$

$$l = 41° \ 22{,}4' \ N$$

$$\text{cotg } (90-a_1) \ \text{sen } (90-d_1) = \text{sen } (90-d_1) \cos \hat{A} + \text{sen } \hat{A} \ \text{cotg } \Delta L$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$Lp/ilum = 025° \ 54{,}9'$$

$$\Delta L = 027° \ 58'$$

$$L = 002° \ 03{,}1' \ E$$

$$Lv = 002° \ 11{,}1' \ E$$

$$L = 002° \ 03{,}1' \ E$$

$$\Delta L = 08' \ W$$

Error introducido $32^s : 4 = 8'$ en Longitud

Afectado a la situación con un desplazamiento de la longitud, al igual que en las rectas de altura.

El día 5 de Marzo de 1997, al ser T.U. = $02^h\ 41^m\ 02^s$, se observó simultáneamente, estando en situación l = 41° 11' N y L = 002° 00' E :
a_v * Denebola = 53° 53' y a_v * Rasalhague = 31° 45,8'.

DENEBOLA	RASALHAGUE
hγG = 192° 51,7'	hγG = 192° 51,7'
c x m/s = 010° 17,2'	c x m/s = 010° 17,2'
hγG/c = 203° 08,9'	hγG/c = 203° 08,9'
L = 002° 00' E	L = 002° 00' E
hγL/c = 205° 08,9'	hγL/c = 205° 08,9'
A.S. = 182° 46'	A.S. = 096° 17,9'
h*L = 387° 54,9'	h*L = 301° 26,8'
= 027° 54,9'	= 058° 33,2'
l = 41° 11' N	l = 41° 11' N
d = 14° 35,1'	d = 12° 33,7'
h_W = 27° 54,9'	h_E = 58° 33,2'

$\text{sen } a = \text{sen } l \text{ sen } d + \cos l \cos d \cos P$

DENEBOLA		RASALHAGUE	
$a_v = 53° \; 53'$		$a_v = 31° \; 45{,}8'$	
$a_e = 54° \; 02{,}3'$		$a_e = 31° \; 45{,}8'$	
$\Delta a =$	$09{,}3'$ -	$\Delta a =$	$00{,}0'$

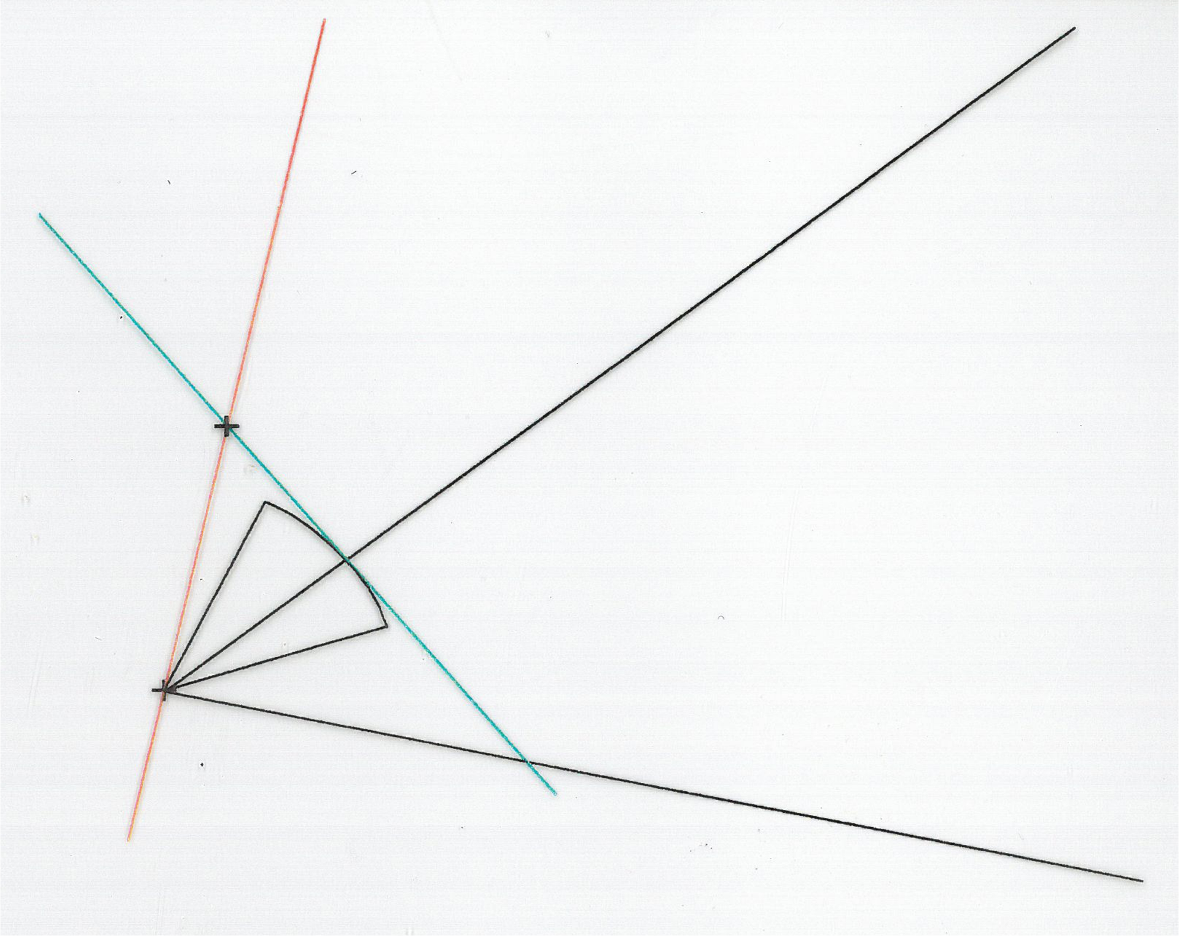
$p' = 0{,}55 +$

$p'' = 1{,}66 -$

$p = 1{,}11 -$

Z = S 51 W

Z = S 78 E



l = 41° 11’ N L = 002° 00,0’ E

Δl = 12’ ΔL = 03,1’

l = 41° 23’ N L = 002° 03,1’ E

L’ = 002° 03,1’ E

L = 002° 11,1’ E

ΔL = 08’ W

10.5 DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN POR CUATRO ASTROS OBSERVADOS SIMULTÁNEAMENTE, COMBINÁNDOLOS EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO PARALÁCTICO DE LOS MISMOS. CALCULANDO FINALMENTE EL PUNTO APROXIMADO POR MÍNIMOS CUADRADOS.

El día 8 de Marzo de 1997.

Al ser T.U. = $23^h\,32^m\,18^s$ se observó a_v CAPELLA = 32° 42,8'

Al ser T.U. = $23^h\,32^m\,48^s$ se observó a_v ARCTURUS = 40° 55,4'

Al ser T.U. = $23^h\,33^m\,03^s$ se observó a_v REGULUS = 59° 17,9'

Al ser T.U. = $23^h\,33^m\,17^s$ se observó a_v DUBHE = 69° 31,7'

Determinar la situación en función del ángulo paraláctico y finalmente el punto aproximado por mínimos cuadrados.

SOLUCIÓN

Determinaremos en primer lugar todas las posibles combinaciones de los astros, dos a dos.

Es evidente que si todas las observaciones fueran correctas, todas las soluciones coincidirían en el mismo lugar, caso totalmente imposible en primer lugar por haber unas diferencias en los T.U., aunque para efectos de cálculo consideraremos simultáneas las observaciones.

FÓRMULAS A EMPLEAR

$$\text{cotg Ri} = \cos d_1 \left(\frac{\text{tag } d_2}{\text{sen } \Delta h} - \frac{\text{tag } d_1}{\text{tag } \Delta h} \right)$$

$$\cos \text{Do} = \text{sen } d_1 \text{ sen } d_2 + \cos d_1 \cos d_2 \cos \Delta L$$

$$\cos X = \frac{\text{sen } a_2 - \text{sen } a_1 \cos D_o}{\cos a_1 \text{ sen } D_o}$$

$$\hat{A} = R_i - X$$

$$\text{sen } l = \text{sen } a_1 \text{ sen } d_1 + \cos a_2 \cos d_2 \cos \hat{A}$$

$$\text{cotg } \Delta L = \frac{\text{tag } a_1 \cos d_1 - \text{sen } d_1 \cos \hat{A}}{\text{sen } \hat{A}}$$

$$L = h{*}G - \Delta L$$

siendo h*G = Longitud del polo de iluminación del astro

CAPELLA CON ARCTURUS

$h^*G_2 = 53° \ 58{,}9'$ E	$D_o = 102° \ 58{,}5'$
$h^*G_1 = 80° \ 39{,}5'$ W	$R_i = 43° \ 35{,}8'$
$\Delta L = 134° \ 38{,}4'$ E	$X = 18° \ 45{,}0'$
$d_1 = 45° \ 59{,}7'$ N	$A = 62° \ 20{,}8'$
$d_2 = 19° \ 11{,}7'$ N	$l = 41° \ 18{,}1'$ N
$a_1 = 32° \ 42{,}8'$	L p/ilum= $80° \ 39{,}5'$ W
$a_2 = 40° \ 55{,}4'$	$\Delta L = 82° \ 46{,}1'$
	$L_o = 02° \ 06{,}6'$ E

$$\boxed{\begin{array}{c} l = 41° \ 18{,}1' \text{ N} \\ L = 002° \ 06{,}6' \text{ E} \end{array}}$$

CAPELLA CON REGULUS

$h^*G_2 = 7° \ 54{,}4'$ W	$D_o = 69° \ 27{,}9'$
$h^*G_1 = 80° \ 39{,}5'$ W	$R_i = 93° \ 56{,}8'$
$\Delta L = 72° \ 45{,}1'$ E	$X = 31° \ 42{,}9'$
$d_1 = 45° \ 59{,}7'$ N	$A = 62° \ 13{,}9'$
$d_2 = 11° \ 58{,}7'$ N	$l = 41° \ 22{,}8'$ N
$a_1 = 32° \ 42{,}8'$	$Lp/ilum = 80° \ 39{,}5'$ W
$a_2 = 59° \ 17{,}9'$	$\Delta L = 82° \ 50{,}5'$
	$L_o = 02° \ 11{,}0'$ E

$$\boxed{\begin{array}{c} l = 41° \ 22{,}8' \text{ N} \\ L = 002° \ 11{,}0' \text{ E} \end{array}}$$

CAPELLA CON DUBHE

$h^*G_2 = 5° \ 52{,}3' \ E$	$D_o = 49° \ 11{,}2'$
$h^*G_1 = 80° \ 39{,}5' \ W$	$R_i = 38° \ 36{,}2'$
$\Delta L = 86° \ 31{,}8' \ E$	$X = 23° \ 34{,}9'$
$d_1 = 45° \ 59{,}7' \ N$	$A = 62° \ 11{,}1'$
$d_2 = 61° \ 45{,}9' \ N$	$l = 41° \ 24{,}8' \ N$
$a_1 = 32° \ 42{,}8'$	$Lp/ilum = 80° \ 39{,}5' \ W$
$a_2 = 69° \ 31{,}7'$	$\Delta L = 82° \ 52{,}3'$
	$L_o = 02° \ 12{,}8' \ E$

$$\boxed{\begin{array}{l} l = 41° \ 24{,}8' \ N \\ L = 002° \ 12{,}8' \ E \end{array}}$$

ARCTURUS CON REGULUS

$h^*G_2 = 7° \ 54{,}4'$ W

$h^*G_1 = 53° \ 58{,}9'$ E

$\Delta L = 61° \ 53{,}3'$ W

$d_1 = 19° \ 11{,}7'$ N

$d_2 = 11° \ 58{,}7'$ N

$a_1 = 40° \ 55{,}4'$

$a_2 = 59° \ 17{,}9'$

$D_o = 59° \ 45{,}9'$

$R_i = 87° \ 03{,}0'$

$X = 35° \ 43{,}3'$

$A = 51° \ 19{,}7'$

$l = 41° \ 23{,}7'$ N

Lp/ilum $= 53° \ 58{,}9'$ E

$\Delta L = 51° \ 50{,}9'$

$L_o = 02° \ 08{,}0'$ E

$$\boxed{\begin{array}{l} l = 41° \ 23{,}7' \text{ N} \\ L = 002° \ 08{,}0' \text{ E} \end{array}}$$

ARCTURUS CON DUBHE

$h^*G_2 = 5° \ 52,3'$ E	$D_o = 53° \ 59,2'$
$h^*G_1 = 53° \ 58,9'$ E	$R_i = 25° \ 48,6'$
$\Delta L = 48° \ 06,6'$ W	$X = 25° \ 29,3'$
$d_1 = 19° \ 11,7'$ N	$A = 51° \ 19,7'$
$d_2 = 61° \ 45,9'$ N	$l = 41° \ 25,1'$ N
$a_1 = 40° \ 55,4'$	L p/ilum= $53° \ 58,9'$ E
$a_2 = 69° \ 31,7'$	$\Delta L = 51° \ 50,6'$
	$L_o = 02° \ 08,3'$ E

$l = 41° \ 25,1'$ N

$L = 002° \ 08,3'$ E

REGULUS CON DUBHE

$h^*G_2 = 5° \ 52{,}3'$ E	$D_o = 50° \ 46{,}7'$
$h^*G_1 = 7° \ 54{,}4'$ W	$R_i = 8° \ 21{,}7'$
$\Delta L = 13° \ 46{,}7'$ E	$X = 6° \ 18{,}0'$
$d_1 = 11° \ 58{,}7'$ N	$A = 14° \ 39{,}7'$
$d_2 = 61° \ 45{,}9'$ N	$l = 41° \ 25{,}5'$ N
$a_1 = 59° \ 17{,}9'$	Lp/ilum $= 7° \ 54{,}4'$ W
$a_2 = 69° \ 31{,}7'$	$\Delta L = 9° \ 55{,}5'$
	$L_o = 02° \ 01{,}1'$ E

$l = 41° \ 25{,}5'$ N

$L = 002° \ 01{,}1'$ E

Situaciones obtenidas :

l =	41° 18,1' N	41° 22,8' N	41° 24,8' N
L =	002° 06,6' E	002° 11,0' E	002° 12,8' E

l =	41° 23,7' N	41° 25,1' N	41° 25,5' N
L =	002° 08,0' E	002° 08,3' E	002° 01,1' E

APROXIMACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS

	latitud	longitud
1	41° 25,5' N (41,425°)	002° 01,1' E (2,0183°)
2	41° 18,1' N (41,3016°)	002° 06,6' E (2,110°)
3	41° 23,7' N (41,395°)	002° 08,0' E (2,1333°)
4	41° 25,1' N (41,4183°)	002° 08,3' E (2,1383°)
5	41° 22,8' N (41,380°)	002° 11,1' E (2,1833°)
6	41° 24,8' N (41,4133°)	002° 12,8' E (2,2133°)

Nº de entradas ? = 6

media (lat) = 41,38887°

l = 41° 23,6' N

media (long) = 2,13275°

L = 002° 07,9' E

sigma (lat) = 52,35323

sigma (long) = 2,697738

Coeficiente A de la recta lat = A*long+B, A = $-4,115821 \cdot 10^{-2}$

Coeficiente B de la recta lat = A*long+B, B = 3,836242

La observación correspondiente al Nº 5, coincide con la situación verdadera.

10.6 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ELIPSE DE ERROR EN LA NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA, CON SITUACIONES OBTENIDAS POR RECTAS DE ALTURA, Y POR ÁNGULO PARALÁCTICO.

Sabemos que : *

$$A = \cos^2 Z_1 + \cos^2 Z_2 + \ldots\ldots\ldots$$

$$B = \cos Z_1 \cdot \operatorname{sen} Z_1 + \cos Z_2 \cdot \operatorname{sen} Z_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$C = \operatorname{sen}^2 Z_1 + \operatorname{sen}^2 Z_2 + \ldots\ldots\ldots$$

$$D = \Delta a_1 \cdot \cos Z_1 + \Delta a_2 \cdot \cos Z_2 + \ldots\ldots\ldots$$

$$E = \Delta a_1 \cdot \operatorname{sen} Z_1 + \Delta a_2 \cdot \operatorname{sen} Z_2 + \ldots\ldots.$$

$$F = \Delta a_1^{\,2} + \Delta a_2^{\,2} + \ldots\ldots\ldots\ldots.$$

Siendo Z_n el acimut correspondiente, y Δa_n las diferencias de alturas.

El número de términos de cada coeficiente, es igual al número de observaciones efectuadas para el cálculo.

---

* Fórmulas obtenidas del Almanac Data 1996 - 2000.

Como comprobación se verificará que:

$$A + C = n$$

Siendo "n" el número total de observaciones.

A continuación calcularemos el término G:

$$G = A \cdot C - B^2$$

Para pasar al punto rectificado desde el punto aproximado, necesitaremos el δl y δL :

$$\delta l = \frac{C \cdot D - B \cdot E}{G}$$

$$\delta L = \frac{A \cdot E - B \cdot D}{G \cos l_e}$$

quedando:

$$lo = le + \delta l$$

$$Lo = Le + \delta L$$

A continuación calculamos la distancia expresada en millas, entre la situación de estima inicial y la observada en el momento de la observación:

$$d = 60\sqrt{\delta L^2 \cos^2 le + \delta l^2}$$

Si el valor obtenido de d excede del valor de 20 millas, repetiríamos el cálculo, tomando como situación de estima la observada, hasta que el valor sea menor de las 20 millas.

El error estimado en la situación cuando se observan tres o más astros, se puede obtener en millas por la ecuación:

$$\sigma = 60\sqrt{\frac{S}{n-2}}$$

Siendo : $S = F - D \cdot \delta l - E \cdot \delta L \cdot \cos le$

Esta desviación típica en latitud y longitud se calcula:

$$\sigma l = \sigma\sqrt{\frac{C}{G}}$$

$$\sigma L = \sigma\sqrt{\frac{A}{G}}$$

Es evidente que cuanto mayor número de observaciones se efectuen, el error en la situación será menor. Estadísticamente, se demuestra la probabilidad P, de que la situación observada se situe dentro de la elipse de error representada por dos semiejes, a y b , e inclinada en ángulo θ.

Para lo cual necesitaremos el factor de escala, que le llamaremos k, siendo su valor:

$$k = \sqrt{-2 \ln (1 - p)}$$

La tabla que sigue, nos determina el factor de escala k, para distintas probabilidades:

Probabilidad P	0.39	0.50	0.75	0.90	0.95
Factor de escala k	1	1.20	1.70	2.10	2.40

Normalmente tomaremos como valor P = 0.95 = 95 %

Las ecuaciones que nos determinan la elipse son:

$$\text{tag } 2\theta = \frac{2B}{A - C} \qquad a = \frac{\sigma k}{\sqrt{\frac{n}{2} + \frac{B}{\text{sen } 2\theta}}} \qquad b = \frac{\sigma k}{\sqrt{\frac{n}{2} - \frac{B}{\text{sen } 2\theta}}}$$

La excentricidad de la elipse de error depende exclusivamente del valor n, así como de la distribución del acimut en las observaciones efectuadas. El tamaño dependerá del factor de escala y de los errores de observación. Este método supone que todas las observaciones tienen el mismo peso.

La situación ideal se obtendrá al crear una distribución circular del error, con A = B y C = 0, para que el error sea constante en todas las direcciones. Esto ocurre cuando los astros están igualmente separados en azimut.

Los astros situados a similares alturas, también minimizan los errores sistemáticos, que afectan a la situación final.

TRAZADO DE LA ELIPSE DE ERROR :

Para la representación gráfica se toman dos ejes, como ordenadas un meridiano, norte positivo, y como abcisas un paralelo, siendo leste positivo. Su centro se situa en el último punto de estima ($60 \cdot \delta l$, $60 \cdot \delta L \cdot \cos le$) ;

y está definida por los valores a, b y θ. La curva de la elipse se dibuja uniendo las coordenadas rectangulares (x, y) de los puntos que constituyen la elipse. Los valores de x e y, se calculan con las ecuaciones:

$$x = a \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \theta - b \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \theta + 60\, \delta L \cos l_e$$

$$y = a \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta + b \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{sen} \theta + 60\, \delta l$$

α toma los valores de 0° a 360°, cuanto más valores tome α, mayor definición tendrá la elipse; se pueden tomar valores de 15° (ejemplo : 0°, 15°, 30°, ..., 345°, 360°)

Es evidente que este sistema, en principio, no es aplicable al sistema propuesto en la presente tesis, puesto que en el mismo, nosotros nos situamos basándonos únicamente en las alturas observadas y en los T.U. correspondientes a las mismas, ignorando los acimutes y la posible situación de estima. Por lo tanto tenemos que buscar una forma que nos permita comparar un sistema con el otro.

Si consideramos el ejercicio anterior, hemos podido combinar todas las observaciones, las cuales al no ser exactamente simultáneas y al estar afectadas de pequeños errores en la observación, no coinciden en un mismo punto, dando lugar a seis puntos, que estarán tanto más separados de la situación real cuanto mayor sean los errores introducidos en el cálculo.

Si nosotros consideramos el mínimo cuadrado de los mencionados puntos, y desde el mismo, calculamos las diferencias de altura y los acimutes correspondientes, nos permitirán efectuar el cáculo, con el que obtendremos finalmente la elipse de error.

CAPELLA	ARCTURUS
$h^*G = 440^\circ\ 39.5'$	$h^*G = 306^\circ\ 01.1'$
$L = 002^\circ\ 07.9'$ E	$L = 002^\circ\ 07.9'$ E
$h^*L = 442^\circ\ 47.4'$	$h^*L = 308^\circ\ 09.0'$
$h\ W = 082^\circ\ 47{,}4'$	$h\ E = 051^\circ\ 51'$
$l = 41^\circ\ 23.6'$ N	$l = 41^\circ\ 23.6'$ N
$d = 45^\circ\ 59.7'$	$d = 19^\circ\ 11.7'$
$a_v = 32^\circ\ 42.8'$	$a_v = 40^\circ\ 55.4'$
$a_e = 32^\circ\ 45.1'$	$a_e = 40^\circ\ 55.4'$
$\Delta a = -2.3'$	$\Delta a = 0'$
$Zv =$ N 55 W	$Zv =$ S 79 E

DUBHE	REGULUS
$h^*G = 354° 07.7'$	$h^*G = 367° 54.4'$
$L = 002° 07.9'$ E	$L = 002° 07.9'$ E
$h^*L = 356° 15.6'$	$h^*L = 370° 02.3'$
$h\,E = 003° 44.4'$	$h\,W = 010° 02.3'$
$l = 41° 23.6'$ N	$l = 41° 23.6'$ N
$d = 61° 45.9'$	$d = 11° 58.7'$
$a_v = 69° 31.7'$	$a_v = 59° 17.9'$
$a_e = 69° 30.2'$	$a_e = 59° 17.9'$
$\Delta a = + 1.5'$	$\Delta a = 0'$
Zv = N 5 E	Zv = S 20 W

1	$Z_1 = 305^O$ $\Delta a_1 = - 2.3'$
2	$Z_2 = 101^O$ $\Delta a_2 = 0'$
3	$Z_3 = 200^O$ $\Delta a_3 = 0'$
4	$Z_4 = 005^O$ $\Delta a_4 = + 1.5'$

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

REDUCTION of SIGHTS

Position at the Time of Fix
(Dead Reckoning or Calculated)

Date of Fix 1997/03/08
Time of Fix 23:32:18
Longitude E 002 07.9
Latitude N 41 23.6

Course and Speed for each Leg of the Journey

Leg	Date	Time	Course	Speed	Leg	Date	Time	Course	Speed
		h m s	o	kn			h m s	.o	kn
1.	1997 Mar 08	23:32:18	000.0	0.0	11.				
2.		23:32:48	000.0	0.0	12.				
3.		23:33:03	000.0	0.0	13.				
4.		23:33:17	000.0	0.0	14.				
5.					15.				
6.					16.				
7.					17.				
8.					18.				
9.					19.				
10.					20.				

Leg No. 4
Date 1997/03/08
Time 23:33:17
Speed 0.0
Course 000.0

Log of Positions

Date	UT h m s	No.	Body	Use	p °	Z kn ?	nm °	Long ° '	Lat ° '
1997 Mar 08	23:32:18		The Fix					E 002 07.9	N 41 23.6
1997 Mar 08	23:32:18		Leg 1		0.0	0.0		E 002 07.9	N 41 23.6
1997 Mar 08	23:32:48		Leg 2		0.0	0.0		E 002 07.9	N 41 23.6
1997 Mar 08	23:33:03		Leg 3		0.0	0.0		E 002 07.9	N 41 23.6
1997 Mar 08	23:33:17		Leg 4		0.0	0.0		E 002 07.9	N 41 23.6

Astronomical Sight Number 1

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:32:18	Pressure	1010 mb
Body	Capella	Height of Eye	0 metres
Altitude	32 42.8 Sextant	Index Error	+ 00 00.0
Use this Sight			

Estimated Position at the Time of Sight

Long E 002 07.9 Lat N 41 23.6 Leg 1

Almanac Data	° '		° '
GHA	080 39.4	Azimuth	304 57.8
Dec	N 45 59.7	Calculated Altitude	32 45.2
HP/SD	-	Observed Altitude	32 41.3
		Dip	00 00.0
		Index Error	00 00.0
		Refraction	00 01.5
		Parallax	00 00.0
		Semi-Diameter	00 00.0

Intercept -03.9269 nm

Astronomical Sight Number 2

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:32:48	Pressure	1010 mb
Body	Arcturus	Height of Eye	0 metres
Altitude	40 55.4 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Almanac Data		Long E 002 07.9 Lat N 41 23.6 Leg 2	
	o '		o '
GHA	306 01.1	Azimuth	100 36.4
Dec	N 19 11.7	Calculated Altitude	40 55.3
HP/SD	-	Observed Altitude	40 56.3
		Dip	00 00.0
		Index Error	00 00.0
		Refraction	00 01.1
		Parallax	00 00.0
		Semi-Diameter	00 00.0

Intercept - 01.0697 nm

Astronomical Sight Number 3

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:33:03	Pressure	1010 mb
Body	Regulus	Height of Eye	0 metres
Altitude	59 17.9 Sextant	Index Error	+ 00 00.0
Use this Sight			

Estimated Position at the Time of Sight

Long E 002 07.9 Lat N 41 23.6 Leg 2

Almanac Data

	° '
GHA	007 54.4
Dec	N 11 58.7
HP/SD	-

	° '
Azimuth	199 30.6
Calculated Altitude	59 18.0
Observed Altitude	59 17.3
Dip	00 00.0
Index Error	00 00.0
Refraction	00 00.6
Parallax	00 00.0
Semi-Diameter	00 00.0

Intercept -00.6578 nm

Astronomical Sight Number 4

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:33:17	Pressure	1010 mb
Body	Dubhe	Height of Eye	0 metres
Altitude	69 31.7 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Almanac Data		Long E 002 07.9 Lat N 41 23.6 Leg 4	
	° '		° '
GHA	354 07.8	Azimuth	005 03.3
Dec	N 61 45.9	Calculated Altitude	69 30.3
HP/SD	-	Observed Altitude	69 31.3
		Dip	00 00.0
		Index Error	00 00.0
		Refraction	00 00.4
		Parallax	00 00.0
		Semi-Diameter	00 00.0

Intercept 01.0459 nm

The Results

Initial Fix

				o '
The Intercepts			Longitude E	002 07.9
nm	nm		Latitude N	41 23.6

1	- 2.762	9	...
2	- 2.457	10	...
3	- 0.205	11	...
4	+ 0.941	12	...
5	...	13	...
6	...	14	...
7	...	15	...
8	...		

Least Squares Data

Series Summations				Confidence Ellipse		
				Confidence Level 95%		
					nm	o
A	2.2428	E	0.0000			
B	-0.2484	F	0.0041			
C	1.7572	G	3.8793	Axes a	4.32	Theta 337.17
D	0.0000			b	5.14	

Sigma 2.70

No. of Iterations 2

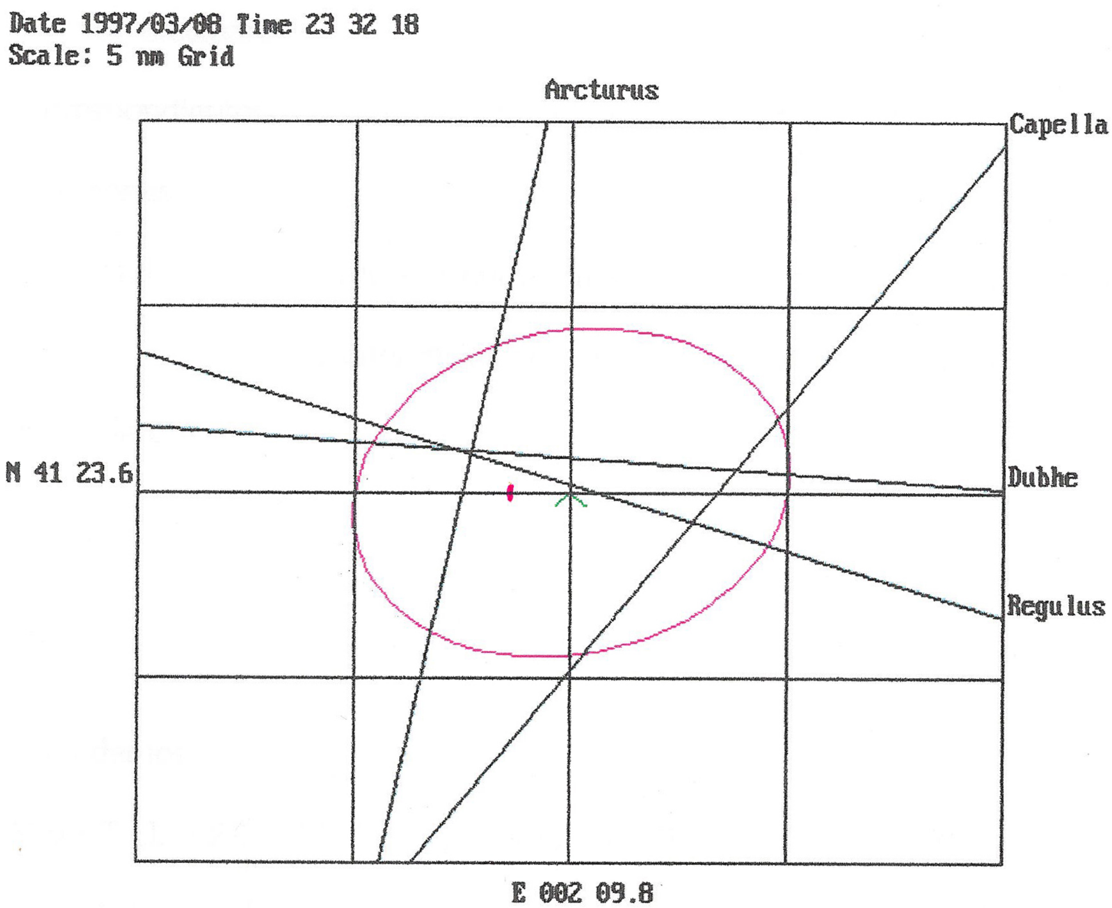
Calculated Position 1997 Mar 08 23:32:18 UT
at the Time of Fix

o '

Longitude E 002 09.8

Latitude N 41 23.6

α	X	Y
0	-1,67615231	3,98157173
15	-2,84515082	3,32973733
30	-3,820257	2,45098684
45	-4,53501897	1,40520564
60	-4,9407269	0,26366201
75	-5,00973246	-0,89584976
90	-4,73733303	-1,99431085
105	-4,14209218	-2,95686295
120	-3,2645746	-3,71790972
135	-2,16458165	-4,2255871
150	-0,91707603	-4,44529769
165	0,39292679	-4,36206859
180	1,67615231	-3,98157173
195	2,84515082	-3,32973733
210	3,820257	-2,45098684
225	4,53501897	-1,40520564
240	4,9407269	-0,26366201
255	5,00973246	0,89584976
270	4,73733303	1,99431085
285	4,14209218	2,95686295
300	3,2645746	3,71790972
315	2,16458165	4,2255871
330	0,91707603	4,44529769
345	-0,39292679	4,36206859
360	-1,67615231	3,98157173


Date 1997/03/08 Time 23 32 18
Scale: 5 nm Grid
Arcturus
Capella
Dubhe
Regulus
N 41 23.6
E 002 09.8

También podemos efectuar el cálculo considerando como punto de estima, los obtenidos por la situación de los mínimos del ángulo paraláctico y, desde el mismo, efectuaremos el corte con los dos acimutes y diferencias de alturas correspondientes al nuevo punto. Con lo cual obtendremos cuatro nuevas situaciones .

Calculando a continuación el nuevo mínimo cuadrado, y desde el mismo, los acimutes y las nuevas diferencias de alturas, que nos permititran determinar la elipse de error.

Recordemos :

Al ser T.U. = $23^h 32^m 18^s$ se observó a_v CAPELLA = 32° 42,8'

Al ser T.U. = $23^h 32^m 48^s$ se observó a_v ARCTURUS = 40° 55,4'

Al ser T.U. = $23^h 33^m 03^s$ se observó a_v REGULUS = 59° 17,9'

Al ser T.U. = $23^h 33^m 17^s$ se observó a_v DUBHE = 69° 31,7'

Con los datos obtenidos en las páginas 317 y 318 :

CAPELLA	$Z_1 = 305^\circ$	$\Delta a_1 = -2.3'$
ARCTURUS	$Z_2 = 101^\circ$	$\Delta a_2 = 0'$
REGULUS	$Z_3 = 200^\circ$	$\Delta a_3 = 0'$
DUBHE	$Z_4 = 005^\circ$	$\Delta a_4 = +1.5'$

Corte CAPELLA - ARCTURUS	l = 41° 13.3' N	L = 002° 05.9' E
Corte CAPELLA - REGULUS	l = 41° 22.1' N	L = 002° 13.9' E
Corte CAPELLA - DUBHE	l = 41° 25.9' N	L = 002° 17.2' E
Corte ARCTURUS - REGULUS	l = 41° 23.7' N	L = 002° 08' E
Corte ARCTURUS - DUBHE	l = 41° 26.5' N	L = 002° 08.9' E
Corte REGULUS - DUBHE	l = 41° 27.9' N	L = 001° 54.8' E

APROXIMACIÓN POR MÍNIMOS CUADRADOS

	latitud	longitud
1	41° 13,3' N (41,2216°)	002° 5,9' E (2,0983°)
2	41° 22,1' N (41,3683°)	002° 13,9' E (2,2316°)
3	41° 25,9' N (41,4316°)	002° 17,2' E (2,2866°)
4	41° 23,7' N (41,3950°)	002° 08' E (2,1333°)
5	41° 26,5' N (41,4416°)	002° 08,9' E (2,1483°)
6	41° 27,8' N (41,4650°)	001° 54,8' E (1,9133°)

Nº de entradas ? = 6

media (lat) = 41,38718°

l = 41° 23,2' N

media (long) = 2,135233°

L = 002° 08,1' E

sigma (lat) = 52,35111

sigma (long) = 2,700879

Coeficiente A de la recta lat = A*long+B, A = -0,1431816

Coeficiente B de la recta lat = A*long+B, B = 8,061117

A continuación efectuaremos el cálculo de la elipse de error para los datos obtenidos.

Situación : $l = 41^\circ\ 23{,}2'$ N

$L = 002^\circ\ 08.1'$ E

CAPELLA	ARCTURUS
$h^*G = 440^\circ\ 39.5'$	$h^*G = 306^\circ\ 01.1'$
$L = 002^\circ\ 08.1'$ E	$L = 002^\circ\ 08.1'$ E
$h^*L = 442^\circ\ 47.6'$	$h^*L = 308^\circ\ 08.2'$
$h\ W = 082^\circ\ 47.6'$	$h\ E = 051^\circ\ 51.8'$
$l = 41^\circ\ 23.2'$ N	$l = 41^\circ\ 23.2'$ N
$d = 45^\circ\ 59.7'$	$d = 19^\circ\ 11.7'$
$a_v = 32^\circ\ 42.8'$	$a_v = 40^\circ\ 57.9'$
$a_e = 32^\circ\ 44.8'$	$a_e = 40^\circ\ 54.9'$
$\Delta a = -2'$	$\Delta a = +0.5'$
Zv = N 55 W	Zv = S 79 E

DUBHE	REGULUS
$h^*G = 354° 07.7'$	$h^*G = 367° 54.4'$
$L = 002° 08.1'$ E	$L = 002° 08.1'$ E
$h^*L = 356° 15.8'$	$h^*L = 370° 02.5'$
$h\,E = 003° 44.2'$	$h\,W = 010° 02.5'$
$l = 41° 23.2'$ N	$l = 41° 23.2'$ N
$d = 61° 45.9'$	$d = 11° 58.7'$
$a_v = 69° 31.7'$	$a_v = 59° 17.9'$
$a_e = 69° 29.9'$	$a_e = 59° 18.3'$
$\Delta a = + 1.8'$	$\Delta a = - 0.4'$
Zv = N 5 E	Zv = S 20 W

1	$Z_1 = 305^o$ $\Delta a_1 = - 2'$
2	$Z_2 = 101^o$ $\Delta a_2 = 0.5'$
3	$Z_3 = 200^o$ $\Delta a_3 = - 0.4'$
4	$Z_4 = 005^o$ $\Delta a_4 = + 1.8'$

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

REDUCTION of SIGHTS

Position at the Time of Fix
(Dead Reckoning or Calculated)

Date of Fix 1997/03/08
Time of Fix 23:32:18
Longitude E 002 08.1
Latitude N 41 23.2

Course and Speed for each Leg of the Journey

Leg	Date	Time	Course	Speed	Leg	Date	Time	Course	Speed
		h m s	o	kn			h m s	o	kn
1.	1997 Mar 08	23:32:18	000.0	0.0	11.				
2.		23:32:48	000.0	0.0	12.				
3.		23:33:03	000.0	0.0	13.				
4.		23:33:17	000.0	0.0	14.				
5.					15.				
6.					16.				
7.					17.				
8.					18.				
9.					19.				
10.					20.				

Leg No. 4
Date 1997/03/08
Time 23:33:17
Speed 0.0
Course 000.0

Log of Positions

Date	UT	No.	Body	Use	p	Z	Long	Lat
	h m s		o kn ?	nm	o	o '	o '	
1997 Mar 08	23:32:18		The Fix				E 002 08.1	N 41 23.2
1997 Mar 08	23:32:18		Leg 1	0.0	0.0		E 002 08.1	N 41 23.2
1997 Mar 08	23:32:48		Leg 2	0.0	0.0		E 002 08.1	N 41 23.2
1997 Mar 08	23:33:03		Leg 3	0.0	0.0		E 002 08.1	N 41 23.2
1997 Mar 08	23:33:17		Leg 4	0.0	0.0		E 002 08.1	N 41 23.2

Astronomical Sight Number 1

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:32:18	Pressure	1010 mb
Body	Capella	Height of Eye	0 metres
Altitude	32 42.8 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Almanac Data		Long E 002 08.1 Lat N 41 23.2 Leg 1	
	o '		o '
GHA	080 39.4	Azimuth	304 58.1
Dec	N 45 59.7	Calculated Altitude	32 44.9
HP/SD	-	Observed Altitude	32 41.3
		Dip	00 00.0
		Index Error	00 00.0
		Refraction	00 01.5
		Parallax	00 00.0
		Semi-Diameter	00 00.0

Intercept -03.5751 nm

Astronomical Sight Number 2

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:32:48	Pressure	1010 mb
Body	Arcturus	Height of Eye	0 metres
Altitude	40 55.4 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Almanac Data		Long E 002 08.1 Lat N 41 23.2 Leg 2	
	o '		o '
GHA	306 01.1	Azimuth	100 36.3
Dec	N 19 11.7	Calculated Altitude	40 55.6
HP/SD	-	Observed Altitude	40 54.3
		Dip	00 00.0
		Index Error	00 00.0
		Refraction	00 01.1
		Parallax	00 00.0
		Semi-Diameter	00 00.0

Intercept -01.2922 nm

Astronomical Sight Number 3

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:33:03	Pressure	1010 mb
Body	Regulus	Height of Eye	0 metres
Altitude	59 17.9 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Long E 002 08.1 Lat N 41 23.1 Leg 2

Almanac Data

	° '
GHA	007 54.4
Dec	N 11 58.7
HP/SD	-

	° '
Azimuth	199 31.2
Calculated Altitude	59 18.3
Observed Altitude	59 17.3
Dip	00 00.0
Index Error	00 00.0
Refraction	00 00.6
Parallax	00 00.0
Semi-Diameter	00 00.0

Intercept -00.9851 nm

Astronomical Sight Number 4

Date	1997/03/08	Temperature	10 C
Time	23:33:17	Pressure	1010 mb
Body	Dubhe	Height of Eye	0 metres
Altitude	69 31.7 Sextant	Index Error	+ 00 00.0

Use this Sight

Estimated Position at the Time of Sight

Almanac Data

Long E 002 08.1 Lat N 41 23.2 Leg 4

	° '
GHA	354 07.8
Dec	N 61 45.9
HP/SD	-

	° '
Azimuth	005 02.9
Calculated Altitude	69 29.9
Observed Altitude	69 31.3
Dip	00 00.0
Index Error	00 00.0
Refraction	00 00.4
Parallax	00 00.0
Semi-Diameter	00 00.0

Intercept 01.4323 nm

	The Results			Initial Fix	o '
The Intercepts				Longitude E 002 08.1	
nm	nm			Latitude N 41 23.2	
1 - 2.764	9 ...				
2 - 2.458	10 ...		Least Squares Data		
3 - 0.205	11 ...	Series Summations		Confidence Ellipse	
4 + 0.942	12 ...				
5 ...	13 ...	A 2.2428	E 0.0000	Confidence Level 95%	
6 ...	14 ...	B -0.2484	F 0.0041	nm	o
7 ...	15 ...	C 1.7572	G 3.8793	Axes a 4.32	Theta 337.17
8 ...		D 0.0000		b 5.15	

Sigma 2.70

No. of Iterations 2

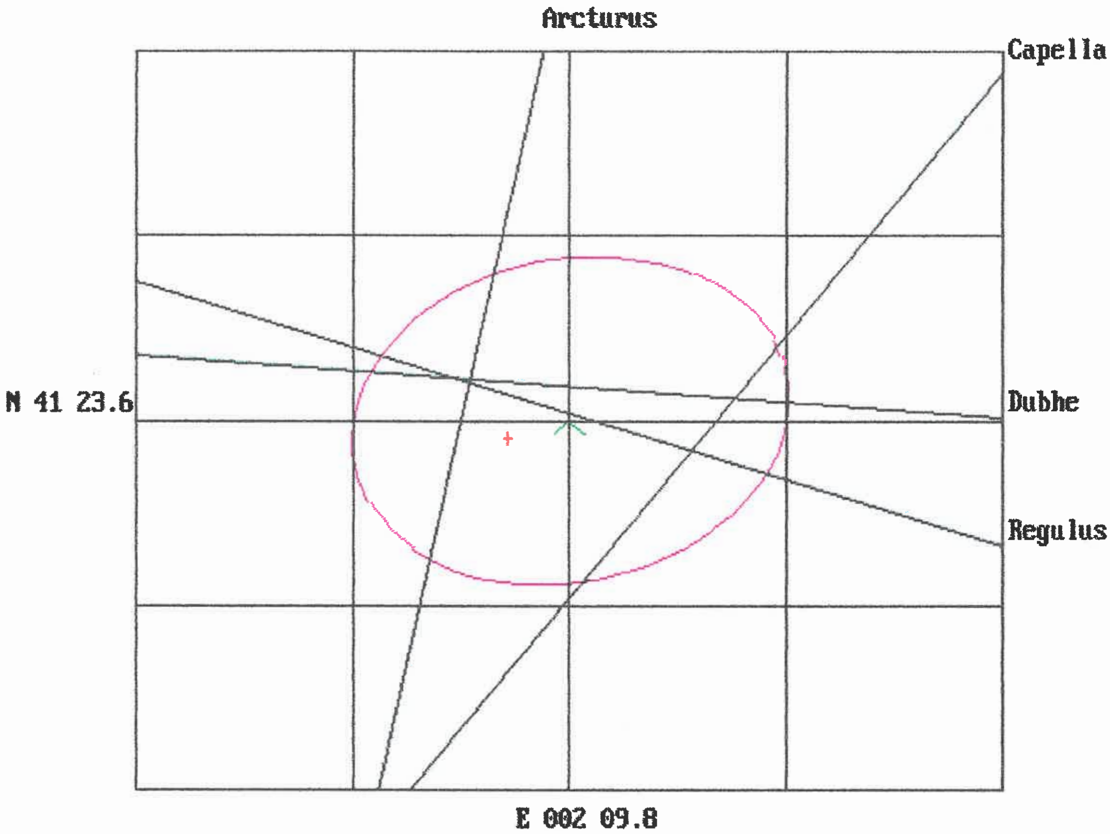
Calculated Position 1997 Mar 08 23:32:18 UT
at the Time of Fix o '

Longitude E 002 09.8

Latitude N 41 23.6

α	X	Y
0	-1,67615231	3,98157173
15	-2,84753625	3,32873312
30	-3,8248653	2,44904685
45	-4,5415361	1,40246208
60	-4,94870872	0,26030184
75	-5,01863501	-0,89959754
90	-4,74654963	-1,99819083
105	-4,15099473	-2,96061072
120	-3,27255641	-3,72126989
135	-2,17109877	-4,22833066
150	-0,92168434	-4,44723768
165	0,39054136	-4,36307281
180	1,67615231	-3,98157173
195	2,84753625	-3,32873312
210	3,8248653	-2,44904685
225	4,5415361	-1,40246208
240	4,94870872	-0,26030184
255	5,01863501	0,89959754
270	4,74654963	1,99819083
285	4,15099473	2,96061072
300	3,27255641	3,72126989
315	2,17109877	4,22833066
330	0,92168434	4,44723768
345	-0,39054136	4,36307281
360	-1,67615231	3,98157173

Date 1997/03/08 Time 23 32 18
Scale: 5 nm Grid



Podemos observarque en el primer elipse tomamos como punto (FIX), el de la $l = 41° 23.6'$ N y $L = 002° 07.9'$ E, y en el segundo $l = 41° 23.2'$ N y $L = 002° 08.1'$ E.

Estas pequeñas diferencias son consecuencia del desprecio acumulado en todas las operaciones efectuadas en los cálculos anteriores, y las diferencias en tiempo entre las observaciones.

La similitud de ambas elipses de situación es evidente, y el porcentaje de exactitud de los sistemas empleados es el del 95 %; a pesar de la observación de Arcturus, que no es la más idónea, caso contrario, el porcentaje de exactitud aún sería mayor, cuando no hay errores en las observaciones, malos cortes en los acimutes y alturas muy desiguales.

Quedando demostrada la fiabilidad de la situación obtenida por ángulos paralácticos.

TERCERA PARTE

11.- CONCLUSIONES

11.1 PLANTEAMIENTO GENERAL

En el cuerpo de la tesis se ha pretendido realizar una panorámica histórico evolutiva de la navegación, y para ello se ha escogido como núcleo vertebral el de un pueblo primitivo -el polinesio- porque realizaba navegaciones de miles de millas sin apoyarse en instrumento alguno, hazaña que aún hoy, días en los que se ha perdido buena parte en la capacidad de asombro, cuando menos nos sorprende, que esos hitos vinieran repitiendo otros muchos pueblos como los vikingos, árabes, chinos, fenicios, griegos, egipcios, etc., de los que se han entresacado sus avances en la ciencia y técnica de la navegación, observándose que, sin existir evidencia de apoyarse alguno de esos pueblos en los avances de los demás, a veces han coincidido en las mismas aportaciones.

Bajo ese modelo histórico evolutivo, al considerar la posibilidad de realizar una tesis doctoral, nos preguntábamos sobre alguna nueva aportación de navegación astronómica, y en ese intento, resultaron varios los caminos escogidos y sucesivamente desechados, hasta que por fin, resultó uno como idóneo en respuesta a nuestro intento plasmado en la pregunta: si el navegante desconoce su situación aproximada, ¿puede determinarla exactamente?.

Cuando nos ceñimos al hecho de que todo navegante ocupa una posición en la Tierra, y en consecuencia, existe un triángulo ignorado constituido por el Polo, Zenit y Astro, el problema estará resuelto cuando sea conocido el referido triángulo.

La cuestión planteada está precisamente en cómo resolverlo, y ésta es la aportación que entendemos haber efectuado como inédita en el ámbito de la navegación, si bien su desarrollo, nos permite ofrecer una serie de conclusiones, para terminar con la final, respuesta de la finalidad pretendida.

PRIMERA CONCLUSIÓN

Todos los pueblos marítimos, han mostrado su necesidad de desplazarse sobre el agua, y por uno u otro medio, en las varias civilizaciones, han encontrado lo que entonces podía entenderse como embarcación, entendida ésta como flotador capaz de desplazarse sobre el agua transportando personas y cosas.

SEGUNDA CONCLUSIÓN

Para que ese flotador tuviera capacidad de transporte se muestra como necesario el medio propulsor, y éste debió ser inicialmente una extremidad del cuerpo humano (manos o pies), más tarde el remo, y con la observación y conocimiento de los vientos, la vela.

TERCERA CONCLUSIÓN

Era objetivo común a todos los pueblos de la Tierra, navegar y poder dirigir la embarcación a otros lugares, para lo cual necesitaban un medio que les permitiera determinar el rumbo. Hasta el descubrimiento de la aguja, que podríamos sin duda alguna considerar como el primer peldaño de la navegación moderna, las navegaciones primitivas eran costeras, memorizando los accidentes más notables de la costa y aventurándose cada vez más a mayor distancia, más tarde empezó el navegante a observar el cielo y a tomar como referencia los astros.

CUARTA CONCLUSIÓN

Una vez podido determinar el rumbo, o dirección sobre planos o cartas primitivas, todos los navegantes tenían otra necesidad: conocer la distancia. Para conocerla el nauta necesitaba contar con otro elemento que le permitiera saber el tiempo, es decir, el reloj, instrumento que finalmente en el transcurso de los siglos permitiría la perfecta situación del navegante, pero que para llegar a ese momento tendrían que pasar más de dos milenios. En este punto importante de la historia de la navegación aparece la solución: la corredera. Es el segundo peldaño y que junto con el anterior permite por fin al navegante saber hacia donde se dirige, y finalmente donde se puede encontrar aproximadamente, ellos lo denominan "punto de fantasía". Ya tenemos los cuatro puntos base de la navegación: el rumbo, la distancia, la latitud y la longitud.

QUINTA CONCLUSIÓN

Dominada la navegación a la vista de la costa, y más tarde mediante la estimada, surge lógicamente la necesidad de situarse en alta mar con lo único que en ella se muestra como permanente: los astros.

Ello conlleva a adquirir los siguientes conocimientos:

a) el del movimiento y efemérides de los astros, es decir, donde están los astros en la bóveda celeste.

b) la altura de los astros sobre el horizonte, lo cual significaba poseer instrumentos de reflexión adecuados.

c) formulaciones matemáticas que permitieran resolver el problema de la situación.

Esta conclusión viene avalada, por el hecho histórico de que durante siglos se ha mejorado el conocimiento y perfección de los tres apartados que anteceden.

SEXTA CONCLUSIÓN

Para conocer exactamente las efemérides de los astros, se precisaba de un conocimiento parejo del tiempo, y esta necesidad vino a cubrirse merced al cronómetro Harrinson, como respuesta al accidente naval ocurrido en las costas inglesas que ocasionó la muerte en más de dos millares de personas, luctuoso hecho que viene en apoyo de la conclusión que ahora argumentaremos.

SÉPTIMA CONCLUSIÓN

La casualidad, una vez más en mano con la curiosidad, si bien ésta acicate de la investigación, plasma el último hito en la navegación astronómica, cuando el Capitán Tomas M. Summer descubre el método de las circunferencias iguales. Este último punto sirve de base para determinar todos los sistemas de navegación actuales. Podemos decir que es el último peldaño de la navegación astronómica.

11.2 CONCLUSIÓN FINAL

La motivación investigadora ha derivado frente a la extendida creencia de los marinos, ser imprescindible disponer de una situación estimada para poder situarse astronómicamente.

En el cuerpo de la tesis, demostramos no ser cierta dicha creencia, porque dando como única referencia el océano en el que se encuentra el buque : Índico, Atlántico Norte, Pacífico Sur, etc. podemos conocer la situación.

Se ha intentado demostrar la solución con los cálculos que adjuntamos.

En el capítulo IX desarrollamos el sistema que presentamos, que si bien es conocido teóricamente, no es empleado por los marinos. En él se obtiene la situación del buque sin el conocimiento, ni tan siquiera aproximado, de la situación de estima, incluso no conocemos el mar u océano en el que nos encontramos, caso por otra parte totalmente absurdo en la práctica. Con el sólo conocimiento de las alturas observadas de los astros, la fecha y la hora de T.U. del momento de las observaciones, y la idea, aunque aproximada de los puntos cardinales, idea que tendremos con la sola visión del cielo.

Estimamos claras ventajas que presenta este sistema sobre los clásicos de situación por medio de rectas de altura, porque en ningún momento se emplean líneas loxodrómicas para sustituir arcos de círculos máximos o de círculos menores y las curvas de alturas iguales, con los posibles errores que ello conlleva, además de encontrarse siempre en circunstancias favorables.

Al considerar dos polos de iluminación de dos astros en dos lados de la esfera, pasamos a una solución puramente terrestre al considerar la solución desde el polo de la Tierra.

En los cálculos que adjuntamos, hemos efectuado un estudio comparativo en distintas circunstancias; los valores obtenidos con los diferentes sistemas, combinando los mismos, resultan de menor precisión que los obtenidos efectuados empleando el ángulo paraláctico y comparándolos posteriormente con la situación verdadera perfectamente conocida, tanto si observamos desde un punto de tierra o de un puerto o bahía en que puede encontrarse el observador, errores que se acentúan, cuando en los métodos clásicos, vamos introduciendo un mayor error en la situación estimada, dato que no necesitamos con el sistema propuesto.

También demostramos con los cálculos que adjuntamos que los errores sistemáticos se anulan, al igual que en los métodos clásicos, si efectuamos una mala observación y que no coincidiera el corte de los tres astros.

Todo ello nos invita a solicitar que si bien el número de operaciones es ligeramente superior, recordemos que con dos Marcq necesitaríamos el cálculo de las alturas y azimutes (cuatro operaciones).

La situación en función del ángulo paraláctico necesita el conjunto del R_o, D_o, ángulo X, sumar o restar $R' \pm X$ para determinar $\hat{A}$ y finalmente la l y el ΔL, pero obtenemos una solución totalmente analítica.

11.3 DIRECTRICES FUTURAS

Aún con la dificultad de pensar que no todo está inventado, creemos honestamente que los sistemas de NAVEGACIÓN ASTRONÓMICA están agotados.

Sin embargo, sí podríamos elaborar un programa, que con almanaque incorporado, nos resolviera la situación obtenida, con la introducción de los datos necesarios del T.U. y alturas.

BIBLIOGRAFIA

Autor:	Título:
Akerblon, K	Navigation in Polynesia and Micronesia Stockholm: Et. Musset, 1968.
Aiton, E.J.	The Vortex Theory of Planetary motions. London: Macdonald, 1972.
A. Le Calve	Navigation astronomique. Societé d'editions, Paris 1953.
Bakuline, P; Konohovitch, E.	Curso de Astronomía General. Moscú: Mir, 1987.
Bakuline, P; Konohovitch, E.	Astronomie Generale. Moscú: Mir 1975.
Bauer, B. A.	The sextant handbook: adjustment, repair, use and history. Camden: I.M.Pub., 1986.
Beletski, V.	Essais sur le mouvement des corps cosmiques. Moscú: Mir, 1986.
Bernardos de la Cruz, P.	Navegación costera, problemas y ejercicios resueltos. Madrid: Paraninfo, 1990.
Bowdicth, N.	American practical navigator. Washington: D.M.A.H., 1984.
Brossard, Maurice de	Historia marítima del mundo. Amaika Barcelona 1976.
Bruno H. Bürgel	Los mundos lejanos. Ed. Labor. Barcelona 1947.
Bruch, David	Celestial navigation with the 2102-D Star Finder Sausalito: Para. Cay, 1984.
Bruch, David	Emergency navigation.

Capasso, Ideale	Astronomía Náutica y Navegación Vol. I, II y III Madrid: I.G.E.N., 1983.
Castelló Mora, Fausto	Astronomía Náutica y Navegación. Madrid: Artes Gráficas Gala S.L., 1979.
Cotter, C.H.	The Complete Nautical Astronomer. London: Hollis & Carter, 1969.
Cross, Paul A.; Hawksbee, Duncan J.; Roberts, William D.S.	Quality measures for offshore differential G.P.S. University of Newcastle, Upon Tyne, February 1994.
Dagaiev, M.M.	Observaciones del cielo estelar. Moscú: Mir 1991.
Denne, W.	Magnetic compas deviation and correction. Glasgow: B & Fer., 1979.
Earl, G.E.	Munro's Navigation. Glasgow: James Munro, 19-.
Faber-Kaiser, Michael	Historia de la Navegación. Planeta-Barcelona 1976.
Flammarion, C.	Astronomía Popular. Barcelona: Mont & Simon, 1963.
Flora, F.	Astronomía Náutica. Milano: Ulrico Hoeplli, 1947.
Flora, F.	Navigazione Astronomica. Milano: Ulrico Hoepli, 1987.
Forsell, B.	Radionavigation system. Prentice Hall, London 1991.
Fossi Gutierrez I.	Tratado de Náutica. Madrid: Dossat, 1953.
Fossi Gutierrez I.	Tratado de Náutica. Madrid: Dossat, 1949.

Gardner, A.C. — Navigation.
London: Uni. Press, 1969.

Gardner, A.C.
Creelman, W.G. — Navigation.
Oxford: Pergamon Press, 1965.

García de Paredes, J. — Astronomía General y Náutica. Problemas de Náutica.Cádiz: Fragata, 19-.

García Franco, Salvador — Historia del Arte y Ciencia de Navegar.
Instituto Histórico de Marina. Madrid, 1947.

Garmendia Berasategui, I. — Instrumentos astronómicos antiguos y curiosidades. Vitoria: Gob. Vasco, 1992.

Grant, G.A.A. y Klinker, J. — The Ship's compass.
London: Rout & Paul, 1970.

Hoyle, F.;
Chandler, M.H. — Astronoomy.
London: Macdonald, 1962.

Instituto Geográfico de Agostini. — El mar Salvat S.A.
Ediciones Pamplona, 1980.

Kemp, J.F.;
Yong, P. — Compass Work.
Surrey: Kandy, 1962.

Kerviler, M. — Navigation Astronomique.
París: Plaisance, 1962.

Klinkert, J. — Compass wise or getting to know your compass.
Glasgow: Br. & Fer., 1976.

Krasautsev, B.;
Khlyustin, B. — Nautical Astronomy.
Moscú: Mir, 1970.

Lasheras, J. — Fundamentos de Navegación.
Zarazuz: Icharopena, 1950.

May, W.E.; Holder, L. — A history of marine navigation.
Surrey: Foulis, 1973.

Martin Asin, F.	Astronomía. Madrid: Paraninfo, 1980.
Martin Asin, F.	Problemas de Astronomía. Madrid: Paraninfo, 1986.
Martínez Hidalgo, J.M.	Magnetismo del buque y compensación de la aguja náutica. Madrid: Garriga, 1958.
Martínez Hidalgo, J.M.	Historia y leyenda de la aguja magnética. Barcelona: Gustavo Gil, 1946.
Merrifield, F.G.	Ship Magnetism and the magnetic compass. London: Nav. Naut., 1963.
Moore, D.A.	Basic principles of marine navigation. Surrey: Kandy, 1964.
Molins Fernández, A.	Tratado de compensación de la aguja magnética. Barcelona, 1959.
Moreu Curbera, J.M.	Astronomía y Navegación (cursos 1º, 2º y 3º). Madrid, 1982.
Moreu Curbera, J.M.	Manual de Navegación. Vigo, 1975.
Moreu Curbera, J.M.	Problemas de Navegación. Madrid, 1977.
Neufville, S. de	Navigation sans logaritmes. París: Mar. D'outre Mer, 1968.
Norville, W.	Celestial Navigation step by step. Camden: I.M. Pub., 1973.
Orus Navarro, J.J. y Catalá Poch	Apuntes de Astronomía (Tomo I) Barcelona. Departament de Física de la Atmosfera, Astronomía i Astrofísica de la Universitat de Barcelona, 1986-1987.
Oster, L.	Astronomía Moderna. Barcelona: Reverte, 1978.

Puertolas, E.; Verdugo, M. — Arte de Navegar. Barcelona: Rvérte, 1952.

Puig Adam, P. — Geometría Métrica. Madrid: Nuevas Gráficas S.A., 1956

Ribera y Uruburu, L. — Tratado de Astronomía. Madrid: M.M., 1941.

Ribera y Egea, J. — Tratado de Astronomía General y Náutico. Madrid: M.M., 1956.

Russell, H.; Dugan, R. — Cosmografía. México: Uteha, 1954.

Shklovski, I.S. — Universo, Vila, Intelecto. Moscú: Mir, 1977.

Simpson, A. — Home Trade navigation guide. Glasgow: Br. Son & Fer., 1978.

Smart, W.M. — Spherical Astronomy. Cambridge: Univ. Press., 1962.

Taylor, E.; Richey, M.W. — Le Marin Geometrique. París: Mar. D'outre Mer, 1969.

Tomilin, A. — Algo ameno e interesante sobre cosmogonía. Moscú: Mir, 1985.

Watts, O. — The sextant simplified. London: Tomas red P., 1985.

———————— Guide du Navigateur. París: Plaisance, 1962.

———————— Guide du Navigateur. París: S.H.O.M., 1981.

———————— Compact date for navigation and astronomy. 1996 - 2000

———————— Mathematical considerations pertaining to the accuracy of position location and navigation systems. Part 2. Standford Research Institute. Manlo Park California 1965.