

# Estrellas y constelaciones

## Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

**Miguel Ángel Calvo Gutiérrez**

Dirigido por:

**Agustí Martí Mallofre**

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Barcelona, 24 de Agosto de 2017

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náuticas



# Resumen

Este trabajo es una condensación de los conocimientos que he podido adquirir sobre astronomía a lo largo de la carrera. La astronomía es una ciencia que, si bien es antiquísima, ha ido evolucionando a medida que han ido aumentando los conocimientos y elaborándose nuevos conceptos.

Conocer las estrellas y las constelaciones es lo primero que lograron los antiguos astrónomos, y partiendo de ahí las fueron empleando para orientarse o para distinguir épocas del año usando el cielo como calendario.

En este trabajo se trata de revisar las bases sobre las que aquellos trabajaron, y a su vez compilar y resumir la información que se estudia en la asignatura de Navegación Astronómica en la carrera, así como definir conceptos. Se enumeran constelaciones y enfilaciones y se explican distintas formas de reconocer astros, así como la recta de altura.

# Abstract

This project is a summary of the knowledge I have acquired during my time at university. Astronomy is a very antique science that has been evolving as mistakes have been corrected. Having knowledge of the stars and constellations was the first feat that the past astronomers accomplished, and with the understanding of these they managed to find their way or determine seasons, using the sky as a calendar.

This project tries to settle down the basic knowledge of the past astronomers, as well as summarize the information taught in the astronomical navigation subject at university. This paper includes also a list of constellation and star alignments and different forms to recognize heavenly bodies, and a list of definitions of concepts shown throughout the school year.

# Tabla de contenidos

Resumen	I
Abstract	II
Tabla de contenidos	III
Listado de figuras	V
<b>Capítulo 1. Historia de la astronomía</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	2
1.2 Instrumentos empleados en la antigüedad	3
1.2.1 Instrumentos para medir la hora	6
1.2.2 Instrumentos para medir ángulos	8
1.3 Leyes de Kepler	11
<b>Capítulo 2. Conceptos</b>	<b>13</b>
2.1 Triángulo de posición	13
2.2 Corrección total	14
<b>Capítulo 3. Estrellas y constelaciones</b>	<b>16</b>
3.1 Qué es una estrella	16
3.2 Zodiaco	17
3.3 Sistemas de coordenadas	19
3.3.1 Coordenadas Horizontales	19
3.3.2 Coordenadas Horarias	21
3.3.3 Coordenadas Uranográficas ecuatoriales	23
3.3.4 Coordenadas Uranográficas elípticas	24
3.4 Movimiento planetario	26
3.4.1 Rotación	26
3.4.2 Traslación	26
3.4.3 Precesión	29
3.4.3.1 Consecuencias de la precesión	30

3.4.4 Nutación	30
3.4.5 Movimiento aparente de los astros	31
3.4.6 La Luna	35
3.5. Constelaciones más relevantes	38
3.5.1 Constelaciones del hemisferio norte	39
3.5.1.1 Constelaciones circumpolares hemisferio norte	39
3.5.1.2 Constelaciones no circumpolares del hemisferio norte	42
3.5.2 Constelaciones del hemisferio sur	48
3.5.2.1 Constelaciones circumpolares del hemisferio sur	48
3.5.2.2 Constelaciones no circumpolares del hemisferio sur	51
<b>Capítulo 4. Astronomía de posición</b>	<b>55</b>
4.1 Reconocimiento de estrellas	55
4.1.1 El almanaque	56
4.1.2 Catálogo de estrellas	57
4.1.3 Starfinder	57
4.1.4 Tablas americanas	58
4.1.5 Planisferio	59
4.1.6 Enfilaciones	60
4.2 Recta de altura	63
<b>Capítulo 5. Conclusiones</b>	<b>68</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>69</b>

# Listado de figuras

Ilustración 1 Aristarco de Samos. Fuente: <a href="http://www.biografias.com">www.biografias.com</a> .....	2
Ilustración 2. Heliocentrismo y geocentrismo. Fuente: <a href="http://thehypertextuallounge.com">http://thehypertextuallounge.com</a> .....	2
Ilustración 3 . Brújula solar vikinga. Fuente: <a href="http://astrotalleres.wordpress.com">astrotalleres.wordpress.com</a> .....	4
Ilustración 4. Nocturlabio. Fuente: <a href="http://www.eloviparo.wordpress.com">www.eloviparo.wordpress.com</a> .....	5
Ilustración 5 Clepsidra. Fuente: <a href="http://www.quhist.com">www.quhist.com</a> .....	6
Ilustración 6. Astrolabio. Fuente: <a href="http://www.cosasdebarcos.com">www.cosasdebarcos.com</a> .....	8
Ilustración 7 La ballestilla. Fuente <a href="https://sites.google.com/site/lacienciadelosastros">https://sites.google.com/site/lacienciadelosastros</a> .....	8
Ilustración 8. Sextante. Fuente: <a href="http://www.infovisual.info">www.infovisual.info</a> .....	9
Ilustración 9 Órbita elíptica con el Sol en uno de los focos. Ilustración del autor.....	10
Ilustración 10 Triángulo de posición en la esfera celeste Fuente: <a href="http://www.masmar.net">www.masmar.net</a> .....	12
Ilustración 11 El zodiaco. Fuente: <a href="http://www.adivinario.com">www.adivinario.com</a> .....	17
Ilustración 12 Coordenadas horizontales. Fuente: <a href="http://www.javierdelucas.es">www.javierdelucas.es</a> .....	19
Ilustración 13 Coordenadas horarias. Fuente: <a href="http://www.javierdelucas.es">www.javierdelucas.es</a> .....	21
Ilustración 14 Coordenadas uranográficas ecuatoriales. Fuente: <a href="http://www.javierdelucas.es">www.javierdelucas.es</a> .....	22
Ilustración 15 Coordenadas uranográficas elípticas. Fuente: <a href="http://www.javierdelucas.es">www.javierdelucas.es</a> .....	24
Ilustración 16 Traslación de la Tierra. Fuente: <a href="http://www.astrojem.com">www.astrojem.com</a> .....	25
Ilustración 17 Ápsides y solsticios. Ilustración del autor.....	26
Ilustración 18. Precesión. Fuente: <a href="http://www.encorda2.com">www.encorda2.com</a> .....	28
Ilustración 19 Movimientos de precesión y nutación. Fuente: <a href="http://austrinus.com">austrinus.com</a> .....	29
Ilustración 20. Estrellas circumpolares. Fuente: <a href="http://iniciacionalastronomia.weebly.com">http://iniciacionalastronomia.weebly.com</a> .....	31
Ilustración 21 Latitud del observador y altura de la polar. Ilustración del autor .....	32
Ilustración 22 Órbita de la Luna. Fuente: <a href="http://astrosurf.com">astrosurf.com</a> .....	34
Ilustración 23 Fases de La Luna. Fuente: <a href="http://blog.astroaficion.com">blog.astroaficion.com</a> .....	35
Ilustración 24. Cassiopeia. Fuente: Stellarium.....	37
Ilustración 25 Dragón. Fuente: Stellarium .....	38
Ilustración 26 Ursa Maior. Fuente: Stellarium.....	38
Ilustración 27 Ursa Menor. Fuente: Stellarium .....	39
Ilustración 28. Gemini. Fuente: Stellarium .....	40
Ilustración 29. Triangulum. Fuente: Stellarium .....	40
Ilustración 30. Aries. Fuente: Stellarium .....	41
Ilustración 31. Pegasus. Fuente: Stellarium .....	41

Ilustración 32. Orión. Fuente: Stellarium.....	42
Ilustración 33. Canis Major. Fuente: Stellarium .....	43
Ilustración 34. Hércules. Fuente: Stellarium.....	44
Ilustración 35. Centaurus. Fuente: Stellarium.....	45
Ilustración 36. Cruz del sur. Fuente: Stellarium.....	46
Ilustración 37. Triángulo Austral. Fuente: Stellarium.....	47
Ilustración 38. Fénix. Fuente: Stellarium.....	47
Ilustración 39. Pez Dorado. Fuente: Stellarium .....	48
Ilustración 40. Aquarius. Fuente: Stellarium .....	49
Ilustración 41. Lupus. Fuente: Stellarium. ....	49
Ilustración 42. Scorpius. Fuente: Stellarium.....	50
Ilustración 43. Libra. Fuente: Stellarium .....	51
Ilustración 44 Starfinder. Fuente: <a href="http://www.depositohidrográfico.com">www.depositohidrográfico.com</a> .....	55
Ilustración 45. Planisferio. Fuente: <a href="http://www.sitographics.com">www.sitographics.com</a> .....	56
Ilustración 46. Enfilaciones a la estrella Polar. Fuente: Stellarium.....	57
Ilustración 47. Enfilación a Sirius. Fuente: Stellarium .....	58
Ilustración 48. Enfilación a Alpheratz. Fuente: Stellarium.....	59
Ilustración 49. Enfilación a Castor. Fuente: Stellarium .....	59
Ilustración 50. Scorpius. Fuente: Stellarium.....	60
Ilustración 51. Círculos de alturas iguales. Ilustración del autor.....	61
Ilustración 52. Recta de altura. Ilustración del autor .....	63
Ilustración 53. Escala de latitud aumentada. Ilustración del autor.....	64





# Capítulo 1. Historia de la astronomía

## 1.1 Introducción

El primer reto de la astronomía es encontrar un sistema de referencia de espacio y tiempo. Para comprender las relaciones entre los cuerpos celestes es necesario encontrar primero un sistema de referencia; de esta manera se pueden medir y definir magnitudes y parámetros.

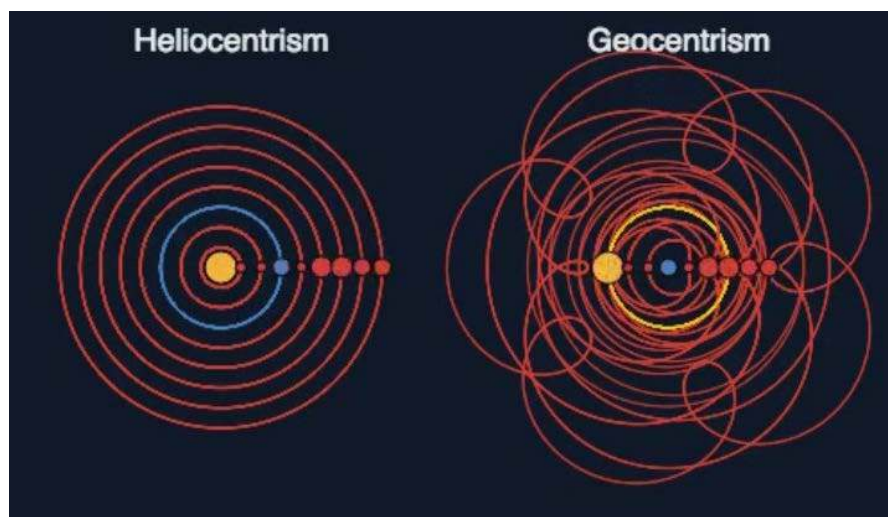
La astronomía se puede definir como la ciencia de las posiciones, movimientos, constituciones, historias y destinos de los cuerpos celestes. A su vez la historia de la astronomía se puede dividir, *grosso modo*, en tres periodos: el geocéntrico, el galáctico y el universal. El periodo geocéntrico comienza con los astrónomos de la antigüedad y concluye en el siglo XVI. El segundo se desarrolla entre los siglos XVII y XIX. El periodo universal es el actual y comenzó en el siglo XX.

Periodo Geocéntrico: Durante este periodo se mantuvo la creencia de que la Tierra estaba posicionada en el centro del universo y que el Sol, la Luna y los demás astros se movían a su alrededor. Por aquel entonces la astronomía se empleaba principalmente para fines astrológicos. A pesar de ello los antiguos astrónomos elaboraron calendarios muy precisos y definieron la eclíptica (camino aparente del sol por el cielo). Durante el siglo II a.C. Hiparco de Nicea elaboró el primer catálogo de estrellas conocido y descubrió la precesión de los equinoccios. Otro astrónomo relevante de la época fue Ptolomeo, que en su obra *Sintaxis* explica su modelo astronómico geocéntrico. A pesar de que la creencia general era que la Tierra ocupaba el centro del universo, algunos sabios como Filolao o Aristarco de Samos afirmaban que la Tierra, en efecto, se movía a través del universo. Filolao (siglo IV a.C.) sostenía la idea de que la Tierra se trasladaba alrededor de un “fuego central”, y Aristarco de Samos (siglo II a.C.) llevó la teoría un paso más allá diciendo que la Tierra giraba en torno al Sol. No obstante, estas hipótesis no eran respaldadas por los científicos de la época.



**Ilustración 1** Aristarco de Samos. Fuente: [www.biografias.com](http://www.biografias.com)

Período Galáctico: Este período comienza durante el Renacimiento. En el año 1543, Copérnico publicaba la obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, en la que daba a conocer su modelo heliocéntrico. Este modelo afirmaba que el Sol estaba en el centro del sistema solar y la Tierra y los planetas orbitaban a su alrededor. Según Copérnico, el movimiento diurno de los astros es debido al movimiento de rotación de la Tierra y el movimiento anual de los astros se debe a la traslación de la tierra con el Sol en el centro. A pesar de que el sistema que proponía Copérnico tenía algunos fallos (por ejemplo, describía la órbita de los planetas como circular) sirvió para describir un nuevo modelo astronómico cercano al que empleamos a día de hoy.



**Ilustración 2.** Heliocentrismo y geocentrismo. Fuente: <http://thehypertextuallounge.com>

En las épocas posteriores los científicos más destacados fueron Galileo Galilei, Johannes Kepler e Isaac Newton. Galileo mejoró el telescopio y lo utilizó para descubrir satélites en Júpiter; comprendió y enunció que la tierra no ocupaba el centro del universo, lo que le trajo serios problemas con la Inquisición. Kepler, asistente de Tycho Brahe, formuló las leyes que llevan su nombre para describir el movimiento planetario. Newton, por su parte, formuló la teoría de gravitación universal y explicó las leyes de Kepler, la precesión de los equinoccios y la forma de la Tierra, no redonda sino elipsoidal.

Periodo Universal: En este periodo se conoce ya que el Sol no es el centro del universo y que hay muchas galaxias como la nuestra en el espacio. Con la tecnología disponible hoy en día se han elaborado nuevos mapas del universo y nuevas teorías acerca de su naturaleza. Uno de los científicos más importantes del siglo XX fue Albert Einstein (1879-1955), cuya Teoría de la Relatividad se emplea hoy para explicar fenómenos de la astrofísica.

## **1.2 Instrumentos empleados en la antigüedad**

Como es sabido, para obtener la situación es necesario hallar la latitud y la longitud. La primera es relativamente fácil de determinar con instrumentos sencillos. La longitud es más complicada pues es necesario disponer de un meridiano de referencia.

En el año 1600, el rey español Felipe III ofreció una recompensa a quien lograra resolver el problema de la longitud. Los monarcas de Francia, Holanda e Inglaterra también ofrecieron generosas sumas de dinero a quien hallara una solución a este problema. No fue hasta el año 1765 que el relojero John Harrison (1693-1776) obtuvo la recompensa de 20.000 libras por parte de la corona de Inglaterra por su cronómetro H-4. Puesto que con la altura de un astro es fácil determinar la hora en alta mar, el problema radicaba en conocer en todo momento la hora en el meridiano de origen.

A continuación, se mencionarán algunos de los instrumentos más relevantes empleados en la antigüedad en el intento de conocer la hora o la situación.

## El gnomon

Es uno de los instrumentos más sencillos, un palo clavado en el suelo. Este instrumento puede funcionar como un reloj de sol para indicar la hora, pero también la latitud.

El gnomon fue utilizado por los chinos desde el siglo XXIV a.C. y lo continuaron utilizando los griegos posteriormente. La sombra del gnomon varía su longitud según la época del año. Durante los equinoccios describe una recta, ya que la trayectoria del sol es exactamente este-oeste. Durante el resto del año describe una hipérbola que se acentúa hasta un máximo en el solsticio.

## Brújula solar

En Groenlandia se halló un disco perteneciente a los vikingos que resultó ser una brújula solar. El gnomon está situado en un disco de madera con muescas en el borde, similar a una rosa de los vientos. Las líneas trazadas a lo largo del disco son líneas gnómicas que representan el trayecto que la sombra del pequeño gnomon hace durante el día.

Situando la sombra del sol en la línea gnómica se halla el norte. Cada línea gnómica solo funcionaría para una latitud y época del año concretas, ya que la altura del sol varía según la latitud y las estaciones.



**Ilustración 3 . Brújula solar vikinga. Fuente: astrotalleres.wordpress.com**

#### El anillo solar

El funcionamiento es similar al del reloj de sol. El instrumento ha de orientarse en dirección al sol. La luz que pasa a través del agujero incide sobre la parte interior del anillo, indicando la hora sobre la graduación inscrita ahí. Al igual que el reloj de sol y la brújula solar vikinga, la graduación del anillo solar corresponde a una latitud determinada.

#### El nocturlabio

Este instrumento, muy empleado durante los siglos posteriores al Renacimiento, sirve para hallar el horario de una estrella circumpolar. Se suelen emplear Dubhe y Merak, pertenecientes a la Osa Mayor, también conocidas como Apuntadoras, que son las dos estrellas que señalan a la estrella polar. Se observa la estrella polar a través del agujero y se alinea la aguja con las Apuntadoras. El nocturlabio consta también de un calendario con forma de disco en su interior. Se gira para ponerlo en la fecha indicada y la aguja marca la hora. Este instrumento fue utilizado durante la Edad Media y aún más entre los siglos XVI y XVIII.

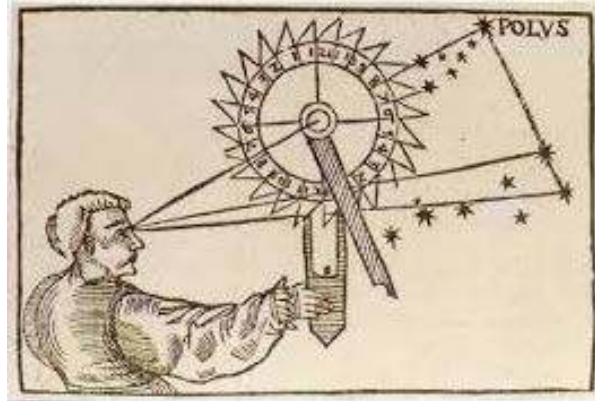


Ilustración 4. Nocturlabio. Fuente: [www.eloviparo.wordpress.com](http://www.eloviparo.wordpress.com)

## El torquetum

No se sabe con certeza quién lo inventó, aunque ya se empleaba en la época de Ptolomeo. Se perdió durante algunos siglos y fue redescubierto por Jabir Ibn Aflah (Al-Andalus, 1100-1150), aunque los únicos ejemplares que se han encontrado datan del siglo XVI. En el cuadro *Los embajadores*, de Hans Holbein el joven (1533) se puede observar un ejemplar del torquetum.

Este instrumento sirve para medir las coordenadas en tres planos, horizontal, ecuatorial y eclíptica.

## 1.2.1 Instrumentos para medir la hora

### Reloj de sol

El reloj de sol es un instrumento para medir el paso del tiempo usado desde tiempos muy remotos. Emplea la sombra arrojada por un gnomon sobre una superficie con una escala para indicar la posición del Sol en el movimiento diurno. Los más antiguos documentados pertenecieron a los egipcios, y fueron estos los primeros en dividir el día en 24 horas, aunque los antiguos sumerios ya dividían el día en 12 *danna*, siendo cada *danna* dos horas.

## Clepsidra

Este rudimentario invento es más un cronómetro que un reloj. Consiste en un recipiente cónico lleno de agua, con un agujero en el fondo. El agua va cayendo por el fondo y con unas marcas a lo largo del cono se puede medir el tiempo que ha transcurrido.



**Ilustración 5 Clepsidra. Fuente: [www.quhist.com](http://www.quhist.com)**

## Reloj de arena

Instrumento muy conocido no solo en el ámbito marino sino también en cualquier ámbito en el que se necesite un cronómetro. Desde sus inicios fue empleado por cocineros para medir tiempos de cocción. Está formado por dos conos de vidrio unidos por los vértices y la medida es el tiempo que tarda la arena en pasar de un lado al otro.

## Cronómetro de la marina

En el año 1765, John Harrison logró resolver el problema de medición del tiempo en el mar y cobró una recompensa de 20,000 libras por parte de la corona inglesa por la invención del cronómetro H-4. Harrison era un carpintero convertido a relojero que empleó una gran parte de su vida en inventar y perfeccionar relojes para uso náutico. Un cronómetro marino resultaba un enorme desafío para los



relojeros de la época, pues el balanceo del barco impedía que se pudieran emplear relojes de péndulo; y además los materiales de fabricación también daban problemas debido a la humedad y salinidad del ambiente en un barco.

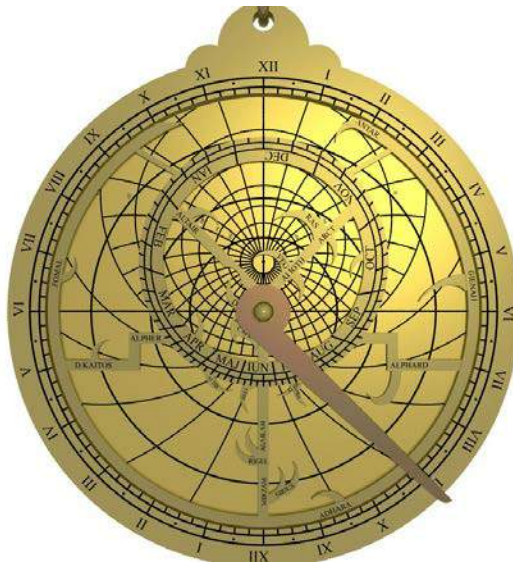
## 1.2.2 Instrumentos para medir ángulos

El cuadrante

Este sencillo instrumento es una placa con forma de un cuarto de círculo. Este cuarto de círculo está graduado y uno de los radios tiene dos agujeros para observar el astro a través de ellos. Del centro cuelga una plomada para leer la altura del astro; por tanto, no puede ser empleado para medir azimuts. El inconveniente de este instrumento es su poca precisión al ser utilizado en una embarcación.

El astrolabio marino

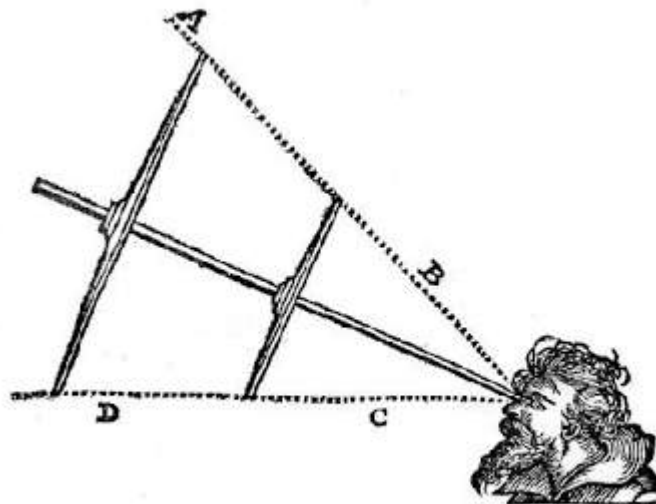
No se sabe con certeza cuándo apareció el primer astrolabio, es posible que lo inventara Hiparco de Nicea (Siglo II a.C.). Claudio Ptolomeo ya lo describió en su obra *Almagesto* en el Siglo II d.C. Se empleó hasta el siglo XVIII. Este instrumento es algo más complejo que el cuadrante, aunque la finalidad es la misma. Consta de un disco de metal graduado y en su interior hay una alidada con una mirilla para observar el astro y medir su altura. Conociendo la latitud permite hallar la hora y viceversa. En la mar la precisión obtenida era de unos 5° y en tierra inferior a 1°.



**Ilustración 6. Astrolabio. Fuente: [www.cosasdebarcos.com](http://www.cosasdebarcos.com)**

### La ballestilla

La ballestilla es un antiguo y sencillo instrumento formado por una vara larga de madera sobre la cual se coloca una vara más pequeña perpendicular a ella. Se colocaba el ojo en el extremo de la vara grande y se movía la pequeña hasta que un extremo estaba en la estrella polar y el otro en el horizonte, de esta manera se hallaba la latitud de manera aproximada.



**Ilustración 7 La ballestilla. Fuente <https://sites.google.com/site/lacienciadelosastros>**

## El octante

En 1731, el astrónomo inglés John Hadley (1682-1744) presentó en Londres el primer instrumento que empleaba espejos y óptica, el octante. Este instrumento consta de un limbo de un octavo de círculo que permite medir ángulos de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . En la graduación del limbo hay escalas transversales (después aparecería la escala de Vernier), permitiendo que la lectura sea más precisa. El octante supuso un gran salto en la evolución de los instrumentos de navegación, ya que la precisión de las medidas que obtenía era del orden del minuto. Por ello fue empleado hasta mediados del siglo XX.

## El sextante

Posterior al octante, el sextante cubrió la necesidad de medir ángulos mayores a  $90^\circ$ . Su nombre viene de que su limbo abarca un ángulo de un sexto de circunferencia, es decir,  $60^\circ$ . Lleva dos espejos, uno grande y el otro pequeño. Delante de los espejos se pueden colocar filtros para proteger el ojo del sol. El espejo pequeño está situado sobre el limbo, enfrente del visor. Este espejo es mitad reflectante y mitad transparente para poder ver el horizonte y el astro observado a la vez y así alinearlos. Una vez alineados se puede leer sobre la escala del limbo el ángulo. Con los sextantes de hoy en día se puede alcanzar una precisión de un cuarto de minuto, o sea un cuarto de milla. A los sextantes de hoy día se les debería llamar de manera más precisa quintantes, pues tienen un limbo de  $75^\circ$ - $80^\circ$ , y la quinta parte de una circunferencia es  $72^\circ$ .

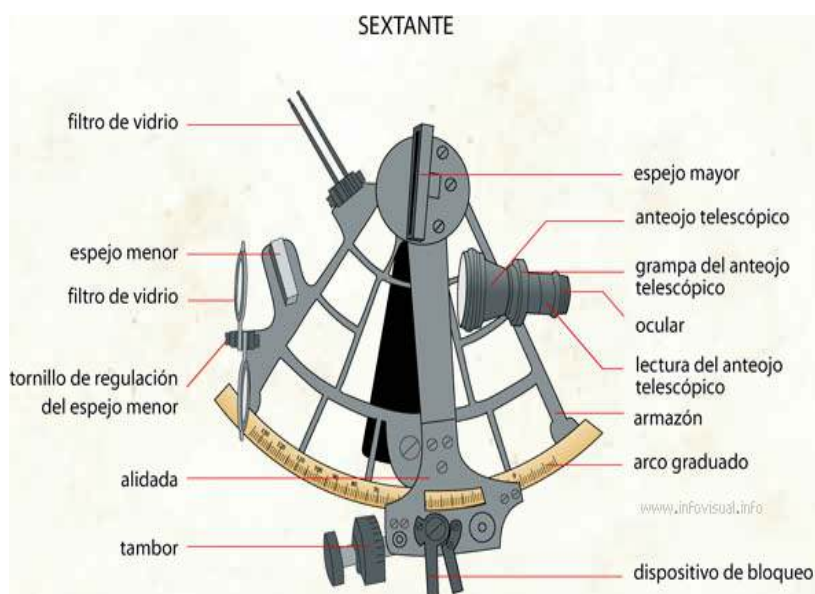


Ilustración 8. Sextante. Fuente: [www.infovisual.info](http://www.infovisual.info)

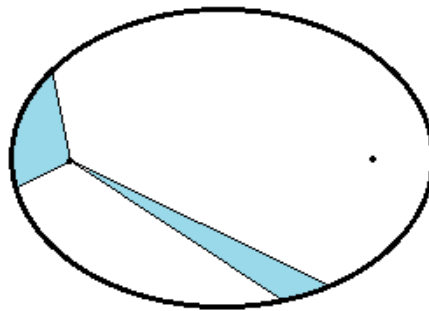
## 1.3 Leyes de Kepler

A comienzos del siglo XVII, Johannes Kepler enunció tres leyes que describen el movimiento de los planetas alrededor del Sol. Kepler recopiló y resumió datos recogidos por su maestro Tycho Brahe en tres enunciados describiendo movimiento planetario en un sistema heliocéntrico.

Las Leyes de Kepler dicen así:

1. Los planetas describen órbitas elípticas alrededor del sol, ocupando el centro del Sol un foco común en todas ellas (ver ilustración 9).
2. Las áreas elípticas descritas por los radios vectores que unen el centro del sol con el de un planeta, son proporcionales a los tiempos empleados en recorrerlas, es decir, las áreas descritas en tiempos iguales son iguales (ver ilustración 9).

3. Los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en sus revoluciones sidéreas son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas ( $\frac{T^2}{r^3} = \text{Constante}$ ).



**Ilustración 9 Órbita elíptica con el Sol en uno de los focos. Ilustración del autor.**

La primera ley dice que los planetas orbitan alrededor del Sol describiendo una elipse. Una elipse es una figura en la cual la suma de las distancias de un punto de la curva a otros dos puntos es

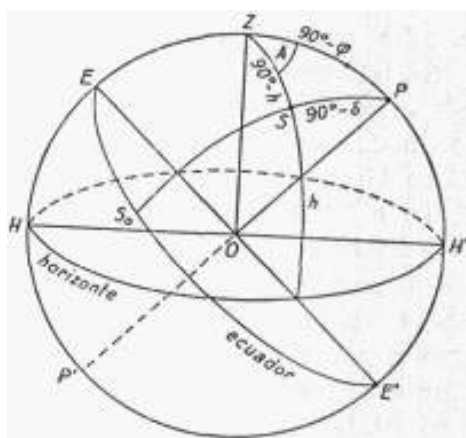
constante. Esos dos puntos son los focos de la elipse. Cuanto más cercanos estén esos dos puntos más se parecerá la elipse a una circunferencia. Si los dos puntos estuvieran en el mismo sitio, la elipse sería un círculo. En el caso de nuestro sistema solar, el Sol está en un foco de la elipse, mientras la Tierra orbita a su alrededor siguiendo la curva de dicha elipse.

La segunda ley describe la velocidad a la cual un planeta se traslada alrededor del Sol. La velocidad del planeta es máxima cuando está más cerca del Sol y mínima cuando está en su punto más lejano. Si se trazara una línea uniendo el centro del planeta con el centro del Sol, se observaría que la línea barre la misma área en periodos de tiempo iguales. Por ejemplo, cada mes de 30 días la línea que une el centro del planeta con el centro del Sol barre la misma área. Como se puede apreciar en la Ilustración 9, el área barrida cuando el planeta está cerca del Sol es un triángulo de base ancha en comparación con el triángulo de base estrecha que forma el área barrida cuando el planeta está lejos del Sol. Debido a que el planeta se mueve más despacio, la base del triángulo es más pequeña y el área imaginaria es del mismo tamaño que cuando el planeta está cercano al Sol.

La tercera ley compara el periodo de traslación y el radio de la órbita de distintos planetas. A diferencia de la primera y la segunda ley, que describen características de un solo planeta, la tercera ley de Kepler compara características de diferentes planetas. La comparación que se hace es que el periodo de revolución al cuadrado, dividido entre su semieje al cubo, es constante. El semieje es la suma de la distancia más grande y la distancia más pequeña dividida entre dos.

## **Capítulo 2. Conceptos**

### **2.1 El triángulo de posición**



**Ilustración 10 Triángulo de posición en la esfera celeste Fuente: [www.masmar.net](http://www.masmar.net)**

Si en una esfera celeste se sitúa el observador con zenit Z y el astro con sus coordenadas horarias y horizontales, se obtiene el triángulo esférico conocido como PAZ (polo, astro, zenit). Los lados del triángulo forman círculos máximos. Los tres círculos máximos que forman el triángulo son: el meridiano superior de lugar, el semicírculo horario y la vertical del astro. Este triángulo, muy empleado en la navegación astronómica, determina la relación entre el astro en la esfera celeste y el observador en la tierra.

**Zenit:** Es la intersección de la vertical de lugar y la esfera celeste. Para un observador es el punto más alto del cielo, situado justo encima de él, con una altura de  $90^\circ$ . El punto opuesto al zenit sobre la esfera celeste es el nadir.

**Verticales:** círculos máximos perpendiculares al horizonte que pasan por el zenit y el nadir. Existen infinitos verticales para infinitas posiciones que pueda tener un astro en el cielo.

**Meridiano de lugar:** El círculo máximo que pasa por el zenit y los polos celestes. También es una vertical. El meridiano de lugar se divide en dos semicírculos: Uno que va desde el polo norte hasta el polo sur pasando por el Zenit, que es el meridiano superior y otro que pasa por los polos y el nadir, que es el meridiano inferior.

**Meridiano de Greenwich:** Es un círculo máximo que pasa por los polos y por el observatorio de Greenwich.

Ecuador celeste: Círculo máximo de esfera celeste perpendicular al eje de la Tierra. Es la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste. Tiene una inclinación de  $23^{\circ}27'$  con respecto a la elíptica.

Círculos horarios: Círculos máximos de esfera celeste que pasan por los polos celestes y por lo tanto son perpendiculares al ecuador. El meridiano de Greenwich es un círculo horario.

Paralelos: Círculos menores paralelos al ecuador celeste. Son perpendiculares a los círculos horarios, a los cuales cortan en dos puntos.

## 2.2 La corrección total

Se llama corrección total al ángulo que forma el norte de la aguja y el norte geográfico o verdadero (Nv). La corrección total se emplea para pasar lecturas de aguja a la carta y viceversa. Las lecturas de aguja usan como referencia el norte de aguja y la carta usa como referencia el norte geográfico o verdadero. Para recordar esto hay una frase que dice "de la carta al timón, al revés la corrección". La corrección total de una aguja es la suma de la declinación magnética y el desvío.

Declinación magnética: El campo magnético de La Tierra es irregular y los meridianos magnéticos no coinciden con los geográficos, sino que los cortan en distintos ángulos dependiendo del lugar. En un punto determinado, el ángulo formado por el meridiano geográfico (norte verdadero) y el meridiano magnético (norte magnético) se llama declinación magnética.

Desvío: Debido al magnetismo inducido por el acero del propio buque, la aguja no señala el norte magnético (Nm), sino el norte de aguja (Na). El ángulo que forma el norte de aguja (Na) con el meridiano magnético (Nm) se llama desvío. El desvío es positivo cuando el Na está a la derecha del Nm y negativo cuando el Na está a la izquierda del Nm. El magnetismo permanente y accidental que generan los aceros del buque se reduce mediante esferas y la barra de Flinders, que generan un desvío contrario.

Procedimientos para encontrar la corrección total:

Es evidente que la corrección total es fundamental para hallar el rumbo correctamente. Existen diversos métodos para hallarla.

A bordo se puede obtener por ejemplo el azimut de aguja de un astro ( $Z_a$ ) y compararlo con el azimut verdadero, habiéndolo calculado previamente.

También se podría tomar una demora de aguja de algún objeto terrestre y compararlo con la demora verdadera empleando una carta.

En estos casos se calcularían así:  $C_t = D_v - D_a$     $C_t = Z_v - Z_a$

Otra manera de obtener la corrección total es comparando el rumbo verdadero y el rumbo de aguja.

Esto se puede hacer obteniendo el rumbo verdadero con la aguja giroscópica y comparándolo con el rumbo de aguja que nos marque la aguja.

$C_t = R_v - R_a$



## Capítulo 3. Estrellas y constelaciones.

### 3.1 ¿Qué es una estrella?

Las estrellas son enormes masas de gas incandescentes que brillan con su propia luz. Al estar a temperaturas de miles de grados es imposible que estén en un estado que no sea gaseoso. Cuando se habla de distancias entre estrellas se utiliza la medida año luz. Un año luz es la distancia que recorre la luz en un año.  $300,000\text{km/s} * 60\text{sg/min} * 60\text{min/h} * 24\text{h/día} * 365,2\text{días/año} = 9,461 * 10^{12} \text{ km}$ . La estrella de las que se suelen emplear para la navegación que más cercana está a la Tierra es *Alfa Centauri A*, del sistema *Alfa Centauri*, que se encuentra a 4,2 años luz de nuestro planeta. Las estrellas se mueven, pero al encontrarse tan lejos de nosotros este movimiento apenas se percibe.

Las estrellas tienen un cambio rápido de intensidad y brillo conocido como centelleo. Estas variaciones son debidas al efecto que tiene la atmósfera de la Tierra en el rayo de luz de la estrella, un efecto que se acentúa cuando se observan las estrellas con telescopio.

La magnitud estelar aparente es una medida que indica cuánto brilla una estrella.

Se cree que la primera clasificación de estrellas, según su brillo aparente, la realizó Hiparco de Nicea (s II a.C.). Se denomina aparente porque una estrella puede brillar más que otra, pero al encontrarse a una distancia mucho mayor, aparentemente brillará menos. La clasificación de Hiparco agrupa las estrellas en seis clases, de primera a sexta magnitud. En la primera, Hiparco agrupó las veinte estrellas más brillantes que veía. Las siguientes cincuenta formaban el grupo de segunda magnitud, y así sucesivamente. El problema de esta forma de clasificación es que diferentes observadores clasifican distintas magnitudes a la misma estrella. En el siglo XIX se introdujo la división decimal a esta forma de clasificación. Por ejemplo, la estrella polar tiene una magnitud de 2,1.

En 1830 el astrónomo y músico William Herschel descubrió que una estrella de primera magnitud es unas 100 veces más brillante que una de sexta, y de ahí se estableció una relación entre las magnitudes estelares y el brillo aparente. Se partió de la norma de que si un estímulo (el brillo aparente) aumenta en progresión geométrica (1,2,4,8), la magnitud aumenta en progresión aritmética (1,2,3,4). Se determinó que las estrellas de magnitud 2 son 2,5 veces más brillantes que

las de magnitud 3, que a su vez son 2,5 veces más brillantes que las de magnitud 4 y así sucesivamente. Siguiendo este criterio se volvieron a clasificar los valores de magnitud de las estrellas.

Las estrellas parecen no cambiar de posición, y desde la Tierra parece que se mantienen cerca de las mismas estrellas siempre. Estos grupos de estrellas se llaman constelaciones. Muchas llevan nombres mitológicos como Orión, Andrómeda o nombres de animales y objetos como Toro, Carro o León.

Las estrellas que componen las constelaciones no tienen por qué estar cerca unas de otras. Lo significativo para nosotros es que esas estrellas se encuentren en la misma dirección vistas desde la Tierra. Por ello las estrellas que -vistas desde la Tierra- forman una constelación, podrían no tener nada que ver unas con otras contempladas desde otro punto del universo.

Desde nuestra perspectiva, la estrella más importante de todas es el Sol, ya que sin él la vida en la Tierra no existiría. El Sol se encuentra a 150 millones de kilómetros de nosotros, y desde los albores de la humanidad ha servido a los hombres para orientarse.

Los catálogos son listas de estrellas numeradas y ordenadas. Normalmente suelen estar ordenadas según su ángulo sidéreo. El catálogo de Hiparco de Nicea, el primero conocido, data del siglo II a.C., y abarca 48 constelaciones.

### **3.2 Zodiaco**

Todos los planetas del sistema solar describen una trayectoria que se encuentra comprendida en una franja limitada por dos círculos paralelos a la eclíptica, a  $9^\circ$  cada uno. Esta franja se llama zodiaco. El zodiaco está dividido en doce partes iguales de  $30^\circ$  cada una. Cada parte recibe el nombre de una constelación que estaba allí hace aproximadamente 2.500 años.

El Sol, en su recorrido aparente por la eclíptica, se encuentra en cada signo alrededor de un mes. Cuando se nombraron los signos y las constelaciones zodiacales, la constelación de Aries estaba en el equinoccio de primavera.

El signo de Aries es el que se emplea como origen de las longitudes celestes, y es donde la eclíptica cruza el ecuador.

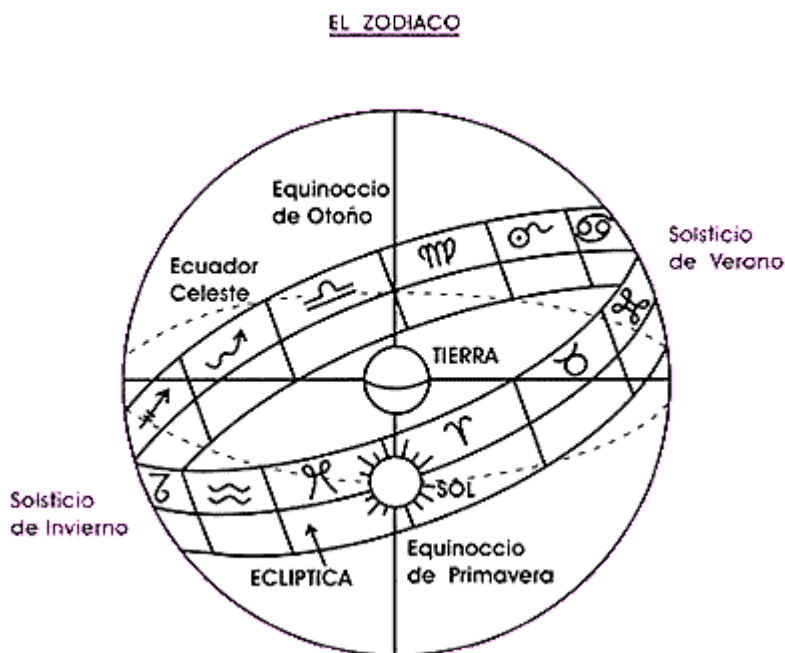


Ilustración 11 El zodiaco. Fuente: [www.adivinario.com](http://www.adivinario.com)

El hecho de que los signos del zodiaco no correspondan a la constelación que se encuentra en ellos se debe a la precesión de los equinoccios. Debido a este fenómeno los equinoccios se van desplazando lentamente hacia el oeste. Tardan unos 25.800 años en dar una vuelta completa. La precesión sucede porque la línea de polo a polo está inclinada unos  $23^\circ$  respecto de lo que serían los polos de la eclíptica. Por ello la tierra actúa como un giróscopo de tres grados de libertad. Un giróscopo de tres grados de libertad tiene como características rigidez y precesión. La rigidez significa que el eje giróscopo siempre apunta hacia la misma dirección. La precesión es la propiedad que hace que el giróscopo gire cuando una fuerza exterior trata de inclinarlo, y que se incline cuando una fuerza exterior trata de girarlo. La fuerza exterior que actúa sobre la tierra causando la precesión es la gravedad del Sol y la Luna. La fuerza de atracción inclina el eje polar del plano que forma el ecuador para hacerlo coincidir con la línea que une el centro de ambos astros. Esto es debido a la forma elipsoidal de la Tierra. La reacción a esta fuerza exterior es la precesión.

Si la Tierra fuera perfectamente esférica, el Sol y la Luna no ejercerían esos momentos de fuerza sobre la protuberancia ecuatorial, y la dirección del eje de la Tierra no se vería modificada.

### 3.3 Sistemas de coordenadas

La navegación astronómica tiene como fin obtener la situación del observador sobre la superficie terrestre mediante la observación de astros. Es lógico suponer que, para ello, es necesario encontrar una relación entre el observador y el astro sobre la esfera celeste.

Para situar un punto sobre la esfera terrestre, se emplean las coordenadas geográficas que utilizan las coordenadas angulares latitud y longitud, expresadas en grados sexagesimales. La latitud (norte o sur) es el arco de meridiano desde el ecuador hasta el zenit del punto. La longitud (este u oeste) es el arco de ecuador desde el meridiano de Greenwich hasta el meridiano de lugar del punto.

Las coordenadas celestes emplean diferentes valores y sistemas de referencia para posicionar objetos en la esfera celeste según la situación.

La esfera celeste se divide en dos hemisferios mediante un ecuador. El ecuador celeste es un círculo máximo que es la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste. Cada hemisferio tiene un polo con declinación de  $90^\circ$  que unido al otro forma el eje de la tierra. El polo norte celeste coincide con la estrella Polaris cuya altura con las correcciones pertinentes proporciona la latitud de lugar.

Para un observador en la Tierra, el Sol y las estrellas giran de este a oeste. Esto se debe al movimiento de rotación de la Tierra. La trayectoria que dibujan las estrellas es circular y tiene por centro el polo, Norte o Sur dependiendo del hemisferio en el que se encuentre el observador.

#### 3.3.1 Coordenadas horizontales

También conocidas como azimutales, forman junto a las horarias lo que se conoce como coordenadas locales, ya que dependen de la posición del observador. Las coordenadas horizontales son el Azimut (Z) y la Altura (a).

Azimut: Arco de horizonte comprendido entre la vertical norte y la vertical del astro (medido hacia el este).

Altura: Arco de vertical comprendido entre el horizonte y el centro del astro.

Círculo fundamental de referencia: Horizonte verdadero

Eje polar: Línea zenit-nadir

Polo fundamental: Zenit

Círculos secundarios: Verticales

Semicírculo secundario de referencia: Vertical norte

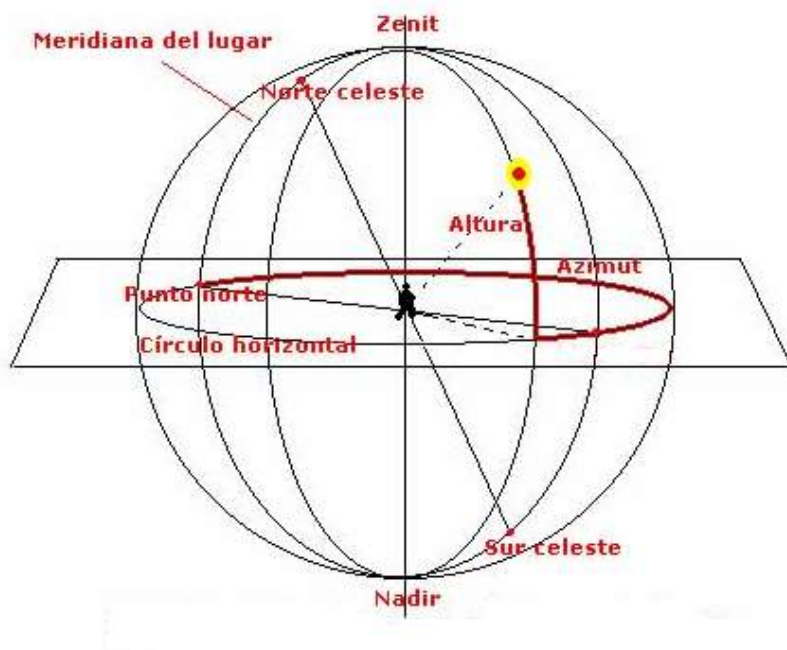
Paralelos secundarios: Almicantarats

Coordenadas: Altura, Azimut

Zenit: Corresponde al punto en la esfera celeste donde se encuentra el observador. Es la intersección de la vertical de lugar con la esfera celeste. La altura de este punto es de  $90^\circ$  y su polo opuesto se denomina nadir.

Verticales: Círculos máximos perpendiculares al horizonte que contienen la línea zenit-nadir. Destaca entre ellos el vertical norte, que contiene el polo norte y es el semicírculo secundario de referencia en las coordenadas horizontales.

El círculo vertical que contiene el polo norte y el polo sur se denomina meridiano de lugar. El semicírculo que contiene ambos polos y el zenit se llama meridiano superior.



**Ilustración 12 Coordenadas horizontales. Fuente: [www.javierdelucas.es](http://www.javierdelucas.es)**

Ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

Pueden medirse con facilidad con sextante y aguja.

Para un instante determinado, la situación del astro queda bien definida con la altura y el azimut

Inconvenientes:

Al ser coordenadas locales dependen de la posición del observador. Por tanto, no valen para un lugar o momento distinto porque el horizonte no es el mismo.

Por ello es importante saber la hora al medir estas coordenadas.

### 3.3.2 Coordenadas horarias

Círculo fundamental de referencia: Ecuador celeste

Eje polar: Línea de polos celestes

Polo fundamental: Polo norte celeste

Círculos secundarios: Círculos horarios

Semicírculo secundario de referencia: Meridiano superior de lugar

Paralelos secundarios: Paralelos de declinación

Coordenadas: Declinación (d), Horario (h)

Los círculos horarios son círculos máximos perpendiculares al ecuador celeste.

Los paralelos de declinación son círculos (no máximos) paralelos al ecuador celeste, que pasan por el centro de los astros.

Declinación: Arco de semicírculo horario comprendido entre el ecuador celeste y el centro del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  hacia el norte o hacia el sur, según en qué hemisferio se encuentre el astro.

Horario: es el arco de ecuador celeste entre el meridiano superior de lugar y el semicírculo horario del astro. El horario puede ser horario local (hl) si se usa el meridiano superior de lugar como meridiano de referencia, o horario en Greenwich (hG) si se emplea el meridiano de Greenwich. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  hacia el oeste.

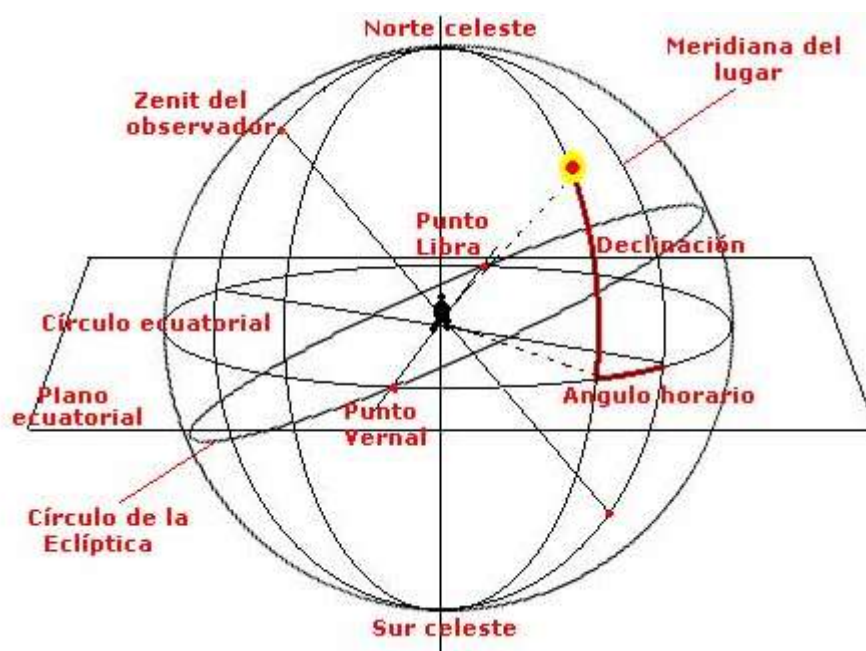


Ilustración 13 Coordenadas horarias. Fuente: [www.javierdelucas.es](http://www.javierdelucas.es)

Ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

Una de las coordenadas, la declinación, es fija. Esto es debido a que los astros, en su movimiento diurno, describen una órbita paralela al ecuador. Por tanto, esta coordenada permanecerá constante en teoría.

Partiendo de la suposición de que el movimiento diurno de los astros es uniforme, la variación del horario del astro también lo será. Esto no sucede con el azimut.

Como el origen del ángulo horario es el meridiano superior de lugar, se puede conocer fácilmente el horario de un astro en otro lugar si se conoce la diferencia de longitud entre las dos posiciones.

Inconvenientes:

La desventaja principal de estas coordenadas es que no se pueden medir directamente a diferencia de la altura y el azimut.

### 3.3.3 Coordenadas uranográficas ecuatoriales

A diferencia de las horizontales y las horarias, estas coordenadas son independientes al observador, permitiendo que sean empleadas en cualquier lugar del mundo con un almanaque. Estas coordenadas son similares a las horarias, pero el origen es el primer punto de Aries ( $\gamma$ ), esto es: el punto de la eclíptica en el que el Sol pasa de estar en el sur a estar en el norte. Esto ocurre aproximadamente el 21 de marzo, y da origen a la primavera en el hemisferio norte y al otoño en el hemisferio sur. El punto opuesto se denomina punto Libra ( $\omega$ ).

Círculo fundamental de referencia: Ecuador celeste

Eje polar: Línea de los polos celestes

Polo fundamental: Polo norte celeste

Círculos secundarios: Máximos de ascensión

Semicírculo secundario de referencia: Primer máximo de ascensión

Paralelos secundarios: Paralelos de declinación

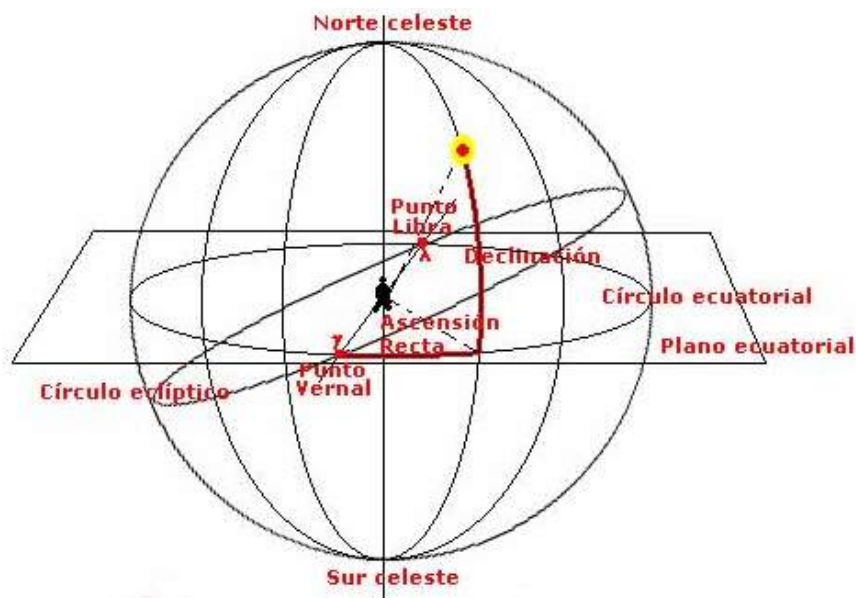
Coordenadas: Declinación ( $d$ ), Ascensión recta (AR)

Los máximos de ascensión son círculos horarios de los astros. Se emplea como semicírculo secundario de referencia el primer máximo de ascensión, que es el semicírculo horario que pasa por el primer punto de Aries.

La ascensión recta es el arco de ecuador celeste entre el primer máximo de ascensión y el máximo de ascensión del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  en sentido directo, es decir, hacia el este.

Generalmente se emplea el ángulo sidéreo, que es el arco de ecuador celeste desde el primer punto de Aries hasta el pie del máximo de ascensión del astro, medido de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  hacia el oeste.





**Ilustración 14** Coordenadas uranográficas ecuatoriales. Fuente: [www.javierdelucas.es](http://www.javierdelucas.es)

Ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

Son independientes de donde esté el observador, ya que se cuentan desde el primer punto de Aries y el ecuador. Por este motivo se pueden tabular en el almanaque.

Inconvenientes:

Al igual que las horarias, es muy difícil medirlas por medio de la observación con métodos convencionales.

### 3.3.4 Coordenadas uranográficas eclípticas

Círculo fundamental de referencia: Eclíptica

Eje polar: Línea de los polos de la eclíptica

Polo fundamental: Polo norte de la eclíptica

Círculos secundarios: Máximos de longitud celeste

Semicírculo secundario de referencia: Primer máximo de longitud celeste

Paralelos secundarios: paralelos de latitud celeste

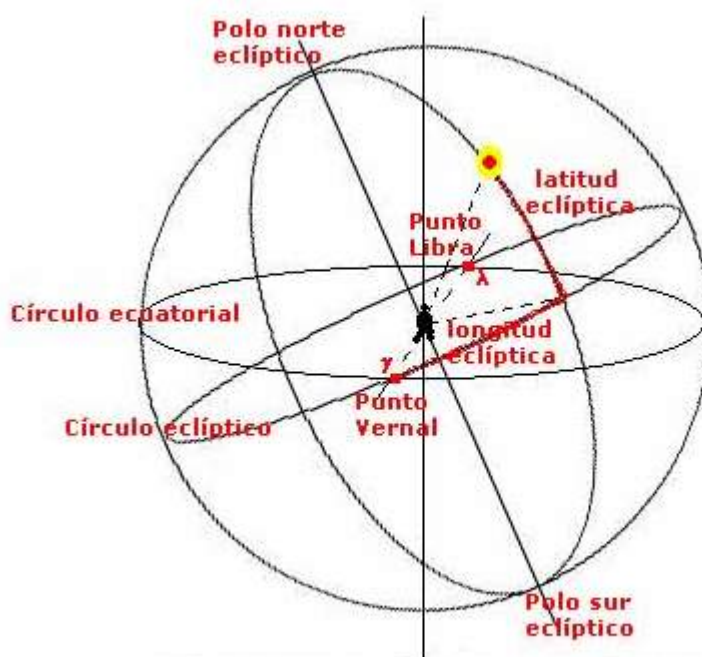
Coordenadas: Latitud celeste, longitud celeste

Los máximos de longitud celeste son semicírculos máximos que pasan por los polos de la eclíptica y por el centro de los astros. El semicírculo secundario de referencia es el primer máximo de longitud celeste, el que pasa por el primer punto de Aries.

Los paralelos de latitud celeste son círculos (no máximos) paralelos a la eclíptica que pasan por el centro del astro.

Latitud celeste es el arco máximo comprendido entre la eclíptica y el centro del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  boreal (hemisferio norte) o austral (hemisferio sur).

Longitud celeste es el arco de eclíptica comprendido entre el primer máximo de longitud celeste y el máximo de longitud del astro. Se mide de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  desde el primer punto de Aries hacia el este.



**Ilustración 15** Coordenadas uranográficas eclípticas. Fuente: [www.javierdelucas.es](http://www.javierdelucas.es)

Ventajas e inconvenientes:

Ventajas:

Independientes del observador, al igual que las anteriores.

Inconvenientes:

No se pueden obtener observándolas al no existir los instrumentos necesarios para ello.

## 3.4 Movimiento planetario

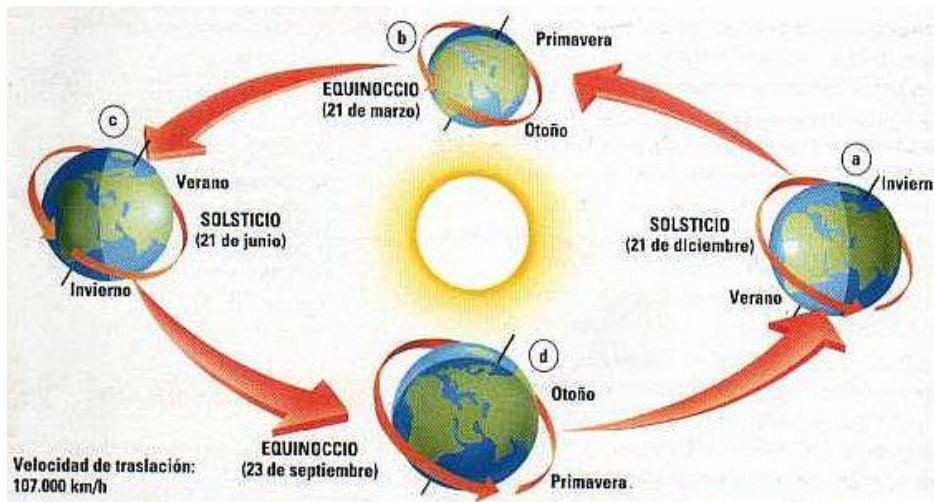
Como ya intuyeron algunos de los antiguos astrónomos, la Tierra se mueve por el universo. Los dos movimientos principales que esta realiza son: la rotación sobre su propio eje y la traslación alrededor del Sol.

### 3.4.1 Rotación

Este movimiento de la Tierra consiste en la rotación alrededor de su eje hacia el este. Una vuelta completa de la Tierra dura 23 horas, 56 minutos y 4 segundos. La velocidad de rotación actual de la Tierra no es la misma que hace millones de años. La interacción con la Luna la ha ido ralentizando. Por otro lado, el terremoto del océano Índico sucedido en 2004 aceleró la velocidad de rotación de la Tierra unas fracciones de segundo. El movimiento de rotación es el que provoca que se haga de día y de noche. Al ocultarse del Sol, una mitad de la Tierra se hace de noche mientras en el otro lado es de día.

### 3.4.2 Traslación

La traslación es el movimiento que describe la Tierra en su viaje alrededor del Sol. Esta órbita no es circular sino elíptica. Cuando se realizan cálculos, se sitúa la Tierra en el centro y sobre la esfera celeste se posicionan los cuerpos celestes como el Sol y las demás estrellas. De este modo se representa de manera gráfica lo que vemos desde la Tierra.



**Ilustración 16 Traslación de la Tierra. Fuente: [www.astrojem.com](http://www.astrojem.com)**

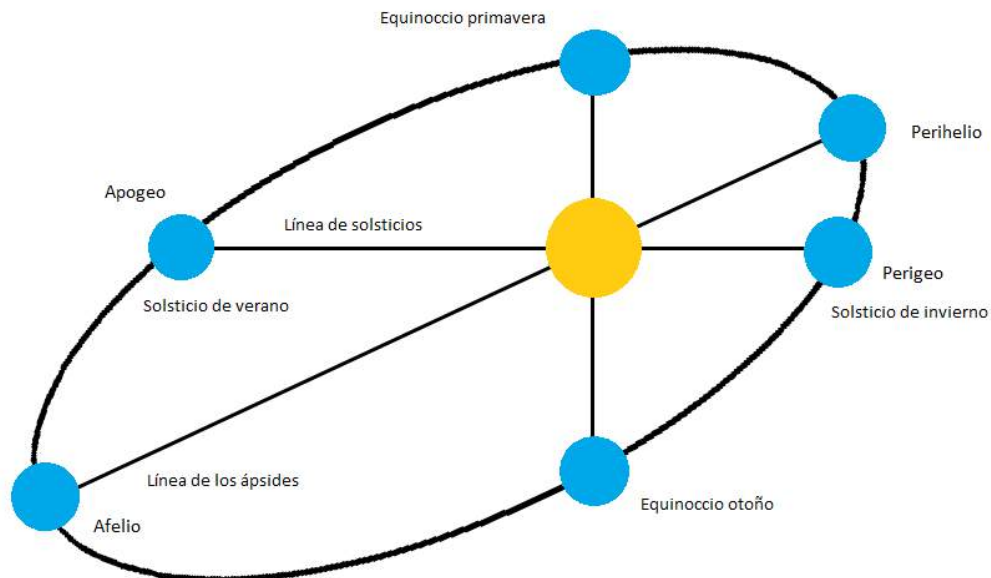
A la trayectoria aparente del Sol sobre la esfera celeste se le denomina eclíptica. Debido a la inclinación del eje de la Tierra, la eclíptica está inclinada  $23^{\circ}27'$  con respecto del ecuador. Los puntos de corte entre ambos se denominan equinoccios. Alrededor del 21 de marzo, el Sol se encuentra en el punto de Aries (uno de los equinoccios) y es primavera en el hemisferio norte mientras que en el hemisferio sur es otoño. Este día la declinación del Sol pasa de ser negativa a positiva. El 23 de septiembre, aproximadamente, el Sol está en el punto de Libra, y es cuando en el hemisferio norte es otoño y en el sur es primavera. En este momento es cuando la declinación del Sol pasa de ser positiva a ser negativa.

Los puntos de la eclíptica separados  $90^{\circ}$  de los equinoccios son los solsticios. En estos puntos el Sol tiene mayor declinación, ya sea positiva o negativa. La declinación en estos días es  $23^{\circ}27'$ , puesto que esa es la inclinación de la eclíptica. La línea que une los solsticios se llama línea de solsticios y la que une los equinoccios, perpendicular a la anterior, se llama línea de los equinoccios.

Puesto que la órbita de la Tierra es elíptica, la distancia que la separa del Sol no es constante. El punto más alejado del Sol se llama afelio, y en el movimiento aparente del Sol este se posiciona en un punto cercano a lo que se denomina apogeo. Cuando la Tierra está en el punto de su órbita más cercano al Sol, se dice que está en el perihelio y el Sol en su movimiento aparente se encuentra en un punto cercano al perigeo. La línea que uno perihelio con afelio se llama línea de los ápsides.

Curiosamente la línea de los solsticios no es la misma que la línea de los ápsides, sino que tiene un ángulo de aproximadamente  $12^\circ$  con esta. El ángulo va variando con el tiempo. De este modo, cuando el Sol se halla en el solsticio de verano, no está en el punto más lejano a la Tierra. Unos días

**Ilustración 17 Ápsides y solsticios. Ilustración del autor**



después es cuando se hallará en la posición más lejana, en su afelio.

La línea de los ápsides no coincide con la de los solsticios. La distancia entre la Tierra y el Sol no es la misma durante el año ya que la órbita es elíptica. Según la segunda ley de Kepler la velocidad de traslación no es constante a lo largo del año, por tanto, la duración de las estaciones no es exactamente la misma.

Además de este movimiento de traslación, la Tierra tiene otro movimiento equivalente, que es el que hace el Sol en su viaje a través del universo hacia un punto del espacio llamado ápex solar. El Sol, junto con el resto del sistema solar, se mueve a una velocidad de aproximadamente  $19,5$  km/sg hacia ese punto, cercano a la estrella *Vega*.

### 3.4.3 Precesión

La precesión sucede porque la línea de polo a polo está inclinada unos  $23^\circ$  respecto de lo que serían los polos de la eclíptica. Por ello la tierra actúa como un giróscopo de tres grados de libertad, cuyas características son la rigidez y la precesión. La rigidez significa que el eje giróscopo siempre apunta hacia la misma dirección. La precesión es la propiedad que hace que el giróscopo gire cuando una fuerza exterior trata de inclinarlo, y que se incline cuando una fuerza exterior trata de girarlo. La fuerza exterior que actúa sobre la tierra causando la precesión es la gravedad del Sol y la Luna. La fuerza de atracción inclina el eje polar del plano que forma el ecuador para hacerlo coincidir con la línea que une el centro de ambos astros. Esto es debido a la forma elipsoidal de la tierra. La reacción a esta fuerza exterior es la precesión. El eje de la Tierra se desplaza alrededor del polo de la elíptica tardando unos 25.800 años en dar una vuelta completa. El desplazamiento angular tiene un valor aproximado de  $50,29''$  al año.

Si la Tierra fuera perfectamente esférica, el Sol y la Luna no ejercerían esos momentos de fuerza sobre la protuberancia ecuatorial, y la dirección del eje de la Tierra no se vería modificada.

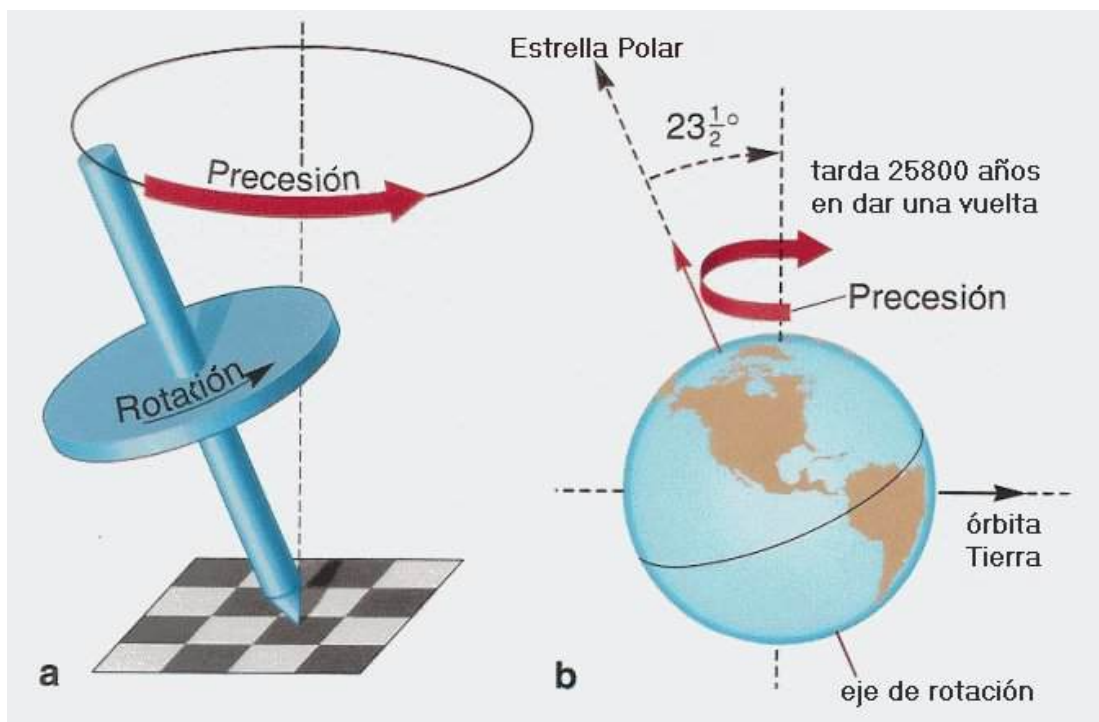


Ilustración 18. Precesión. Fuente: [www.encorda2.com](http://www.encorda2.com)

### 3.4.3.1 Consecuencias de la precesión

Debido a la precesión, las constelaciones zodiacales no concuerdan con los signos del zodiaco.

La precesión es en sentido retrógrado (hacia el este) y el movimiento aparente del Sol es en sentido directo (hacia el oeste). Debido a esto, el año trópico (tiempo que tarda el centro del Sol en pasar dos veces por Aries) es veinte minutos menor que el año sidéreo (tiempo que tarda la Tierra en completar su órbita.)

El polo celeste está a aproximadamente un grado de la estrella polar. Hace miles de años esto no era así, y en el futuro tampoco lo será. Hasta 2.100 el polo norte irá aproximándose a *Polaris* para posteriormente comenzar a alejarse de la misma. Dentro de unos 12.000 años se hallará a aproximadamente cinco grados de la estrella *Vega*, que podrá servir a los futuros terrícolas como estrella polar.

Al cambiar la posición del ecuador, de la eclíptica y del primer punto de Aries también cambian los sistemas de coordenadas celestes.

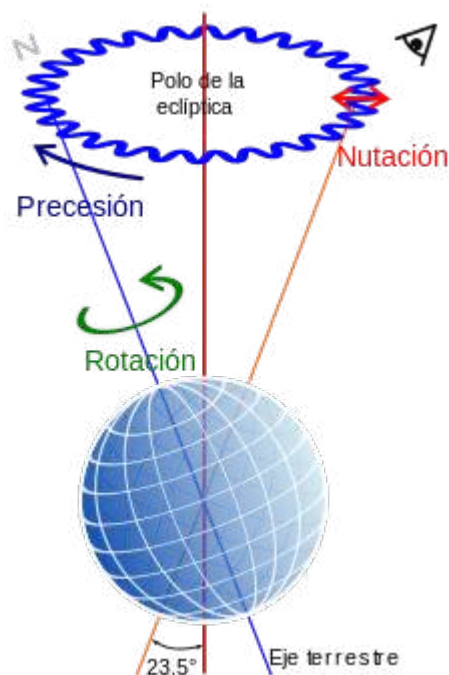
### 3.4.4 Nutación

Además de la precesión, la Tierra también sufre un efecto conocido como nutación. La nutación es un pequeño movimiento cónico en sentido retrógrado con base elíptica, que tiene el eje de la Tierra alrededor de su posición media.

Este movimiento sucede porque las fuerzas de precesión lunisolar cambian, ya que las posiciones de la Luna y el Sol no son fijas.

La prolongación del eje mayor de la elipse que describe el polo en su movimiento de nutación, pasa por el polo de la eclíptica. El eje de la Tierra tarda en describir esta elipse aproximadamente 19 años.

Los movimientos de precesión y nutación combinados dan lugar a que el polo dibuje una curva sinuosa alrededor de su posición media.



**Ilustración 19 Movimientos de precesión y nutación. Fuente: austrinus.com**

### 3.4.5 Movimiento aparente de los astros

Un observador desde la Tierra puede percibir cómo los astros se asoman por el este y se ponen por el oeste, recorriendo su arco diurno. Este arco es parte del paralelo de declinación, que es el círculo menor paralelo al ecuador que describe una estrella. Si se miden los arcos de paralelo recorridos en un mismo intervalo de tiempo, se observa que son iguales; por lo tanto, el movimiento de los astros es uniforme. Si se midiera un arco de paralelo de la misma estrella en otro lugar de la Tierra, se observaría que el movimiento de la estrella es el mismo.

Este movimiento aparente de las estrellas es producido por el movimiento de rotación de la tierra alrededor del eje de los polos, de occidente a oriente.

Si en vez de una estrella cualquiera (fija), se toman las coordenadas horizontales de un astro errante (Luna, Sol, planetas), la curva que este produciría no describiría un paralelo, ni sería un movimiento uniforme. Como la declinación es variable, la curva descrita sería una espiral, acercándose o alejándose del polo elevado. Sin embargo, como el movimiento de declinación es lento, la



trayectoria espiral se diferencia poco de un paralelo, y el movimiento diurno de estos astros se asemeja mucho al de las fijas.

Los paralelos de declinación de los astros se dividen por el horizonte del observador en arco diurno y arco nocturno.

El arco diurno se llama así porque si el astro en cuestión es el Sol, mientras recorre este arco es visible y por tanto de día. Otros astros (los planetas, por ejemplo) solo son visibles si mientras recorren su arco diurno es de noche.

El arco nocturno se llama así porque si se trata del Sol, mientras recorre este arco es de noche. Cuando los astros recorren su arco nocturno son invisibles para el observador.

### Orto y ocaso

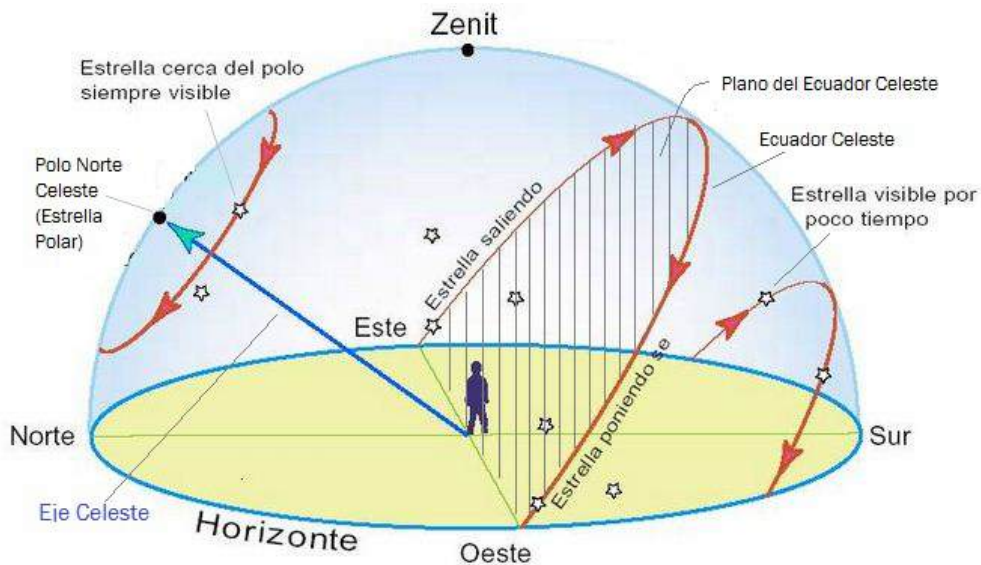
Orto es el momento en el que el astro corta el horizonte, pasando del hemisferio invisible al visible. Ocaso es el momento en el que el astro corta el horizonte pasando del hemisferio visible al invisible.

Sin embargo, hay estrellas que no tienen orto y ocaso, pues están siempre sobre el horizonte. Estas estrellas se denominan circumpolares. Dependiendo de la latitud del observador se verán unas estrellas circumpolares u otras. También serían visibles de día, pero la luz del Sol hace que no se puedan observar.

Que una estrella sea circumpolar depende de su declinación y de la latitud y el hemisferio en el que se encuentre el observador. Si la declinación es superior o igual que  $90^\circ$  menos la latitud (siendo latitud y declinación de la misma especie), el astro será circumpolar.

Si la declinación es menor que  $90^\circ$  menos la latitud, siendo ambas de la misma especie, el astro en cuestión tendrá un arco diurno mayor que el nocturno.

Si la declinación es menor que  $90^\circ$  menos la latitud siendo estas de distinta especie el arco diurno será menor que el nocturno.



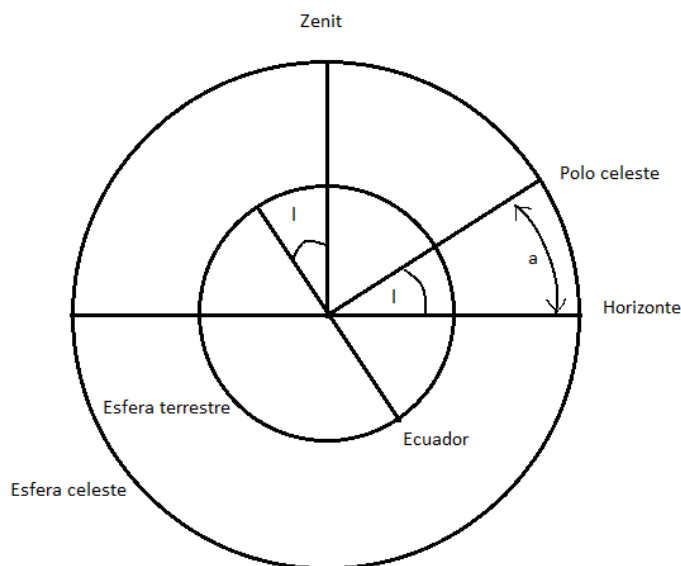
**Ilustración 20. Estrellas circumpolares.** Fuente: <http://inicialaastronomia.weebly.com>

Cálculo de la latitud con la altura de la polar

(1): La declinación de Polaris en diciembre del año 2000 era  $d=89^\circ 16,2'N$

En la ilustración 21 se puede apreciar que la latitud geográfica astronómica del observador (la que se determina con observaciones astronómicas) es igual a la altura del polo celeste sobre el horizonte. De este modo se puede hallar la latitud observando *Polaris* y aplicando una corrección a su altura verdadera, ya que no coincide exactamente con el polo norte (1).

La fórmula  $l = av * \Delta \cos h$  comete un error de menos de media milla en latitudes inferiores a  $40^\circ$ .



**Ilustración 21** Latitud del observador y altura de la polar. Ilustración del autor

Para obtener un valor más exacto se emplea la siguiente fórmula:

$$l = a \cdot \cos h + \frac{1}{2} \tan a \Delta^2 \operatorname{sen}^2 h \operatorname{sen} l'$$

No obstante, al aparecer esta fórmula tabulada en el Almanaque Náutico, se puede obtener la latitud rápidamente. La declinación y el ángulo sidéreo de la polar apenas varían en un año, así que para el Almanaque se han tomado valores medios.

La fórmula anterior puede ser expresada como:

$$l = a \cdot \cos (hl^\circ + AS) + \frac{1}{2} \tan a \Delta^2 \operatorname{sen}^2 (hl^\circ + AS) \operatorname{sen} l'$$

Se ha sustituido la  $h$  (horario local del astro) por  $(hl^\circ + AS)$  puesto que el horario local de un astro es el horario local de Aries sumado al ángulo sidéreo del astro.

Las correcciones que se aplican son las siguientes:

$$C1 = -\Delta \cos (hl^\circ + AS) \text{ se consigue entrando en la Tabla I con el } hl^\circ$$

$C2 = 1/2 \tan a \Delta^2 \sin^2 (hl^\circ + AS)$  entrando en la Tabla II con la altura de la polar y el  $hl^\circ$

La coordenada 3 es necesaria si se utiliza el Almanaque náutico porque las coordenadas reales de la estrella polar no son exactamente iguales a los valores medios que se usan para el cálculo de las correcciones. Esta corrección está en la tabla III y se entra con el  $hl^\circ$  y la fecha.

He aquí un ejemplo de cómo hallar la latitud observando la estrella polar:

HcG=04-25-00 (13/04/2000) en  $L=40^\circ 25,0' W$  se observa la estrella polar con  $av=15^\circ 39,8'$

$hG^\circ$  dia 13 a las 4h TU= $261^\circ 39,0' W$

$C^\circ \times 25 \text{min} = 6^\circ 16,0' W$

-----

$hG^\circ$  a 4h25min =  $267^\circ 55,0' W$

$L = 40^\circ 25,0' E$

-----

$hl^\circ = 227^\circ 30,0' W$

$av \text{ polar} = 15^\circ 39,8'$

$C1 = 41,2+$

$C2 = 0$

$C3 = 0$

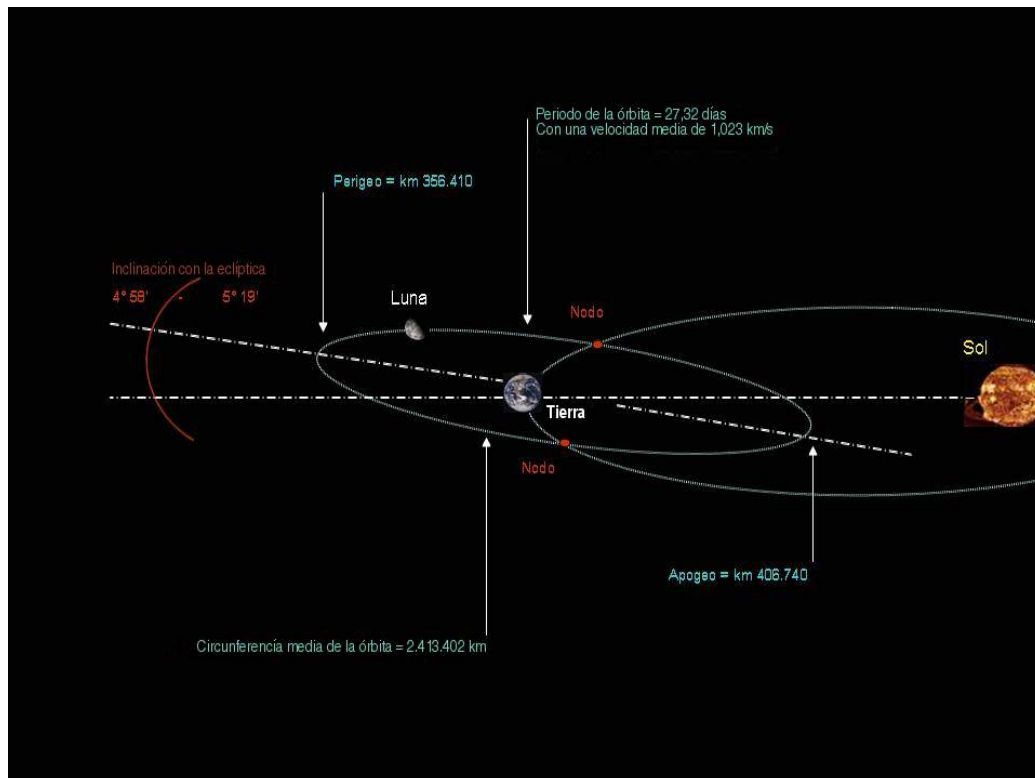
-----

$lo = 16^\circ 30,0'$

### 3.4.6 La Luna

La Luna es el único satélite natural de la Tierra, y se encuentra a unos 384.000km. La Luna se traslada alrededor de la Tierra hacia el este. Describe una órbita elíptica, estando la Tierra en uno de sus focos. El período de traslación de la Luna se llama revolución sidérea y dura 27 días, 7 horas y 43 minutos. Debido a que su periodo de rotación es igual al de traslación, siempre muestra la misma cara a la Tierra. La órbita de la Luna tiene una inclinación de  $5.1^\circ$  respecto a la eclíptica. La Luna se desplaza sobre su trayectoria unos  $13^\circ$  diarios. El Sol avanza alrededor de un grado diario.

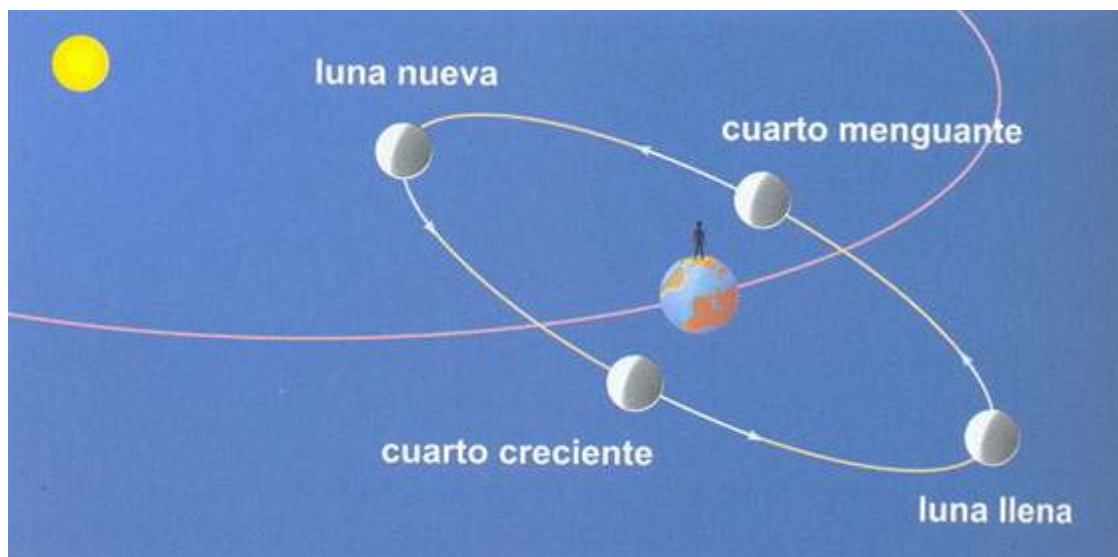
La intersección de la órbita lunar y la eclíptica es la línea de los nodos cuyos extremos son un nodo ascendente, donde la luna pasa del hemisferio sur al norte, y un nodo descendente, donde la Luna pasa del hemisferio norte al sur. Un eclipse solo puede suceder si la Luna está en uno de estos nodos. El nodo no tiene por qué coincidir con la órbita de la tierra alrededor del Sol, aunque en esta ilustración sí que coincide. Cuando la Luna está en un nodo, y el nodo está en la línea que une la tierra y el Sol, se produce un eclipse.



**Ilustración 22 Órbita de la Luna. Fuente: [www.astrosurf.com](http://www.astrosurf.com)**

Si se tienen en cuenta las posiciones relativas de la Luna y el Sol, se puede hablar de revolución sinódica, lunación o mes lunar, que es el tiempo que pasa desde que la Luna ocupa una posición respecto al Sol hasta que vuelve a estar en la misma posición. La duración de la revolución sinódica es de 29,53 días. Dura más que la sidérea porque, al terminar esta, el Sol se ha desplazado unos  $27^{\circ}$  sobre la eclíptica, y la Luna tardara un par de días aproximadamente en volver a la misma posición relativa.

Vista desde la Tierra, la Luna pasa por cuatro fases en lo que a su silueta respecta. Estas fases dependen de las posiciones relativas de la Tierra y la Luna respecto al Sol.



**Ilustración 23 Fases de La Luna. Fuente: [blog.astroaficion.com](http://blog.astroaficion.com)**

Fase 1: Lunas nuevas. Sucede cuando la Luna se sitúa entre la Tierra y el Sol. La cara iluminada de la Luna no es visible desde la Tierra. La Luna nueva sale por el este y se pone por el oeste, como el Sol. Al cabo de un par de días es visible al atardecer en su forma creciente, mostrando su cara convexa hacia el Sol.

Fase 2: Cuarto creciente. Tras una semana, la Luna se sitúa de tal forma que su mitad derecha se ilumina, semejándose a una D, mientras que su cara izquierda permanece oscura. En esta fase la Luna sale al mediodía y se pone a medianoche.

Fase 3: Luna llena. Al cabo de dos semanas, la luna se sitúa de tal forma que la Tierra queda entre esta y el Sol, quedando la cara que mira a la Tierra totalmente iluminada. Esta Luna sale por la noche y se pone por la mañana.

Fase 4: Cuarto menguante. El día 22, la mitad izquierda de la cara visible permanece iluminada. La Luna sale alrededor de medianoche y se pone al mediodía. La forma de la Luna en cuarto menguante es como una C. De ahí que se diga que la Luna miente, porque cuando crece tiene forma de D, y cuando decrece tiene forma de C. Lógicamente, esto no sucede en el hemisferio sur.

### 3.5. Constelaciones relevantes

Una constelación es una agrupación convencional de estrellas, cuya forma es aparentemente invariable. Las civilizaciones antiguas unieron las estrellas con trazos imaginarios, creando figuras a las que pusieron nombres evocadores de sus mitos. Las estrellas que forman una constelación no tienen por qué estar relacionadas unas con otras y pueden encontrarse a años luz de distancia entre ellas, aunque desde la Tierra parezca que están cerca unas de otras. Las constelaciones son una creación subjetiva y distintas culturas han formado diferentes constelaciones empleando las mismas estrellas.

La mayoría de las constelaciones del hemisferio norte fueron ideadas hace siglos por pueblos de Oriente Medio, egipcios, sumerios y algunas por los antiguos griegos.

Algunas constelaciones han sido reconocidas por distintos pueblos y han recibido diferentes interpretaciones. Por ejemplo, según la mitología griega, la Osa Mayor simboliza la osa en la que fue convertida Calisto por haber tenido un romance con Zeus; en cambio, para algunas tribus americanas esta constelación semeja un cucharón.

Uno de los catálogos estelares más extensos de la antigüedad es el *Almagesto*, escrito por Claudio Ptolomeo en el siglo II. El escrito original en griego se llamaba *Hè megalè syntaxis*, lo que significa “composición matemática”, puesto que la astronomía era considerada una rama de las matemáticas. Después de ser traducido al árabe fue rebautizado como *Al-Majisti*, que significa el más grande.

En este libro Claudio Ptolomeo expone el sistema geocéntrico y recopila 48 constelaciones. Si bien las teorías astronómicas de Ptolomeo estaban equivocadas, permanecieron vigentes hasta el siglo XVI.

A partir de 1928, la Unión Astronómica Internacional (UAI) decidió reagrupar oficialmente la esfera celeste en 88 constelaciones con límites precisos, de manera que todo punto en el cielo quedara dentro de los límites de una figura. Antes de dicho año, eran reconocidas otras constelaciones menores que, a día de hoy, no se tienen en cuenta.

A continuación, se exponen algunas de las constelaciones más relevantes o conocidas, de entre las recopiladas por la UAI:

### 3.5.1. Constelaciones del hemisferio norte

#### 3.5.1.1. Constelaciones circumpolares del hemisferio norte

##### Cassiopeia

Es una de las constelaciones incluidas en el Almagesto, el catálogo estelar de Ptolomeo. Es una constelación fácil de reconocer. Se compone de cinco estrellas que forman una W, o una M, dependiendo del observador. Es una constelación de cierta relevancia ya que apunta hacia la Osa Mayor, y podemos hallar así la estrella polar.



Ilustración 24. Cassiopeia. Fuente: Stellarium

##### Draco



Esta constelación también está incluida en el Almagesto. Aunque es una constelación relativamente grande no es tan conocida como otras, quizás porque al no estar formada por estrellas muy brillantes cuesta más reconocerla.



**Ilustración 25 Dragón. Fuente: Stellarium**

### Ursa Maior

La Osa Mayor, popularmente conocida como “el carro”, es probablemente la constelación más conocida del hemisferio norte. Las siete estrellas principales de esta constelación forman un carro o un cazo fácil de encontrar en el cielo. Es una constelación importante para la navegación astronómica, ya que si se sigue la enfilación de Merak y Dubhe se encuentra Polaris.



**Ilustración 26 Ursa Maior. Fuente: Stellarium**

## Ursa Minor

Otra de las constelaciones más características en el hemisferio norte es la Osa Menor. Se encuentra siempre cerca de la Osa Mayor y tiene una forma muy similar, aunque como su nombre indica es más pequeña. La última estrella del extremo del cazo que forma esta constelación es Polaris, lo que convierte a la Osa Menor en una constelación de relevancia para la navegación astronómica.



Ilustración 27 Ursa Menor. Fuente: Stellarium

### 3.5.1.2. Constelaciones no circumpolares del hemisferio norte

## Gemini

Es una de las constelaciones del zodiaco. Simboliza a los Dioscuros de la mitología griega Cástor y Pólux, cuyos nombres llevan las dos estrellas más brillantes de la constelación, que representan las dos cabezas de los gemelos.



Ilustración 28. Gemini. Fuente: Stellarium

## Triangulum

Esta pequeña constelación con forma de triángulo también fue una de las nombradas por Ptolomeo en su Almagesto.



Ilustración 29. Triangulum. Fuente: Stellarium

## Aries

Es una de las constelaciones del zodiaco, situada entre Piscis y Tauro.



Ilustración 30. Aries. Fuente: Stellarium

## Pegasus

Esta constelación tiene el nombre del mítico caballo alado, Pegaso. También fue descrita por Ptolomeo.



**Ilustración 31. Pegasus. Fuente: Stellarium**

## Orión

Esta es una de las constelaciones más conocidas del firmamento en el mundo entero, ya que es visible desde ambos hemisferios. Orión se encuentra cerca de la constelación del río Eridanus y, acompañado por sus dos perros de caza Canis Maior y Canis Minor, se les imagina luchando con la constelación del Tauro.



Il·lustració 32. Orión. Fuente: Stellarium

## Canis Maior

Según algunas culturas, la figura del perro que forma esta constelación es el perro de caza de Orión, puesto que en su recorrido por el firmamento siempre va detrás de él. Esta constelación contiene a Sirio, la estrella más brillante del firmamento.



**Ilustración 33. Canis Maior. Fuente: Stellarium**

## Hércules

Esta constelación recibe el nombre del héroe mitológico Hércules, descrita también por Ptolomeo en su *Almagesto*. El ápex solar (punto del cielo hacia donde se mueve el Sol en su órbita alrededor del centro de la galaxia) se encuentra en Hércules.



**Ilustración 34. Hércules. Fuente: Stellarium**



## 3.5.2 Constelaciones del hemisferio sur

### 3.5.2.1 Constelaciones circumpolares

Centaurus

Centaurus es una extensa constelación que simboliza un centauro. Rodea la Cruz del Sur y forma una de las constelaciones con más estrellas del cielo.



Ilustración 35. Centaurus. Fuente: Stellarium

## Cruces

Es una de las constelaciones más conocidas del hemisferio sur. Es útil para la orientación ya que está situada muy cerca del punto cardinal sur. Para encontrar el sur en el cielo basta con prolongar cuatro veces y media en línea recta el eje principal de la cruz, partiendo de su estrella más brillante Acrux.

Esta constelación se encuentra plasmada en banderas de muchos países del hemisferio sur como Australia, Nueva Zelanda, Papua Nueva Guinea, Brasil y provincias y regiones de Argentina, Chile y Uruguay, entre otros.

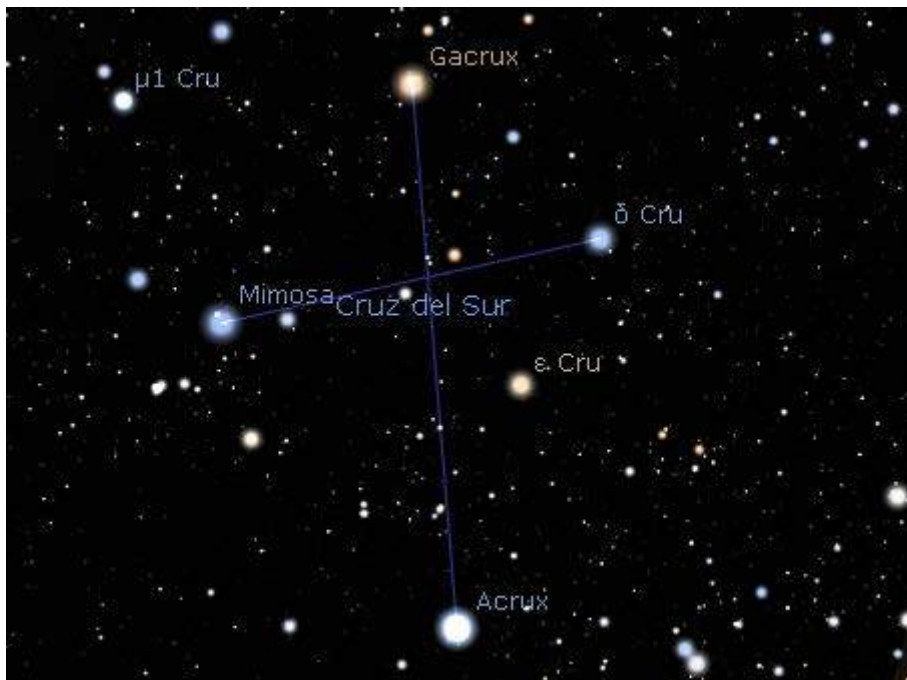


Ilustración 36. Cruz del sur. Fuente: Stellarium

## Triangulum Australe

Triangulum Australe es una pequeña constelación austral cuyas tres estrellas más brillantes, de segunda y tercera magnitud, forman casi un triángulo equilátero. Esta constelación fue introducida por el astrónomo alemán Johann Bayer en 1603.



**Ilustración 37. Triángulo Austral. Fuente: Stellarium**

## Fénix

Esta constelación representa la criatura mitológica Fénix, el ave que se consumía en llamas para después resurgir de sus cenizas. La constelación fue incluida en el libro “Uranometría” del astrónomo alemán Johann Bayer.



**Ilustración 38. Fénix. Fuente: Stellarium**

Dorado

También conocida como pez espada, esta constelación fue compilada en la mencionada obra de Johann Bayer.



Ilustración 39. Pez Dorado. Fuente: Stellarium

### 3.5.2.2 Constelaciones no circumpolares del hemisferio sur

Aquarius

Acuario, el portador del agua, es una de las constelaciones descritas por Ptolomeo. Es una de las constelaciones del zodiaco y una de las primeras en ser reconocidas. Los sumerios le dieron este nombre a la constelación, en honor a su dios An, que derrama el agua de la inmortalidad sobre la Tierra.



**Ilustración 40. Aquarius. Fuente: Stellarium**

## Lupus

Esta constelación representa un lobo y está situada entre Scorpius y Centaurus. En el año 1006 se observó en Lupus la supernova SN 1006 . Descrita por astrónomos chinos y árabes, fue el suceso estelar de mayor magnitud visual registrado en la historia. Esta supernova tenía el tamaño de media luna y fue visible durante más de un año.



**Ilustración 41. Lupus. Fuente: Stellarium.**

## Scorpius

Scorpius, el escorpión, es una de las constelaciones del zodiaco. Antiguamente se representaba unida a Libra, antes de que esta constelación fuese descrita. Es una constelación relevante y fácil de encontrar, ya que tiene once estrellas de magnitud inferior a 3.

Una de los mitos acerca de esta constelación cuenta que el cazador Orión pisó un escorpión, muriendo por su picadura. Entonces los dioses colocaron en las estrellas al cazador y al escorpión que le mató en los extremos opuestos de la bóveda celeste, de esta forma cuando el escorpión aparece, Orión se oculta.

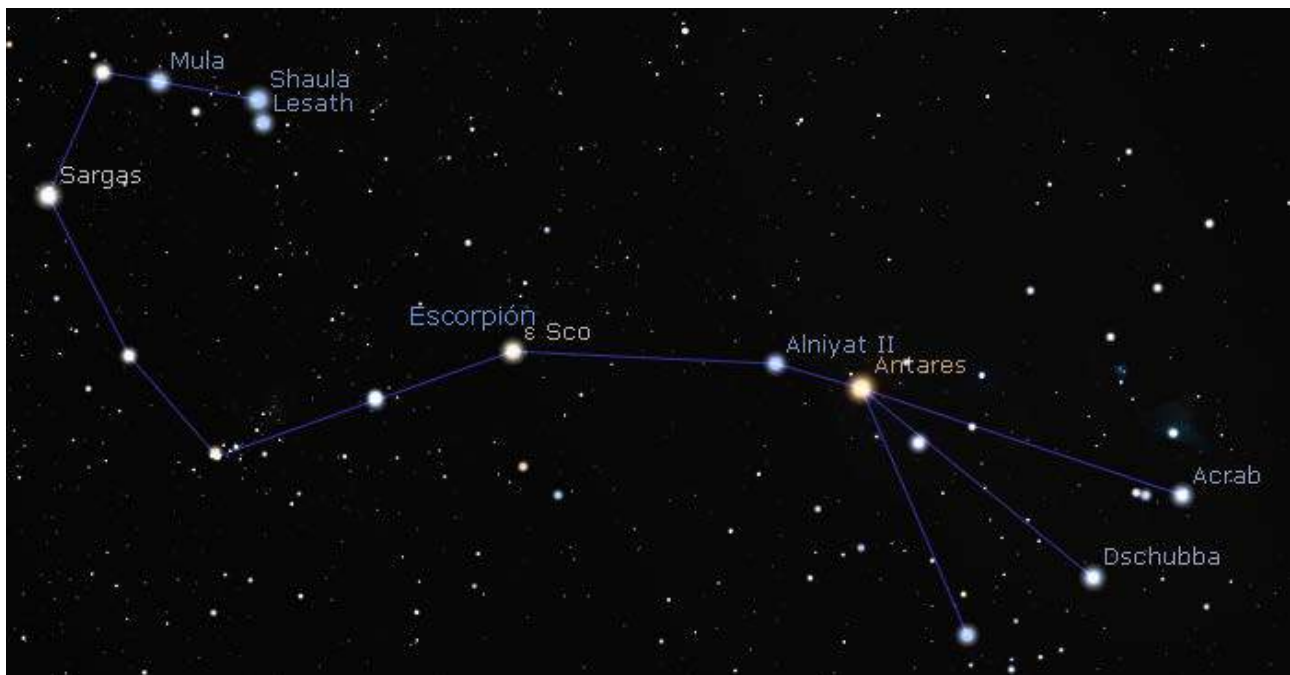


Ilustración 42. Scorpius. Fuente: Stellarium.

## Libra

Esta constelación fue antiguamente parte de Scorpius. Esto se sabe porque una de sus estrellas se llama Zubenelgenubi, que significa pinza del sur, mientras que otra se llama Zubeneshamali, pinza del norte.



**Ilustración 43. Libra. Fuente: Stellarium**

# Capítulo 4. Astronomía de posición.

## 4.1 Reconocimiento de astros

Los astros se pueden reconocer mediante enfilaciones, con mapas celestes, con identificadores, con la naviesfera y también resolviendo las fórmulas de la recta de altura. Este reconocimiento resulta imprescindible para posteriormente obtener en el Almanaque Náutico sus coordenadas horarias.

Al observar un astro desconocido se puede hallar sus coordenadas horizontales, es decir, su azimut de aguja ( $Z_a$ ) y su altura instrumental ( $A_i$ ). También se conoce la hora de la observación ( $H_cG$ ) y la situación de estima ( $S/e$ ) en ese momento.

Con esta información se puede reconocer el astro, bien por procedimiento gráfico o por el analítico. El primer paso es conocer las coordenadas horarias (declinación, horario local) a partir de las coordenadas horizontales. Una vez calculadas las coordenadas horarias, se puede conocer el astro observado empleando el Almanaque Náutico. Con el horario en Greenwich del astro ( $hG$ ), la hora de la observación ( $hcG$ ) y la declinación ( $d$ ) se comprueba si el astro observado es un planeta. Si no es un planeta, con el ángulo sidéreo ( $AS$ ) y su declinación ( $d$ ) se averigua de qué estrella se trata utilizando el catálogo de estrellas.

Hallar el ángulo sidéreo y la declinación de un astro es fácil si se tienen el azimut, la latitud y longitud estimada y el horario en Greenwich de Aries. Al horario en Greenwich de Aries le aplicamos la corrección por minutos y segundos y calculamos el horario en Greenwich de Aries corregido. A este le sumamos la Longitud (con su correspondiente signo) para así conseguir el horario local de Aries.

Para obtener las coordenadas horarias hemos de emplear dos fórmulas.

$$\text{Sen}(d) = \text{sen}(l) \times \text{sen}(av) + \cos(l) \times \cos(av) \times \cos(Z)$$

De aquí procede la declinación del astro desconocido.



Para calcular el horario local del astro se aplica la siguiente fórmula:

$$\cotan(P) = \frac{\cos(l) \times \tan(av) - \text{sen}(l) \times \cos(Z)}{\text{sen}(Z)}$$

Siendo P el ángulo en el polo. El ángulo en el polo mide entre 0° y 180°. El horario local coincide con el ángulo en el polo si este es positivo. Si el ángulo en el polo es negativo entonces  $hl = 360 - P$ . Restando después 360° con el horario local obtenemos el ángulo sidéreo.  $360 - hl = AS$  (ángulo sidéreo). Entrando en el Almanaque con la declinación y el ángulo sidéreo, averiguamos de qué astro se trata.

#### 4.1.1 El Almanaque

El Almanaque es un documento que publica anualmente el Real Instituto y Observatorio de la Armada. Para la práctica de la observación astronómica es esencial. En cada página se encuentran para cada día y cada hora los datos del Sol, la Luna, Aries y cuatro planetas (Venus, Marte, Júpiter y Saturno). Para cada astro se tiene la hora en Greenwich del paso por el meridiano superior de lugar, el horario en Greenwich y la declinación para cada hora de Tiempo Universal (TU). Para el Sol y la Luna se da el semidiámetro en minutos de arco. Para la Luna se proporciona además la edad, que es el tiempo transcurrido desde la última Luna nueva, la paralaje horizontal ecuatorial y el retardo. La columna llamada Dif de la Luna es una columna con datos para interpolar y poder obtener horarios y declinaciones en instantes intermedios entre dos horas, que es una necesidad bastante común. Para los planetas se da también la magnitud (la medida del brillo).

Se incluyen también las horas de TU de los crepúsculos civil y náutico matutino o vespertino en días alternos para ayudar en la planificación de las observaciones, debido a que es durante el crepúsculo cuando se pueden utilizar como referencia las estrellas, ya que es entonces cuando son observables estas y el horizonte. Pasado el crepúsculo se observan mejor las estrellas, pero el horizonte no y no se podría medir la altura. Si se requiere la hora de salida del Sol para un día no tabulado en el Almanaque, se hace un promedio de los datos del día anterior y el siguiente.

El crepúsculo matutino es el momento de luz previo a la salida del Sol por el horizonte y el vespertino es momento posterior a la puesta. El crepúsculo civil vespertino es el periodo de tiempo desde la puesta hasta que el sol tiene una altura de  $-6^\circ$ . El crepúsculo civil matutino es desde que el sol tiene una altura de  $-6^\circ$  hasta su salida por el horizonte. El crepúsculo náutico es desde los  $-6^\circ$  hasta los  $-12^\circ$ , siendo visibles el horizonte y las estrellas de primera, segunda y tercera magnitud. Este es el momento oportuno para realizar observaciones.

#### 4.1.2 Catálogo de estrellas

El Almanaque Náutico contiene un catálogo de 99 estrellas seleccionadas, principalmente de primera y segunda magnitud. El catálogo incluye la magnitud de cada estrella, el ángulo sidéreo y la declinación. Los valores del ángulo sidéreo y la declinación son para el día 15 de cada mes, aunque como la variación es mínima se puede considerar constante para el mes entero.

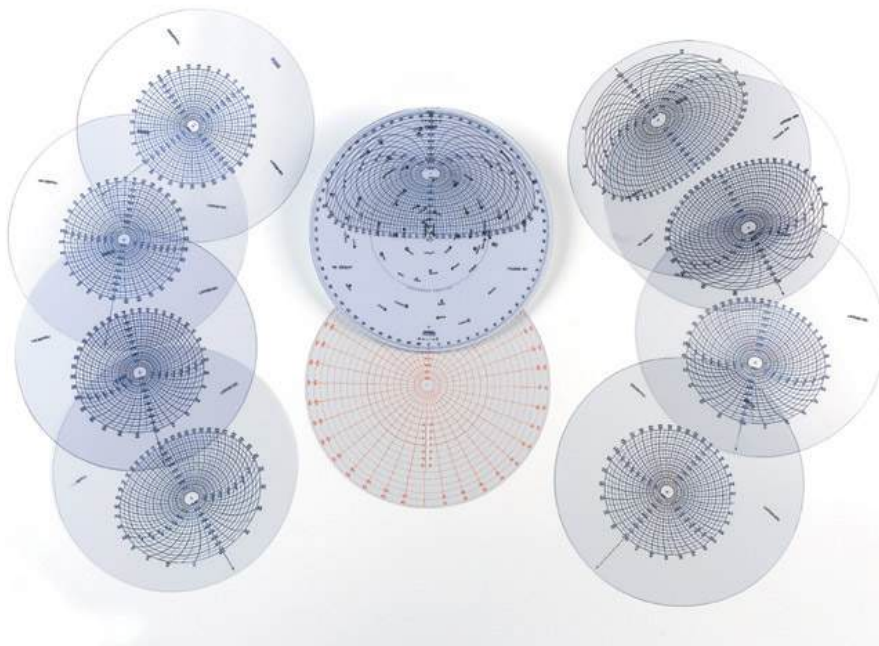
Ya que son de magnitud una y dos, son las que aparecen en primer lugar durante los crepúsculos vespertinos, y las últimas en desaparecer en los crepúsculos matutinos, que son los momentos idóneos para realizar observaciones astronómicas ya que se pueden ver los astros y el horizonte.

#### 4.1.3 Star Finder

El Star Finder es un instrumento para reconocer astros de manera sencilla. Está formado por un disco base opaco que representa el plano del ecuador celeste. En este plano hay representadas 57 estrellas. Una cara de este disco corresponde al hemisferio norte y la otra al sur. En el centro se sitúa el polo que corresponda. El disco tiene dibujados unos radios que representan semicírculos horarios. La circunferencia del disco está graduada de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  y en el  $0^\circ$  se halla el primer punto de Aries ( $\Upsilon$ ).

El Star Finder consta también de 9 discos transparentes adicionales que corresponden a distintas latitudes, desde  $5^\circ$  hasta  $85^\circ$ , yendo de  $10^\circ$  en  $10^\circ$ . Cada uno de estos discos sirve tanto para latitud norte como para latitud sur. El observador escogerá el disco que más se acerque a la latitud en la que se encuentra. Los discos transparentes tienen dibujadas curvas azules que representan almicantrats y verticales. El zenit se representa con una equis azul en el centro de estas curvas. El meridiano superior de lugar es representado por la línea que pasa por el centro del disco opaco, donde está el polo, y la equis. Esta línea se alinea con el horario local de Aries. Cuando se conocen el azimut y la altura verdadera del astro en un instante determinado, se halla el horario local de

Aries en ese instante. La línea que une el zenit con el polo se coloca señalando el horario local de Aries en la graduación del disco opaco. Entonces en la intersección de las curvas correspondientes a la altura verdadera y el azimut del astro desconocido se encuentra el nombre de dicho astro.



**Ilustración 44 Starfinder. Fuente: [www.depositohidrográfico.com](http://www.depositohidrográfico.com)**

#### **4.1.4 Tablas americanas y Tablas Rápidas**

Se utilizan para determinar los astros que pueden observarse en los crepúsculos.

Primero se consulta en el Almanaque Náutico la información sobre los crepúsculos, se decide la hora a la que se realizará la observación y se calcula la situación de estima en ese instante. Entonces se obtiene el horario de Aries correspondiente a la hora en que se realizará la observación.

Se modifica la latitud de estima al grado próximo, y la longitud de estima lo necesario para tener un número exacto de grados como valor del horario local de Aries astronómico. Esta situación se denomina situación aproximada.

Con la latitud y con el horario local de Aries astronómico se entra en las tablas y se anota el nombre de las estrellas seleccionadas junto con su altura y azimut.

### 4.1.5 Planisferio

El planisferio es una representación de la esfera celeste sobre un plano. Es un mapa de estrellas en el cual estas se pueden identificar con enfilaciones. Las constelaciones están dibujadas con líneas uniendo las estrellas que las forman. Pueden utilizarse distintos sistemas de proyección. El Almanaque Náutico incluye cuatro planisferios: dos de ellos, con aspecto circular, son proyección estereográfica de los hemisferios boreal y austral sobre el plano del ecuador celeste, tomando como vértice de proyección el polo opuesto. Los otros dos planisferios son de proyección Mercator y comprenden una banda circular de 80° para poder apreciar mejor el aspecto de las constelaciones ecuatoriales. Existen publicaciones con ilustraciones detalladas de los mapas del cielo para cada mes del año. También tienen un mapamundi donde se puede identificar el color de la línea de la latitud del observador. En estos mapas el vértice de proyección es un punto sobre la esfera, siendo el plano de proyección normal al diámetro de la misma que pasa por el centro de proyección. Para visualizar el cielo hacia el norte hay que sostener el mapa con las manos con el norte hacia el observador. La línea con la latitud de 40°N en nuestro caso representa el horizonte y la cruz del mismo color de la línea representa el zenit. Entonces podemos reconocer las diferentes constelaciones que tenemos delante y sus principales estrellas. Lo mismo haremos si queremos observar el cielo hacia el sur con el correspondiente mapa, pero con el sur pegado a nuestro cuerpo. Del mismo modo tenemos dos mapas también para el hemisferio sur y para cada mes del año.

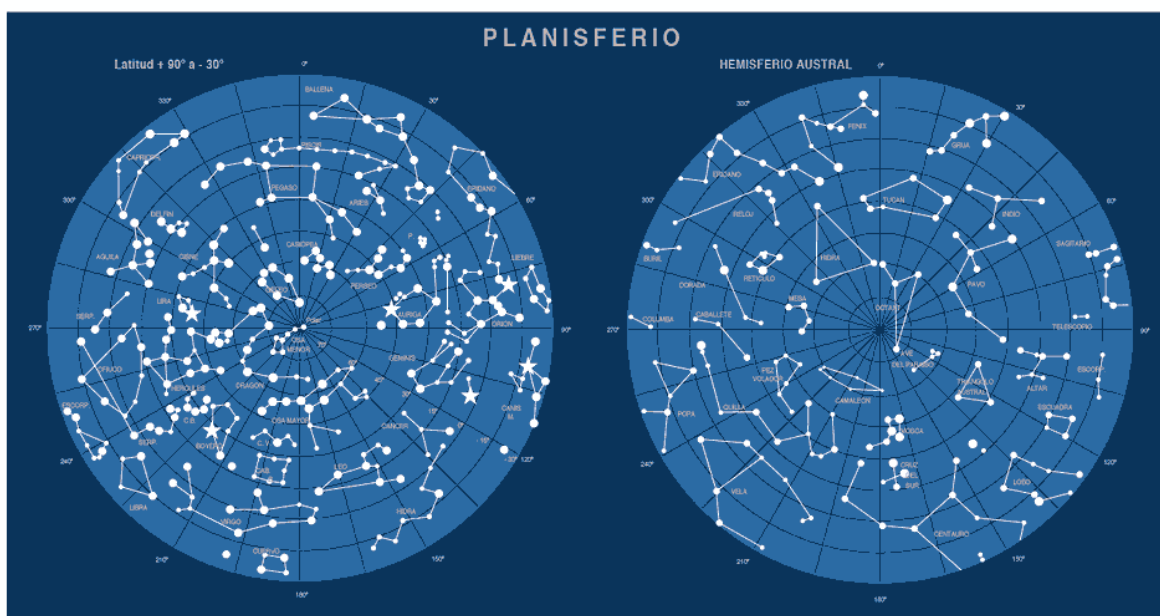


Ilustración 45. Planisferio. Fuente: [www.sitographics.com](http://www.sitographics.com)

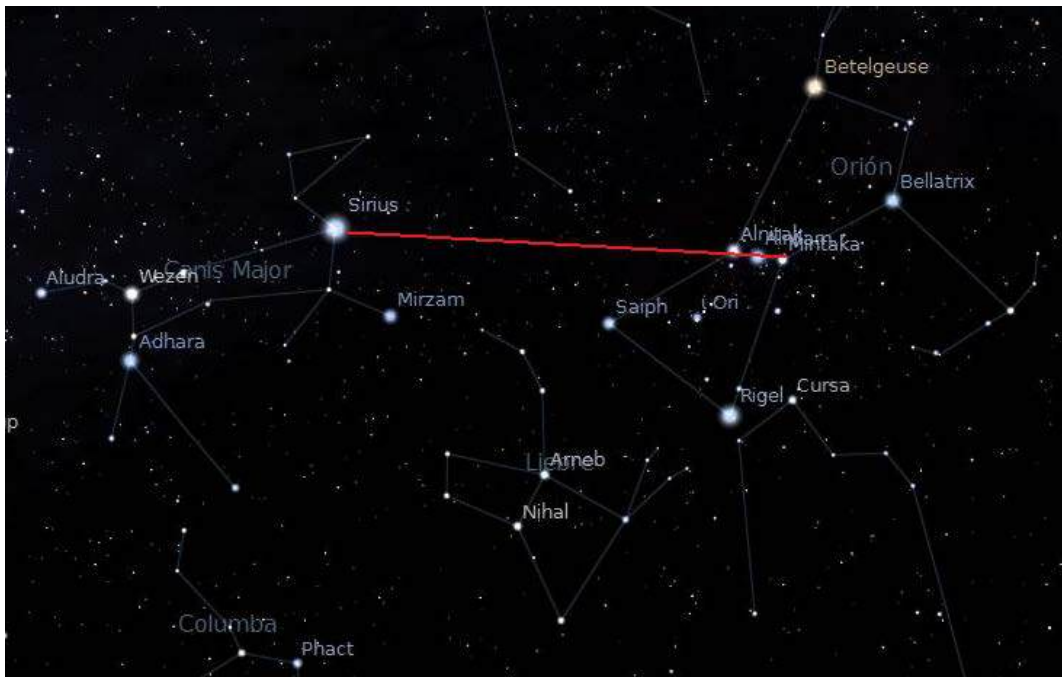
#### 4.1.6 Enfilaciones

Probablemente es la manera más fácil de reconocer un astro, ya que lo único que se necesita es un cielo algo despejado para encontrar y reconocer constelaciones. Trazando líneas imaginarias entre constelaciones se pueden identificar estrellas que sirvan para realizar cálculos o para encontrar el norte.

Una de las estrellas más importantes es la estrella polar. En la ilustración 46 se pueden apreciar tres maneras de encontrarla. La primera es enfilando dos estrellas de la Osa Mayor, Merak y Dubhe, y siguiendo esa enfilación a una distancia de aproximadamente 5 veces la distancia entre ambas estrellas se encuentra la estrella polar. Otra forma es haciendo una bisectriz entre uno de los ángulos que tiene Casiopea, utilizando como vértice la estrella Shedir. La tercera manera de encontrar Polaris es buscando la Osa Menor, sabiendo que el extremo del cazo que forma esta constelación es la estrella polar.



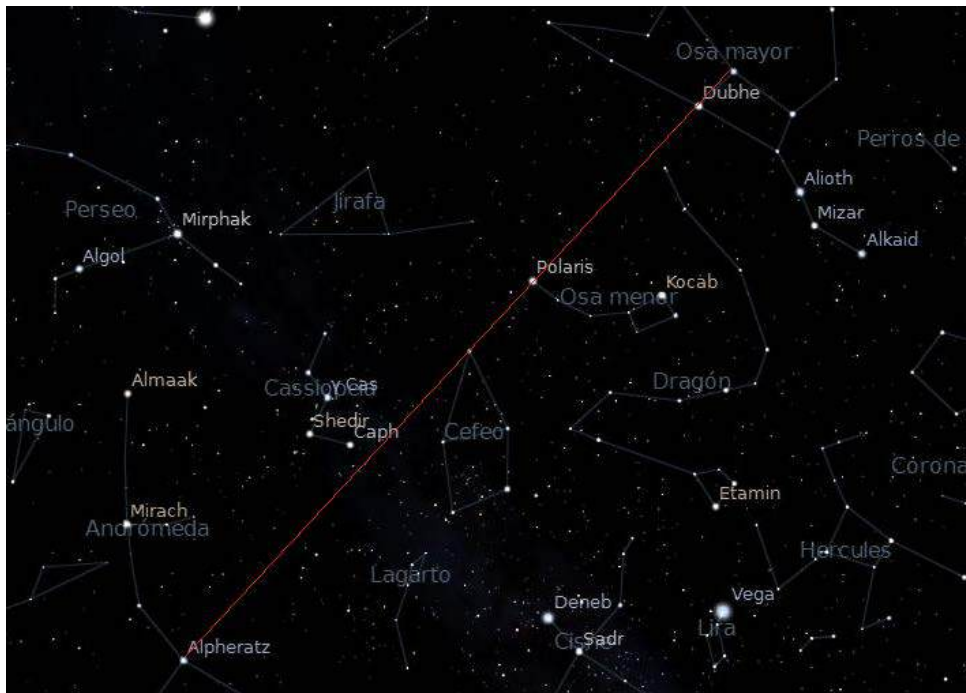
Ilustración 46. Enfilaciones a la estrella Polar. Fuente: Stellarium



**Ilustración 47. Enfilación a Sirius. Fuente: Stellarium**

Una buena estrella para emplear en astronomía es Sirius, ya que es la más brillante del hemisferio norte. Se puede encontrar fácilmente si se sabe reconocer la constelación a la que pertenece, el Gran Can. Otra forma es siguiendo las tres estrellas del cinturón de Orión; Mintaka, Alnatak y Alnilam. Esta enfilación es de las más fáciles, puesto que Sirius es una estrella fácil de encontrar y el cinturón de Orión es una constelación bastante conocida incluso fuera del mundo de la astronomía.

Aprovechando la enfilación Merak y Dubhe, y siguiendo después de pasar por Polaris, se puede encontrar Alpheratz, que es la estrella más brillante de la constelación de Andrómeda.



**Ilustración 48. Enfilación a Alpheratz. Fuente: Stellarium**

La Osa Mayor nos permite también encontrar la constelación de los Gemelos. Siguiendo la enfilación Alioth-Merak nos topamos con la estrella Cástor, y a su lado está Pólux.



**Ilustración 49. Enfilación a Cástor. Fuente: Stellarium**



Ilustración 50. Scorpius. Fuente: Stellarium

Así mismo, si se conocen las estrellas que forman una constelación se pueden reconocer astros sin necesidad de realizar enfilaciones. Por ejemplo, la constelación de Scorpius tiene varias estrellas brillantes para emplear.

## 4.2 La recta de altura

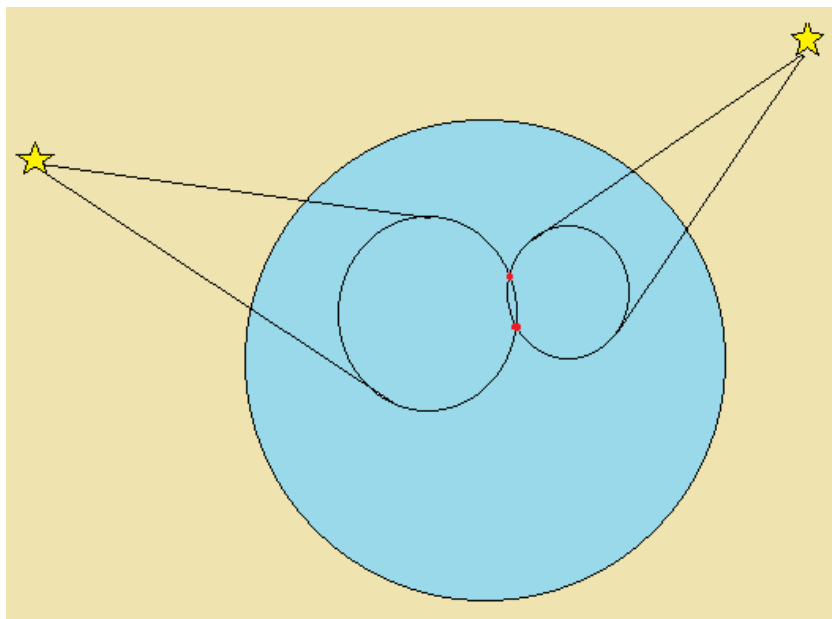
Cuando se halla la posición mediante la observación de astros se emplean las denominadas líneas de posición. Una línea de posición es una línea que pasa por la posición del observador y es obtenible mediante alguna medición u observación. Hay distintos tipos de líneas de posición: círculos de alturas iguales, demoras de compás, paralelos de latitud, meridianos de longitud, etc. Puesto que una línea de posición indica infinitas posiciones en la que se puede encontrar el observador, es necesario contar con al menos dos líneas para localizar la posición en la intersección de estas.

El punto geográfico en la tierra desde el cual la altura de un astro es  $90^\circ$  se denomina polo de iluminación; significa que el observador estaría justo debajo de la estrella, en el único punto de la Tierra sobre el cual la altura medida es  $90^\circ$ .

Si un observador mide una altura de por ejemplo  $60^\circ$ , se encontrará en un círculo de alturas iguales. Obtener una línea de posición a partir de una altura y de situar el polo de iluminación de un astro se denomina en el lenguaje náutico, una reducción de observación (determinante). Conociendo la altura y la situación del polo de iluminación de un astro también podemos saber el radio del correspondiente círculo de alturas iguales y la posición de su centro. Como es lógico, el círculo de



alturas iguales para una estrella que se encuentra a millones de kilómetros de distancia sería gigantesco, con lo cual tratar de representarlo en una carta náutica es prácticamente imposible. Empero, en el siglo XIX, Sumner y Marq de Saint Hilaire demostraron que solo un pequeño arco de cada círculo de alturas iguales sería suficiente para determinar la posición del observador. Si este arco es relativamente corto, puede sustituirse por una línea recta, secante o tangente al círculo. Si se conocen la altura de un astro y la distancia de su polo de iluminación al observador, se conoce entonces el radio del círculo de alturas iguales. Ese pequeño tramo del círculo que se traza en la carta se puede trazar como una línea recta, ya que el círculo es de dimensiones gigantescas.



**Ilustración 51. Círculos de alturas iguales. Ilustración del autor**

El método de Marq de St. Hilaire es el más popular en la navegación astronómica. El método resumido, por ser una forma sencilla de entenderlo, se describe a continuación.

He aquí los pasos para determinar la posición mediante la recta de altura:

1. Se debe obtener, en primer lugar, una posición estimada y reconocer un astro en el cielo. Esta posición ha de estar a menos de 100 millas náuticas de nuestra verdadera posición. Se marca la posición estimada en la carta de fortuna. Llamaremos  $le$  a la latitud estimada y  $Le$  a la longitud estimada.

2. Empleando las fórmulas de trigonometría esférica, se calculará la altura (altura calculada) del astro en cuestión correspondiente a esa posición. Esta es la altura que distinguiría un observador situado en la posición estimada.

$$ac = \arcsen(\sen le \times \sen d + \cos le \times \cos d \times \cos hla)$$

Siendo:

$ac$ =altura calculada

$le$ =latitud estimada.

$d$ =declinación obtenida con el almanaque

$hla$ =horario local del astro

3. A continuación se debe calcular el Azimut del astro. ( $0^\circ$ - $360^\circ$  hacia el Este)

$$Az = \arccos \frac{\sen(d) - \sen(ac) \times \sen(le)}{\cos(ac) \times \cos(le)}$$

Calcular  $Az$  entre  $0^\circ$ - $180^\circ$

Será  $Az$  si  $\sen hla \leq 0$

será  $360^\circ - Az$  si  $hla > 0$

La obtención del Azimut y la altura calculada es una transformación de las coordenadas ecuatoriales en horizontales.

Se necesita el Azimut cuadrantal, no circular. Si Z es (+), Zv será N y si Z es (-), Zv será S. Además, será E u W según el horario local sea oriental (  $hL > 180$ ) u occidental ( $hL < 180$ ), respectivamente.

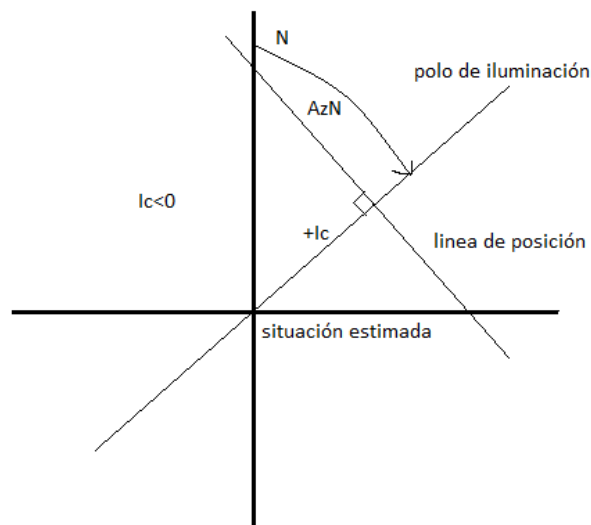
4. Se calculará el intercepto (diferencia entre altura observada (ao) y altura calculada (ac))

$$Ic(\text{millas}) = 60 \times (ao - ac)$$

5. En la carta, deberemos dibujar el Az, y medir el intercepto. Si  $Ic > 0$ , se mide hacia el polo de iluminación. Si  $Ic < 0$ , se mide alejándose del polo de iluminación.

En el punto, se dibuja una línea perpendicular. Esa línea es una línea de posición.

6. Repetiremos el proceso con otro astro para hallar la posición en la intersección de las dos líneas de posición.



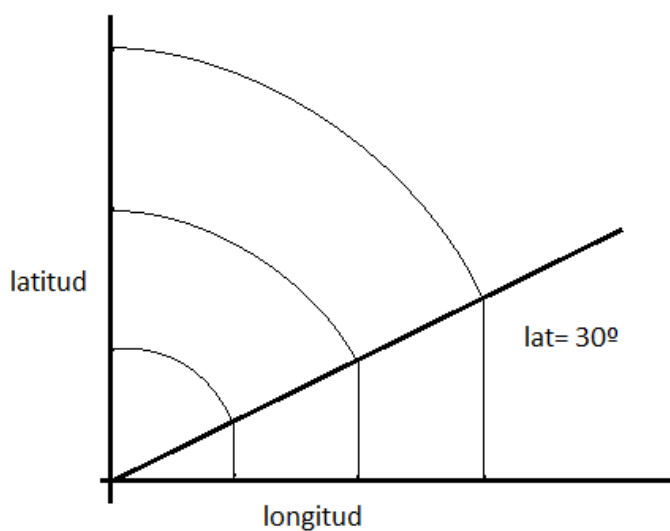
**Ilustración 52. Recta de altura. Ilustración del autor**

Para la navegación se emplea la proyección de Mercator. Esta carta está graduada de tal forma que los meridianos son paralelos, por lo que la escala de longitudes es de partes iguales. Un grado de longitud en cualquier paralelo mide lo mismo que en el ecuador. En la Tierra esto no es así, ya que un grado de longitud cerca de los polos mide menos que en el ecuador, con lo cual en la carta Mercator los arcos de paralelo están deformados.

Para que la superficie tenga la misma distorsión en los meridianos que en los paralelos, se ha hecho que la extensión de cada grado de meridiano se alargue en función de la secante de la latitud.

De esta forma, la distancia de cualquier paralelo sobre un meridiano viene dada por la latitud aumentada, y la escala de latitudes no es de partes iguales sino de partes aumentadas.

Todo esto es para que la carta de Mercator tenga su propiedad más importante y característica, la conformidad: los ángulos sobre la superficie terrestre han de ser iguales en la carta.



**Ilustración 53. Escala de latitud aumentada. Ilustración del autor**

## Capítulo 5. Conclusiones

La astronomía se ocupa de una materia a mi parecer apasionante, que en su día facilitó a comerciantes, militares y aventureros dibujar mapas del mundo entero, e hizo posible no perder el rumbo yendo y volviendo de largos viajes.

Esas enormes masas de gas en el espacio que nosotros llamamos estrellas han despertado el interés de los hombres de todas las culturas desde el amanecer de los tiempos. Cada cultura da nombres distintos a las constelaciones, e e inventa historias para dar sentido a la existencia de los humanos que miran asombrados desde la Tierra.

Si se comparan los nombres de las constelaciones del hemisferio norte y las del hemisferio sur se puede apreciar que, por norma general, las constelaciones del hemisferio norte tienen nombres referentes a la mitología griega, mientras que las del hemisferio sur los reciben de objetos cotidianos o animales, ya que en su mayoría fueron nombradas después del descubrimiento de América. Otra diferencia notable entre ambos hemisferios es que en el hemisferio norte está Polaris, que siempre puede servir para indicar el norte aunque tenga un ligero desvío, mientras que en el hemisferio sur no se dispone de ninguna estrella para hallar el sur. Solamente disponemos de la constelación de la Cruz del Sur, pero el alejamiento es mucho mayor.

Aunque es cierto que a bordo de los barcos ya no se efectúan los cálculos que se hacían antaño, es importante conocerlos y comprender su razonamiento. A día de hoy la OMI exige portar sextante a bordo de los buques mercantes, así como las cartas náuticas en papel. Es casi seguro que en muy pocos años esto cambiará y no hará falta portar cartas náuticas en papel, pudiendo ser sustituidas por cartas electrónicas, y que también el sextante deje de ser obligatorio a bordo. No obstante, la Navegación Astronómica seguirá siendo una disciplina fascinante, y si en otro tiempo supuso la espina dorsal de los conocimientos de los navegantes, hoy no puede dejar de ser el patrimonio cultural de cualquier marino.

## **Bibliografía**

ALMANAQUE Náutico 2012 con suplemento para la navegación aérea. Real Instituto y Observatorio de la Armada. San Fernando, Cádiz 2011.

CAMBLLOR ORDIZ, Abel. *Teoría de la Astronomía*. Colegio de Oficiales de la Marina Mercante. Madrid 1995.

GALADI, D; GUTIÉRREZ, J. *Astronomía general: teórica y práctica*. Omega. Barcelona 2001.

GARMENDIA BERASATEGUI, Ignacio. *Instrumentos Astronómicos Antiguos y Curiosidades Varias*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria 1992.

IBÁÑEZ, Itsaso; GAZTELU-ITURRI, Ricardo. *Fundamentos de navegación marítima*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Zarautz 2002.

MEDEROS, Luis. *Navegación Astronómica*. Noray. Barcelona 2008.

MORENO RODRIGUEZ, Fernando. *Astronomía, navegación y cálculos náuticos*. SEPHA Edición y Diseño. Madrid 2004.

NEBE, Wolf. *Manual de navegación astronómica*. Libros Cúpula. Barcelona 1998.

ROS, Rosa M.; CAPELL, Albert; COLOM, Josep. *El planisferio y 40 actividades más*. Antares. Barcelona 2005.

SOBEL, Dava. *Longitude*. Harper Perennial. Londres 2005.

VANVAERENBERGH, Michael; IFLAND, Peter. *Line of Position Navigation*. Unlimited Publishing. Bloomington 2003.

## **FUENTES Y RECURSOS WEB**

ADROVER LAUSELL, Miguel. *The Hypertextual Lounge*. Recuperado de <http://thehypertextualounge.com> [fecha de visita 18/05/2017].

ASTROCIENCIAS Ecuador. Recuperado de <http://astrocienciasecu.blogspot.com.es> [fecha de visita 04/04/2017].

ASTRONOMÍA. COM: L'Universo... per tutti! Recuperado de <http://www.astronomia.com> [fecha de visita 04/09/2016].

ENRIQUE Gracián (Entrada de blog). Recuperado de <http://www.enriquegracian.com> [fecha de visita 15/08/2016].

GONZÁLEZ MÁRMOL, Juan Miguel. *Astrociencia.Com*. Recuperado de <http://www.astrociencia.com> [fecha de visita 06/04/2017].

HUMBOLDT State University (página web oficial). Recuperado de <http://www.humboldt.edu> [fecha de visita 04/03/2017]

NASA (página web oficial). Recuperado de <http://www.nasa.gov> [fecha de visita 15/09/2016].

The PHYSICS Classroom. Recuperado de <http://www.physicsclassroom.com>[fecha de visita 18/05/2017].

SPACE.COM. Recuperado de <http://www.space.com> [fecha de visita 15/09/2017].