

Navigational Algorithms

© Andrés Ruiz

Astronomía Náutica

Índice

| | |
|--|-----------|
| EL UNIVERSO..... | 3 |
| EL SISTEMA SOLAR..... | 3 |
| EL SOL..... | 3 |
| LA TIERRA..... | 4 |
| MOVIMIENTOS DE LA TIERRA..... | 4 |
| LA LUNA..... | 5 |
| LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR..... | 6 |
| LAS ESTRELLAS..... | 6 |
| CLASIFICACIÓN..... | 6 |
| CONSTELACIONES..... | 7 |
| CATÁLOGOS Y PLANISFERIOS..... | 7 |
| ENFILACIONES PARA ENCONTRAR LAS ESTRELLAS PRINCIPALES..... | 7 |
| LA ESFERA TERRESTRE..... | 13 |
| LA ESFERA CELESTE..... | 13 |
| MERIDIANOS Y PARALELOS..... | 13 |
| CENIT, NADIR Y HORIZONTES..... | 13 |
| COORDENADAS TERRESTRES..... | 14 |
| COORDENADAS CELESTES DE LOS ASTROS..... | 14 |
| COORDENADAS HORIZONTALES: ALTURA Y AZIMUT..... | 14 |
| COORDENADAS HORARIAS: DECLINACIÓN Y HORARIO LOCAL..... | 15 |
| COORDENADAS URANOGRÁFICAS ECUATORIALES: DECLINACIÓN Y ASCENSIÓN RECTA..... | 15 |
| RELACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS COORDENADAS..... | 15 |
| EL TRIÁNGULO DE POSICIÓN..... | 16 |
| RESOLUCIÓN DEL TRIÁNGULO DE POSICIÓN..... | 16 |
| MOVIMIENTO PROPIO DE LOS ASTROS..... | 17 |
| LEYES DE KEPLER..... | 17 |
| ORBITA DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL..... | 17 |
| <i>Zonas terrestres y climas.....</i> | 17 |
| MOVIMIENTO APARENTE DE LOS ASTROS..... | 18 |
| MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL..... | 18 |
| <i>La eclíptica.....</i> | 18 |
| <i>Las Estaciones.....</i> | 18 |
| <i>El zodiaco.....</i> | 19 |
| ARCOS DIURNO Y NOCTURNO..... | 19 |
| ORTOS Y OCASOS DE UN ASTRO..... | 20 |
| CREPÚSCULOS..... | 20 |
| PASO DE LOS ASTROS POR EL MERIDIANO DEL LUGAR..... | 20 |
| EL ALMANAQUE NÁUTICO..... | 21 |
| DESCRIPCIÓN DEL ALMANAQUE..... | 21 |

El Universo

Materia, energía, espacio y tiempo, todo lo que existe forma parte del Universo. Es inmenso, pero no infinito.

El Universo contiene galaxias, cúmulos de galaxias y estructuras de mayor tamaño llamadas supercúmulos, además de materia intergaláctica. Todavía no se sabe con exactitud su magnitud.

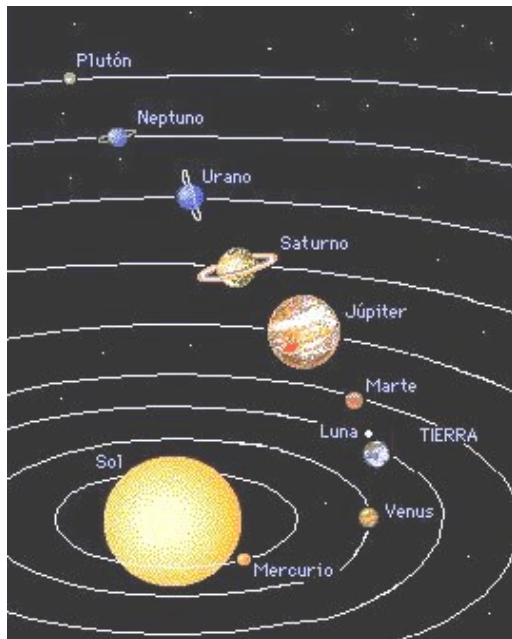
La materia no se distribuye de manera uniforme, sino que se concentra en lugares concretos: galaxias, estrellas, planetas, ... Sin embargo, el 90% del Universo es una masa oscura, que no podemos observar, el universo es, sobre todo, espacio vacío

El Sistema Solar

Entre los miles de estrellas que forman nuestra galaxia, la Vía Láctea, hay una de tamaño mediano, situada en uno de los brazos de la espiral: el Sol.

Nuestro sistema solar está constituido por el Sol y los planetas (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.), y otros cuerpos que giran en órbitas a su alrededor: numerosos cometas, asteroides, y meteoroides. Incluye además los satélites de los planetas y el medio interplanetario.

Se formó hace unos 4.650 millones de años y, lejos de permanecer estable, se trata de un sistema dinámico que cambia y evoluciona constantemente.



El Sol

Es la estrella más cercana a la Tierra y el mayor elemento del Sistema Solar. Las estrellas son los únicos cuerpos del Universo que emiten luz. El Sol es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta, sobre todo, en forma de luz y calor.

El Sol contiene más del 99% de toda la materia del Sistema Solar. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor.

Se formó hace 4.650 millones de años y tiene combustible para 5.000 millones más, actualmente es

una enana amarilla. Después, comenzará a hacerse más y más grande, hasta convertirse en una gigante roja. Finalmente, se hundirá por su propio peso y se convertirá en una enana blanca, que puede tardar un trillón de años en enfriarse.

El periodo de rotación de la superficie del Sol va desde los 25 días en el ecuador hasta los 36 días cerca de los polos. Más adentro parece que todo gira cada 27 días.

El Sol, y todo el Sistema Solar, gira alrededor del centro de la Vía Láctea, nuestra galaxia. Da una vuelta cada 200 millones de años. Ahora se mueve hacia la constelación de Hércules a 19 km/s



Datos

| | |
|--------------------------------------|----------------------|
| Masa (kg) | 1.989e+30 |
| Masa (Tierra = 1) | 332830 |
| Radio ecuatorial (km) | 695000 |
| Radio ecuatorial (Tierra = 1) | 108.97 |
| Densidad media (g/cm ³) | 1.410 |
| Período Rotacional (días) | 25-36 |
| Velocidad de escape (km/s) | 618.02 |
| Luminosidad (ergios/s) | 3.827e33 |
| Magnitud (Vo) | -26.8 |
| Temperatura media en la superficie | 6000°C |
| Edad (miles de millones de años) | 4.5 |
| Gravedad superficial en la fotosfera | 274 m/s ² |

Componentes químicos principales

| | |
|-----------|---------|
| Hidrógeno | 92.10% |
| Helio | 7.80% |
| Oxígeno | 0.0610% |
| Carbono | 0.0300% |
| Nitrógeno | 0.0084% |
| Neón | 0.0076% |
| Hierro | 0.0037% |
| Silicio | 0.0031% |
| Magnesio | 0.0024% |
| Azufre | 0.0015% |
| Otros | 0.0015% |

La Tierra

⊕ La Tierra es el tercer planeta del Sistema Solar, considerando su distancia al Sol, y el quinto de ellos según su tamaño. Es el único planeta del universo que se conoce en el que exista y se origine la vida. La Tierra se formó al mismo tiempo que el Sol y el resto del Sistema Solar, hace 4.570 millones de años. Posee un único satélite natural, la Luna. El sistema Tierra-Luna es bastante singular debido al gran tamaño relativo del satélite.

El 71% de su superficie está cubierta de agua. Es el único planeta del sistema solar donde el agua puede existir permanentemente en estado líquido en la superficie, circunstancia esencial para la vida. La Tierra es el único de los cuerpos del Sistema Solar que presenta una tectónica de placas activa, esto, unido a la erosión provocada por el agua, y la actividad biológica, ha hecho que la superficie de la Tierra sea muy joven eliminando casi todos los restos de cráteres, que marcan muchas de las superficies del Sistema Solar.



Datos

| | |
|---|------------|
| Masa (kg) | 5.97e+24 |
| Masa (Tierra = 1) | 1.0000e+00 |
| Radio ecuatorial (km) | 6378.14 |
| Radio ecuatorial (Tierra = 1) | 1.0000e+00 |
| Densidad media (g/cm ³) | 5.515 |
| | |
| Distancia media al Sol (km) | 149600000 |
| Distancia media al Sol (Tierra = 1) | 1.0000 |
| Periodo rotacional (días) | 0.99727 |
| Periodo rotacional (horas) | 23.9345 |
| Periodo orbital (días) | 365.256 |
| Velocidad orbital media (km/s) | 29.79 |
| | |
| Excentricidad orbital | 0.0167 |
| Inclinación del eje | 23.450 |
| Inclinación orbital | 0.0000 |
| | |
| Velocidad de escape ecuatorial (km/s) | 11.18 |
| Gravedad superficial ecuatorial (m/s ²) | 9.78 |
| Albedo geométrico visual | 0.37 |
| Temperatura superficial media | 15 °C |

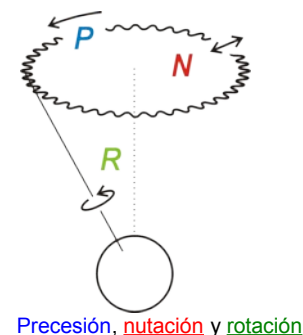
Presión atmosférica (bares) 1.013

Composición atmosférica

| | |
|-----------|-----|
| Nitrógeno | 77% |
| Oxígeno | 21% |
| Otros | 2% |

Movimientos de la Tierra

- **Rotación:** Es el movimiento que efectúa la Tierra girando sobre sí misma a lo largo de un eje ideal denominado Eje terrestre. Una vuelta completa, tomando como referencia a las estrellas, dura 23 h 56 m 4 s y se denomina día sidéreo.
- **Traslación:** Es el movimiento por el cual la Tierra se mueve alrededor del Sol siguiendo las leyes de Kepler y Newton.
- **Precesión:** también denominado precesión de los equinoccios, es debido a que la Tierra no es esférica sino un elipsoide achatado por los polos.
- **Nutación:** Este movimiento también es debido al achatamiento de los polos y a la atracción de la Luna sobre el eje ecuatorial. Es un movimiento de vaivén y se produce durante el movimiento de precesión, recorriendo a su vez una pequeña elipse (como si fuese una pequeña vibración). Una vuelta completa a la elipse se realiza en 18,6 años, lo que supone que en una vuelta completa de precesión la Tierra habrá realizado 1.385 bucles.
- **Bamboleo de Chandler:** Se trata de una pequeña oscilación del eje de rotación de la tierra que añade 0.7 segundos de arco en un período de 433 días a la precesión de los equinoccios. Actualmente no se conocen las causas que lo producen, aunque se han propuesto varias teorías, (fluctuaciones climáticas causantes de cambios en la distribución de la masa atmosférica, posibles movimientos geofísicos bajo la corteza terrestre, etc.).



La Luna

Es el único satélite natural de la Tierra y el único cuerpo del Sistema Solar que podemos ver en detalle a simple vista. La duración de la rotación sobre su eje es igual al tiempo que tarda en recorrer su órbita alrededor de la Tierra: 27 días, 7 horas y 43 minutos, esto hace que nos muestre siempre la misma cara. No tiene atmósfera ni agua.

Su movimiento alrededor de nuestro planeta sigue las leyes de Kepler, ocupando la Tierra uno de los focos de la órbita elíptica.



Datos

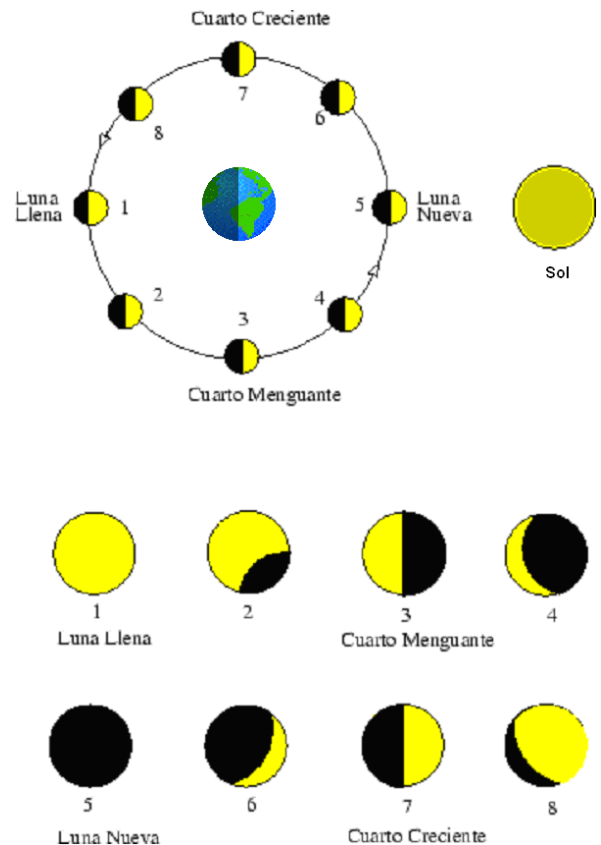
| | |
|--|------------|
| Masa (kg) | 7.349e+22 |
| Masa (Tierra = 1) | 1.2298e-02 |
| Radio ecuatorial (km) | 1,737.4 |
| Radio ecuatorial (Tierra = 1) | 2.7241e-01 |
| Densidad media (g/cm ³) | 3.34 |
| Distancia media desde la Tierra (km) | 384,400 |
| Período rotacional (días) | 27.32166 |
| Período orbital (días) | 27.32166 |
| Velocidad orbital media (km/s) | 1.03 |
| Excentricidad orbital | 0.05 |
| Inclinación del eje (°) | 6.68 |
| Inclinación orbital (°) | 18.3-28.6 |
| Gravedad superficial en el ecuador (m/s ²) | 1.62 |
| Velocidad de escape en el ecuador (km/s) | 2.38 |
| Albedo geométrico visual | 0.12 |
| Magnitud (Vo) | -12.74 |
| Temperatura media de la superficie (día) | 107°C |
| Temperatura media de la superficie (noche) | -153°C |
| Temperatura máxima de la superficie | 123°C |
| Temperatura mínima de la superficie | -233°C |

Revolución sidérea es el tiempo que tarda la Luna en recorrer su órbita, siendo su duración de 27,32 días.

Revolución sinódica es el intervalo de tiempo que transcurre hasta que la Luna vuelve a ocupar la misma posición relativa respecto al Sol, también se le llama **lunación** o mes lunar. La duración de esta revolución es de 29,53 días. Es mayor que la sidérea ya que cuando la Luna ha cumplido esta revolución el Sol se ha desplazado unos 27° tardando la Luna cerca de dos días en volver a ocupar la misma posición.

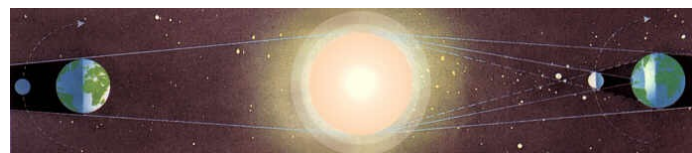
Las **fases de la Luna** son los diversos aspectos bajo los cuales se presenta, y que dependen de la posición relativa de este astro y del Sol respecto a la Tierra. Dado que la Luna gira alrededor de la Tierra, la luz del

Sol le llega desde posiciones diferentes, que se repiten en cada vuelta. El hemisferio de la Luna que se presenta al Sol, está iluminado, y oscuro el opuesto.



Cuando ilumina toda la cara que vemos se llama Luna llena o plenilunio. Cuando no la vemos es la Luna nueva o novilunio. Las otras posiciones son intermedias. En la posición 5 los tres astros están en conjunción y en la 1 en oposición. Ambas posiciones son llamadas **sigias**. En las posiciones 3 y 7 los tres astros están en **cuadratura**.

Los **Eclipses** se producen cuando el Sol, la Luna y la Tierra se sitúan formando una línea recta. Cuando la Luna pasa por detrás y se sitúa a la sombra de la Tierra, se produce un **Eclipse Lunar** (*dibujo, izquierda*). Si la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, lo tapa y se produce un **Eclipse Solar** (*derecha*), si únicamente oculta el centro del Sol se da un **eclipse anular**. Si un astro llega a ocultar totalmente al otro, el eclipse es **total**, si no, es **parcial**.



Los Planetas del Sistema Solar

Los **planetas terrestres** son los cuatro más internos en el sistema solar: **Mercurio**, **Venus**, **Tierra** y **Marte**. Son llamados terrestres porque tienen una superficie rocosa compacta, como la de la Tierra. Los planetas, Venus, Tierra, y Marte tienen atmósferas significativas mientras que Mercurio casi no tiene.

A Júpiter, Saturno, Urano, y Neptuno se les conoce como los **planetas Jovianos** (relativos a Júpiter), puesto que son gigantes gaseosos comparados con la Tierra, y tienen naturaleza gaseosa como la de Júpiter. Los planetas Jovianos son también llamados los gigantes de gas, sin embargo algunos de ellos tienen el centro sólido.

En general las órbitas de los planetas son elipses de poca excentricidad; son casi circulares.

Datos

| | (AU)Distancia | (Tierras)Radio | (Tierras)Masa | (Tierras)Rotación | Principales nº Lunas | (grs/cm ³)Densidad |
|-----------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| Sol | 0 | 109 | 332800 | 25-36 | 8 | 1.41 |
| Mercurio | 0.4 | 0.4 | 0.05 | 58.8 | 0 | 5.43 |
| Venus | 0.7 | 1 | 0.89 | 244 | 0 | 5.25 |
| Tierra | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5.52 |
| Marte | 1.5 | 0.5 | 0.11 | 1.029 | 2 | 3.95 |
| Júpiter | 5.2 | 11 | 318 | 0.411 | 16 | 1.33 |
| Saturno | 9.5 | 9 | 95 | 0.428 | 18 | 0.69 |
| Urano | 19 | 4 | 15 | 0.748 | 15 | 1.29 |
| Neptuno | 30 | 4 | 17 | 0.802 | 8 | 1.64 |

| | Inclinación Orbital | Excentricidad Orbital | Oblicuidad | Periodo rotación(h) |
|-----------------|---------------------|-----------------------|------------|---------------------|
| Mercurio | 7 | 0.2056 | 0.1° | 1407.5 |
| Venus | 3.394 | 0.0068 | 177.4° | 5832.5 |
| Tierra | 0 | 0.0167 | 23.45° | 23.9345 |
| Marte | 1.85 | 0.0934 | 25.19° | 24.623 |
| Júpiter | 1.308 | 0.0483 | 3.12° | 9.925 |
| Saturno | 2.488 | 0.056 | 26.73° | 10.656 |
| Urano | 0.774 | 0.0461 | 97.86° | 17.24 |
| Neptuno | 1.774 | 0.0097 | 29.56° | 16.11 |

En navegación interesan Venus, Marte, Júpiter y Saturno, por ser utilizados para calcular la posición por medio del sextante y el cronómetro.

Las Estrellas

Las estrellas son enormes masas globulares de gas incandescente que irradian energía en todas direcciones, parte de ella en forma de luz. Se encuentran a grandes distancias de la Tierra, por lo que conservan fijas sus posiciones relativas, sus movimientos aparentes no se aprecian si no es en grandes períodos de tiempo.

Debido al efecto de la atmósfera terrestre, todas las estrellas presentan una rápida variación del color y brillo llamado **centelleo**. Los planetas, en general, no presentan este centelleo ya que tienen un diámetro

aparente sensible, excepto Mercurio, al que se le aprecia debido a su pequeño tamaño.

El número de estrellas es de millones. A simple vista son visibles unas 6.500 estrellas, aunque lo normal es que un observador pueda ver 1/3 de esta cantidad. La mayoría de los objetos celestes visibles a simple vista pertenecen a la Vía Láctea.

Clasificación

El análisis espectral de la luz estelar proporciona datos sobre la constitución química y temperatura de las estrellas. La clasificación de las mismas según su tipo espectral, distingue las estrellas de acuerdo a su espectro luminoso y su temperatura superficial. Una medida simple de esta temperatura es el índice de color de la estrella: W, O, B, A, F, G, K, M, L y T de mayor a menor temperatura.

| | Color | Temperatura (°C) | Ejemplo |
|----------|-----------------|------------------|---------------------|
| O | azul | 40.000-25.000 | I Cephei |
| B | blanco-azul | 25.000-11.000 | Spica |
| A | blanco | 11.000-7.500 | Vega |
| F | blanco-amarillo | 7.500-6.000 | Procyon |
| G | amarillo | 6.000-5.000 | Sol |
| K | naranja | 5.000-3.500 | Arcturus |
| M | rojo | 3.500-3.000 | Betelgeuse, Antares |

Estrellas con la misma temperatura pueden tener tamaños muy diferentes, lo que implica luminosidades muy diferentes. Para distinguirlas se definen las clases de luminosidad. En este sistema de clasificación se examina nuevamente el espectro estelar y se buscan líneas espectrales sensibles a la gravedad de la estrella. De este modo es posible estimar su tamaño.

| Clase | Descripción |
|------------|-------------------------|
| Ia | Supergigantes Luminosas |
| Ib | Supergigantes |
| II | Gigantes luminosas |
| III | Gigantes |
| IV | Sub-gigantes |
| V | Enanas (Sol) |
| VI | Sub-enanas |
| VII | Enanas blancas |

La luminosidad aparente de una estrella se representa por su **magnitud estelar**; m . Es una medida de intensidad luminosa, b , que indica cuánto brilla más una estrella que otra.

$$m_1 - m_2 = 2.5 \cdot \log \frac{b_1}{b_2}$$

1ª magnitud: $-1.6 < m < +1.5$

2ª magnitud: $+1.6 < m < +2.5$

3ª magnitud: $+2.6 < m < +3.5$

A las [estrellas más brillantes](#) se les asignó la 1ª magnitud y a las que están en el límite de la visión la 6ª.

| | m |
|----------------|-----------------|
| el Sol | -26.74 |
| La Luna llena | -12.6 |
| Venus | -4.4 |
| | <i>max</i> |
| Marte | -2.8 <i>max</i> |
| Sirius | -1.46 |
| Canopus | -0.73 |
| Rigel | |
| Kentaurus | -0.29 |
| Arcturus | -0.05 |
| Vega | 0.03 |
| Capella | 0.07 |
| Spica | 0.97 |
| Estrella polar | +2.01 |

| | |
|--|------|
| Estrellas débiles visibles en una ciudad | +3.0 |
| Estrellas débiles visibles al ojo humano | +6.0 |

La [magnitud](#) aparente no es indicativa de las dimensiones ni del brillo real de las estrellas.

Constelaciones

Desde la Tierra las estrellas se proyectan sobre la esfera celeste formando grupos que durante siglos mantienen su forma casi inmutable. Estos grupos o reuniones de estrellas de formas variadas se llaman constelaciones, las cuales se distinguen bien con nombres mitológicos como Orión, Andrómeda o Perseo; o bien con nombres de animales u objetos como Carro, León, Toro o Escorpio, sugeridos por las formas que representan y la fantasía de los primeros observadores. En 1930 la Unión Astronómica Internacional acordó que las constelaciones estuvieran limitadas por paralelos de declinación y círculos horarios, reconociendo oficialmente 88 de ellas. La forma de cada constelación es debida a un efecto de perspectiva, ya que si el observador se colocase en un punto lejano de la Tierra, la constelación aparecería de forma diferente.

Para distinguir las estrellas individualmente se les ha dado a las principales nombre propio. Los nombres de la mayor parte son de origen árabe como Altair o Aldebarán; otros son de origen latino como Arcturus o Régulus. Johann Bayer introdujo en siglo XVII un sistema para designar las estrellas más brillantes, se utiliza el genitivo del nombre de las constelaciones, precedido por una letra griega; la estrella más brillante de la constelación se llama α , la segunda β , etc.

Las constelaciones más útiles al navegante son:

- Osa Mayor
- Pegaso
- Orión
- Cisne
- Escorpión
- Cruz del Sur.

Catálogos y planisferios

Los catálogos son listas de estrellas, generalmente ordenadas por sus ascensiones rectas o ángulos sidéreos, precedidas por un número de orden.

Los planisferios son mapas del cielo, generalmente en proyección estereográfica (centro de proyección: un punto de la esfera - plano de proyección: normal al diámetro que pasa por el centro de proyección) de los hemisferios boreal y austral sobre el plano del ecuador, tomando como centro de proyección el del polo opuesto.

Normalmente, el ecuador está graduado de 0 a 24 horas o de 0 a 360 grados, para medir AR o AS. Asimismo, tienen representados varios paralelos de declinación para medir las declinaciones.

El Almanaque Náutico contiene un catálogo con 99 estrellas y 4 planisferios.

Enfilaciones para encontrar las estrellas principales

Conociendo algunas constelaciones y estrellas principales podemos reconocer otras trazando enfilaciones o líneas imaginarias en la esfera celeste.

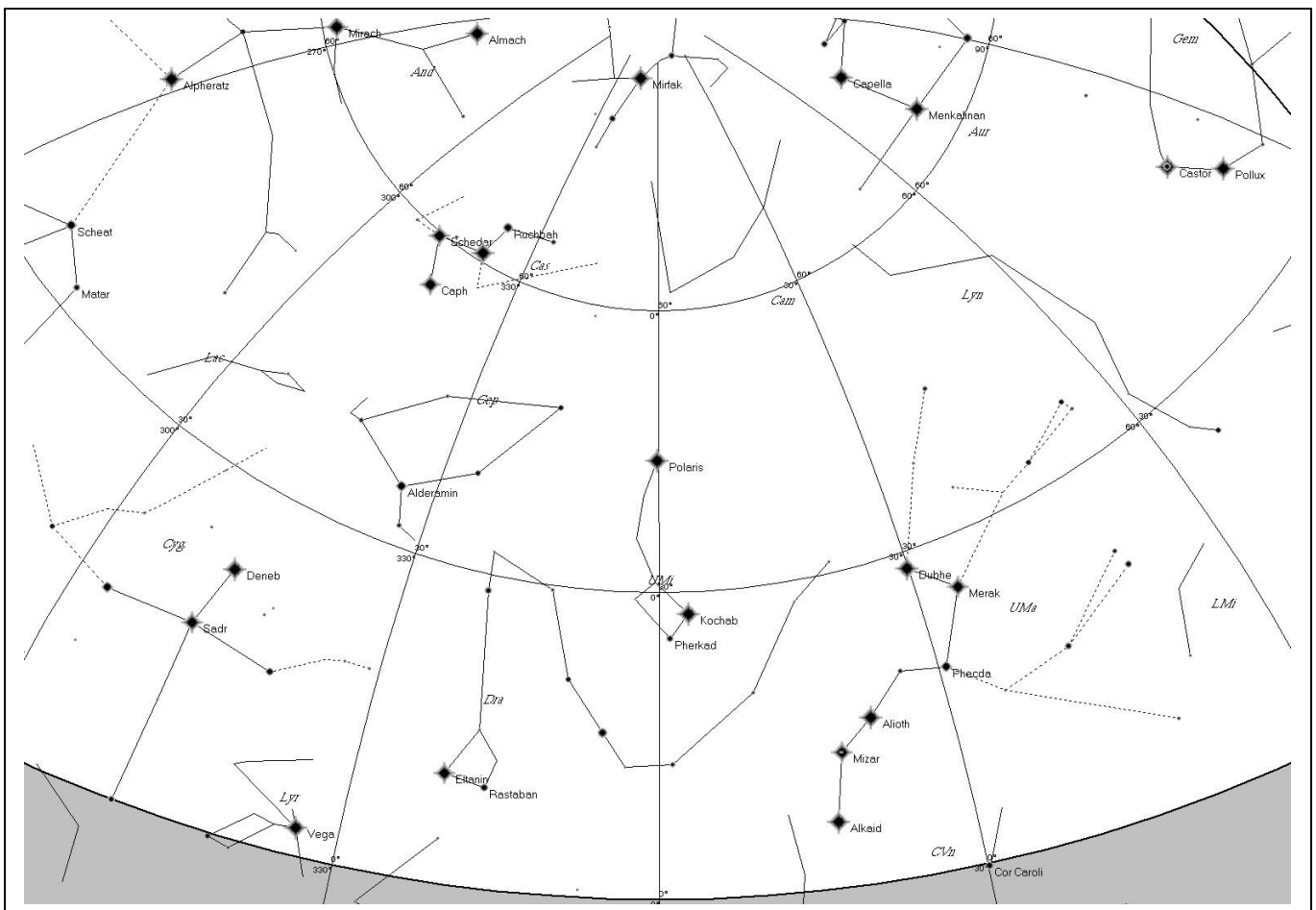
Partiendo de la constelación de la Osa Mayor

La Osa Mayor contiene un asterismo, (conjunto de estrellas que vistas desde el cielo de la Tierra parecen formar una figura pero que a diferencia de una constelación no tiene un reconocimiento oficial por parte de la comunidad científica.), El Carro, formado por siete estrellas, cuatro de las cuales forman un trapecio, que constituye el cuerpo de la osa o carro, y las otras tres forman la cola de la primera o la lanza del segundo.

Fácilmente reconocible por su forma característica, esta constelación describe un círculo de unos 35° de radio, alrededor del polo, cambiando su posición según la hora y época de la observación. Para la latitud del norte de España, todas las estrellas que la componen son circumpolares.

Polaris - La Polar es la última estrella de la cola de la Osa Menor, aunque de 2^a magnitud, es importante por estar prácticamente en el polo norte. Se encuentra:

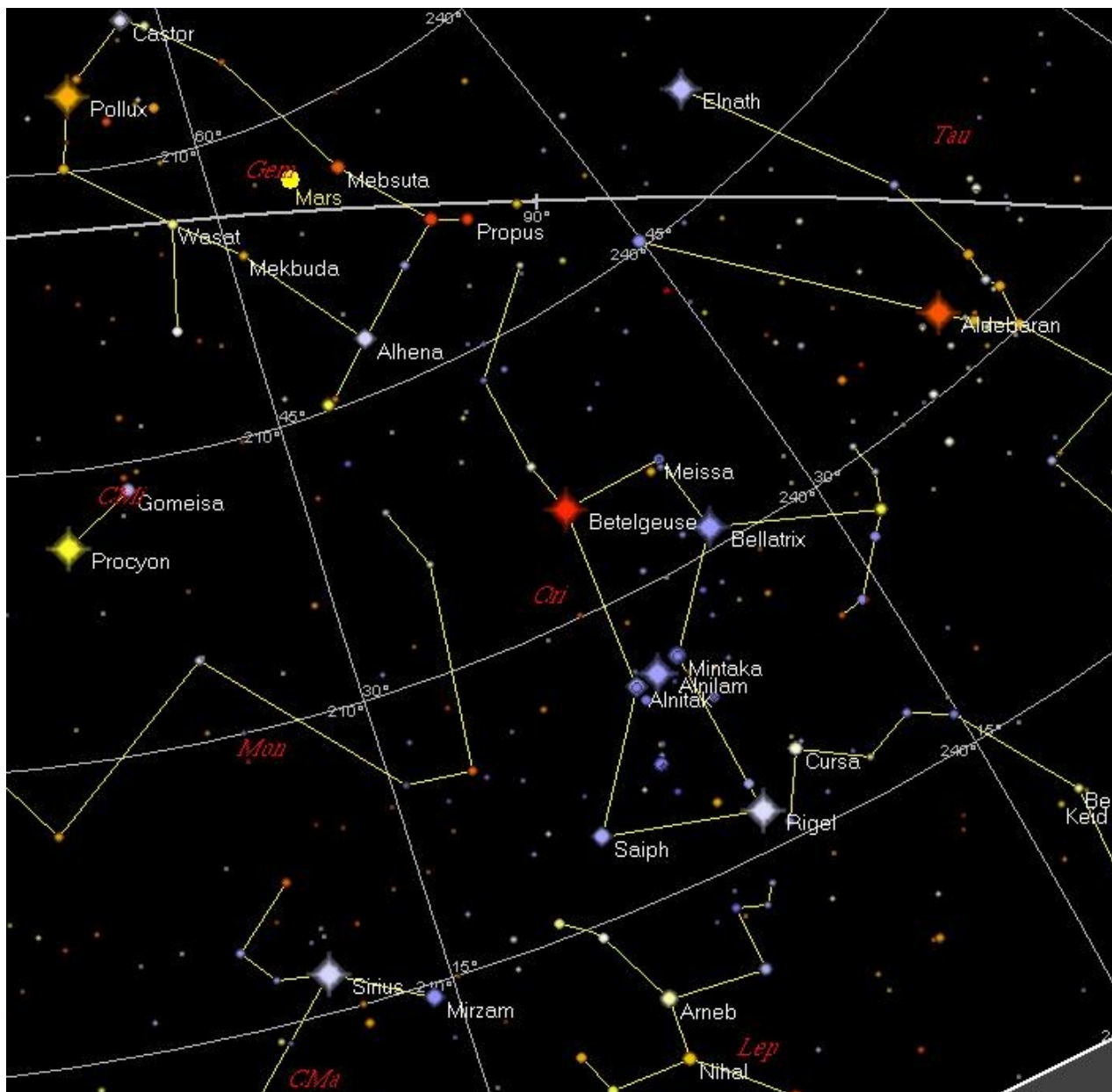
- prolongando unas 5 veces la distancia Merak-Dubhe.
- Esta aproximadamente en la intersección de las bisectrices de los dos ángulos que forman la w de la constelación de Cassiopea.



Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de la Osa Mayor

Partiendo de la constelación de Orión

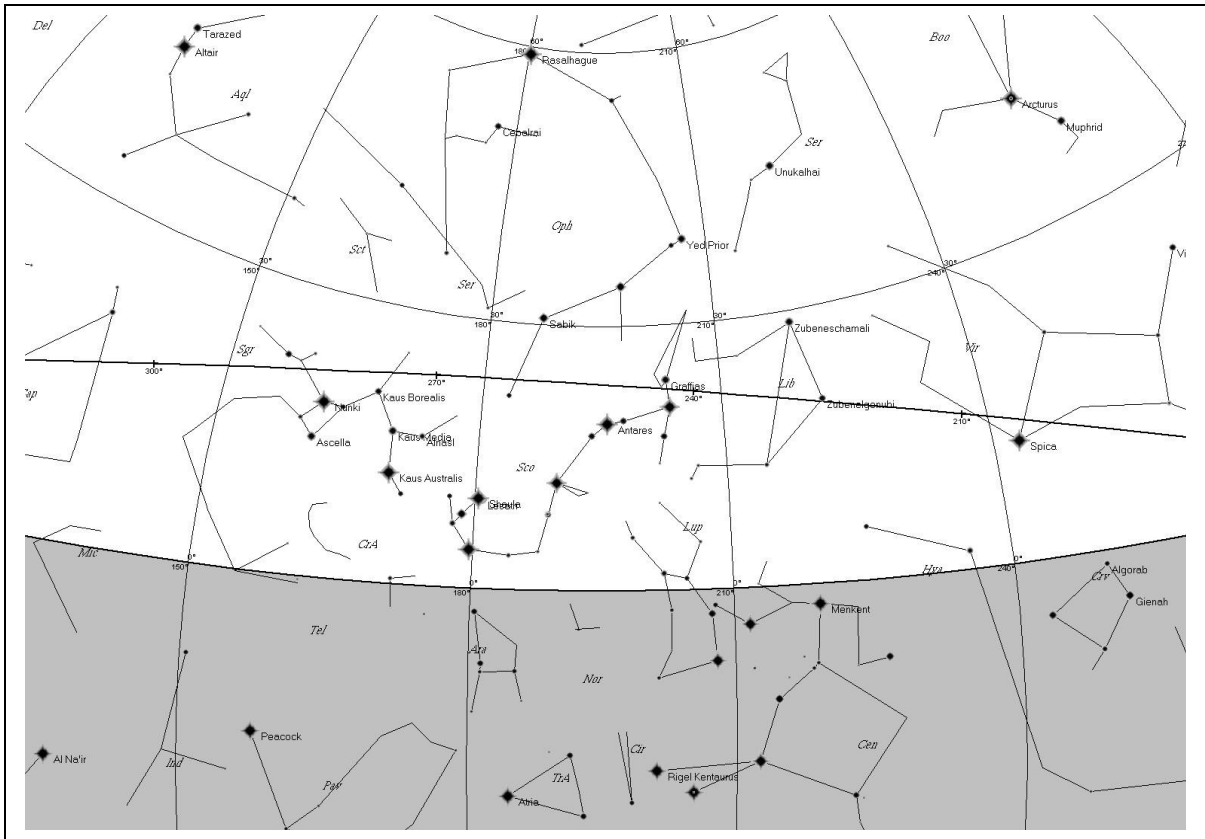
A partir de las siete estrellas principales que forman esta constelación, (cuatro del cuadrilátero y las Tres Marías o cinturón de Orión), se reconocen un número de estrellas importantes.



Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de Orión

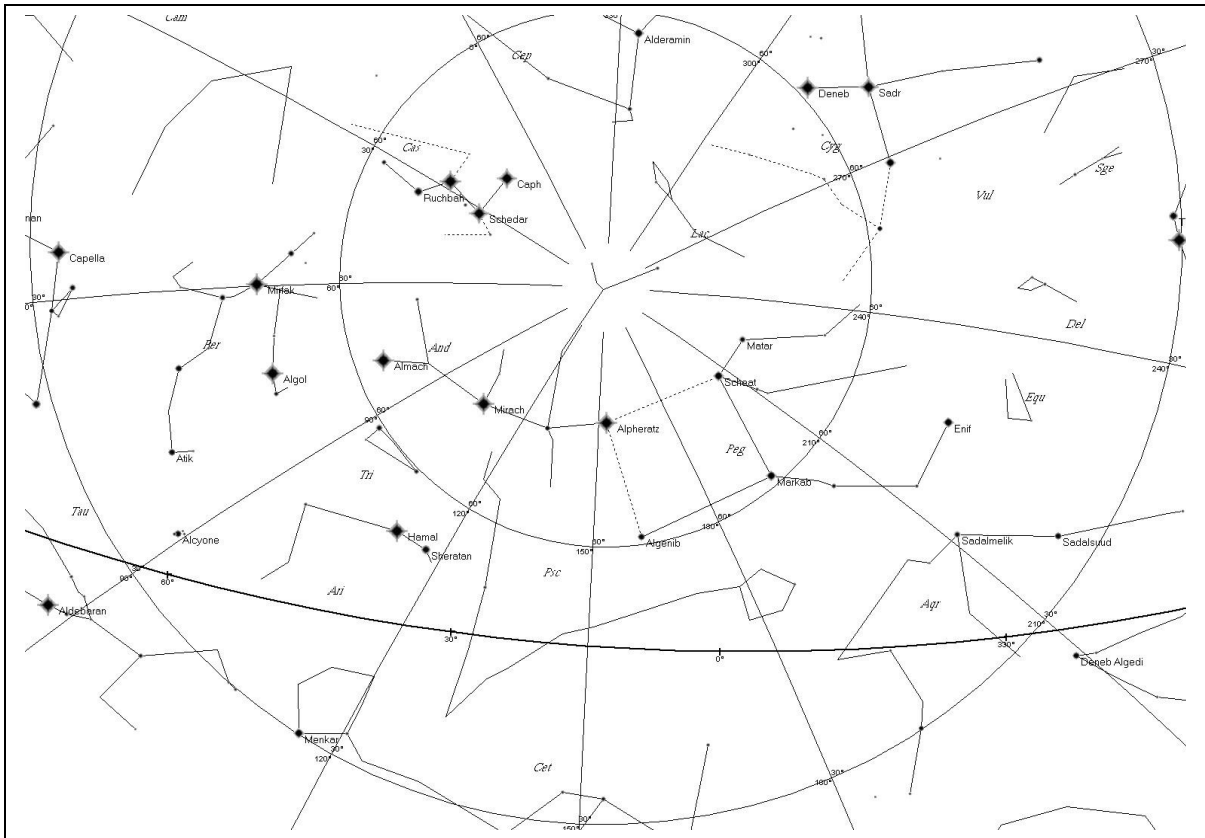
- **Triángulo de invierno:** triángulo equilátero formado por Betelgeuse, Procyon y Sirio.
- Línea formada por: Sirio, el cinturón de Orión y Aldebarán

Partiendo de la constelación de Escorpión



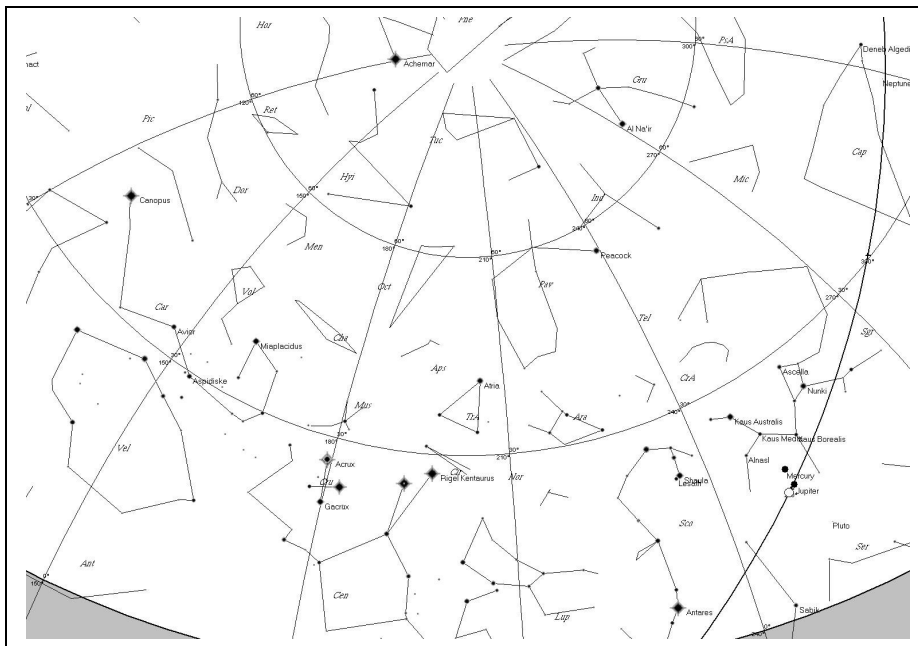
Reconocimiento de estrellas por enfilaciones constelación de Escorpio

Partiendo de la constelación del cuadrado del Pegaso.

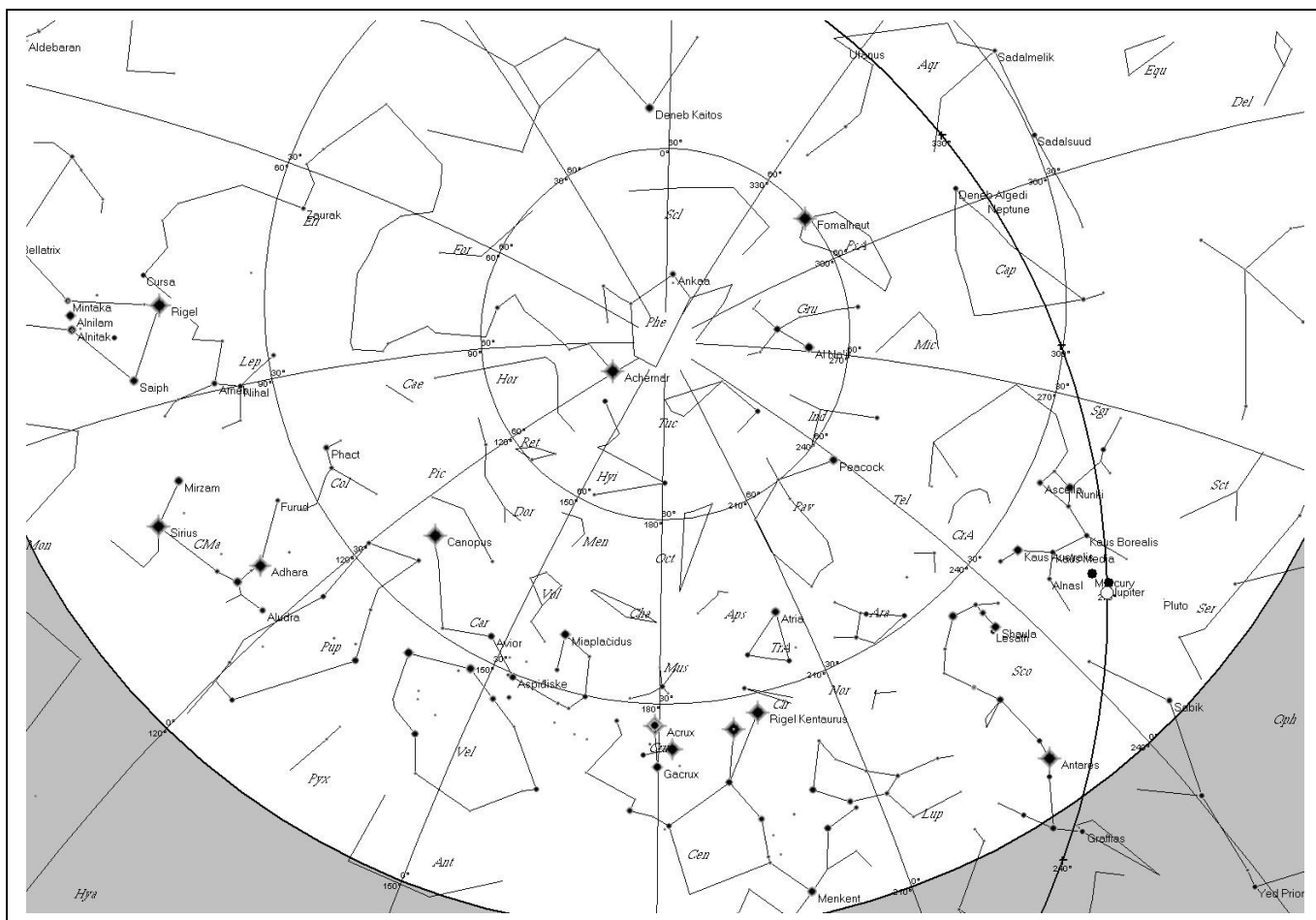


Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de Pegaso y Andr6meda

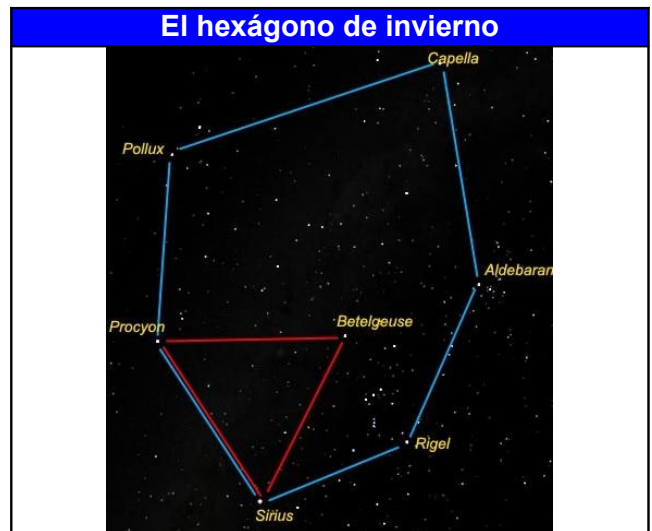
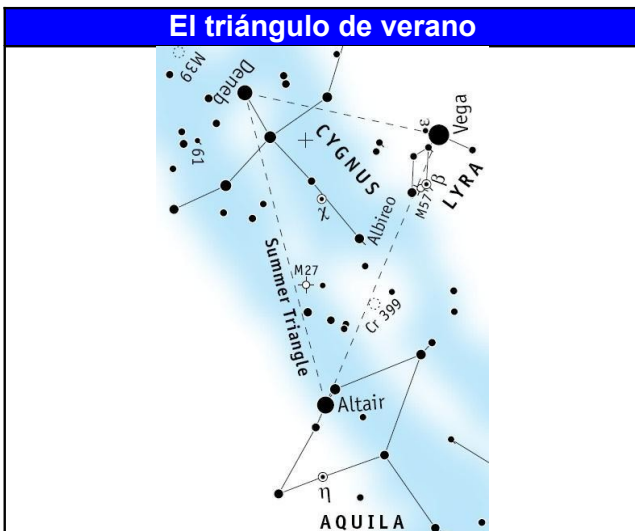
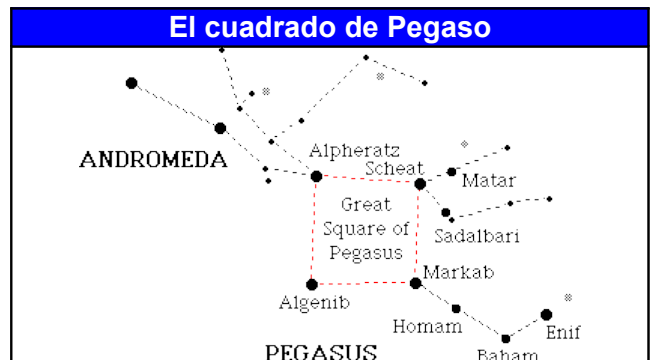
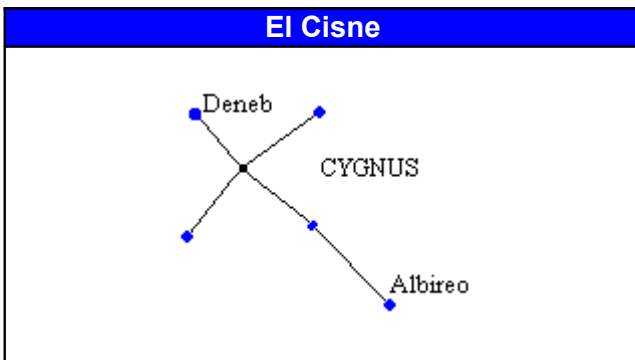
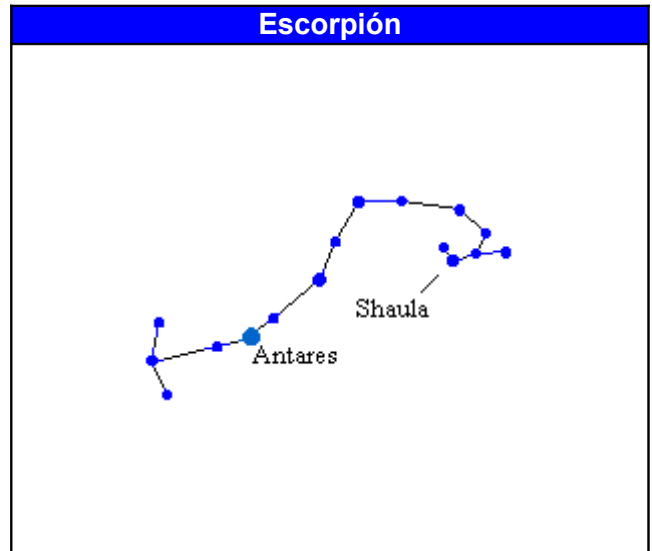
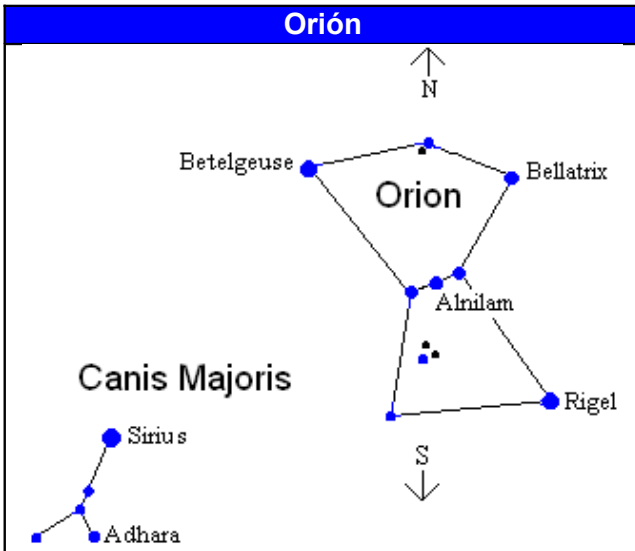
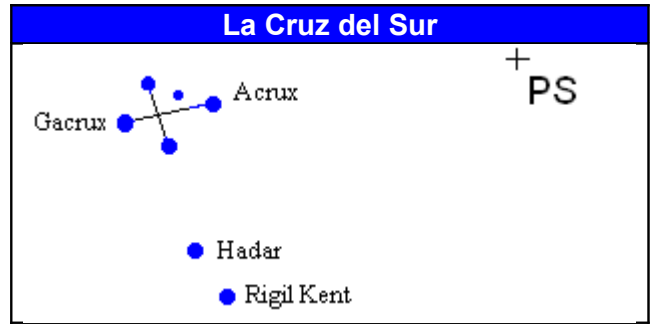
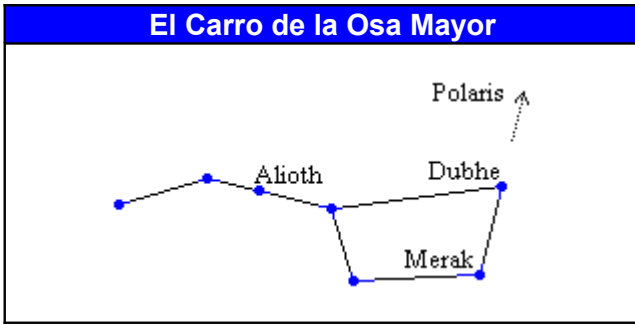
Partiendo de la constelación de la Cruz del Sur



Reconocimiento de estrellas por enfilaciones de la Cruz del Sur



Estrellas del Hemisferio Sur



La esfera terrestre

Eje de la Tierra - es un eje imaginario que va de polo a polo, sobre el cual gira en rotación de occidente a oriente. Los extremos del eje son los polos. Viendo desde arriba al **polo norte**, la Tierra gira en sentido antihorario. El extremo contrario es el **polo sur**.

Meridiano - es el semicírculo máximo de la esfera terrestre que va de polo a polo. Al que pasa por Greenwich se le denomina **primer meridiano** o meridiano principal.

Ecuador - es el círculo máximo perpendicular al eje de la Tierra que la divide en dos hemisferios, el norte y el sur.

Paralelo - es un círculo menor paralelo al ecuador.

Meridiano del lugar - es el meridiano que pasa por el observador.

La esfera celeste

Para la resolución de la mayoría de los problemas de posición en astronomía, se supone que todos los astros se encuentran en una gran superficie esférica de radio arbitrario denominada esfera celeste, concéntrica con la esfera terrestre.

Las líneas principales que en la misma se consideran son:

Meridianos y paralelos

La proyección del polo norte y del polo sur terrestres en la esfera celeste da lugar a los polos de esta. El **polo elevado** es el polo que tiene el mismo signo que la latitud del observador y **polo depreso** el contrario.

El **eje del mundo**, **línea de los polos**, o **eje de rotación del movimiento diurno**, es la línea que une los dos polos de la esfera celeste. La rotación de la Tierra hace que la esfera celeste se mueva aparentemente en torno a dicho eje.

El **ecuador celeste** es la proyección del ecuador terrestre en la esfera celeste, es decir, el círculo perpendicular al eje del mundo.

Los **meridianos celestes** son semicírculos que van de polo a polo de la esfera celeste, también se denominan **semicírculos horarios**.

Meridiano superior del lugar, es el meridiano del lugar proyectado en la esfera celeste; es el meridiano celeste que contiene al cenit.

Meridiano inferior del lugar, es el meridiano celeste que contiene al nadir.

El meridiano cero o **primer meridiano** es el que pasa por Greenwich. Es el origen de las longitudes, y proyectado en la esfera celeste es el origen de los horarios en Greenwich de los astros.

Los **paralelos** son círculos menores paralelos al ecuador. En la esfera terrestre son paralelos de latitud, y en la celeste son paralelos de declinación.

Cenit, Nadir y Horizontes

Cenit o zenit, es el punto originado por la proyección del observador en la esfera celeste.

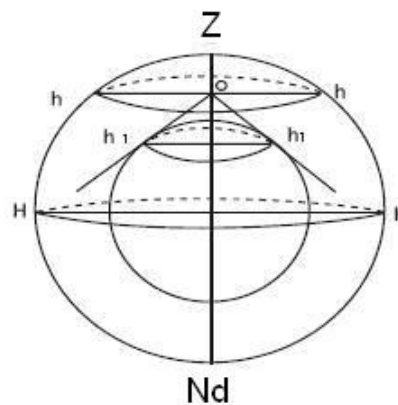
Nadir es el punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cenit.

La línea cenit-nadir, es la línea que une ambos puntos.

El **horizonte verdadero**, **geocéntrico** o racional, HH, es el círculo perpendicular a la vertical del observador por el centro de la esfera terrestre. Sobre él están los puntos cardinales y divide a la esfera celeste en el hemisferio visible y en el invisible.

Horizonte sensible o **aparente**. hh es el círculo menor con centro en el observador y paralelo al horizonte verdadero.

Horizonte **visible** o de la mar, h1h1 es el que se forma tangenteando desde el observador a la superficie terrestre.



Tipos de horizontes

Almicantarat es un círculo menor de la esfera celeste paralelo al horizonte verdadero. Tiene la propiedad de que los astros que se encuentran en él tienen la misma altura.

La proyección del polo norte celeste sobre el horizonte verdadero da lugar al punto cardinal norte, y la del polo sur, al punto cardinal sur.

La línea verdadera EW es perpendicular a la NS, y los puntos E y W son los de corte del horizonte con el ecuador celeste.

Vertical, es el círculo máximo que pasa por el cenit y el nadir. Es perpendicular al horizonte.

Vertical del lugar o **del observador**, vertical que pasa por el observador.

Vertical de un astro, o **semicírculo vertical**, es el semicírculo que va de cenit a nadir pasando por el astro.

El **primer vertical** es el círculo de la esfera celeste que pasa por los puntos cenit, nadir, este y oeste.

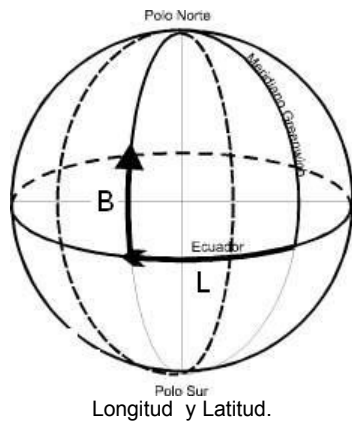
El **vertical principal** es el vertical que pasa por los polos celestes, es perpendicular al primer vertical.

Coordenadas terrestres

En navegación se emplean las coordenadas esféricas: latitud y longitud, que son las que utilizan las cartas náuticas.

B - Latitud es el arco de meridiano contado desde el ecuador hasta el observador. Toma valores de 0° a 90° , hacia el norte o sur.

L - Longitud es el arco de ecuador contado desde el meridiano de Greenwich hasta el meridiano del observador. Toma valores de 0° a 180° , hacia el este u oeste.



Diferencia en latitud es el arco de meridiano entre dos paralelos. Es igual a la latitud de llegada menos la latitud de salida; puede ser norte o sur, y siempre menor de 180° .

Diferencia en longitud es el arco de ecuador comprendido entre dos meridianos. Es igual a la longitud de llegada menos la longitud de salida; puede ser este u oeste y siempre menor de 180° .

A - Apartamiento es el arco de paralelo entre dos meridianos. Los apartamientos van disminuyendo en distancia a medida que aumenta la latitud.

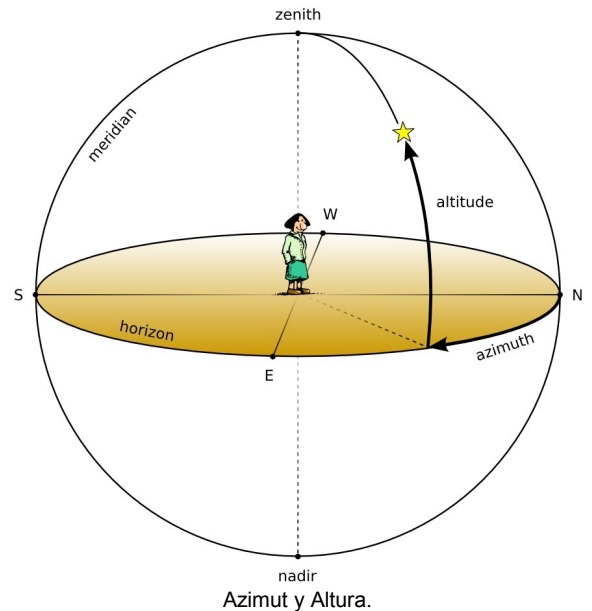
Coordenadas celestes de los astros

Para situar un astro en la esfera celeste, se emplean diversos sistemas de coordenadas celestes. En navegación se toma como origen el centro de la Tierra: coordenadas **geocéntricas**, y se utilizan coordenadas **esféricas**, en donde a efectos prácticos se toma la distancia $r = 1$.

Las coordenadas **locales** dependen de la situación del observador.

Coordenadas horizontales: Altura y azimut.

Tomando como círculo fundamental de referencia el horizonte verdadero, se definen las dos coordenadas de este sistema:



H - La altura es el arco de vertical del astro contado desde el horizonte verdadero hasta el astro. Toma valores de 0° a 90° con signo positivo. Cuando se mide utilizando un sextante o un teodolito se obtiene una altura topocéntrica que debe corregirse para obtener la geocéntrica correspondiente.

Si el astro estuviese debajo del horizonte, en el hemisferio invisible, la altura negativa recibe el nombre de **depresión**.

Z - El azimut es el arco de horizonte contado hasta el vertical del astro, desde el norte o el sur. (Este tipo de coordenadas también recibe el nombre de azimutales).

Formas de contar el azimut:

- Azimut **cuadrantal**. Se mide desde el norte o el sur más próximo hacia el este u oeste. Toma valores de 0° a 90° .
- Azimut **astronómico** o **ángulo cenital**, desde el polo elevado (N o S), hacia el E u W, tomando valores de 0° a 180° . Es el suplemento a 180° del azimut cuadrantal.
- Azimut **circular** o **náutico** desde el norte en el sentido de las agujas del reloj, es decir, de 0° a 360° .

Distancia cenital: es el complemento de la altura, representa el arco de vertical contado desde el cenit hasta el astro. $dz = 90^\circ - H$

Am - Amplitud: es el arco de horizonte contado desde el punto cardinal E u W hasta el vertical del astro. Es el complemento del azimut cuadrantal.

- Amplitud **ortiva:** desde el E, azimut del orto
- Amplitud **occidua:** desde el W, azimut del ocaso

Coordenadas horarias: Declinación y horario

local

El *semicírculo horario del astro* es el semicírculo máximo de la esfera celeste que va de polo a polo pasando por el astro.

Dec - La **declinación** es el arco de semicírculo horario contado desde el ecuador hasta el astro. Se mide de 0° a 90° hacia el norte o sur.

LHA - El **ángulo horario local** es el arco de ecuador contado desde el meridiano superior hasta el semicírculo horario del astro. Se mide hacia el W y toma valores en el intervalo: $0^\circ \leq LHA \leq 360^\circ$

P - Ángulo en el polo: es el LHA del astro contado de 0° a 180° hacia el E u W.

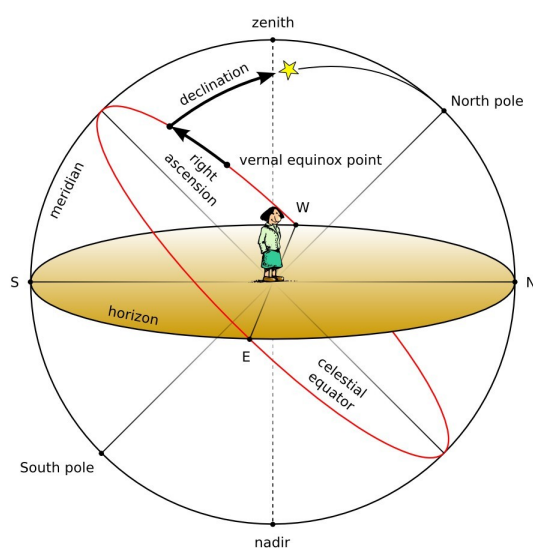
Distancia polar o codeclinación: $dp = 90^\circ - Dec$

Diferencia ascensional es el arco de ecuador contado desde el E u W hasta el semicírculo horario del astro. Se usa cuando el astro se encuentra en el orto u ocaso. Esta relacionado con el LHA.

Coordenadas uranográficas ecuatoriales:

Declinación y ascensión recta

Estas coordenadas son independientes de la posición del observador, por lo que pueden ser publicadas en las efemérides astronómicas como el almanaque náutico.



Dec - La **declinación** es el arco de máximo de ascensión, (semicírculo horario), contado desde el ecuador hasta el astro. Se mide de 0° a 90° hacia el norte o sur.

SHA - ángulo sidéreo es el arco de ecuador desde Aries hasta el máximo de ascensión del astro, en sentido astronómico; hacia el W.

RA - Ascensión recta: es el suplemento a 360° del ángulo sidéreo expresado en tiempo. Se mide hacia el E.

GHA - El **ángulo horario en Greenwich** es el arco de ecuador contado desde el primer meridiano hasta el semicírculo horario del astro. Se mide de W hacia E, en el intervalo: $0^\circ \leq GHA \leq 360^\circ$

Relación entre las distintas coordenadas

Cuando un observador ve un astro en el firmamento, la forma en que se relacionan las coordenadas terrestres y celestes de cada uno con la altura verdadera del astro, constituye la ecuación del círculo de altura, que es la línea de posición utilizada en navegación astronómica. De las diversas formas de obtener dicha ecuación, la más clásica resuelve el triángulo de posición.

- **Relación entre las distintas coordenadas que se miden en el ecuador.** Las coordenadas celestes que se miden sobre el ecuador son el horario y el ángulo sidéreo, y la longitud como coordenada terrestre. Su relación es importante en los cálculos náuticos de posición.

$$GHA = GHA_\gamma + SHA$$

$$LHA = LHA_\gamma + SHA$$

$$SHA = 360 - RA$$

- Relación entre el horario en Greenwich y el horario en el lugar:

$$LHA = GHA + L$$

$$\text{Para } L = - [W] \text{ y } + [E]$$

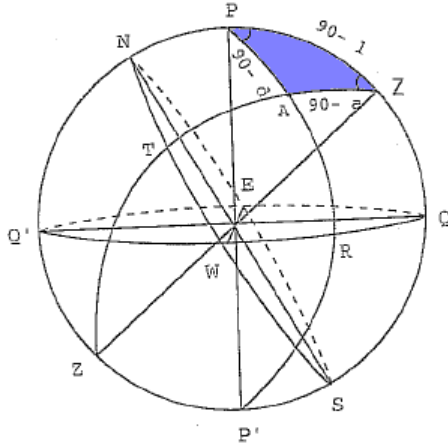
| Esfera Terrestre | Esfera Celeste |
|-------------------------------|--|
| Polo Norte | PN celeste |
| Polo Sur | PS celeste |
| Eje de la Tierra | Eje del mundo |
| Ecuador | Ecuador celeste |
| Paralelo de latitud | Paralelo de declinación |
| Meridiano | Meridiano celeste o semicírculo horario |
| Meridiano de Greenwich | Primer meridiano |
| Meridiano del lugar | Meridiano superior del lugar Meridiano inferior del lugar |
| Observador | Cenit |
| Polo de iluminación del astro | Astro |
| Latitud | Declinación |
| Longitud | GHA |

| | Coordenadas Horizontales | Coordenadas Horarias | Coordenadas Ecuatoriales |
|---|--------------------------|------------------------------|--|
| Origen | Geocéntricas | Geocéntricas | Geocéntricas |
| Polo fundamental | cenit | PN de la esfera celeste | PN de la esfera celeste |
| Eje polar | línea cenit / nadir | PN - PS celestes | PN - PS celestes |
| Círculo fundamental de referencia | horizonte geocéntrico | ecuador celeste | ecuador celeste |
| Coordenadas | H, Z | Dec, LHA | Dec, RA |
| | Locales | Locales | Independientes del observador |
| Círculos secundarios | verticales | círculos horarios | máximo de ascensión |
| Semicírculo secundario de referencia | vertical norte | meridiano superior del lugar | Primer máximo de ascensión (<i>pasa por Aries</i>) |
| Paralelos secundarios | almicantarát | paralelos de declinación | paralelos de declinación |

El triángulo de posición

El triángulo de posición es un triángulo esférico de la esfera celeste formado por:

- el meridiano superior del lugar
- el vertical del astro
- el semicírculo horario del astro



Triángulo de posición en la esfera celeste.

Vértices:

- P - Polo elevado (de igual nombre que la latitud).
- A - Astro
- Z - Cenit

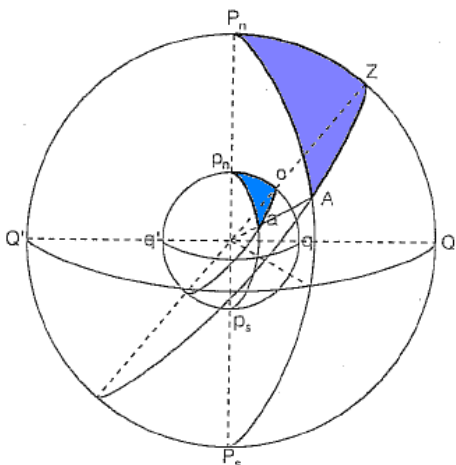
Lados:

- Colatitud = 90-B (Polo elevado-Cenit).
- Distancia polar = 90-dec (Polo elevado-Astro).
- Distancia cenital 90-H (Cenit-Astro).

Ángulos:

- Ángulo en el polo (con vértice en el polo elevado).
- Ángulo de posición o paraláctico (con vértice en el astro).
- Ángulo cenital (con vértice en el cenit).

El triángulo de posición corresponde a otro análogo en la esfera terrestre:



Triángulo de posición en la esfera terrestre.

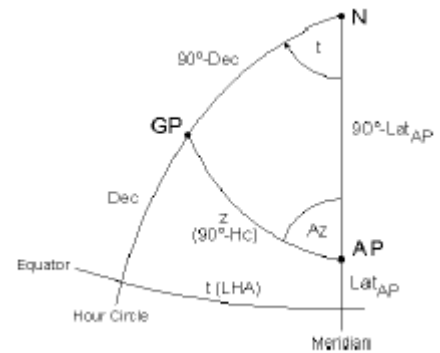
Vértices:

- El polo terrestre más cercano al observador, polo elevado (igual nombre que la latitud).

- La situación del observador (o), que se corresponde con el cenit en la esfera celeste.
- El polo de iluminación del astro o punto astral (a), que es la proyección del astro en la esfera terrestre.

Resolución del triángulo de posición

Del triángulo de posición se deduce por medio de trigonometría esférica la ecuación del círculo de altura:



$$\sin H = \sin B \sin Dec + \cos B \cos Dec \cos LHA$$

También se obtiene el azimut del astro observado:

$$\cos Z = \frac{\sin Dec - \sin H \sin B}{\cos Hc \cos B}$$

En el instante del orto/ocaso verdadero, se cumple que:

- $H = 0^\circ$
- $\cos Z = \frac{\sin Dec}{\cos B} = \sin Am$

Otras fórmulas:

| |
|---|
| (B, LHA, Dec) \Rightarrow Z |
| $\cotan Z = (\tan Dec \cos B - \sin B \cos LHA) / \sin LHA$ |

| |
|---|
| (LHA, H, Dec) \Rightarrow Z |
| $\sin Z = (\cos Dec \sin LHA) / \cos H$ |

| |
|---|
| (B, H, Z) \Rightarrow LHA |
| $\cotan LHA = (\tan H \cos B - \sin B \cos Z) / \sin Z$ |

| |
|---|
| (B, H, Z) \Rightarrow Dec |
| $\sin Dec = \sin B \sin H + \cos B \cos H \cos Z$ |

| |
|--|
| (B, H, Dec) \Rightarrow LHA Time Sight |
| $\cos LHA = (\sin H - \sin Dec \sin B) / (\cos Dec \cos B)$ |

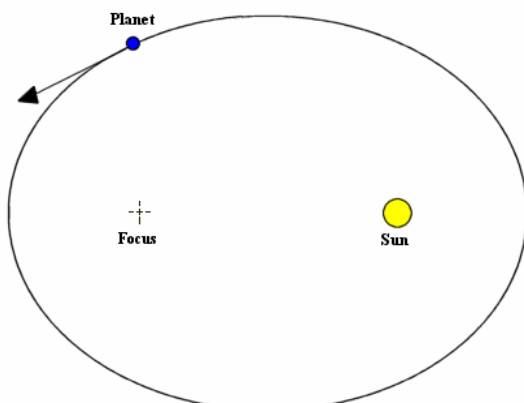
Movimiento propio de los astros

El movimiento propio de una estrella es la medida del cambio de su posición en el cielo con el tiempo después de que el movimiento impropio es considerado, (cambio de sus coordenadas que proviene de: la aberración de la luz, movimiento diurno, nutación, paralaje, precesión de los equinoccios, ...). Es una medida indirecta de la velocidad transversal de la estrella con respecto a la Tierra.

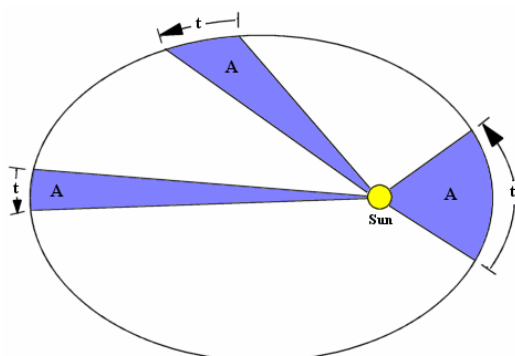
Leyes de Kepler

Enunciadas por Johannes Kepler para explicar el movimiento de traslación de los planetas en sus órbitas alrededor del Sol, son las siguientes:

1. La órbita de cada planeta es una elipse en uno de cuyos focos está el Sol.
2. Los radios vectores que unen cada planeta con el Sol barren áreas iguales en tiempos iguales.
3. Los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en cumplir una revolución alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los ejes mayores de sus órbitas.



1ª ley de Kepler



2ª ley de Kepler

- **Perihelio** – punto de la órbita del planeta en donde la distancia al Sol es mínima.
- **Afelio** - punto de la órbita del planeta en donde la distancia al sol es máxima.
- **Línea de los ápsides** - eje mayor de la órbita elíptica.

La 2ª ley se deduce del principio de conservación del [momento angular](#), es decir, cuando el planeta está más

alejado del Sol ([afelio](#)) su velocidad es menor que cuando está más cercano al Sol ([perihelio](#)). El momento angular L es el producto de la masa del planeta, por su velocidad y por su distancia al centro del Sol.

$$L = m \cdot r_1 \cdot v_1 = m \cdot r_2 \cdot v_2$$

De la 3ª ley, para cualquier planeta, el cuadrado de su [período orbital](#), P , (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol), es directamente proporcional al cubo de la distancia media del [planeta](#) al Sol, r .

$$\frac{P^2}{r^3} = K = \text{constante}$$

La velocidad media con que un planeta recorre su órbita es tanto menor cuanto más alejado se encuentre del Sol.

Órbita de la Tierra alrededor del Sol

En su movimiento de traslación alrededor del Sol, los rayos solares inciden con diferente ángulo sobre la Tierra en el transcurso del año, dando lugar a diferentes climas y a las estaciones.

Zonas terrestres y climas

- **Trópico de Cáncer:** paralelo 23°27'N
- **Trópico de Capricornio:** paralelo 23°27'S
- **Círculo polar ártico:** paralelo 66°33'N, separado del polo norte 23°27'
- **Círculo polar antártico:** paralelo 66°33'S, separado del polo sur 23°27'.

Estos paralelos limitan cinco zonas llamadas:

- **Zona ecuatorial**, tórrida o caliente: entre los trópicos de Cáncer y Capricornio.
- **Zona templada del norte:** entre el trópico de Cáncer y el círculo polar ártico.
- **Zona templada del sur:** entre el trópico de Capricornio y el círculo polar antártico.
- **Zona glaciar ártica:** entre el círculo polar ártico y el polo norte.
- **Zona glaciar antártica;** entre el círculo polar antártico y el polo sur.

Las diferentes zonas climáticas son debidas a las variaciones de la declinación del Sol. En la zona tórrida, el Sol alcanza grandes alturas llegando a culminar en el cenit dos veces al año. Por ello, los rayos solares inciden casi perpendicularmente sobre dicha zona y es la más calurosa.

En las dos zonas templadas, los rayos solares inciden más oblicuamente, el sol nunca culmina en el cenit y al aumentar la latitud, alcanza menos altura, por ello, la temperatura en esta zona es menos elevada que en la anterior.

En las zonas glaciares, los rayos del Sol inciden muy oblicuamente, calentando poco. En estas zonas los días y las noches tienen grandes duraciones,

tanto mayor cuanto mayor es la latitud. El sol de medianoche es un fenómeno observable en latitudes próximas al círculo polar ártico y al círculo polar antártico, consistente en que el sol es visible las 24 horas del día, en las fechas próximas al solsticio de verano. El número de días al año con sol de medianoche es mayor cuanto más cerca se esté del polo, en los polos la noche y el día tienen una duración de seis meses, aunque existen los crepúsculos que duran unos dos meses. El fenómeno contrario, la noche de mediodía, se produce en fechas próximas al solsticio de invierno, cuando el sol no llega a asomar por el horizonte en todo el día

Movimiento aparente de los astros

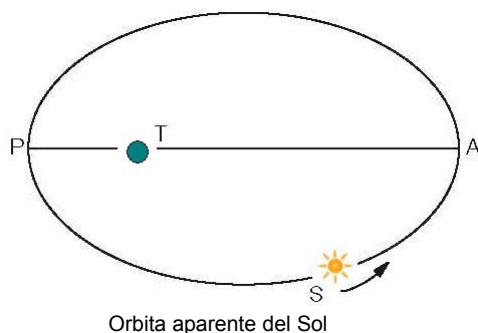
El movimiento aparente de los astros es el que se ve desde la Tierra al observar el firmamento.

Movimiento diurno - es el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje polar observado en el transcurso de un día, tiene sentido directo; de occidente a oriente, (sentido antihorario visto desde el polo Norte).

Movimiento aparente diurno - Un observador solidario a la Tierra no aprecia el movimiento diurno, sino otro aparente en el cual los astros recorren los paralelos de declinación en sentido contrario; de oriente a occidente, (el Sol, la Luna y los planetas cambian su declinación en un día, por lo que no siguen exactamente el mismo paralelo). El paralelo de declinación que recorre el astro recibe el nombre de *círculo diario del astro*.

Movimiento aparente del sol

Desde la Tierra parece que estamos quietos en el espacio, y que es el Sol el que gira alrededor de la Tierra; la órbita real de la Tierra alrededor del Sol, se aprecia como la órbita aparente del Sol alrededor de la Tierra.



En el caso de la órbita aparente del Sol, el perihelio y el afelio, reciben el nombre de **perigeo** y **apogeo**, respectivamente.

El Sol sale por el Este y se pone por el Oeste, lo que en el hemisferio Norte se aprecia como un movimiento en sentido horario, aunque ligeramente más lento que las estrellas lejanas. Éstas se mueven acordes al tiempo sidéreo, mientras que el movimiento aparente del Sol es acorde al tiempo solar.

La eclíptica

Es el plano que contiene la órbita de la Tierra en su movimiento de traslación alrededor del sol.

Aparentemente, es la línea recorrida por el sol a lo largo de un año respecto del fondo inmóvil de las estrellas. Constituye un círculo máximo formado por la proyección de la órbita aparente del Sol en la esfera celeste.

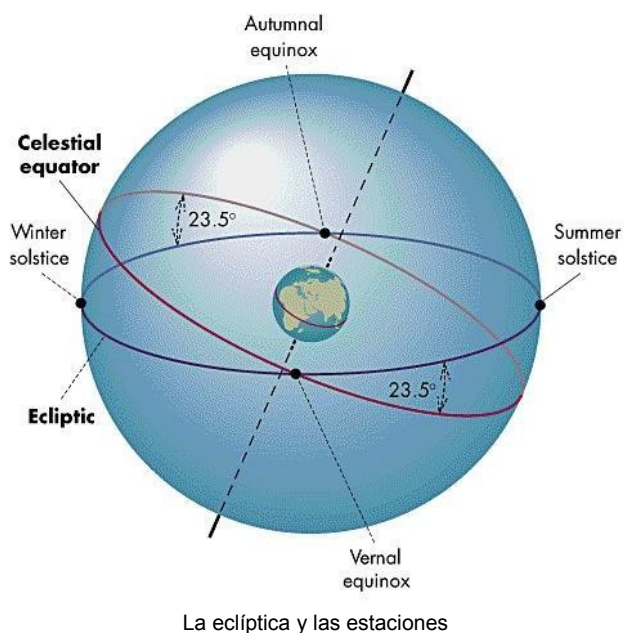
Oblicuidad de la eclíptica: ángulo de inclinación de la eclíptica respecto del ecuador, $23^{\circ} 27' 8.26''$

Puntos equinociales: Son los puntos de corte de la eclíptica con el ecuador; **primer punto de Aries** o punto vernal, y **punto de Libra**. En Aries el Sol pasa de declinación sur a norte el día 21 de Marzo, y en Libra cambia la declinación de norte a sur, el 23 de Septiembre.

Solsticios: puntos en los cuales el Sol tiene declinación máxima. La línea de los ápsides está separada de la línea de los solsticios cerca de 16° .

Los equinoccios y los solsticios marcan los cambios de estación, los valores de la declinación del Sol en el hemisferio norte son:

- Equinoccio de otoño o de primavera, Dec = 0° , (igual duración del día y de la noche)
- Solsticio de verano, (punto de Cáncer): Dec = $23^{\circ}27'N$
- Solsticio de invierno, (punto de Capricornio): Dec = $23^{\circ}27'S$



Las Estaciones

Los equinoccios y los solsticios dividen a la Eclíptica en cuatro cuadrantes y a la duración del movimiento aparente del Sol en cuatro intervalos diferentes llamados estaciones, que en el hemisferio norte, (en el hemisferio sur las fechas están desplazadas 12 meses), son:

- **Primavera**, estación durante la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el equinoccio de primavera hasta el solsticio de verano. Del 21 de Marzo al 21 de Junio.

- **Verano**, estación en la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el solsticio de verano hasta el equinoccio de otoño. Empieza el 21 de Junio y termina el 23 de Septiembre.
- **Otoño**, estación en la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el equinoccio de otoño hasta el solsticio de invierno. Empieza el 23 de Septiembre y termina el 21 de Diciembre.
- **Invierno**, estación durante la cual el Sol recorre el arco de Eclíptica desde el solsticio de invierno hasta el equinoccio de primavera. Empieza el 21 de Diciembre y termina el 21 de Marzo.

Las estaciones no tienen la misma duración. La diferencia entre el verano y el invierno es aproximadamente de 4 días y medio.

Las causas de la desigualdad de las estaciones son debidas a:

- El Sol aparentemente no recorre la Eclíptica sino una elipse.
- La inclinación de unos 16° de la línea de los ápsides con la línea de los solsticios.
- La velocidad variable del movimiento aparente del Sol según las leyes de Kepler.

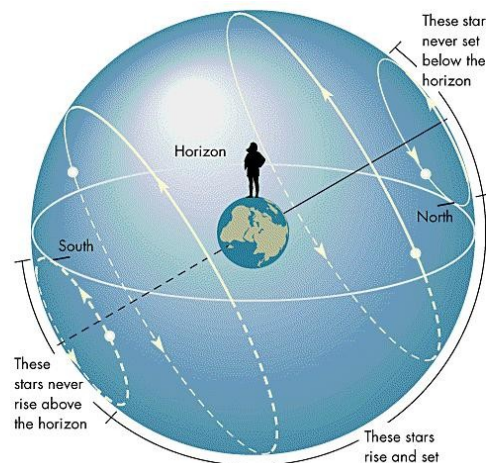
Los arcos recorridos en cada estación no son iguales ni el Sol los recorre con la misma velocidad, y así, durante la primavera el Sol recorre un arco de elipse grande y su velocidad es cada vez menor; durante el verano pasa por el Apogeo y su velocidad es la mínima (estación más larga); durante el otoño el Sol recorre su arco con velocidad cada vez mayor y en el invierno la velocidad es máxima por pasar por el Perigeo y su duración es mínima.

El zodíaco

Banda circular en la esfera celeste que se extiende 8° a cada lado de la eclíptica. Se divide en 12 sectores asociados a las constelaciones clásicas, denominados signos del zodíaco: Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario, Capricornio, Acuario y Piscis. Las órbitas del Sol y de todos los planetas están dentro del Zodíaco.

Arcos diurno y nocturno

- Arco diurno es el arco de paralelo de declinación del astro que está sobre el horizonte. (El astro es visible durante este recorrido. Cuando el Sol recorre su arco diurno es de día).
- Arco nocturno es el arco de paralelo de declinación del astro que está por debajo del horizonte. (El astro no es visible durante este recorrido. Cuando el Sol recorre su arco nocturno es de noche).



Rotación aparente de la esfera celeste

Astro con arco diurno mayor que el nocturno:

$$\text{Dec} < 90 - B$$

Latitud y declinación del mismo nombre

Astro con arco diurno menor que el nocturno:

$$\text{Dec} < 90 - B$$

Latitud y declinación de distinto nombre

Astro con arco diurno igual que el nocturno:

$$\text{Dec} = 0. \text{ El astro recorre el ecuador}$$

Astro circumpolar, (24 horas sobre el horizonte):

$$\text{Dec} \Rightarrow 90 - B$$

Dec y B de mismo nombre

Astro anticircumpolar, (24 h bajo del horizonte):

$$\text{Dec} \Rightarrow 90 - B$$

Dec y B de nombre contrario

Se distinguen tres casos según sea la posición relativa entre el horizonte y el ecuador:

Esfera celeste oblicua: el horizonte forma un determinado ángulo con los paralelos de declinación

Esfera celeste recta: el observador se encuentra en el ecuador y el horizonte forma un ángulo recto con el ecuador y por lo tanto con los paralelos de declinación, coincidiendo el punto cardinal norte con el polo norte y el punto cardinal sur con el polo sur. En todos los astros, el arco diurno es igual al arco nocturno y el observador podrá ver a todos los astros del universo. Todos los días serán iguales a las noches. La altura de los astros varía mucho y el azimut poco.

Esfera celeste paralela: el observador se encuentra en un polo y el horizonte, que coincide con el ecuador, es paralelo a los paralelos de declinación. El observador verá solo los astros que se encuentran en su hemisferio, es decir, aquellos que tengan su declinación del mismo signo que la latitud. La altura no varía y es igual a la declinación. En cambio los astros se apartan en todas las direcciones, no pudiéndose señalar el azimut por no existir puntos cardinales.

Ortos y ocasos de un astro

Orto o **salida**: instante en que corta al horizonte pasando del hemisferio invisible al visible.

Ocaso o **puesta**: instante en que el astro corta el horizonte pasando del hemisferio visible al invisible.

En el instante del orto y del ocaso, la altura del astro es nula.

Para un astro que recorre el ecuador su orto se verifica en el punto cardinal E y su ocaso en el punto cardinal W.

Crepúsculos

El crepúsculo es el momento antes de la salida o después de la puesta del Sol en que se puede ver su luz, debido a la refracción de sus rayos luminosos en la atmósfera. Dicha difusión alarga el día, tanto por la mañana antes del amanecer, como por la tarde después del ocaso:

Crepúsculo matutino, aurora o alba: ocurre antes de la salida del Sol.

Crepúsculo vespertino: ocurre tras la puesta del Sol.

El crepúsculo se sucede en tres fases: para el crepúsculo vespertino, desde que se pone el Sol hasta que su altura es:

- $H = -6^\circ$ Civil
- $H = -12^\circ$ Náutico
- $H = -18^\circ$ Astronómico

El recorrido temporal es el contrario en el crepúsculo matutino: comienza cuando el Sol va alcanzando esas alturas, y termina con su salida por el horizonte.

Crepúsculo civil: su altura es -6° . Se ven las estrellas de la 1ª magnitud y algunos planetas.

Crepúsculo náutico: la altura es -12° . En este tiempo se hacen visibles las estrellas náuticas las de 1ª y 2ª magnitud, y se reconocen las principales constelaciones. Se distingue el horizonte en el mar, por lo que es posible utilizar el sextante sin horizonte artificial.

Crepúsculo astronómico: la altura es -18° . Se hacen visibles a simple vista las estrellas hasta la 6ª magnitud.

La duración del crepúsculo es inversamente proporcional al ángulo que forma el paralelo de declinación con el horizonte. El ángulo depende de B y Dec . La duración de los crepúsculos crece con la latitud, y es mayor en los solsticios que en los equinoccios.

Cálculo de la duración de los crepúsculos:

- matutinos

Duración = HcL salida ☼ – HcL comienzo crepúsculo.

- vespertinos:

Duración = HcL fin crepúsculo – HcL puesta ☼

Siendo HcL , la hora civil del lugar.

Paso de los astros por el meridiano del lugar

Este instante es importante en navegación ya que permite obtener la latitud al mediodía local.

Paso por el meridiano superior del lugar

- $LHA = 0$
- $Z = N$ o S
- $H = \text{máxima}$
- Antes del paso el horario y el azimut son orientales, después el horario y el azimut son occidentales.

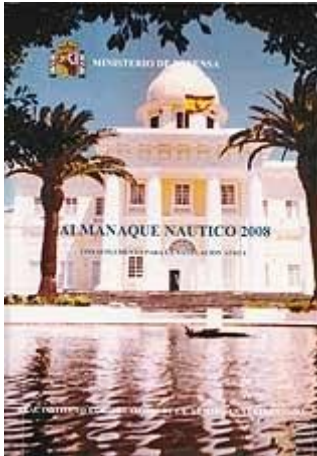
Paso por el meridiano inferior del lugar

- $LHA = 180^\circ$
- $Z = N$ o S .
- $H = \text{mínima}$.
- Para que se vea en dicho instante, se tiene que tratar de un astro circumpolar.

La altura es máxima o mínima siempre que permanezcan constantes la latitud del observador y la declinación del astro. En un buque en movimiento la altura no alcanza el valor extremo a la hora del paso por el meridiano del lugar

El Almanaque Náutico

Un almanaque náutico es una publicación que contiene información astronómica utilizada en náutica para navegación astronómica. En España publica un almanaque náutico el [Real Instituto y Observatorio de la Armada](#) de San Fernando, Cádiz. El gobierno británico ha publicado su almanaque náutico sin interrupción desde 1767, actualmente difundido conjuntamente por los gobiernos [británico](#) y [estadounidense](#). Los mencionados almanaques son publicaciones gubernamentales que contienen solamente las predicciones astronómicas y otras tablas necesarias para la navegación astronómica. Existen otros almanaques publicados comercialmente que contienen, además de esta información astronómica, otra información útil al navegante como predicciones sobre mareas y otra información sobre puertos, faros, ayudas a la navegación etc. Entre estos tienen gran tradición [Reed's Nautical Almanac](#) (publicado desde 1932) y [Brown's Nautical Almanac](#) (publicado desde 1877).



Descripción del almanaque

- Prólogo
- Índice
- Datos Astronómicos
- Calendario, Fases de la Luna y Eclipses
- Sol
- Luna
- Aries
- Venus
- Marte
- Júpiter
- Saturno
- Estrellas: Posiciones aparentes.
- Pasos meridianos.
- Polar: Latitud por la Polar. Azimut de la Polar.
- Corrección por retardo y longitud.
- Altura de Sol, planetas y estrellas: Tablas A, B y C para correcciones

- Alturas de la Luna: Tablas para correcciones
- Intervalos de Tiempo: Tablas para conversiones de sidéreo a medio y viceversa
- Conversión de arco en tiempo
- Hora oficial en distintos lugares
- Planisferios
- Constelaciones
- Explicación
- Tabla de interpolación para Dec y GHA
- Suplemento para uso de navegación aérea

Horario en Greenwich y declinación para una hora TU

- El sol
- La Luna
- Planetas
- Estrellas

Hora de paso por el meridiano del lugar

- Primer punto de Aries
- El sol
- La Luna
- Planetas
- Estrellas

Horas de salida y puesta del sol

- Crepúsculos

El catálogo de estrellas del Almanaque Náutico para usos de los navegantes comprende 99 estrellas.