

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS



SEMINARIO DE GRADUACIÓN:

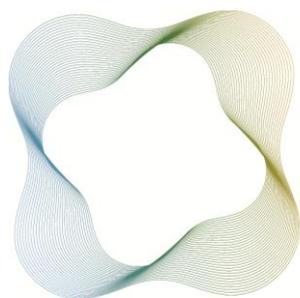
"Solución completa a partir de la observación de un astro, para el ploteo de una recta de altura, usando el almanaque náutico y las tablas 229"

**Previo a la obtención del Título de:
TECNÓLOGO PESQUERO**

**Ancón – Ecuador
2012**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS



INTEC 
Instituto de Tecnologías
Escuela Superior Politécnica del Litoral



Protep 
Programa de Tecnología en Pesquería

PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA EN PESQUERÍA

Tesina:
LA ESFERA CELESTE

Presentado por:
JORGE YAGUAL SEVERINO

**Bajo la dirección del Licenciado
Luis Zhingri Ortega**

**Ancón – Ecuador
2012**

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a todos mis seres queridos, a mis padres, mis hermanos, quienes de manera desinteresada me han apoyado durante mis estudios.

A mi Señor, Jesús, quien me dio la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

Y a todos a quienes nunca dudaron que lograría este triunfo.

AGRADECIMIENTO

Al término de este trabajo quiero poner de manifiesto mis más sinceros agradecimientos a mis padres, ya que con su valioso apoyo pude salir adelante con el objetivo trazado. Y de manera muy especial al Todopoderoso.

De manera general quiero dejar constancia de mis agradecimientos al Lcdo. Luis Zhingri, que con su acertado asesoramiento tuvo a bien dirigirme en este trabajo y a todos los docentes que conforman el claustro de la Escuela de Tecnología Pesquera (ESPOL).

TRIBUNAL DE GRADO

ING. FRANCISCO PACHECO BEDOYA
PRESIDENTE

LCDO. LUIS ZHINGRI ORTEGA
PROFESOR GUIA

TCNLG. ALBY CEDEÑO VERA
VOCAL SUPLENTE

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta ***Tesina de Grado***, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ***ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL***”

JORGE DANIEL YAGUAL SEVERINO

RESUMEN

La investigación realizada proporcionó los conocimientos necesarios para poder montar la estructura de la esfera celeste y poder “visualizarla” de una manera más real, de forma que se pueda establecer las coordenadas de las estrellas, ver la situación de la Eclíptica, el eje del Mundo, el Ecuador y otros círculos menores, o para seguir el movimiento aparente del Sol, la Luna o los planetas por la franja de las constelaciones del Zodíaco, los apartados desarrollados suministraron datos importantes para la confección de un instrumento que represente a la esfera celeste y sus principales elementos.

El trabajo está compuesto por cuatro capítulos; en el primero se menciona la astronomía de posición y su relación con la esfera celeste, así como los movimientos de la tierra, la esfera terrestre y las coordenadas geográficas; el segundo se refiere a la Esfera Celeste y su estructura, el sistema de coordenadas, los objetos celestes y sus movimientos aparentes y el movimiento del sol en la esfera celeste; el capítulo tercero, puntualiza el uso de la esfera celeste y las coordenadas celestes; finalmente, en el capítulo cuarto se describe el soporte didáctico para la esfera celeste y su construcción.

Inicialmente el trabajo resultó un poco tedioso y complicado, posteriormente el proceso se tornó divertido y entretenido con la ayuda de las herramientas apropiadas, lográndose construir un instrumento que asimile la esfera celeste.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
TRIBUNAL DE GRADO	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
ASTRONOMÍA DE POSICIÓN	2
1.1. Los Movimientos de la Tierra.	2
1.1.1 La Rotación	3
1.1.2 La Traslación.....	4
1.1.3 La Precesión	6
1.1.4 Movimiento de Nutación.....	7
1.2 La Esfera Terrestre	9
1.3 Las Coordenadas Geográficas.....	10
1.4 Conclusión	13
CAPÍTULO II.....	15
LA ESTRUCTURA DE LA ESFERA CELESTE	15
2.1 Esfera Celeste.....	15
2.1.1 Elementos Principales.....	18
2.2 El Sistema de Coordenadas.....	20

2.3	Los Objetos Celestes y sus Movimientos Aparentes	22
2.4	El Movimiento del Sol en la Esfera Celeste	24
2.5	Conclusión	26
CAPÍTULO III		28
USO DE LA ESFERA CELESTE		28
3.1	Las Coordenadas Celestes.....	29
3.1.1	Coordenadas Horizontales.....	29
3.1.2	Las Coordenadas Horarias o Ecuatoriales Locales.....	31
3.1.3	Las Coordenadas Ecuatoriales Absolutas.....	33
3.1.4	Las Coordenadas Eclípticas.....	34
3.1.5	Coordenadas Galácticas	36
3.2	Conclusión	37
CAPÍTULO IV.....		39
SOPORTE DIDÁCTICO PARA LA ESFERA CELESTE		39
4.1	Construcción de la Esfera Celeste	39
4.1.1	Medidas.....	39
4.2	Procedimiento para la Construcción de la Esfera Celeste.	40
4.3	Proceso de Soldadura.....	41
4.4.	Pintado de la Esfera Celeste	44
4.5	Conclusión	45
BIBLIOGRAFÍA		46
PÁGINAS WEB CONSULTADAS		46
GRÁFICOS Y FIGURAS		47

INTRODUCCIÓN

La presente tesina hace referencia a la construcción de una Esfera Celeste, que permita explicar y conocer, como un sistema de referencia eficaz, la ubicación y posición de los astros. En la antigüedad se consideraba que la Tierra era el centro del universo, que ocupaba una bóveda donde estaban situadas las estrellas. Actualmente se conoce que el planeta no ocupa tal posición, ni en el sistema solar ni mucho menos en el universo. Tampoco están fijas las estrellas, que orbitan alrededor del núcleo de la propia Galaxia con periodos que son del orden de centenares de millones de años. Las estrellas tienen movimientos propios y además no están contenidas en una superficie, sino distribuidas en el espacio a distancias enormes que van desde cuatro a decenas de miles de años luz; un año luz equivale a diez billones de kilómetros. En estas condiciones los desplazamientos de las estrellas son inapreciables para el observador ordinario y su medida requiere observaciones sistemáticas y cálculos detallados. El aspecto del cielo ha permanecido invariable durante muchas generaciones y ello explica los conceptos antiguos.

Históricamente el hombre ha venido observando el cielo, especialmente en las noches. La gran cantidad de estrellas y luceros que pueden contemplarse en una noche clara causa fascinación. Su presencia tranquila induce a sentirse forzosamente pequeño, minúsculo...En esa gran cantidad de estrellas pueden distinguirse algunos grupos que permanecen ordenados. Unas estrellas tienen más luminosidad que otras y mantienen sus posiciones relativas por lo que se puede agruparlas y ponerles nombre. Esto lo han hecho las distintas civilizaciones en general con gran imaginación. De esta forma se agruparon las estrellas en constelaciones.

Las constelaciones se las puede ubicar empleando la llamada bóveda o esfera celeste.

CAPÍTULO I

ASTRONOMÍA DE POSICIÓN

La Astronomía de posición es la parte de la astronomía que se encarga de medir y estudiar la posición, paralajes y el movimiento propio de los astros.

A pesar de que casi son sinónimos, se considera como la parte experimental o técnica que permite medir la posición de los astros y los instrumentos que la hacen posible, mientras la Astronomía de posición usa la posición de los astros para elaborar un modelo de su movimiento o definir los conceptos que se usan; sería pues la parte teórica.

La astronomía de posición tiene pues por objeto situar en la **esfera celeste** la posición de los astros midiendo determinados ángulos respecto a unos planos fundamentales. Se encarga pues de definir los distintos tipos de coordenadas astronómicas y sus relaciones. También se encarga de definir conceptos fundamentales de la astronomía.

Describe el movimiento de los astros, planetas, satélites y fenómenos como los eclipses y tránsitos de los planetas por el disco del Sol. También estudia el movimiento diurno y el anual del Sol y las estrellas. Son tareas fundamentales de la misma la determinación de la hora y la determinación para la navegación de las coordenadas geográficas. Antes de entrar de lleno a lo que es la esfera celeste, es necesario revisar brevemente los movimientos de la tierra

1.1. Los movimientos de la tierra.

A efectos del presente estudio se analizarán los cuatro principales: rotación, traslación, precesión y nutación.

1.1.1 La rotación

La Tierra cada 24 horas, de manera exacta cada 23 horas y 56 minutos, da una vuelta completa alrededor de un eje ideal que pasa por los polos, en dirección Oeste-Este, en sentido directo (contrario al de las agujas del reloj), produciendo la impresión de que es el cielo el que gira alrededor del planeta. A este movimiento, denominado rotación, se debe la sucesión de días y noches, siendo de día el tiempo en que el horizonte aparece iluminado por el Sol, y de noche cuando el horizonte permanece oculto a los rayos solares. La mitad del globo terrestre quedará iluminado, en dicha mitad es de día mientras que en el lado oscuro es de noche. En su movimiento de rotación, los distintos continentes pasan del día a la noche y de la noche al día.

La primera referencia tomada por el hombre fue el Sol, cuyo movimiento aparente, originado en la rotación de la Tierra, determina el día y la noche, dando la impresión que el cielo gira alrededor del planeta. En el uso coloquial del lenguaje se utiliza la palabra día para designar este fenómeno, que en astronomía se refiere como día solar y se corresponde con el tiempo solar.

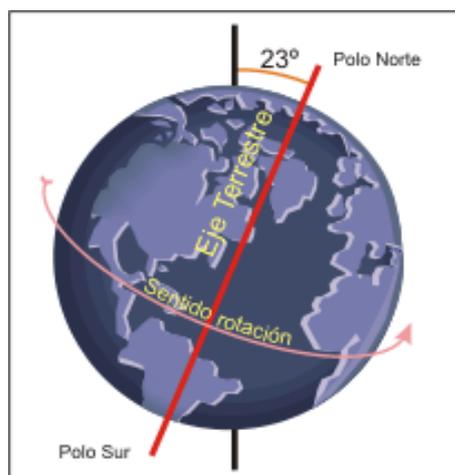


Figura N° 1 Movimiento de Rotación¹

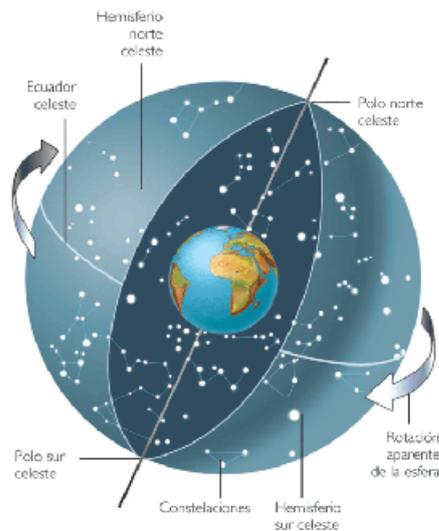


Figura Nº 2 Rotación de la Tierra en la Esfera Celeste²

1.1.2 La Traslación

Es un movimiento por el cual la Tierra se mueve alrededor del Sol. En 365 días con 6 horas, esas 6 horas se acumulan cada año, transcurridos 4 años, se convierte en 24 horas (1 día). Cada cuatro años hay un año que tiene 366 días, al que se denomina año bisiesto. La causa de este movimiento es la acción de la gravedad, y origina una serie de cambios que, al igual que el día, permiten la medición del tiempo. Tomando como referencia el Sol, resulta lo que se denomina año tropical, lapso necesario para que se repitan las estaciones del año. Dura 365 días, 5 horas y 47 minutos.

El movimiento que describe es una trayectoria elíptica de 930 millones de kilómetros, a una distancia media del Sol de prácticamente 150 millones de kilómetros ó 1 U.A. (Unidad Astronómica: 149 675 000 km). De esto se deduce que la Tierra se desplaza con una rapidez media de 106 200 km/h (29,5 km/s).

La trayectoria u órbita terrestre es elíptica. El Sol ocupa uno de los focos de la elipse y, debido a la excentricidad de la órbita, la distancia entre

el Sol y la Tierra varía a lo largo del año. En los primeros días de enero se alcanza la máxima proximidad al Sol, produciéndose el perihelio, donde la distancia es de 147,5 millones de km, mientras que en los primeros días de julio se alcanza la máxima lejanía, denominado afelio, donde la distancia es de 152,6 millones de km.

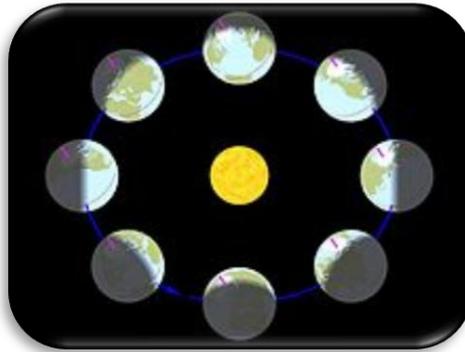


Figura Nº 3 Movimiento de Traslación³

Como se observa en el gráfico de arriba, el eje terrestre forma un ángulo de unos $23,5^\circ$ respecto a la normal de la eclíptica, fenómeno denominado oblicuidad de la eclíptica. Esta inclinación, combinada con la traslación, produce sendos largos períodos de varios meses de luz y oscuridad continuadas en los polos geográficos, además de ser la causa de las estaciones del año.



Figura Nº 4 Movimiento de Traslación. Modelo para explicar lo que se ve desde la tierra.⁴

1.1.3 La Precesión

Al no ser completamente esférica la tierra, no solo ejecuta los movimientos de rotación y traslación; como es elipsoide de forma irregular aplastado por los polos la atracción gravitacional del Sol y de la Luna, y en menor medida de los planetas, sobre el ensanchamiento ecuatorial provocan una especie de lentísimo balanceo en la Tierra durante su movimiento de traslación. El movimiento de precesión de los equinoccios o mejor llamado movimiento de trompo, es debido al movimiento de precesión de la Tierra causado por el momento de fuerza ejercido por el sistema Tierra-Sol en función de la inclinación del eje de rotación terrestre con respecto al Sol (alrededor de $23,43^\circ$).

La inclinación del eje terrestre varía con una frecuencia incierta, ya que depende (entre otras causas) de los movimientos telúricos. En febrero del 2010, se registró una variación del eje terrestre de 8 centímetros aproximadamente, por causa del terremoto de $8,8^\circ$ Richter que afectó a Chile. En tanto que el maremoto y consecuente tsunami que azotó al sudeste asiático en el año 2004, desplazó 17,8 centímetros al eje terrestre.

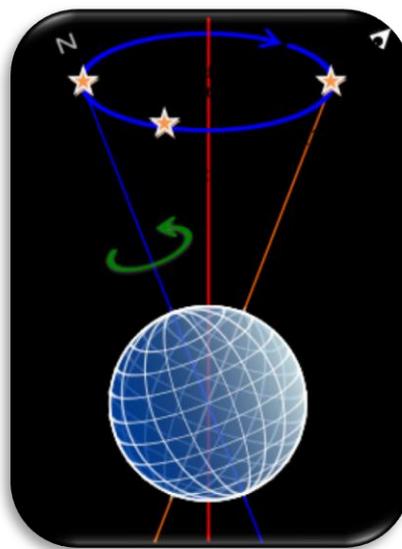


Figura N° 5 Angulo de Precesión⁵

Debido a lo anterior, la duración de una vuelta completa de precesión nunca es exacta; no obstante, los científicos la han estimado en un rango aproximado de entre 25 700 y 25 900 años. A este ciclo se le denomina año platónico.

La precesión de la Tierra demuestra que las estrellas no están siempre fijas en el firmamento, sino que se desplazan siguiendo un ritmo muy particular y difícil de calcular. La existencia de ese movimiento se deduce de la minuciosa observación de los movimientos de las estrellas en la bóveda celeste a través de los siglos. Se trata de un desplazamiento casi imperceptible, apenas un grado en el firmamento cada setenta y dos años, que surge como consecuencia del viaje de la Tierra a través del espacio. Alguien en el pasado, sin satélites ni ordenadores, sin planisferios ni calculadoras, se dio cuenta de ello.

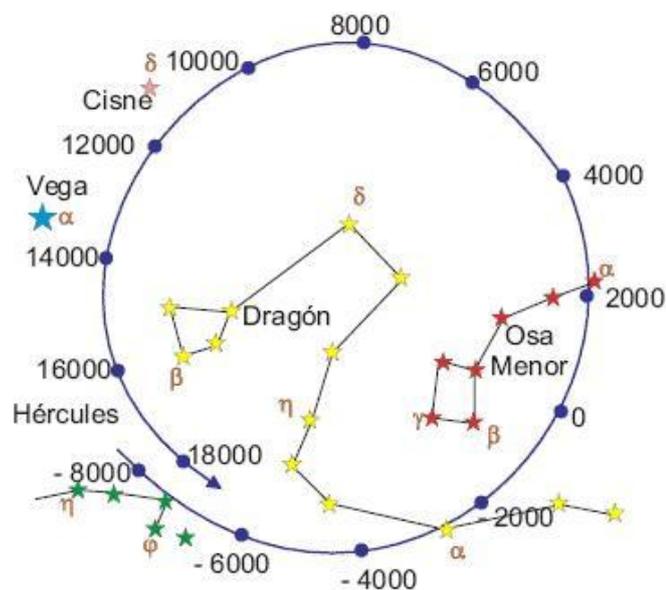


Figura Nº 6 Movimiento de Precesión de la Tierra.⁶

1.1.4 Movimiento de Nutación

La precesión es aún más compleja si se considera un cuarto

movimiento: la nutación. Esto sucede con cualquier cuerpo simétrico o esferoide girando sobre su eje; un trompo (peonza) es un buen ejemplo, pues cuando cae comienza la precesión. Como consecuencia del movimiento de caída, la púa del trompo se apoya en el suelo con más fuerza, de modo que aumenta la fuerza de reacción vertical, que finalmente llegará a ser mayor que el peso. Cuando esto sucede, el centro de masa del trompo comienza a acelerar hacia arriba. El proceso se repite, y el movimiento se compone de una precesión acompañada de una oscilación del eje de rotación hacia abajo y hacia arriba, que recibe el nombre de nutación.

Para el caso de la Tierra, la nutación es la oscilación periódica del polo de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste, debido a las fuerzas externas de atracción gravitatoria entre la Luna y el Sol con la Tierra. Esta oscilación es similar al movimiento de un trompo, cuando pierde fuerza y está a punto de caerse.

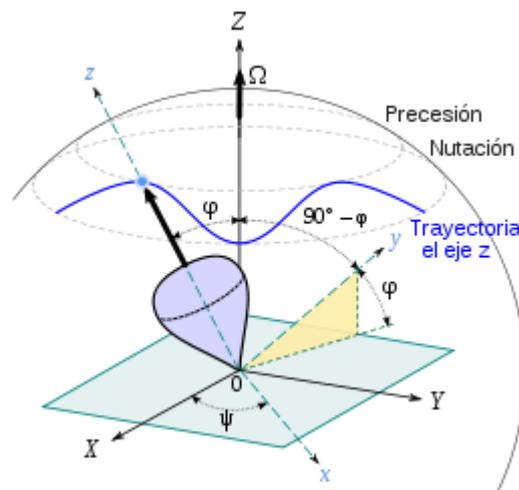


Figura N° 7 Caracterización del Movimiento de Nutación.⁷

La Tierra se desplaza unos nueve segundos de arco cada 18,6 años, lo que supone que en una vuelta completa de precesión, la Tierra habrá realizado 1385 bucles.

1.2 La esfera terrestre

Como los diámetros ecuatorial y polar son casi iguales, para resolver numerosos problemas de astronomía y navegación, se supone que la Tierra es una esfera denominada esfera terrestre.

Las coordenadas geográficas.- Son aquellas coordenadas que indican la posición del observador en la superficie terrestre. Estas coordenadas tienen gran importancia en navegación, ya que uno de los problemas fundamentales es obtener la situación, por ejemplo, de un observador o de un barco.

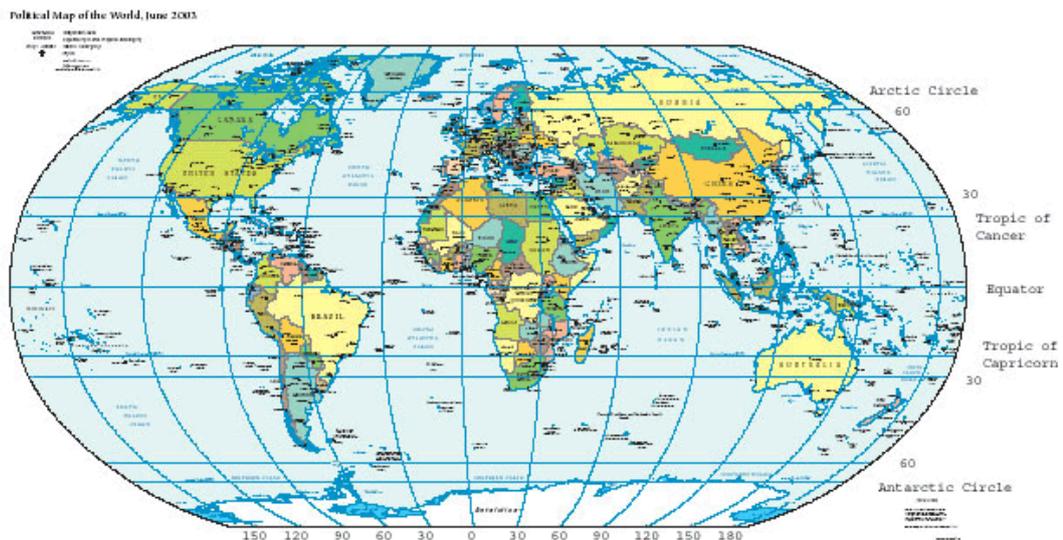


Figura Nº 8 Esfera Terrestre. Meridianos y Paralelos.⁸

Antes de explicar estas coordenadas se debe definir los puntos y líneas de la esfera terrestre:

1.- Eje y polos: la Tierra gira alrededor de un eje denominado Eje de la Tierra, o Eje del Mundo, o Línea de los Polos. A los extremos de este eje se llaman Polo Norte (PN) y Polo Sur (PS).

2.- Ecuador: es el círculo máximo normal al Eje de la Tierra. Los polos están separados 90° del Ecuador. El Ecuador divide a la Tierra en dos semiesferas o hemisferios, llamados Hemisferio Norte y Hemisferio Sur, según el Polo que tienen en su centro.

3.- Paralelos: son los círculos menores paralelos al Ecuador; hay infinitos paralelos pero tienen nombre especial los siguientes:

- Trópico de Cáncer: paralelo del Hemisferio Norte separado del Ecuador $23^\circ 27'$.
- Trópico de Capricornio: paralelo simétrico al Paralelo de Cáncer en el Hemisferio Sur, por tanto también separado del Ecuador a $23^\circ 27'$.
- Círculo Polar Ártico: Paralelo que se encuentra separado del Polo Norte $23^\circ 27'$.
- Círculo Polar Antártico: paralelo que está separado del Polo Sur $23^\circ 27'$.

La Tierra queda dividida por estos paralelos en cinco zonas que reciben diferentes nombres que veremos en la siguiente unidad didáctica.

1.3 Las coordenadas geográficas

El sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia que utiliza las dos coordenadas angulares, latitud (Norte y Sur) y longitud (Este y Oeste) y sirve para determinar los ángulos laterales de la superficie terrestre (o en general de un círculo o un esferoide). Estas dos coordenadas angulares medidas desde el centro de la Tierra son de un sistema de coordenadas esféricas que están alineadas con su eje de rotación. La definición de un sistema de coordenadas geográficas incluye un datum, meridiano principal y unidad angular. Estas coordenadas se suelen expresar en grados sexagesimales:

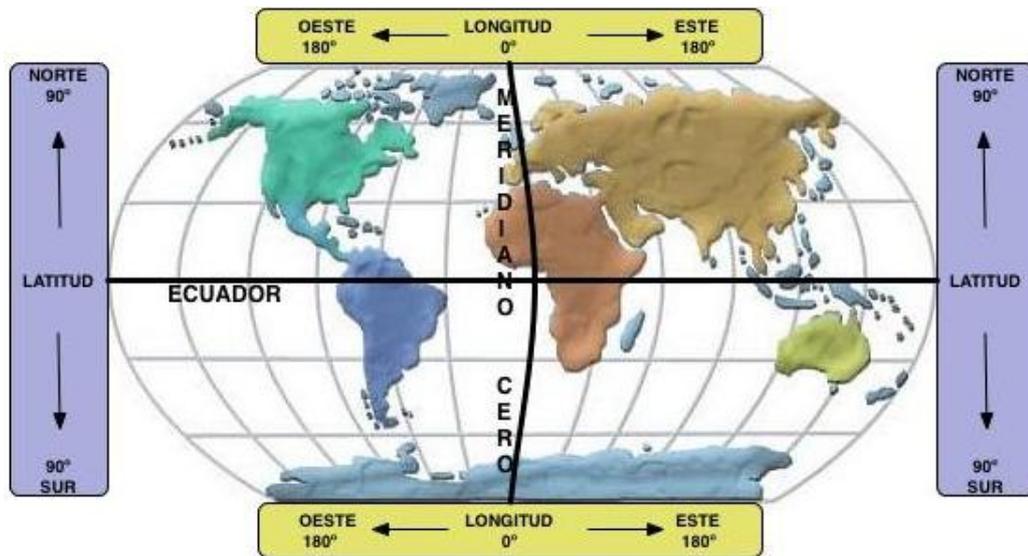


Figura N° 9 Coordenadas Geográficas.⁹

La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Las líneas de latitud se llaman paralelos y son círculos paralelos al ecuador en la superficie de la Tierra. La latitud es el ángulo que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto. La distancia en km a la que equivale un grado depende de la latitud, a medida que la latitud aumenta disminuyen los kilómetros por grado. Para el paralelo del ecuador, sabiendo que la circunferencia que corresponde al Ecuador mide 40.075,004 km, 1° equivale a 111,319 km.

- La latitud se suele expresar en grados sexagesimales. Coordenadas geográficas
- Todos los puntos ubicados sobre el mismo paralelo tienen la misma latitud.
- Aquellos que se encuentran al norte del Ecuador reciben la denominación Norte (N).
- Aquellos que se encuentran al sur del Ecuador reciben la denominación Sur (S).
- Se mide de 0° a 90°.

La insolación terrestre depende de la latitud. Dada la distancia que nos separa del Sol, los rayos luminosos que llegan hasta nosotros son prácticamente paralelos. La inclinación con que estos rayos inciden sobre la superficie de la Tierra es, pues, variable según la latitud. En la zona intertropical, a mediodía, caen casi verticales, mientras que inciden tanto más inclinados cuanto más se asciende en latitud, es decir cuanto más nos acercamos a los Polos.

El ecuador es un elemento importante de este sistema de coordenadas; representa el cero de los ángulos de latitud y el punto medio entre los polos. Es el plano fundamental del sistema de coordenadas geográficas.

1.4 Conclusión

Para entender la esfera celeste, es ideal visualizar cómo la tierra se desplaza alrededor del sol. Ello permitirá entender los cambios en el cielo nocturno.

El movimiento de la Esfera Celeste, es aparente y está determinado por el movimiento de rotación de nuestro planeta sobre su mismo eje. La rotación de la Tierra, en dirección Oeste – Este, produce el movimiento aparente de la Esfera Celeste, en sentido Este – Oeste. Este movimiento se lo puede percibir de día, por el desplazamiento del Sol en el cielo, y en las noches, por el desplazamiento de las estrellas. Ambos se realizan en sentido Este – Oeste. La velocidad con que se desplaza la Esfera Celeste es de 15°/hora, que cada 24 horas, produce un giro completo de 360°.

En lo referente al movimiento de traslación, existe un punto fijo en el espacio conocido como polo celeste; este polo celeste se relaciona directamente con el polo norte terrestre. La inclinación del eje terrestre no se perturba mientras la tierra orbita el sol, o al menos no lo hace en el

transcurso de la vida de un humano. Eso significa la manera en que la Tierra es irradiada por luz solar, cambia a medida que cambia la posición de la tierra en el espacio. Unas veces las regiones del norte recibirán rayos más directamente, otras veces lo harán las regiones del sur y en otras ocasiones habrá un equilibrio y serán las zonas ecuatoriales las que reciban mayor radiación. Esto hace que se definan las estaciones climáticas en la tierra.

Los dos movimientos mencionados anteriormente producen dos fenómenos importantes, que afectan las observaciones astronómicas: el de rotación produce el movimiento de la Esfera Celeste y el de traslación, el cambio del cielo y las estrellas que se observan cada noche.

Se llama Precesión a un movimiento de "bamboleo" o "cabeceo" del eje terrestre en la esfera celeste, el cual equivale a un ángulo de $23^{\circ} 26'$ respecto a la eclíptica. Este desplazamiento, análogo al de un trompo cuando está por detenerse, traza una circunferencia completa cada 25.800 años. La precesión es causada por la influencia gravitacional del Sol, la Luna y los planetas sobre la Tierra. Como consecuencia de este movimiento, la posición de los polos celestes cambia lenta pero progresivamente, así como especialmente la posición de las constelaciones zodiacales.

Se llama Nutación a otra oscilación del polo terrestre alrededor de su posición en la esfera celeste, a causa de la influencia gravitacional de la Luna. Este desplazamiento hace que los polos tracen un "bucle" cada 18.6 años, moviéndose unos nueve segundos de arco.

La esfera celeste es en realidad un sistema de coordenadas celeste, que tiene en el centro al planeta tierra. Como sistema, permite saber las coordenadas de un objeto para un determinado momento.

CAPÍTULO II

LA ESTRUCTURA DE LA ESFERA CELESTE

Es evidente que la esfera celeste, es decir el universo presenta apariencias esféricas desde cualquier lugar que se lo observe. Lo que comúnmente se llama cielo, firmamento o bóveda celeste no es otra cosa que una semi-esfera con su base en la tierra. Si se imagina a la esfera terrestre transparente como un cristal, ello permitiría observar la otra semi-esfera con la misma base, la cual integraría con la anterior, toda la esfera celeste.

Por ello se dice que: se llama esfera celeste a la esfera con radio arbitrario y centro en el ojo del observador sobre el cual se ven proyectados los astros.

2.1 Esfera Celeste

El Sol, la Luna, los planetas y las estrellas están a distancias muy distintas de la Tierra, pero desde la Antigüedad los imaginaron inscritos en la superficie de una esfera, en el centro de la cual estaba la Tierra. A esta esfera imaginaria se le dio el nombre de esfera celeste.

Las posiciones de las estrellas y otros cuerpos celestes se determinan mediante un sistema de coordenadas dibujado a modo de rejilla sobre una esfera celeste imaginaria. La declinación y la ascensión recta se emplean del mismo modo que la latitud y la longitud terrestres. Como la Tierra, el cielo tiene un ecuador y dos polos. La eclíptica, un rasgo exclusivo del cielo, marca el recorrido aparente del Sol. La flecha roja señala el movimiento diurno aparente de la esfera hacia el oeste.



Figura N° 11 Esfera Celeste¹¹

Los astros se encuentran diseminados en el espacio a distancias enormes de la Tierra y, además cada uno está a diferente distancia de los otros. Nos da la impresión de que es una esfera encontrándose todos los astros en su interior. Por estar los astros tan alejados, el observador desde la Tierra no aprecia que unos están más cerca que otros, sino que le parece que todos se encuentran a la misma distancia.

Para la resolución de la mayoría de los problemas de Astronomía se supone que esta apariencia es cierta, es decir, que todos los astros se encuentran en una gran superficie esférica de radio arbitrario, denominado esfera celeste.

Uno de los puntos de mayor interés para el que se inicie en la afición de la Astronomía suele ser la orientación en la esfera celeste: cómo observar objetos cuya posición se conoce previamente a partir de un atlas, o deducir la posición aproximada del objeto que se está observando, para identificarlo.

Para localizar los objetos celestes se necesitará un sistema de coordenadas. Conociendo las coordenadas del astro podremos identificarlo en el cielo, ya sea directamente mediante círculos graduados de un telescopio o indirectamente mediante cartas celestes. La localización de un objeto celeste en el cielo requiere únicamente conocer la orientación que se debe dar al telescopio, ya que para verlo no se necesita saber la distancia a la que se encuentra. Por este motivo se introduce el concepto de esfera celeste: una esfera imaginaria de radio arbitrario, centrado en el observador, sobre la cual se proyectan los cuerpos celestes.

Los sistemas de coordenadas que se emplean en la esfera celeste son parecidos a los utilizados para definir posiciones sobre la superficie terrestre: sistemas de coordenadas esféricas. En la superficie terrestre se emplea la longitud y la latitud terrestre.

Según el centro que se tome en la esfera celeste, existen tres clases de esferas:

1. Esfera celeste local (topocéntrica): Tiene por centro el ojo del observador. Es la que contemplamos, en un instante dado vemos una mitad de esta esfera, la que está sobre nuestro horizonte.

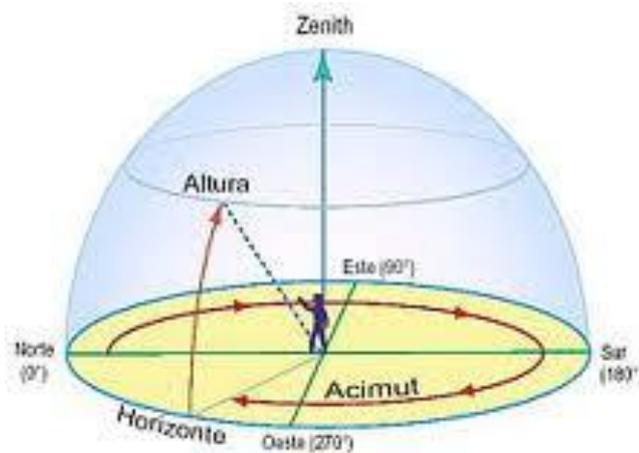


Figura Nº 12 Esfera Celeste Local.¹²

2. Esfera celeste geocéntrica: Tiene por centro a la Tierra.

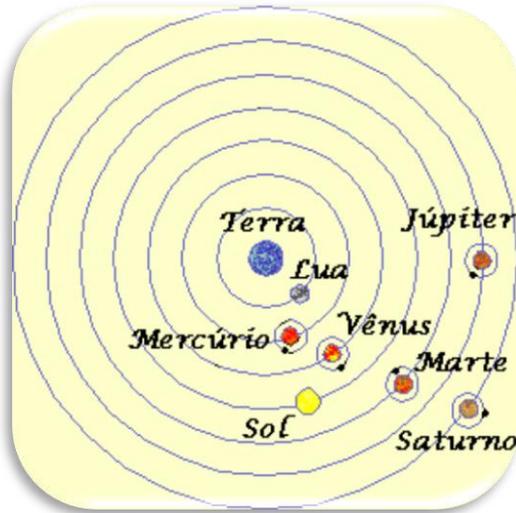


Figura Nº 13 Sistema Geocéntrico.¹³

3. Esfera celeste heliocéntrica: Tiene por centro el Sol.

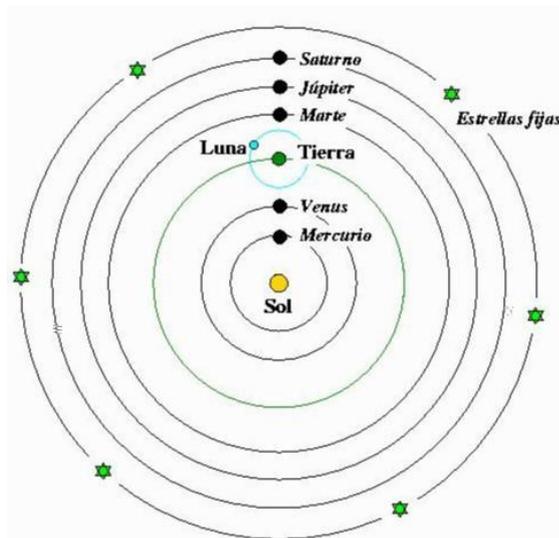


Figura Nº 14 Sistema Heliocéntrico.¹⁴

2.1.1 Elementos Principales

- **Dirección de la vertical** se refiere a la dirección que marcaría una plomada. Si se observa hacia abajo, se dirigiría hacia el centro de la

Tierra. Observando hacia arriba se encuentra el cenit.

- **Cenit** astronómico es el punto de la esfera celeste situado exactamente encima de nosotros, intersección de la vertical ascendiente con la esfera celeste.
- **Nadir**, es el punto de la esfera celeste diametralmente opuesto al cenit
- La **distancia cenital** (generalmente representada por la letra z) es la distancia angular desde el cenit hasta un objeto celeste, medida sobre un círculo máximo (un círculo máximo es el resultado de la intersección de una esfera con un plano que pasa por su centro y la divide en dos hemisferios idénticos, en la figura, la distancia cenital es el arco entre el cenit y el astro “A”).
- Horizonte astronómico, **horizonte celeste** o verdadero de un lugar es el plano perpendicular a la dirección de la vertical, plano circular o círculo máximo perpendicular a la vertical de lugar que pasa por el centro de la esfera celeste. En relación con la esfera celeste, decimos que es un plano diametral, ya que el horizonte es un diámetro de la esfera, y la divide en dos hemisferios: uno visible y otro invisible.
- **Polo celeste** es la intersección de la esfera celeste con la prolongación del eje de rotación terrestre (también llamado eje del mundo) hasta el infinito.
- **Eje del mundo** es el eje en torno al cual giraría la esfera celeste.
- **Ecuador celeste** es la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste, plano o círculo máximo perpendicular al eje del mundo que pasa por el centro de la esfera celeste. Se define un meridiano y unos paralelos celestes, de forma análoga a los terrestres:
- **Meridiano celeste** es el círculo máximo que pasa a través de los polos celestes y el cenit de un lugar.
- **Paralelos celestes** son los círculos menores de la esfera celeste paralelos al ecuador. Son similares a los paralelos terrestres. Los círculos menores resultan de la intersección de la esfera celeste con

planos perpendiculares al eje de rotación.

- **Círculo horario** es un círculo máximo graduado de la esfera celeste situado en el ecuador celeste.
- **Recta este - oeste** es la recta intersección del horizonte celeste con el ecuador celeste.
- **Polo norte celeste** intersección del eje del mundo ascendiente con la esfera celeste.
- **Polo sur celeste** intersección de eje del mundo descendiente con la esfera celeste.

2.2 El sistema de coordenadas

Para la esfera celeste, se darán algunas definiciones que permitirán introducir los sistemas de coordenadas. Si se prolonga la dirección de los polos terrestres se tendrá el eje del mundo. Los puntos de intersección del eje del mundo con la esfera celeste constituyen los polos celestes, el polo que se halla encima del horizonte del Hemisferio Norte es el Polo Boreal, Ártico o Norte, que coincide con la estrella Polar; el otro se llama Polo Austral, Antártico o Sur.

El plano perpendicular al eje del mundo forma el ecuador terrestre, y su intersección con la esfera celeste forma el Ecuador celeste. El plano del ecuador celeste forma dos hemisferios celestes, el Hemisferio Norte o Boreal, y el Hemisferio Sur o Austral. Los planos paralelos al ecuador forman sobre la esfera celeste círculos menores denominados paralelos celestes o círculos diurnos.

La vertical del lugar es la dirección de la gravedad en dicho lugar y corta a la esfera celeste en dos puntos llamados cenit y nadir. El cenit es el situado por encima del observador y el nadir por debajo del mismo. El horizonte del lugar es el círculo máximo de la esfera celeste, perpendicular a

la vertical del lugar. El horizonte divide a la esfera celeste en dos hemisferios: el Hemisferio Superior o Visible y el Hemisferio Inferior o Invisible.

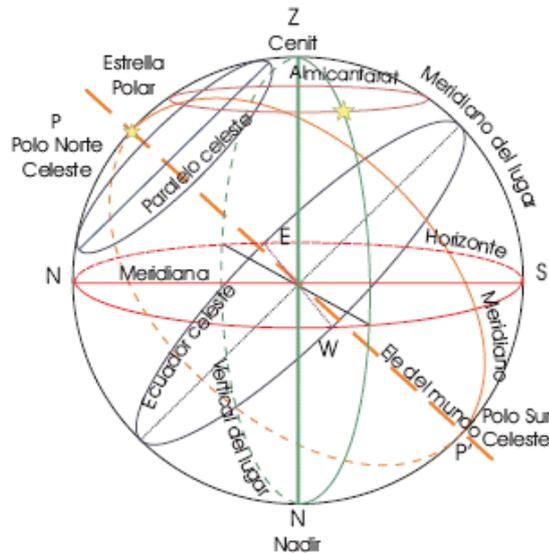


Figura Nº 15 Sistema de Coordenadas¹⁵

A cada lugar le corresponderá un meridiano, que será el formado por eje del mundo y la línea ZN (cenit-nadir) del lugar. Todo plano que pasa por el eje del mundo forma sobre la esfera celeste unos círculos máximos denominados meridianos celestes. Cuando dicho meridiano pasa por el cenit y por los polos se llama meridiano del lugar.

La meridiana es la recta de intersección del plano del horizonte y del meridiano del lugar. La meridiana o línea norte-sur corta a la esfera celeste en dos puntos opuestos, el más próximo al polo boreal se llama Norte o septentrión y se designa con la letra N, mientras que el más próximo al polo austral se denomina Sur o Mediodía y se designa con la letra S. La recta perpendicular a la meridiana forma en la esfera celeste los puntos cardinales Este u Oeste, el primero se designa con la letra E, mientras que el último con la letra W.

A los círculos menores de la esfera celeste paralelos al horizonte se les denomina Almicantarats.

El orto de un astro es su salida sobre el horizonte del lugar, y el ocaso de un astro es su puesta por el horizonte. El paso de un astro por el meridiano del lugar se llama culminación superior o paso por el meridiano.

2.3 Los objetos celestes y sus movimientos aparentes

Según las apariencias, la Tierra parece estar inmóvil, mientras a su alrededor giran todos los cuerpos celestes aproximadamente en 24 horas. Si se utiliza como origen de referencia el sistema topocéntrico, en el cual se considera a un observador ocupando el centro del Universo, se comprueba que el Sol, la Luna, los planetas y las estrellas giran alrededor nuestro.



Figura Nº 16 Movimiento Aparente.¹⁶

Estos objetos celestes se ven moverse de Este a Oeste dando la sensación de que es la bóveda celeste la que está girando alrededor de la Tierra, cuando en realidad es la Tierra la que gira alrededor de su propio eje, en sentido Oeste-Este. Si se contemplan las estrellas durante horas se verá un movimiento común sin cambiar la figura de las constelaciones.

Las estrellas que están hacia el Este, se elevan; las que están hacia el Sur se mueven hacia el Oeste, y las que están hacia el Oeste bajan hacia el horizonte hasta desaparecer. Solamente es la estrella Polar la que aparentemente no gira, pero en realidad si efectúa un giro completo, tan pequeño que a simple vista parece que está quieta.

Tomando como punto fijo de orientación la estrella Polar, se reconoce que todo el movimiento común de las estrellas se realiza en un sentido contrario al de las agujas del reloj (sentido directo).

Si se observa en el lugar que ocupa en el cielo una constelación dada a una hora determinada (por ejemplo la Osa Mayor a las 10 de la noche en la estación invernal), al día siguiente a la misma hora, no se notará diferencia y parecerá que está en el mismo sitio, pero realmente cada día adelanta casi 4 minutos, es el denominado día sideral, cuyo valor es exactamente 23 horas, 56 minutos, 4.091 segundos, lo que equivale a un arco de 1° . Cada 15 días adelanta 1 hora, que equivale a un arco de 15° , entonces el aspecto del cielo ya no es el mismo, y a los seis meses, la Osa Mayor se la encontrará en la posición opuesta, llegando al mismo punto de origen otros seis meses después. Sucederá lo mismo con las demás constelaciones.

Esto nos demuestra que la Tierra se desplaza alrededor del Sol y al cabo de un año se irá observando las distintas constelaciones. La Figura N° 17, muestra los movimientos aparentes de las constelaciones circumpolares alrededor del Eje del mundo o Polo Norte Celeste.

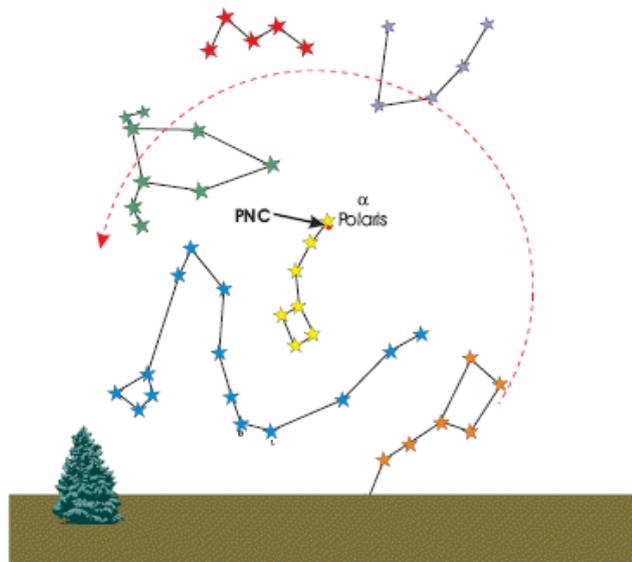


Figura Nº 17 Movimientos aparentes de las constelaciones circumpolares alrededor del Eje del mundo o Polo Norte Celeste.¹⁷

2.4 El movimiento del Sol en la esfera celeste

Los puntos del horizonte por donde sale (orto) y se pone (ocaso) el Sol varían constantemente en el transcurso de un año. El 21 de marzo, fecha del equinoccio de primavera, el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Al pasar los días, estos puntos van corriéndose hacia el Norte, primero rápidamente, luego lentamente, hasta el 21 de junio, fecha del solsticio de verano, en que el Sol alcanza su máxima altura.

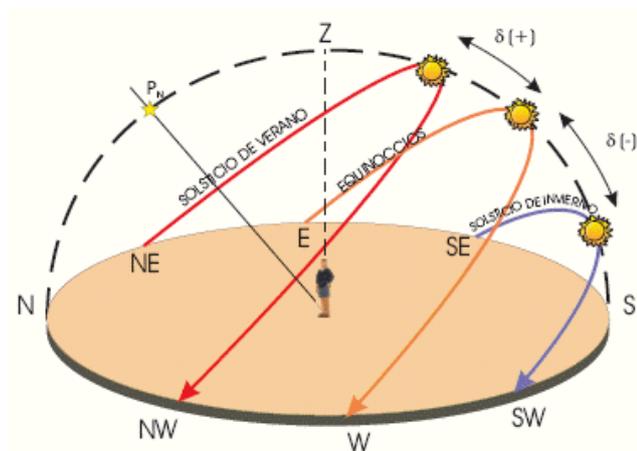


Figura Nº 18 Movimiento del sol en la esfera celeste¹⁸

A partir del 21 de junio, los puntos se alejan del Norte y se van acercando al Este y al Oeste, cuyas posiciones vuelven a ocupar el 22 o 23 de septiembre, equinoccio de otoño. Luego se acercan al punto Sur, hasta el 22 de diciembre, solsticio de invierno, del cual se alejan después. Transcurrido un año, vuelven a coincidir con los puntos Este u Oeste.

Si se construye un aparato denominado gnomon (constituye un importante instrumento de cálculo astronómico) que consta de una varilla colocada verticalmente en el suelo, es posible medir la distancia entre la sombra proyectada por dicha varilla y la longitud de la varilla. Mediante un sencillo cálculo trigonométrico utilizando la fórmula:

$$\text{tang } a = \text{longitud varilla/longitud sombra}$$

Se determina el ángulo a que da la altura del sol sobre el horizonte a cada instante. A consecuencia del movimiento diurno, la sombra de la varilla se desplaza en el plano horizontal y cruza la línea norte-sur cuando el Sol pasa por el meridiano del lugar, eso ocurre al mediodía (es el momento en que el Sol alcanza su culminación superior y cuando está en el inferior se dice que es medianoche. El 21 de diciembre, solsticio de invierno, la sombra de la varilla es máxima, al estar el Sol bajo en el horizonte, mientras que el 21 de junio, solsticio de verano, la sombra proyectada por la varilla es mínima, consecuencia de la máxima altura alcanzada por el Sol sobre el horizonte.

Un día antes de que el Sol atravesase el Ecuador el 21 de marzo su declinación es negativa, al día siguiente (21 de marzo) su declinación vale cero, en ese instante el Sol coincide con el Punto Aries. La duración del día sería igual a la de la noche. En los días posteriores la d del Sol es positiva, sigue subiendo hasta que su d alcanza $+23^{\circ} 27'$, estando el Sol en ese instante en el Solsticio de verano o Trópico de Cáncer. En el hemisferio

norte ese día es el más largo del año y la noche es la más corta. A partir de ese momento la declinación del Sol empieza a disminuir hasta que nuevamente $d = 0$ el 21 de septiembre, coincidiendo con el paso del Sol por el Punto Libra, momento en que otra vez la duración del día es igual a la de la noche. Sigue disminuyendo la declinación, ahora con valores negativos, hasta el Solsticio de invierno o Trópico de Capricornio (21 de diciembre) alcanzando su declinación el valor $d = -23^{\circ} 27'$, época a la que le corresponden las noches más largas y los días más cortos.

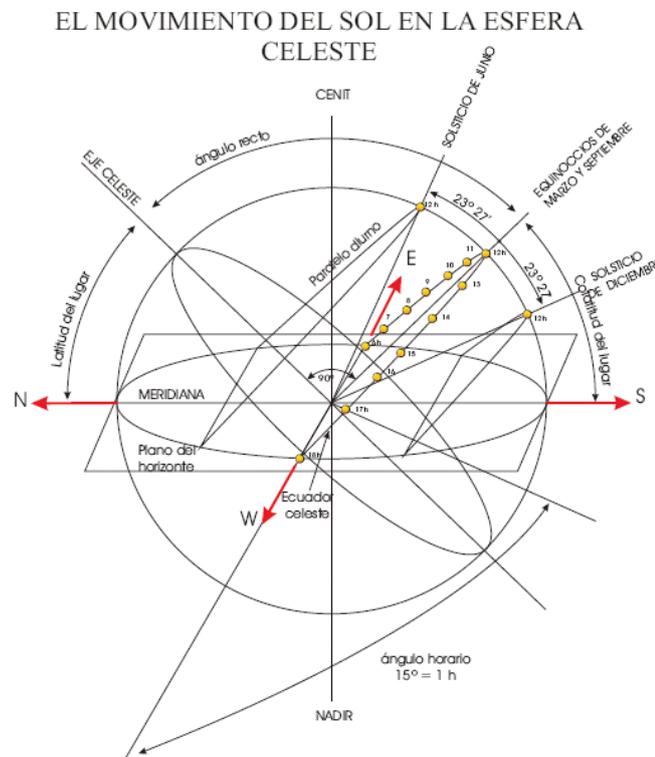


Figura Nº 19 Movimiento del sol.¹⁹

2.5 Conclusión

Como la Tierra es esférica (estrictamente Geoide), la apariencia del cielo que se ve es abovedada. La apariencia que da el cielo es realmente como si la Tierra estuviese en el interior de una esfera hueca. Como durante el día se observa al aire tomar una coloración celeste por refracción y

dispersión de la luz, se la ha llamado desde hace mucho tiempo "esfera celeste". Durante la noche, el cielo es oscuro y como los astros están a una distancia enorme, la apariencia que da es que todos los astros se hallan situados sobre la esfera celeste, como si estuviesen pintados en el interior de una esfera imaginaria.

Este concepto, aunque provenga de una ilusión óptica es el punto de partida para la astronomía de posición, que utilizando la trigonometría esférica y suponiendo que todos los astros se mueven sobre esta esfera imaginaria permite calcular ángulos, distancias, posicionarse en el mar antes que se inventara cualquier instrumento de navegación actual.

Se trata obviamente de una mera apariencia: en realidad los cuerpos celestes ocupan distancias diferentes con respecto al observador; mientras que el movimiento de la esfera celeste no es otro que el de la Tierra, que gira alrededor de su propio eje de Oeste a Este.

Una rotación completa de la esfera celeste, es decir, un retorno de la misma estrella al mismo punto, se realiza en 23h 56m 04s (día sideral). Un observador situado en uno de los dos polos, vería rotar la esfera celeste alrededor del eje vertical, que en este caso coincide con el polar; un observador situado en cualquier otro punto de la Tierra lo ve rotar alrededor del eje polar, que está inclinado con respecto al horizonte en un ángulo equivalente a la latitud del lugar.

CAPÍTULO III

USO DE LA ESFERA CELESTE

La observación del cielo ha sido una constante de la humanidad. Desde el hombre prehistórico a la actualidad, la intriga por conocer y descifrar los misterios del espacio celeste ha movilizado el interés de científicos y estudiosos, aunque también de interesados en general.

Naturalmente que la calidad de la observación y el conocimiento de los rudimentos mínimos, así como contar con instrumental adecuado, constituyen condicionantes que en la mayoría de los casos alejan al interesado del objetivo de auscultar el espacio.

Los astrónomos fundan sus mediciones en la existencia de la esfera celeste, de puntos, círculos y planos convencionales: el plano del horizonte y el del ecuador celeste; el polo y el cenit; el meridiano, que sirve de origen para la medición del acimut. Resulta fácil hallar un astro o situarlo respecto a esos planos fundamentales. Cuando el horizonte del espectador es oblicuo con respecto al ecuador, la esfera celeste es calificada de oblicua. Para un observador situado en uno de los dos polos, la esfera es paralela, ya que su horizonte conserva paralelismo con el ecuador. Por último, la esfera es recta para el observador situado en la línea equinoccial, porque allí el horizonte corta perpendicularmente el ecuador. La esfera celeste es un concepto, no un objeto; es la superficie virtual sobre la que se ve proyectados a los astros como si todos estuvieran a igual distancia de la Tierra. La esfera celeste sirve para determinar con precisión la posición de los objetos celestes de forma que varios astrónomos, en diferentes partes del mundo, puedan orientar sus instrumentos en el mismo punto.

Durante cientos de años, generaciones enteras de navegantes,

astrónomos, geógrafos, matemáticos y fabricantes de instrumentos han desarrollado el arte y la ciencia de la navegación astronómica y las han llevado a su nivel actual. Los conocimientos que han sido requeridos para ello son un tesoro que debería conservarse. Además, la navegación astronómica representa la verdadera capacidad del pensamiento y de la creatividad científica de la era pre electrónica. Finalmente, aunque no por último, la navegación astronómica puede resultar una alternativa muy apreciada cuando el receptor GPS comienza a fallar.

3.1 Las coordenadas celestes

Las coordenadas celestes son el conjunto de valores que, de acuerdo con un determinado sistema de referencia, dan la posición de un objeto en la esfera celeste. Existen diversas coordenadas celestes según cuál sea su origen y plano de referencia. Una primera clasificación, en dos grandes grupos, atiende si se trata de coordenadas cartesianas o coordenadas esféricas.

Para especificar con exactitud y de forma unívoca la posición de los astros en la bóveda celeste los astrónomos utilizan varios sistemas de coordenadas. Los más comunes son los siguientes:

:

1. Coordenadas horizontales,
2. Coordenadas ecuatoriales horarias,
3. Coordenadas ecuatoriales (o ecuatoriales absolutas),
4. Coordenadas eclípticas,
5. Coordenadas galácticas.

3.1.1 Coordenadas horizontales

Las coordenadas horizontales tienen como plano de referencia el

horizonte matemático del observador. Tales coordenadas permiten ubicar la posición aparente de un astro para un observador cualquiera situado a una latitud y longitud dadas para un instante de tiempo especificado.

A = azimut (o acimut),

h = altura.

El azimut A de un astro es el ángulo contado sobre el horizonte que comienza a medirse desde el punto cardinal norte en dirección hacia el este (oriente) hasta la vertical del astro correspondiente.

Las coordenadas horizontales son aquellas que están referidas al horizonte del observador. El origen de las coordenadas es un sistema topocéntrico cuyo eje fundamental es la vertical del lugar (línea que sigue la dirección de la plomada). El punto de intersección con la esfera celeste situado encima del observador es el cenit, mientras que el punto opuesto es el nadir.

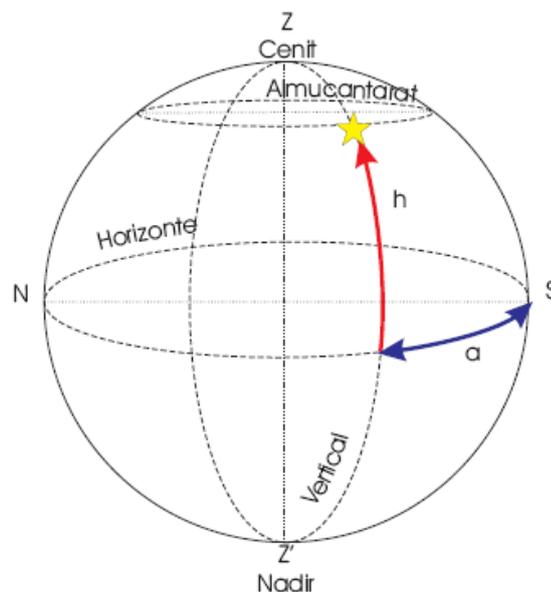


Figura Nº 20 Coordenadas astronómicas.²⁰

El círculo fundamental es el horizonte del lugar. Los círculos menores paralelos al horizonte del lugar se denominan almicantrats y los semicírculos máximos que pasan por el cenit, nadir y un astro determinado se denominan círculo vertical o vertical del astro.

Las coordenadas horizontales son la altura (altitud) y el acimut. La altitud es la altura del astro sobre el horizonte (arco de semidiámetro vertical comprendido entre el horizonte del lugar y el centro del astro); se mide de 0° a 90° a partir del horizonte, y tiene signo positivo para los astros situados por encima del horizonte y signo negativo para los situados por debajo del mismo; se representa por la letra h. También se usa, en vez de la altura, la distancia cenital, es el arco de semidiámetro vertical comprendido entre el cenit y el centro del astro. Se representa por Z y se relaciona con la altura por la ecuación:

$$h = 90^\circ - Z$$

El acimut es el arco del horizonte medido en sentido retrógrado desde el punto Sur hasta la vertical del astro. Su valor va de 0° a 360° y se representa por la letra A o a. En el sistema de coordenadas horizontales, la altitud y el acimut de los astros varían por la rotación terrestre y según el horizonte del observador. Estos ejes de coordenadas son los que tienen los telescopios con montura acimutal. Veamos una imagen de este tipo de coordenadas.

3.1.2 Las coordenadas horarias o ecuatoriales locales

El origen de las coordenadas horarias o ecuatoriales locales es el centro de la Tierra, es decir, es un sistema geocéntrico. El eje fundamental es el eje del mundo, que corta a la esfera celeste en dos puntos llamados polos. El plano fundamental es el ecuador celeste, y los círculos menores

paralelos al ecuador celeste reciben el nombre de paralelos celestes o círculos diurnos de declinación.

Las coordenadas horarias, son el ángulo horario y la declinación. El ángulo horario es el arco de ecuador celeste medido en sentido retrógrado desde el punto de intersección del meridiano del lugar con el ecuador hasta el círculo horario de un astro; se mide en horas, minutos y segundos, desde las 0 horas hasta las 24 horas y se representa por H.

La declinación es el arco del círculo horario comprendido entre el ecuador celeste y el centro del astro, medido de 0° a 90° a partir del ecuador; su valor es positivo cuando corresponde a un astro situado en el hemisferio boreal, y negativo cuando lo está en el hemisferio austral, se representa por d.

En vez de la declinación se mide la distancia polar, es el arco del círculo horario medido desde el polo boreal hasta el centro del astro. Se representa por p y se relaciona con la declinación por la fórmula:

$$p + d = 90^\circ$$

El tiempo puede expresarse en unidades angulares:

- El ángulo horario de 1 hora corresponde a 15°
- El ángulo horario de 1 minuto corresponde a 15'
- El ángulo horario de 1 segundo corresponde a 15".
- 1° corresponde a un ángulo horario de 4 minutos.
- 1' corresponde a un ángulo horario de 4 segundos.
- -1" corresponde a un ángulo horario de 1/15 segundos.

El ángulo horario se calcula a partir de la hora de paso del astro por la vertical del lugar.

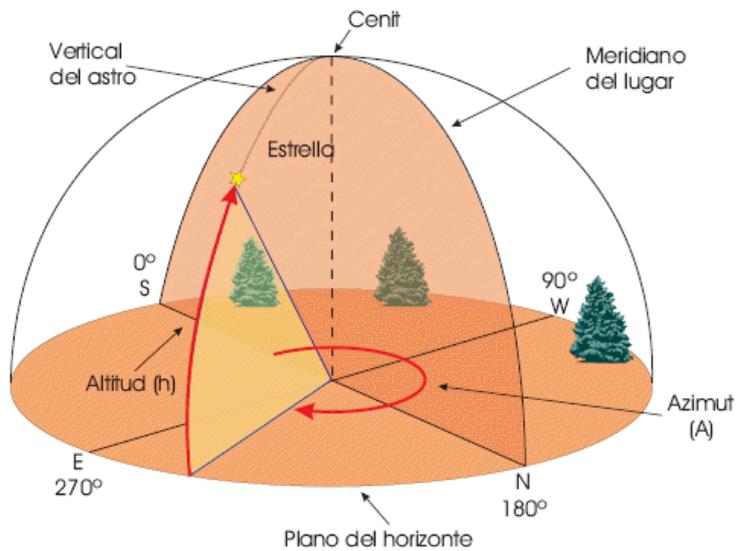


Figura Nº 21 Coordenadas horarias.²¹

3.1.3 Las coordenadas ecuatoriales absolutas

Las coordenadas ecuatoriales absolutas son aquellas que están referidas al ecuador celeste. Surgieron por los inconvenientes que presentaban la utilización de las coordenadas ecuatoriales locales.

El eje fundamental es el eje del mundo, que corta a la esfera celeste en dos puntos llamados polos. El plano fundamental es el ecuador celeste, y los círculos menores paralelos al mismo son los paralelos celestes o círculos diurnos de declinación.

Las coordenadas ecuatoriales absolutas son: la declinación y la ascensión recta. La declinación (d) ya se ha definido en el sistema de coordenadas horarias. La ascensión recta es el arco del ecuador celeste medido en sentido directo a partir del Punto Aries hasta el meridiano que contiene el astro. Varía de 0 horas a 24 horas y antiguamente se representaba por A.R.

Pero actualmente se representa por a . La ascensión recta está relacionada con el ángulo horario por la ecuación fundamental de la Astronomía de Posición.

$$t = a + H$$

Siendo t la hora sidérea. Estas coordenadas son universales ya que no dependen ni del lugar, ni del instante de la observación.

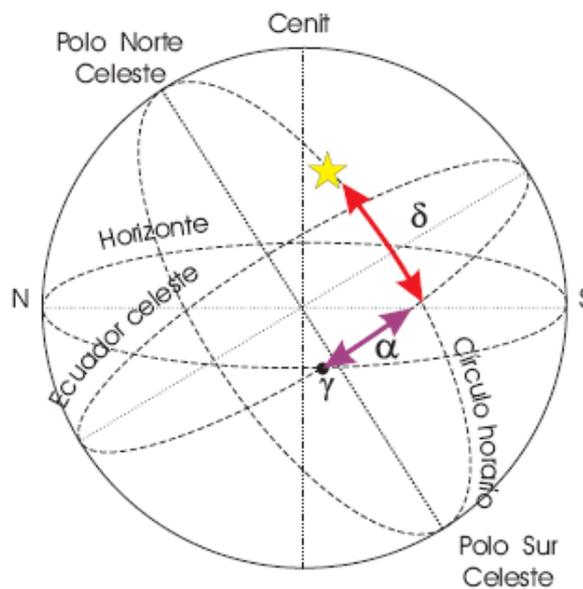


Figura N° 22 Coordenadas ecuatoriales absolutas.²²

3.1.4 Las coordenadas eclípticas

Las coordenadas eclípticas son aquellas coordenadas que están referidas a la eclíptica. Son las más útiles para el estudio de las posiciones planetarias ya que se mueven dentro de la franja de la eclíptica. El eje fundamental es el denominado eje de la eclíptica que corta a la esfera celeste en dos puntos denominados polos de la eclíptica. El círculo fundamental es la eclíptica. Los semicírculos máximos que pasan por los polos se denominan máximos de longitud y entre ellos, aquél que pasa por el

Punto Aries se denomina primer máximo de longitud. Los paralelos se llaman paralelos de latitud celeste.

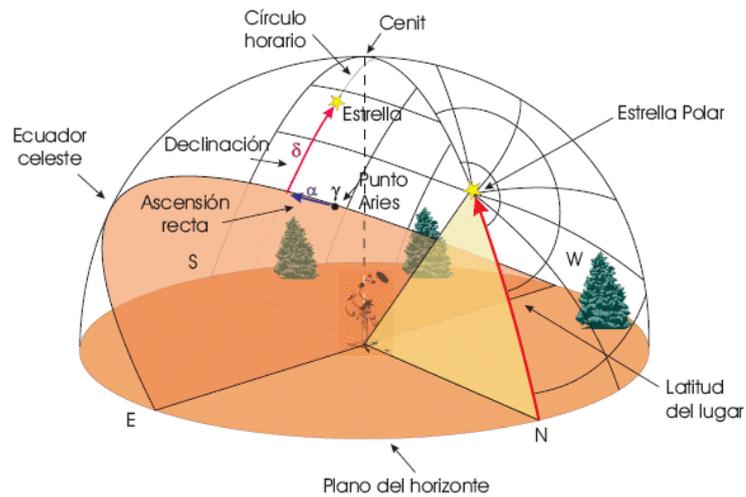


Figura N° 23 Coordenadas eclípticas.²³

Las coordenadas eclípticas son la longitud celeste y la latitud celeste. Se llama longitud celeste al arco de la eclíptica medido en sentido directo, que va desde el Punto Aries hasta el máximo de longitud de un astro; se mide en grados, desde 0° hasta 360° , y se representa por l .

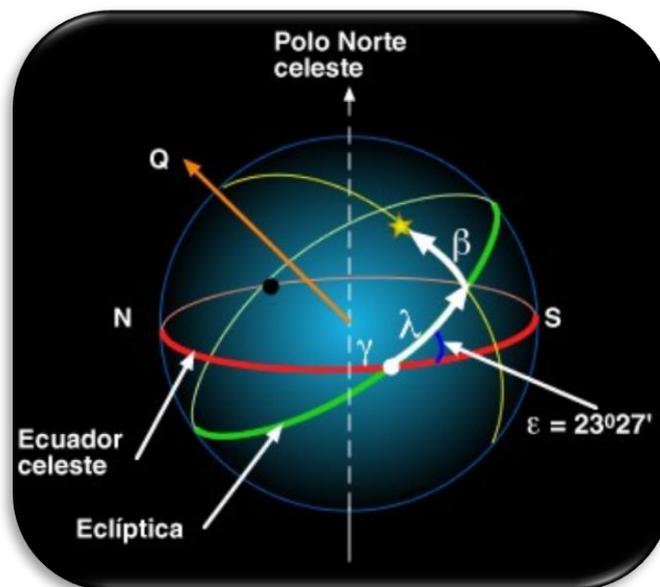


Figura N° 24 Utilización de las Coordenadas Eclípticas.²⁴

La latitud celeste es el arco máximo de longitud que pasa por el astro comprendido entre la eclíptica y el centro del astro, medido a partir de la eclíptica. Su valor oscila entre 0° y 90° y se representa por b . En este sistema no se toma nunca la distancia medida desde el polo de la eclíptica.

Los círculos de referencia son la eclíptica y el llamado meridiano eclíptico (círculo máximo que pasa por los polos de la eclíptica). El origen es el punto Aries. Las coordenadas son:

Longitud celeste (l): es el arco de la eclíptica comprendido entre el punto Aries y la intersección con el meridiano que pasa por el astro. Se mide en grados minutos y segundos y varía entre 0° y 360° .

Latitud celeste (b): arco del meridiano eclíptico que pasa por la estrella comprendido entre su intersección con la eclíptica y el astro. Su valor varía entre -90° y 90° . Es siempre nula para el Sol.

Estas coordenadas facilitan la medida de las posiciones de los planetas y tampoco dependen del lugar e instante de observación.

3.1.5 Coordenadas Galácticas

Las coordenadas galácticas tienen como plano de referencia al plano de la galaxia en la que se encuentra el Sol, esto es, la Vía Láctea. En una noche despejada, oscura y lejos de la luz de la ciudad, es posible observar un gran manchón neblinoso que se extiende por el cielo.

Dicho manchón resulta de la acumulación de miles de millones de estrellas situadas en su mayoría a cientos y miles de años luz de distancia. Puesto que nuestra galaxia es de tipo espiral, su forma, para un observador exterior a ella, sería similar a la de una lente muy delgada. Por estar

ubicados muy cerca al plano central de dicha lente e inmersos en ella, se contempla la Vía Láctea como un anillo luminoso que circunda la bóveda celeste.

En estudios de la galaxia e incluso de objetos extra galácticos es frecuente designar las posiciones de ciertos objetos utilizando las coordenadas galácticas.

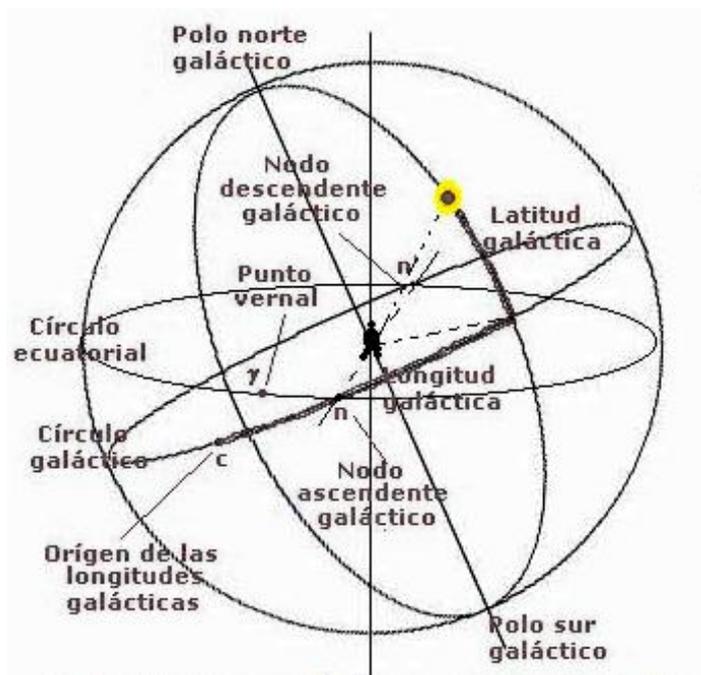


Figura Nº 25 Sistema de Coordenadas Galácticas²⁵

3.2 Conclusión

Así como la posición de un punto sobre la esfera terrestre puede determinarse por dos coordenadas, la "latitud" (o distancia angular del Ecuador) y la "longitud" (o distancia angular desde el meridiano de referencia o de Greenwich), también la posición de un astro puede determinarse por un par de coordenadas sobre la esfera celeste. Esta es la esfera ideal en la cual el observador se imagina estén colocados los cuerpos celestes.

Los sistemas más utilizados de coordenadas celestes son dos: el Sistema de coordenadas ecuatoriales y el sistema horizontal.

Para describir el sistema de coordenadas ecuatoriales imaginemos la esfera celeste con la Tierra en el centro. La proyección del Ecuador terrestre sobre ella toma el nombre de "ecuador celeste"; los polos Norte y Sur de la Tierra, proyectados sobre la esfera celeste, toman el nombre de "polos celestes"; la proyección de la órbita de la Tierra alrededor del Sol toma el nombre de eclíptica. El punto de cruce de la eclíptica con el Ecuador celeste es llamado "Equinoccio de primavera" o "primer punto de Aries" y corresponde al punto en el que se encuentra el Sol a comienzos de la primavera.

El Sistema horizontal resulta de comprensión más inmediata para un observador terrestre ya que es este sistema el que proporciona las coordenadas instantáneas de un astro. Sus puntos de referencia son: el círculo máximo que coincide con el Horizonte del lugar de observación y que pasa por el Norte y el Sur y por el Cenit, llamado meridiano celeste. Fijadas las referencias, las coordenadas del sistema horizontal son: la altura h , que es la distancia angular de una estrella sobre el horizonte (en la comparación con las coordenadas terrestres, corresponde a la latitud) y que se mide de $0.^\circ$ a $90.^\circ$, el acimut, que es la distancia entre el círculo vertical que pasa por la estrella y el meridiano celeste. Habitualmente se mide de $0.^\circ$ a $360.^\circ$ a partir del Norte en sentido horario. En este sistema, a causa de la rotación de la Tierra, las coordenadas no determinan permanentemente la posición de una estrella, como en el sistema precedente, sino que sólo se refieren a la posición que ocupa en un instante de tiempo determinado.

CAPÍTULO IV

SOPORTE DIDÁCTICO PARA LA ESFERA CELESTE

El propósito principal de la actividad de construcción de la esfera celeste es aprender su uso, conocer su funcionamiento, en este sentido, la maqueta de la esfera celeste ayuda a comprender fácilmente algunos conceptos que de otra forma pueden resultar excesivamente complejos.

En todos los libros de astronomía y guías celestes aparecen mapas de estrellas en función de la época del año. También se puede encontrar como recurso didáctico esferas celestes de plástico u otro material, donde se representa la mayoría de los objetos. Con este trabajo se pretende construir un aparato capaz de explicar muchos conceptos básicos de astronomía de posición.

4.1 Construcción de la Esfera Celeste

4.1.1 Medidas.

Una de las principales tareas al momento de construir la esfera celeste, fue determinar el tamaño adecuado para su elaboración, luego de analizar detenidamente varias medidas, se estableció que las circunferencias debían tener un radio de 45 cm de diámetro. Los materiales utilizados para representar el diseño de la esfera celeste fueron los siguientes:

- Electrodo de soldadura 6011 (1/8).
- Varillas de hierro de 6 y 8 mm.
- Moladora (cortadora).
- Roladora.
- Máquina de soldar.
- Martillo.
- Aerosol.

4.2 Procedimiento para la construcción de la esfera celeste.

La construcción de la esfera celeste se la realizó en un taller de soldadura, el mismo que prestó las facilidades para realizar el trabajo, puesto que contaba con las herramientas necesarias para llevar a cabo la labor propuesta sin encarecer demasiado la elaboración.

Para realizar los círculos de la esfera celeste se empezó introduciendo las varillas en la rola hasta quedar totalmente redonda, luego se retira las mismas de la máquina y se procede a soldar. De cada varilla se pudo obtener dos círculos.

Figura N° 26 Introducción de las varillas en la rola.²⁶



4.3 Proceso de soldadura

Una vez formadas las circunferencias se comenzó a unir las varillas circulares con soldadura, cada una en su posición, a fin de ir dándole forma a la esfera celeste, al principio este trabajo se tornó tedioso, pero finalmente se logró hacerlo con mucha precisión.

Figura N° 27 Proceso de soldadura.²⁷



Con las tres varillas de 8 mm se pudieron obtener 6 círculos para dar forma a:

- Ecuador celeste.
- Horario.
- El meridiano de lugar.
- Paralelo celeste.
- Meridiano celeste.
- Cenit, nadir.

Figura N° 28 Confección de la esfera celeste.²⁸



Una vez formada la esfera celeste se procedió a la elaboración de las letras con varilla de hierro de 6mm, puesto que son más fáciles para doblar y manipular, logrando así diferenciar los polos y las coordenadas horarias con

mayor exactitud. Las letras que se formaron fueron:

PNC: polo norte celeste.

PSC: Polo sur celeste.

EC: Ecuador celeste.

H: Horario.

Z: Cenit

Z': Nadir.

N: NORTE.

S: SUR.

E: ESTE.

W; OESTE.

MC: MERIDIANO CELESTE.

ML: MERIDIANO DE LUGAR.

PC: PARALELO CELESTE.

A: ASTRO.

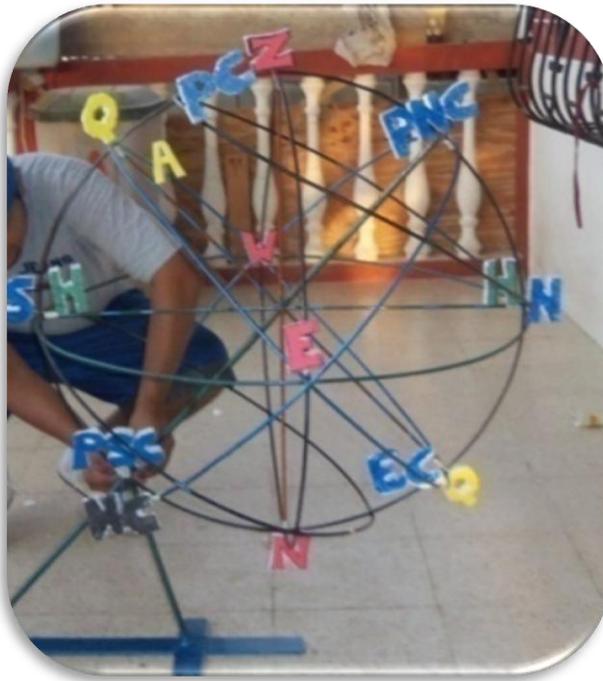
Figura Nº 29 Colocación de las letras para la esfera celeste.²⁹



4.4. Pintado de la esfera celeste

Luego de haber formado la esfera y colocado las letras en su lugar, se procedió a pintar la esfera celeste, cada círculo de diferentes colores para poder apreciar mejor las coordenadas.

Figura N° 30 Pintado de la esfera celeste.³⁰



Los colores utilizados se detallan a continuación:

Ecuador celeste: CELESTE

Horario: VERDE

Meridiano de Lugar: NEGRO

EL ASTRO fue pintado de color amarillo.

Terminado el proceso de pintura de la esfera y sus partes, se colocó en el centro de la esfera una pequeña representación de la tierra. Como base para la estructura se elaboró una plataforma metálica de 20cm de ancho por 30 cm de largo pintada de color azul.

4.5 Conclusión

La tierra se mueve alrededor del sol, como lo hacen los demás planetas, y además que tiene otros movimientos como son el de rotación, precesión y nutación. Estos movimientos provocan un continuo cambio de la ubicación de las estrellas en el cielo. La esfera celeste es la representación convencional del cielo como una envoltura esférica sobre la que aparecen proyectados los astros. El centro de dicha esfera corresponde al punto en el que se encuentra ubicado el observador. Cada cuerpo celeste tiene una posición aparente en la esfera celeste.

El zenit o cenit es el punto de la esfera celeste situado en la proyección de la vertical del lugar; se obtiene de la prolongación de la línea de la plomada. El punto opuesto se denomina nadir. El horizonte es el círculo máximo de la esfera celeste situado a 90° del cenit y del nadir. Se le indica, asimismo, como el plano definido por las aguas del mar sin movimiento. Dos puntos importantes en la esfera celeste son el polo sur celeste y el polo norte celeste. Equidistante de ambos está el ecuador celeste, proyección del ecuador terrestre sobre la esfera. La rotación y traslación de la Tierra no se encuentran en el mismo plano, existe una inclinación entre ellas de poco más de 23° , la eclíptica es el plano en el cual la Tierra orbita al Sol.

La construcción de la esfera celeste fue una experiencia muy significativa y representa los conocimientos adquiridos durante mis estudios.

Instrumentos como este, no es común encontrarlos en las aulas de clases, por lo tanto se convierten en referentes para los nuevos estudiantes de esta carrera y para quienes requieran información respecto lo que constituye la esfera celeste.

BIBLIOGRAFÍA

- Argüello, Luis (2003). «Mecánica». pág. 190.
- Buis, Alan «Chilean Quake May Have Shortened Earth Days» (2010). NASA
- Fernández Pérez, Iván. Aproximación histórica al desarrollo de la astronomía en España.
- Granados García de Tomás, Pedro. 2001. Movimientos en la esfera celeste.
- Job Placencia Valero. Una mirada al universo: Astronomía básica elemental. Editorial Tebar, 2006
- José Manuel Casas. Compendio de Geografía General - página 9.
- Phillips, Tony «La Tierra en el Perihelio» (2001). Ciencia NASA
- Torres y Antonio Higuera Arnal. Ediciones RIALP Madrid (1977)

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- <http://www.astronomia2009.org.mx/assets/pdf/telescopio/siscoor.pdf>
- http://pagina.iccm.es/museociencias/images/cuadernillo_planetario.pdf
- http://es.wikipedia.org/wiki/Coordenadas_ecuatoriales
- http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php
- http://es.wikipedia.org/wiki/Movimientos_de_la_Tierra
- http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php
- http://ec.kalipedia.com/ciencias-tierra-universo/tema/esfera-celeste.html?x=20070417klpcnatun_240.Kes&ap=0
- http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php
- <http://www.astrogea.org/coordenada/ficha3.htm>
- http://www.telefonica.net/web2/vicentepaloma/elcielodelmes/imagenes%20curso/curso_1_clip_image017.gif
- www.um.es/aulasenor/saavedrafajardo/apuntes/doc/curso_astronomia.pdf
- http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php
- www.astronomia.org/doc/esfcel.pdf

GRÁFICOS Y FIGURAS

- 1 http://es.wikipedia.org/wiki/Movimientos_de_la_Tierra
- 2 http://www.kalipedia.com/ciencias-tierra-universo/tema/graficos-esfera-celeste.html?x1=20070417klpcnatun_184.Ees&x=20070417klpcnatun_240.Kes
- 3 http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth_tilt_sample.jpg
- 4 http://faces.unah.edu.hn/an111virtual/vrt/U1/U1_tema3_movtrasla.html
- 5 <http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Precession-sphere-ES.svg&page=1>
- 6 <http://www.mailxmail.com/curso-historia-civilizacion-antes-egipto-10500-ac/teoria-orion-2>
- 7 http://3.bp.blogspot.com/_cgJqKHpQm3M/TCdm8Ch1aVI/AAAAAAAAABk/QdbLxqajlgw/s1600/precesi%C3%B3n+I.png
- 8 <http://territoriosysociedades.blogspot.com/2012/03/red-de-paralelos-y-meridianos.html>
- 9 <http://geographykon.blogspot.com/2010/09/coordenadas-geograficas.html>
- 10 http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php
- 11 http://www.recursos-tic.org/proyecto/index.php?option=com_content&view=article&id=721:constelaciones&catid=73:general&Itemid=110
- 12 <http://www.astromia.com/glosario/fotos/altacimutal.jpg>
- 13 <http://sistemageocentricoyheliocentrico.blogspot.com/2010/11/sistema-geocentrico.html>
- 14 <http://galeon.hispavista.com/anadcafeudea/img/modelo%20copernico.jpg>
- 15 http://www.astronomia-iniciacion.com/images/curso/1/curso_1.7_1.gif

- 16 <http://i651.photobucket.com/albums/uu231/soopernova/Movimiento-aparente.jpg>
- 17 http://www.astronomia-iniciacion.com/images/curso/1/curso_1.8_1.gif
- 18 http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/1/2/el-movimiento-del-sol-en-la-esfera-celeste_2621_11_1.gif
- 19 http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/1/2/el-movimiento-del-sol-en-la-esfera-celeste_2621_11_3.gif
- 20 http://www.telefonica.net/web2/vicentepaloma/elcielodelmes/imagenes%20curso/curso_1_clip_image023.gif
- 21 http://www.telefonica.net/web2/vicentepaloma/elcielodelmes/imagenes%20curso/curso_1_clip_image025.gif
- 22 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Coordenadas_ecuatoriales.png/300px-Cordenadas_ecuatoriales.png
- 23 http://es.wikipedia.org/wiki/Movimientos_de_la_Tierra
- 24 <http://4.bp.blogspot.com/-jil-891pCt8/Tg-PqxWjcHI/AAAAAAAAAik/rziil-vqX48/s1600/ecliptica-astrologia.jpg>
- 25 <http://personales.ya.com/casanchi/ast/coordenada09.jpg>
- 26 Elaboración de los círculos en la rola.
- 27 Soldada de las puntas de los círculos.
- 28 Elaboración de la esfera celeste.
- 29 Colocación de las letras en la esfera celeste.
- 30 Pintado de la esfera celeste.