



FÍSICA – FCPN – UMSA

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
(UMSA)

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
(FCPN)

CARRERA DE FÍSICA

1^{er} DIPLOMADO EN FÍSICA PARA PROFESORES
DE COLEGIO (Semi-Presencial)

DFIS

MODULO: ASTRONOMÍA y ASTROFÍSICA
Semana 2: *Coordenadas y Tiempo*

Docente: *Lic. Roy Omar Edgar Bustos Espinoza*

La Paz - Bolivia
2008



FÍSICA – FCPN – UMSA

SYLLABUS (Semana 2)

- 1) Astrofísica Básica
- 2) Coordenadas y tiempo**
- 3) Sistema Solar
- 4) Estrellas
- 5) Sistemas Estelares
- 6) Cosmología
- 7) Instrumentación y tecnología espacial

SYLLABUS EXTENDIDO (Semana 2)

- 1) Astrofísica Básica
- 2) Coordenadas y tiempo**
 - a) Esfera celeste**
 - i) Coordenadas celestes**
 - ii) Solsticio y Equinoccio**
 - iii) Estrellas circumpolares**
 - iv) Constelaciones y el Zodiaco**
 - v) Trigonometría esférica**
 - b) Conceptos del tiempo**
 - i) Tiempo Solar**
 - ii) Tiempo Sideral**
 - iii) Día Juliano**
 - iv) Día Juliano Heliocéntrico**
 - v) Tiempo Universal**
 - vi) Tiempo Medio Local**
- 3) Sistema Solar
- 4) Estrellas
- 5) Sistemas Estelares
- 6) Cosmología
- 7) Instrumentación y Tecnología Espacial



2) Coordenadas y tiempo

a) Esfera o bóveda celeste

Tal como se aclaró, en cualquier lugar en el que nos encontremos sobre el planeta Tierra, siempre nos parecerá que todas las estrellas se encuentran a la misma distancia de nosotros, en la superficie interior de una gran esfera imaginaria que es conocida como la *bóveda* o *esfera celeste*. En la misma, es posible encontrar relaciones trigonométricas pero desde el punto de vista de una nueva trigonometría: la trigonometría esférica, motivo por el cual ahora abordaremos los conceptos fundamentales de esta importante herramienta matemática vinculados al estudio de las posiciones de los astros en la bóveda celeste.

i) Coordenadas Astronómicas

Al igual que cuando medimos la posición de un punto sobre la superficie del planeta Tierra, es posible medir la posición de un astro en la bóveda celeste.

Es importante notar que en el sistema que se elija lo importante serán las coordenadas angulares y no así la distancia hasta las estrellas.

Realicemos a continuación un repaso sobre las coordenadas geográficas, para luego, extender estos conceptos de posicionamiento sobre el planeta como una esfera al posicionamiento sobre otra esfera: la celeste.

Recuerda que:

Cada partícula sobre la cual actúa el campo gravitacional está sometida a la acción de una fuerza llamada peso: $\vec{P} \equiv M\vec{g}$

Coordenadas Geográficas

Nuestro planeta tiene una forma aproximadamente esférica. La línea recta imaginaria que pasa por el Polo Geográfico Sur (P_S) y el Polo Geográfico Norte (P_N) es el *eje de rotación* por el que gira la Tierra. Dicha línea imaginaria pasa por el *centro de masa* del planeta.

El Polo Geográfico Sur es aquél desde cuyo lado la rotación de la Tierra transcurre en el mismo sentido que el movimiento de las manecillas de un reloj, es decir si Ud. se parara en dicho polo notaría el movimiento del planeta de esta forma.

Practica

¿Cómo se vería el movimiento del planeta vista desde el Polo Geográfico Norte? (Ayuda: Busque una esfera: plastoforno, naranja, etc. e imite el movimiento de nuestro planeta identificando los dos polos geográficos y el eje de rotación)

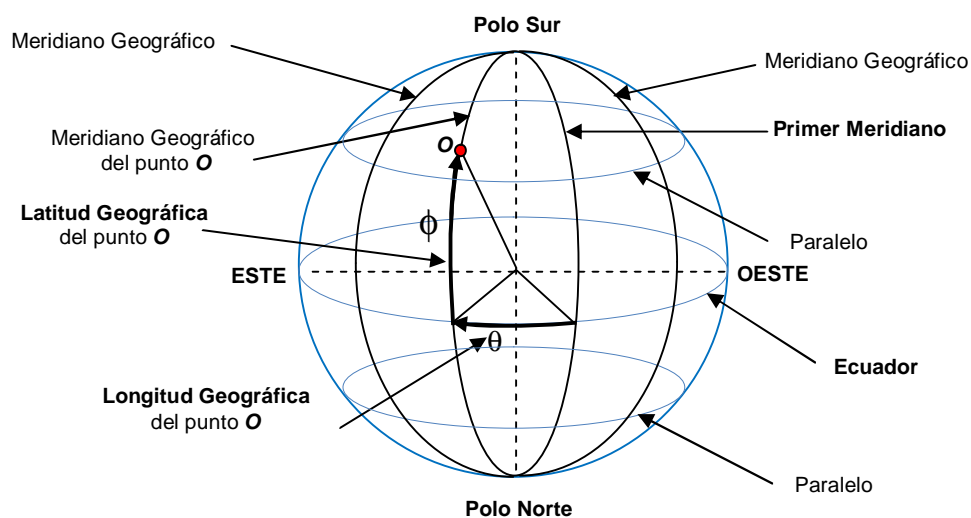
El círculo máximo en la superficie terrestre cuyo plano es perpendicular al eje de rotación se lo conoce como el *ecuador terrestre*, el cual divide a la superficie de la Tierra en dos hemisferios: el Hemisferio Sur (Austral) y el Hemisferio Norte (Boreal).

Los círculos menores, cuyos planos son paralelos al plano del ecuador terrestre, se denominan *paralelos geográficos*.

El semicírculo máximo, que pasa por los dos polos geográficos y por un punto O cualquiera de la superficie terrestre se denomina *meridiano geográfico* del punto O . El meridiano geográfico que pasa por el observatorio de Greenwich, Inglaterra, se lo conoce como el *primer meridiano*.

El primer meridiano y el meridiano diametralmente opuesto a éste (180°) dividen al planeta en dos hemisferios: Hemisferio Oriental y Hemisferio Occidental

La posición de un punto O cualquiera (ciudad, montaña, salar, etc.) sobre la superficie de la Tierra se determina por dos coordenadas geográficas: la Longitud Geográfica (θ) y la Latitud Geográfica (ϕ).



Longitud Geográfica (θ) Es el ángulo medido a lo largo del ecuador terrestre siendo su origen el meridiano de Greenwich (primer meridiano) y su tope el meridiano del lugar (meridiano geográfico del punto O). Es posible, de igual modo, representar a la longitud geográfica de un lugar como la diferencia entre hora y hora de Greenwich. Es decir:

$$-180 [^\circ] (\text{Oeste}) \leq \theta \leq +180 [^\circ] (\text{Este})$$

ó

$$-12 [h] (\text{Oeste}) \leq \theta \leq +12 [h] (\text{Este})$$

Latitud Geográfica (ϕ) Es el ángulo medido a lo largo del meridiano del lugar, con origen en el ecuador terrestre, tal que:

$$-90 [^\circ]_{\text{Hemisferio Sur}} \leq \phi \leq +90 [^\circ]_{\text{Hemisferio Norte}}$$

Ejemplo

Para el Salar de Uyuni, Potosí, Bolivia, se tiene: $\theta = -68^\circ$; $\phi = -16^\circ$

Investiga cuánto vale la latitud y longitud geográfica de tu ciudad.



FÍSICA – FCPN – UMSA

La **Esfera Celeste** es una esfera imaginaria de radio arbitrario, con centro en el lugar del observador, en cuya superficie están todos los astros (idea propuesta por los antiguos griegos).

Con el pasar de las horas, los astros se mueven en el cielo naciendo en el Este y poniéndose en el Oeste. Esto causa la impresión de que la esfera celeste está girando de Este a Oeste alrededor de un eje imaginario que intercepta a la esfera en dos puntos fijos el Polo Celeste Sur y el Polo Celeste Norte.

Nosotros vemos así ese movimiento de los astros (de Este a Oeste) debido al movimiento de rotación de la Tierra que es de Oeste a Este.

El eje de rotación de la esfera celeste es la prolongación del eje de rotación de la Tierra siendo los polos celestes proyecciones de los polos terrestres respectivos.

Los antiguos griegos definieron algunos planos y puntos en la esfera celeste, que son útiles para la determinación de la posición de los astros en el cielo. Estos son:

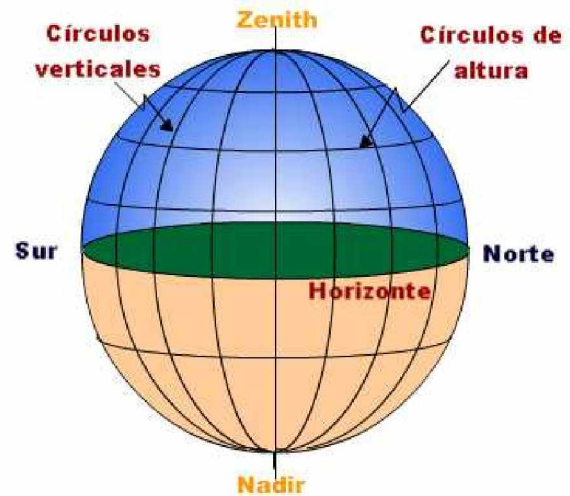
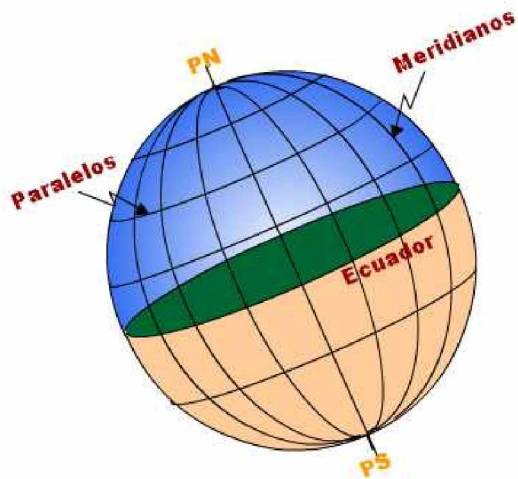
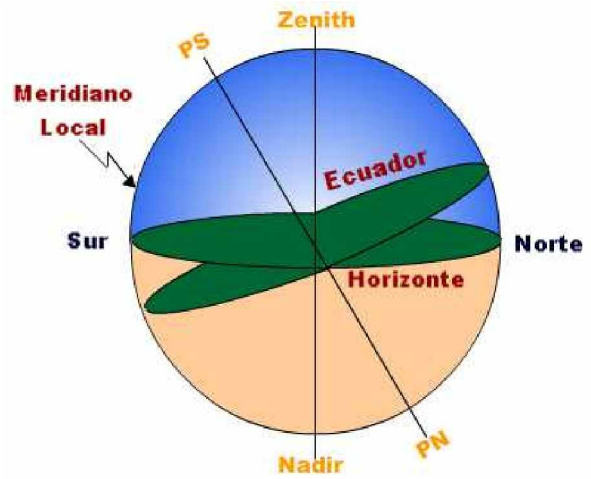
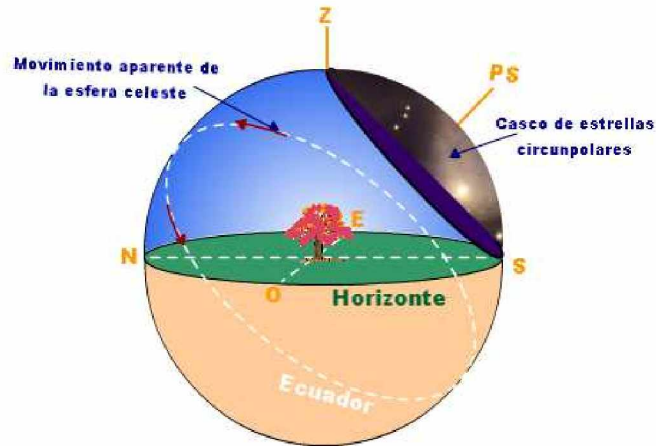
- El **Ecuador Celeste**, el **Polo Celeste Sur** y el **Polo Celeste Norte** son prolongaciones de sus equivalentes terrestres que interceptan la esfera celeste.
- El **Zenith** es el punto más elevado por encima del observador.
- El **Nadir** es el punto diametralmente opuesto al Zenith.
- Los **Paralelos Celestes** son círculos menores de la esfera celeste paralelos al ecuador celeste. Los movimientos aparentes de los astros tienen lugar por dichos paralelos.
- Los **Meridianos** son semicírculos de la esfera celeste que pasan por el Polo Celeste Sur y el Polo Celeste Norte. El meridiano que pasa además por el Zenith se lo conoce como el **Meridiano Local**.
- El **Círculo Vertical** es cualquier semicírculo máximo de la esfera celeste que comienza en el Zenith y termina en el Nadir pasando por el astro de observación.
- El **Horizonte** es un plano tangente a la Tierra y perpendicular a la vertical del lugar de observación. Este plano divide la superficie de la esfera celeste en dos mitades: en la *visible* para el observador, con el vértice en el Zenith, y la invisible, con el vértice en el Nadir.
- **Círculos de Altura**: círculos menores de la esfera celeste, paralelos al Horizonte que pasan a través del astro observado. Se los conoce también como *almicantarat* del astro.

¿Sabías qué?...

La vertical del lugar se la puede encontrar con la *plomada*, instrumento bastante usado por los albañiles bolivianos.

Nota: En algunos textos se usa el polo Norte arriba y el polo Sur abajo siendo tal punto de vista convencional. En el presente trabajo se usará al Polo Sur arriba y al Polo Norte abajo, esto naturalmente porque desde nuestras latitudes nosotros visualizamos al Polo Sur Celeste y no así al Polo Norte Celeste. El concepto de arriba y abajo es totalmente convencional, no nos olvidemos que estamos en el espacio donde no existe un arriba ni un abajo, por ejemplo para los Tailandeses (Asia) su Abajo es nuestro Arriba.

El ecuador celeste corta con el Horizonte en dos puntos: Punto Oriental: E y Punto Occidental: O



Sistema Horizontal

Es un sistema fijo a la Tierra. Se emplea para la determinación directa de las posiciones de los astros. Este sistema utiliza como plano fundamental el Horizonte Celeste. Las coordenadas son el Azimuth (A) y la Altura (h)

“ A ”, es el ángulo medido sobre el horizonte, en el sentido horario ($N-E-S-O$) con origen en el Norte N y fin en el círculo vertical del astro, tal que:

$$0 [^\circ] \leq A \leq 360 [^\circ]$$

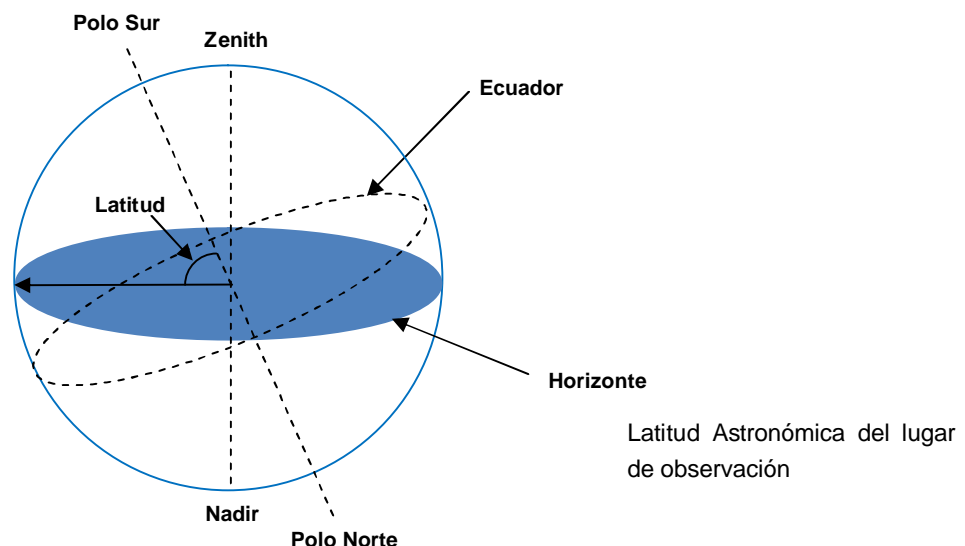
La altura, (h), es el ángulo medido sobre el círculo vertical del cuerpo celeste, con origen en el horizonte y fin en el astro, cuyo rango viene dado por:

$$-90 [^\circ] \leq h \leq +90 [^\circ]$$

El complemento de la altura se conoce como la distancia zenital (z). Se cumple que:

$$z + h = 90 [^\circ]$$

La **latitud geográfica** del lugar de observación es igual a la altura del polo Celeste Sur.



Ejemplo Si la latitud geográfica del Salar de Uyuni es: $\phi_{\text{Salar}} = -16^\circ$ ¿Cuánto vale la altura del polo celeste Sur, h_{PS} ? Solución.- $h_{\text{PS}} = \phi_{\text{Salar}} = -16^\circ$.

Sistema Ecuatorial Celeste

Este es el sistema principal para la solución de problemas de la astronomía fundamental. En este se presentan las listas de los catálogos y mapas estelares.

En este caso el plano fundamental es el ecuador celeste. Las coordenadas son la ascensión recta (α) y la declinación (δ).

El sistema Ecuatorial Celeste es fijo a la esfera celeste, es decir, sus coordenadas no dependen del lugar e instante de observación. Cada cuerpo celeste tiene fijas su ascensión recta y declinación.

La ascensión recta (α) es el ángulo medido a lo largo del ecuador celeste siendo su origen el punto de Aries y su tope el meridiano del cuerpo celeste. Aumenta hacia el Este, tal que se cumple:

$$0 [^\circ] \leq \alpha \leq 360 [^\circ]$$

$$0 [h] \leq \alpha \leq 24 [h]$$

La declinación (δ) es el ángulo medido sobre el meridiano del astro, estando el origen en el ecuador y su final en el astro. Se cumple:

$$-90 [^\circ] \leq \delta \leq +90 [^\circ]$$

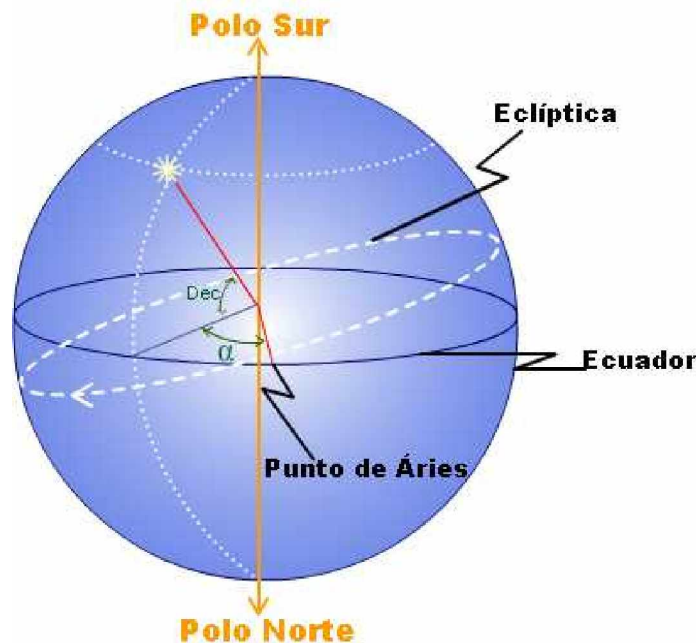
El complemento de la declinación se la conoce como distancia polar, p , y se debe cumplir qué:

$$\delta + p = 90 [^\circ]$$

Apunte Teórico

La **Eclíptica** es la trayectoria que recorre el Sol sobre la esfera celeste.

El **punto de Aries**, también conocido como el punto gamma (γ) o punto vernal, es un punto del ecuador, ocupado por el Sol cuando éste pasa del hemisferio Celeste Sur hacia el hemisferio Celeste Norte. Este punto define el equinoccio de primavera del hemisferio Norte que cae más o menos el 22 de Marzo. Es una de las dos intersecciones del ecuador celeste con la eclíptica.





Sistema Ecuatorial Local

Se emplea para la determinación del tiempo exacto, que es uno de los principales problemas de la astronomía práctica.

El plano fundamental es el ecuador celeste. Las coordenadas son el ángulo Horario (t) y la otra continua siendo la declinación (δ).

El ángulo horario (t) es el ángulo medido sobre el ecuador, con origen en el meridiano local y fin en el meridiano del astro, tal que se cumple:

$$-12 [h] \leq t \leq +12 [h]$$

ii) Solsticio, Equinoccio y las Estaciones

Las cuatro estaciones están determinadas por cuatro posiciones principales en la órbita terrestre, opuestas dos a dos, que reciben el nombre de solsticios y equinoccios. Solsticio de Invierno y Solsticio de Verano; Equinoccio de Primavera y Equinoccio de Otoño.

En los equinoccios, el eje de rotación de la Tierra es perpendicular a los rayos del Sol, que caen verticalmente sobre el ecuador, es cuando la duración de los días y de las noches es la misma en todo el globo terrestre, por ejemplo el equinoccio de primavera, que en nuestro país está entre el 23 y 24 de Septiembre.

En los solsticios, el eje de rotación se encuentra inclinado $23,5^\circ$

A causa de la excentricidad de la órbita terrestre, las estaciones no tienen la misma duración, ya que la Tierra recorre su trayectoria con velocidad variable. Va más deprisa cuanto más cerca está del Sol y más despacio cuanto más alejada. Por esto, el rigor de cada estación no es el mismo para ambos hemisferios. Nuestro planeta está más cerca del Sol a principios de enero (punto conocido como el **perihelio**) que a principios de julio (**afelio**), lo que hace que reciba más calor en el primer mes del año que a la mitad de él. Por este motivo, en conjunto, además de otros factores, el invierno boreal es menos frío que el austral, y el verano austral es más caluroso que el boreal.

A causa de perturbaciones que experimenta la Tierra mientras gira en torno al Sol, no pasa por los solsticios y equinoccios con exactitud, lo que motiva que las diferentes estaciones no comiencen siempre en el mismo preciso momento.

Inicio	Hemisferio Sur	Hemisferio Norte	Duración [d]	Inclinación
20 – 21 de Marzo	Otoño	Primavera	92,9	0°
21 – 22 de Junio	Invierno	Verano	93,7	$23,27^\circ$ Norte
23 – 24 de Septiembre	Primavera	Otoño	89,6	0°
21 – 22 de Diciembre	Verano	Invierno	89,0	$23,27^\circ$ Sur



FÍSICA – FCPN – UMSA

El Sol aparentemente se mueve entre las estrellas a lo largo de cada año, describiendo una trayectoria en la esfera celeste conocida como la **eclíptica**, pero en realidad nosotros vemos este movimiento del Sol por el movimiento traslacional de la Tierra en torno al Sol. En resumen, la eclíptica es un círculo máximo con una inclinación de $23^{\circ}27'$ con respecto al Ecuador Celeste, y es esta inclinación la causa de las estaciones terrestres, conocidas como: Primavera, Verano, Otoño e Invierno.

Comienzo de las Estaciones – Solsticio – Equinoccio

Posiciones más resaltantes del Sol en su movimiento por la eclíptica

Glosario:

- HN: Hemisferio Norte
- HS: Hemisferio Sur
- EQ: Equinoccio (del latín: equi = igual; nox = Noche)
- SO: Solsticio (del latín: sticium = estático, detenido)

≅ 21 de Septiembre: El Sol cruza el ecuador, del HN para el HS. $\alpha = 12[h], \delta = 0[^\circ]$, el día y la noche duran 12 [h] en toda la Tierra, EQ de Primavera en HS, EQ de Otoño en HN.

≅ 23 de Diciembre: El Sol está en su máxima declinación Sur. $\alpha = 18[h], \delta = -23,5[^\circ](S)$, el día más largo del año en HS, el día más corto del año en HN; SO de Verano en HS, SO de Invierno en HN.

≅ 21 de Marzo: El Sol cruza el ecuador, desde HN hacia HS. $\alpha = 0[h], \delta = 0[^\circ]$, el día y la noche duran 12 [h] en toda la Tierra, EQ de Otoño en HS, EQ de Primavera en HN.

≅ 23 de Junio: El Sol está en su máxima declinación Norte. $\alpha = 6[h], \delta = +23,5[^\circ](N)$, el día más corto del año en HS, el día más largo del año en HN, SO de Invierno en HS, SO de Verano en HN.

iii) Estrellas circumpolares

Estrellas que no desaparecen bajo el horizonte

Ejemplos

1) Escribe la ecuación con la que se pueda identificar a las estrellas circumpolares, es decir aquellas que no desaparecen bajo el horizonte. Solución.-

Para una estrella con una declinación conocida δ y conocida también la latitud ϕ del lugar de observación, se debe cumplir la relación:

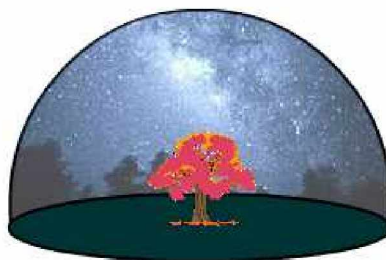
$$|\delta| = 90[^\circ] - |\phi|$$

Práctica Identifica el polo Sur Celeste desde tu ciudad y a la región de estrellas circumpolares.

iv) Constelaciones y el Zodiaco

Constelaciones zodiacales

Cuando vemos a las estrellas en una noche despejada durante cierto tiempo no es difícil advertir que la bóveda celeste gira poco a poco, con todas las estrellas que en ella se encuentran, alrededor de cierto eje imaginario que pasa a través del lugar donde nos encontremos.



Este movimiento de la bóveda celeste y de los astros completa una vuelta en un día.

El movimiento diario de las estrellas en el hemisferio austral de la Tierra, observado desde las latitudes que corresponden a Bolivia (dando la cara hacia el hemisferio boreal), transcurre de derecha a izquierda, es decir en el sentido opuesto al movimiento de las manecillas de un reloj. Las estrellas ascienden por el lado oriental del horizonte y se ponen por el lado occidental. De este modo, cada estrella sale de un mismo punto en el lado oriental del horizonte y se pone siempre en un mismo punto en el lado occidental.

Al igual que las estrellas el Sol y la Luna, salen por el lado oriental del horizonte, y se ponen en el lado occidental; sin embargo, a diferencia de las estrellas, cada día salen y se ponen por diferentes puntos del cielo. Sin duda notaste que, a lo largo del año, el Sol sale por diferentes puntos de tu ventana.

Esta es la explicación inicial de por qué a lo largo del año existen días más “largos” (invierno) y días más “cortos” (verano).

No es difícil comprobar que la Luna y el Sol no permanecen todo el tiempo en una misma constelación, sino que van pasando de una constelación a otra, desplazándose ambos de occidente a oriente. Recorren el cielo por una circunferencia completa en casi 28 días la Luna y un 365 días el Sol, pasando por 12 constelaciones conocidas como zodiacales (de la palabra griega *zoon* que quiere decir, animal). Sus nombres son: Toro, Carnero, Peces, Gemelos, Cangrejo, León, Virgen, Balanza, Escorpión, Sagitario, Capricornio y Acuario.

Practica

1. Estudie nuevamente todos los conceptos del presente documento.
2. Identifique la región donde se encuentra el Polo Celeste Sur y las estrellas Circumpolares visibles desde nuestras latitudes.