



**FÍSICA – FCPN – UMSA**

---

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
(UMSA)  
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES  
(FCPN)**

**CARRERA DE FÍSICA**

**1<sup>er</sup> DIPLOMADO EN FÍSICA  
PARA PROFESORES DE COLEGIO  
(Semi-Presencial)**

**DFIS**

**MODULO: ASTRONOMÍA y ASTROFÍSICA**  
**Semana 3: *Coordenadas y Tiempo***  
***(Conceptos del tiempo)***

**Docente: *Lic. Roy Omar Edgar Bustos Espinoza***

***La Paz - Bolivia***  
***2008***



# FÍSICA – FCPN – UMSA

---

## SYLLABUS (Semana 3)

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

## SYLLABUS EXTENDIDO (Semana 3)

- 1) Astrofísica Básica
- 2) Coordinadas y tiempo
  - a) Esfera celeste
    - i) Coordinadas celestes
    - ii) Solsticio y Equinoccio
    - iii) Estrellas circumpolares
    - iv) Constelaciones y el Zodíaco
    - 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

## b) Conceptos del tiempo

El tiempo y su medición

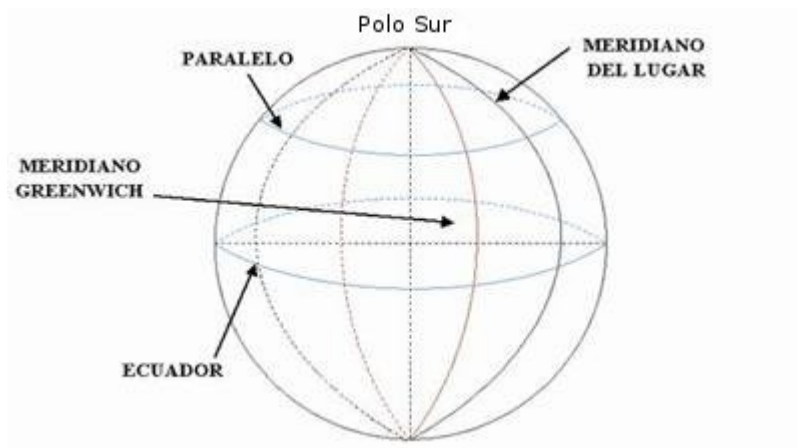
La medición del tiempo se basa en la rotación de nuestro planeta Tierra sobre su eje y en la traslación de este alrededor del Sol, es decir, en las observaciones de la rotación diaria de la bóveda celeste y del movimiento anual del Sol.

La rotación de la Tierra sobre su eje transcurre uniformemente, con un periodo igual al de la rotación de la bóveda celeste.

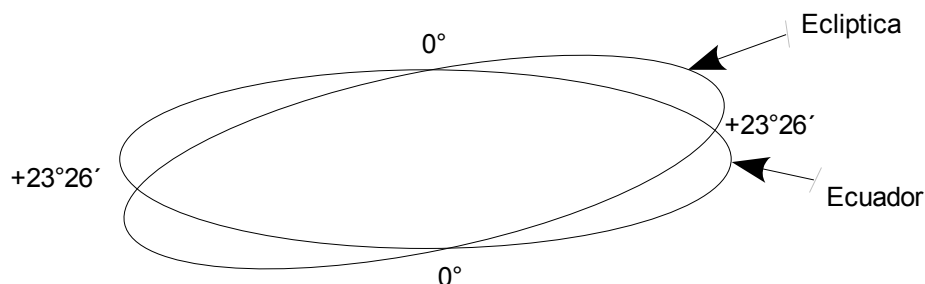
Por esto según el ángulo de giro de la Tierra respecto a cierta posición inicial se puede calcular el tiempo transcurrido.

Como posición inicial de la Tierra se toma el momento del paso del plano del meridiano terrestre del lugar de observación a través de un punto elegido del cielo.

Recuerde que:  
**Meridianos** son semicircunferencias máximas que pasan por los polos. **Paralelos** son circunferencias máximas perpendiculares a los meridianos y paralelas al ecuador.



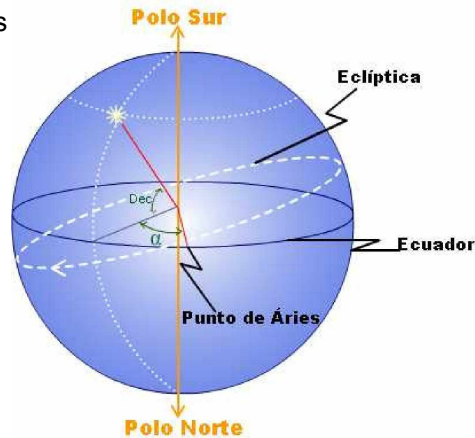
Midiendo la altura del Sol a mediodía (a su distancia hasta el zenith) en una misma latitud geográfica, se pudo verificar que la **declinación** ( $\delta$ ) de nuestra estrella a lo largo de un año varía en los siguientes límites: desde  $+23^{\circ}26'$  hasta  $-23^{\circ}26'$  pasando dos veces al año por el cero. Veamos el siguiente gráfico:



Recordemos la definición de la declinación ( $\delta$ ) y la ascensión recta ( $\alpha$ ) aclarados en la gráfica:

Midiendo la **ascensión recta** del Sol durante el transcurso de un año se ha visto que ésta varía gradualmente desde  $0 [^\circ]$  hasta  $360 [^\circ]$ , o lo que es lo mismo: desde  $0 [h]$  hasta  $24 [h]$ .

Examinando la variación constante de ambas coordenadas del Sol ( $\delta$ ,  $\alpha$ ) se ha evidenciado que el mismo se desplaza de occidente a oriente en la bóveda celeste a través del círculo máximo conocido como la **eclíptica**, cuyo plano está inclinado respecto al plano del **Ecuador Celeste** en un ángulo igual a  $+23^\circ 26'$ .



La Eclíptica se intersecta con el Ecuador Celeste en dos puntos:

- Punto de *Equinoccio de Primavera* (Hemisferio Norte) = *Equinoccio de Otoño* (Hemisferio Sur) = Punto de Aries ( $\sim 21$  de Marzo)
- Punto de *Equinoccio de Otoño* (Hemisferio Norte) = *Equinoccio de Primavera* (Hemisferio Sur) ( $\sim 23$  de Septiembre)

En el *Equinoccio de Primavera* el Sol cruza la línea del Ecuador Celeste pasando del Hemisferio Austral (Sur) de la Esfera Celeste al Hemisferio Boreal (Norte).

En el *Equinoccio de Otoño* el Sol cruza la línea del Ecuador Celeste pasando del Hemisferio Boreal (Norte) de la Esfera Celeste al Hemisferio Austral (Sur).

Los puntos de la Eclíptica que distan  $90^\circ$  de los puntos de equinoccio se denominan:

- Punto de *Solsticio de Verano* en el Hemisferio Norte = Solsticio de Invierno en el Hemisferio Sur ( $\sim 22$  de Junio)
- Punto de *Solsticio de Invierno* en el Hemisferio Austral = Solsticio de Verano en el Hemisferio Sur ( $\sim 22$  de Diciembre)

¿Cómo varían las coordenadas ecuatoriales del Sol durante su movimiento por la eclíptica?

Cuando el Sol se encuentra en el punto del equinoccio de primavera, su ascensión recta ( $\alpha$ ) y su declinación ( $\delta$ ) son iguales a cero, luego, cada día,  $\alpha$  y  $\rho$  van en constante aumento. Los rangos de ambas coordenadas, como sabemos, son:

$$-23^\circ 26' < \delta < +23^\circ 26'$$

$$0^\circ < \alpha < 360^\circ \text{ o lo que es lo mismo: } 0 [h] < \alpha < 24 [h]$$



## FÍSICA – FCPN – UMSA

---

Repasemos. Cuando el Sol llega al:

- punto de Solsticio de Invierno (Hemisferio Sur),  $\alpha$  será igual a  $90[^\circ] = 6 [h]$  y  $\delta$  alcanza el valor máximo de  $+23^\circ 26'$ , luego  $\delta$  comienza a disminuir mientras que  $\alpha$  continua creciendo.
- punto del Equinoccio de Primavera (Hemisferio Sur),  $\alpha$  será igual a  $180[^\circ] = 12 [h]$  y  $\delta = 0^\circ$ .
- punto de Solsticio de Verano,  $\alpha$  será igual a  $270[^\circ] = 18 [h]$  y  $\delta = -23^\circ 26'$ .
- punto de Equinoccio de Otoño,  $\alpha$  será igual a  $360[^\circ] = 24 [h]$  y  $\delta = 0^\circ$

### Ángulo Horario ( $t$ ), Tiempo Sideral, Tiempo Solar Medio

Recuerde que... El Sistema Ecuatorial Local se emplea para la determinación del tiempo exacto. El plano fundamental es el ecuador celeste y las coordenadas son el ángulo Horario ( $t$ ) y la declinación ( $\delta$ ). 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:

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

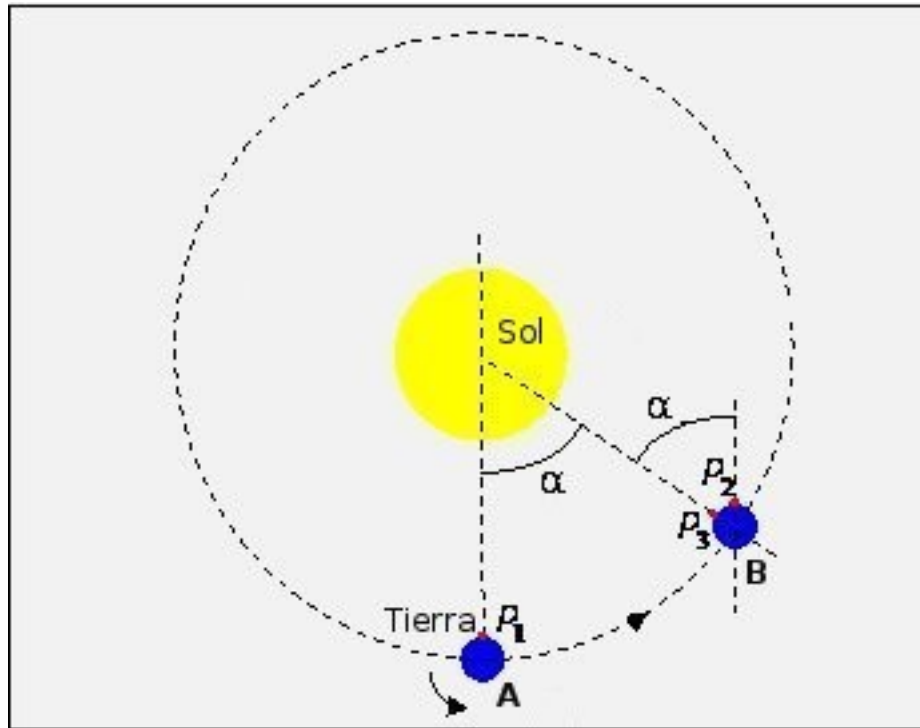
La unidad fundamental usada para medir el tiempo es el *día* cuya duración depende del punto elegido en el cielo o la esfera celeste. En astronomía los puntos elegidos son:

- El punto de equinoccio de primavera.
- El Sol medio, que es la posición media del Sol (del centro del Sol) vista desde cualquiera meridiano terrestre.

Las dos unidades de tiempo determinadas por estos puntos se denominan respectivamente: *Día sidéreo* y *Día solar medio*, y en consecuencia el tiempo que se mide con estas unidades se denomina: Tiempo sidéreo y Tiempo solar medio

Es fundamental señalar que estas diferentes denominaciones del tiempo, pertenecen a un mismo tiempo real, que existe. Es decir, no existen tiempos diferentes de ninguna clase, solo hay distintas unidades de medida del tiempo y diferentes sistemas de cálculo.

Veamos con más detalle, analizando el siguiente gráfico, las diferencias entre el día sideral y el día solar medio.



Cuando la Tierra ha completado una revolución ( $360^\circ$ ) con respecto a su eje polar habrá cambiado de la posición **A** a la posición **B**, debido a su movimiento de traslación alrededor del Sol y el punto  $P_1$  estará en  $P_2$ . Ese tiempo empleado es conocido como *día sideral*. El día sideral tiene una duración de 23h 56m 04s.

Para completar un día solar medio la tierra debe girar todavía el ángulo  $\alpha$  hasta que  $P_1$  llegue a estar en la posición  $P_3$ . Ese tiempo empleado es conocido como *día solar medio* y tiene una duración de 24h 00m 00s. Es el tiempo más usado en la vida diaria para todos los asuntos cotidianos.

El **día sideral** y el **día solar medio** se definen mediante el uso de dos sistemas: el Sistema Ecuatorial Local y el Sistema Ecuatorial Celeste.



## FÍSICA – FCPN – UMSA

---

### Ejemplo

1)

a) Encuentre la velocidad angular de la Tierra con respecto a su eje de rotación.

Solución.-

Recordemos que la velocidad angular está dada por:

$$\omega = \frac{\theta \text{ [rad]}}{t \text{ [s]}}$$

Por ejemplo para  $\theta = 2\pi \text{ [rad]}$  (una revolución), el tiempo  $t$  será igual al Periodo,  $P$  [s], es decir:

$$\omega = \frac{2\pi \text{ [rad]}}{P \text{ [s]}}$$

Sin embargo estaría mal si usamos en esta última ecuación el periodo igual a 86400 [s] por que esta cantidad de tiempo corresponde a un *día solar medio* (= 24 [h] = 24 × 3600 [s] = 86400 [s]).

El periodo de revolución de nuestro planeta es, como se dijo, ligeramente menor a los 86400 [s], su valor medido es 86160 [s]. Por lo tanto la velocidad angular buscada será:

$$\omega = \frac{2\pi \text{ [rad]}}{P \text{ [s]}} = \frac{2\pi \text{ [rad]}}{86160 \text{ [s]}} = 0,000072925 \frac{\text{[rad]}}{\text{[s]}}$$

b) Estime la diferencia en segundos entre el periodo de un día sidereal y de un día solar medio.

Solución.-

La Tierra completa su órbita alrededor del Sol en unos 365 días, lo cual significa que el ángulo correspondiente a un día es:

$$\frac{360[^\circ]}{365[d]} = 0,98630137 \left[ \frac{^\circ}{d} \right] \times \frac{\pi \text{ [rad]}}{180[^\circ]} = 0,01745 \text{ [rad]}$$

Por tanto el tiempo se lo puede calcular de la relación:

$$t = \frac{\theta \text{ [s]}}{\omega} = \frac{0,01745}{0,000072925} \text{ [s]} = 239,3033 \text{ [s]}$$

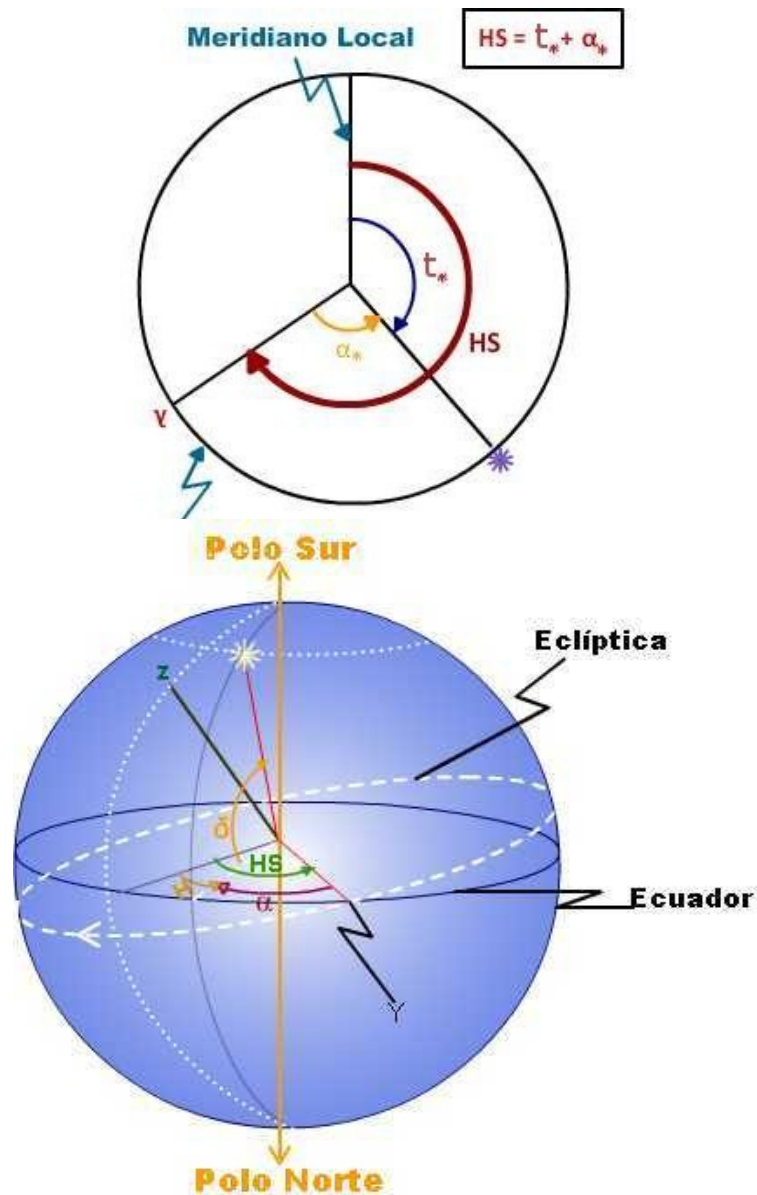
Es decir, un día sidereo es unos 239,3 [s] más corto que un día solar medio.

---

La **hora sideral** (HS) es el ángulo horario del punto de Aries (el punto del Equinoccio de Otoño en nuestro hemisferio: ~21 e Marzo). Puede ser medido a partir de cualquier estrella, conociendo el ángulo horario de la estrella y su ascensión recta, mediante:

$$HS = t_* + \alpha_*$$

Estos conceptos quedan aclarados en las siguiente gráficas (el subíndice \* indica *del astro*):



z indica el Zenith; además en este último gráfico:  $H = t$ , el Ángulo Horario.





## Tiempo Local

Es el tiempo medido en un mismo meridiano geográfico. Se denomina también *tiempo local* u *hora local* de ese meridiano  $T_m$ . Para todos los lugares en un mismo meridiano geográfico la hora local (siderea o solar) es igual en un mismo momento. Por ejemplo si en Sucre, Bolivia o cualquier ciudad Boliviana, son las 15:00, esa misma hora se da en Caracas, Venezuela y en Nueva York, EEUU por que compartimos el mismo meridiano.

## Tiempo Universal

El tiempo Solar Medio local del meridiano de Greenwich (meridiano de origen) se denomina *Tiempo Universal*  $T_0$ .

El tiempo local medio de cualquier punto en la Tierra siempre es igual al tiempo universal en este momento más la longitud geográfica del punto dado, expresada en medida horaria y tomada como positiva hacia el este de Greenwich y negativa al Oeste. Es decir:

$$T_m = T_0 \pm \lambda$$

Para Bolivia  $\lambda = -4[h]$ .

Por ejemplo, si en Greenwich son las 18:00 [h] en Bolivia son las 14:00 [h]

En los calendarios astronómicos los momentos de la mayoría de los fenómenos se indican por el tiempo Universal  $T_0$ . Los momentos de estos fenómenos por el tiempo local del meridiano  $T_m$  cuya longitud geográfica es conocida.

En 1884 se propuso el **Sistema de Cómputo del Tiempo** que en esencia dice: El cómputo del tiempo solamente se efectúa en los 24 meridianos geográficos básicos o fundamentales, situados unos con respecto a otros exactamente cada  $15^\circ$  o cada hora de longitud, aproximadamente en el centro de cada *uso horario*. Se denominan usos horarios a las partes de la superficie terrestre en las que, convencionalmente, ésta queda dividida por las líneas que van desde su polo Sur hasta su Polo Norte y que distan de los meridianos básicos (fundamentales) aproximadamente  $7,5^\circ$ .

Estas líneas de los usos horarios, solamente siguen con exactitud los meridianos geográficos en los océanos, así como en los lugares no poblados de la tierra firme.

En su extensión restante dichas líneas pasan por las fronteras estatales, administrativo-económicas o geográficas, apartándose del meridiano correspondiente hacia uno u otro lado.

## Calendario

El sistema de conteo de distintos intervalos de tiempo, se denomina *calendario*. Durante la historia de la humanidad se elaboraron numerosos y distintos sistemas de calendarios: solares, lunares, combinados, etc. El calendario moderno es Solar. Un ejemplo de calendario lunar es el musulmán.

La unidad fundamental de medida del tiempo de los calendarios solares es el **año trópico** que tiene 365,2422 días solares medios. Es decir:  $365,2422 [d] = 365^d 5^h 48^m 46^s$



## FÍSICA – FCPN – UMSA

Se denomina año trópico al intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos del centro del Sol a través del punto del equinoccio de primavera. El valor dado fue obtenido después de muchos años de observaciones.

### Calendario Juliano

Calendario elaborado por el astrónomo de Alejandría Sosígenes e introducido en el año 46 a.d.n.e.. La duración del año se considera igual a 365 días solares medios en el transcurso de tres años consecutivos, y cada cuarto año contiene 366 días.

Los años con duración de 365 días se denominan *comunes* y los que duran 366 días se llaman *bisiestos*. En el calendario juliano son bisietos aquellos años cuyos números se dividen exactamente por 4. En el año bisiesto febrero tiene 29 días, y en el año común, 28.

De este modo, la duración del año en el calendario juliano durante 4 años es igual a 365,25 días solares medios.

Esta duración es concida como el **año civil**, es decir, este año tiene una duración de

$$365,25[d] = 365^d 6^h 0^m 0^s$$

### Ejemplo

Cual es el año más largo (civil o tropical) y en cuanto?

Solución.-

El año civil es más largo que el año trópico:  $365,25 - 364,2422 = 0,0078 [d]$   
Aparentemente es una diferencia insignificante, sin embargo, la cuenta del tiempo con años julianos durante 128,2 [a] dará una discrepancia con la cuenta de años trópicos aproximadamente de 1 día, y dentro de 384 años la diferencia será de unos 3 días. Veamos a continuación las consecuencias.

### Calendario Gregoriano

Este calendario suge como resultado de la reforma del calendario Juliano. Fue realizada en 1582 por el papa Gregorio XIII.

Resulto ser que la discrepancia antes señalada del calendario Juliano con la cuenta en años trópicos esa incómoda para el sistema cronológico eclesiástico. De acuerdo con las reglas de la iglesia católica – cristiana la Fiesta de la Pascua debía comenzar en el primer domingo después del equinoccio de primavera en el hemisferio norte (equinoccio de otoño en nuestro hemisferio: 21 de Marzo), fecha propuesta en el año 325 a.c. Por *Concilio de Nicea* quien aconsejo a los romanos de establecer la fecha a partir del equinoccio de primavera.

En 1582, es decir, transcurridos 1257 años, el día del equinoccio de primavera (HN) coincidía con el 11 de marzo. Este paso del día del equinoccio de primavera (en un día cada 128 años) a fechas más tempranas provocaba confusiones e incertidumbre en la determinación del día de la Pascua y de otras fiestas religiosas.



## FÍSICA – FCPN – UMSA

Gregorio XIII, basado en los estudios del astrónomo – matemático Antonio Lino, estableció que:

- (a) Después del 4 de Octubre de 1582 se debía pasar no al 5 sino al 15 de Octubre
- (b) No considerar en el futuro bisiestos aquellos años del siglo en los que el número de centenas no se divide exactamente por 4, es decir: 1700, 1800, 1900, 2100, etc.

### Ejemplo

Hace falta reformar el calendario Gregoriano nuevamente hoy en día?

Solución.-

Con el punto (b) propuesto por Gregorio XIII se establece que la duración del año civil en el término medio de 384 años sería igual a 365,2425 días solares medios. De este modo el año civil se convirtió en un año más largo que el año trópico solamente en 0,0003 días, y la cuenta del tiempo por el calendario Gregoriano y por los años trópicos dará una discrepancia de 1 día tan solo al cabo de  $1/0,0003 \approx 3333$  años. Por este motivo el perfeccionamiento ulterior del calendario Gregoriano no tiene sentido, al menos hoy en día.

### **Día Juliano**

Para conocer un dado intervalo de tiempo, en un sistema de computo de tiempo como el sidéreo o el solar, etc. simplemente se debe contar el número de días en el calendario usado. Sin embargo es importante tener en cuenta los años bisiestos.

Si los espacios de tiempo son grandes, esto trae cierta inseguridad en los cálculos, es por ese motivo que en Astronomía se han introducido los *días Julianos*.

Así se conocen a los días que se cuentan interrumidamente desde el 1º de Enero del año 4713 a.d.n.e.

Por ejemplo, al investigar las estrellas variables (estrellas cuyo brillo es fluctuante en el tiempo) se resuelve más comodamente por medio de días julianos.

El comienzo de cada día Juliano se considera el mediodía de Greenwich.

### Ejemplo

El mediodía en Greenwich del 14 de Abril de 2008 se expresa en días Julianos con el número 2454571.



### **Practica**

- a) Investigar
  - i) Trópico de Capricornio
  - ii) Trópico de Cancer
- b) Cuanto vale la distancia zenital y la altura de un astro en el momento en que:
  - i) Sale por el horizonte?
  - ii) Se pone en el horizonte?
- c) Es cierto que:
  - i) Todos los astros salen por la parte oriental del horizonte y se ponen por la parte occidental?
  - ii) El punto de intersección del astro con la parte oriental del horizonte se denomina *punto de salida del astro*?
  - iii) El punto de intersección del astro con la parte occidental del horizonte se denomina *punto de puesta del astro*?
- d) Calcule la velocidad angular de las tres manecillas de un reloj.
- e) Calcule la velocidad angular de la Luna. Tenga en cuenta que La luna realiza una revolución completa en 28 días y que la distancia promedio Tierra – Luna es 384000 [km].
- f) Verifique que la cantidad de días Julianos al mediodía del 14 de Abril de 2008 en el meridiano de Greenwich es de 2454571.

Sabias que...?

- Uno de los directores del Observatorio de Greenwich, en Inglaterra, fue Edmund Halley (1656 – 1752), astrónomo inglés que fue el primero en calcular la órbita de un cometa.
- Actualmente el Observatorio de Greenwich, fundado en 1675, es un museo.