

## ***4. Tiempo***

El tiempo es de gran importancia para la Geodesia. Muchas de las observaciones geodésicas están basadas en la medición de tiempos de vuelo de ondas electromagnéticas; y es fundamental disponer de una escala de tiempo uniforme para modelar los movimientos de un satélite artificial.

### ***4.1 Tiempo Sidereo y Tiempo Universal***

El movimiento de rotación de la Tierra representa una forma natural de medir el tiempo. En astronomía y geodesia se introducen sistemas de tiempo que permiten vincular las observaciones realizadas desde la Tierra con algún sistema no-rotacional (fijo en el espacio).

La Tierra rota dentro de la esfera celeste y un meridiano terrestre proyectado gira entre las estrellas a un ritmo de una vuelta completa cada 24 horas SIDEREAS. Oportunamente volveremos sobre la diferencia entre horas sidéreas y solares, pero por el momento resulta muy clara la idea de que una rotación completa de la Tierra sobre su eje queda reflejada por el movimiento de sus meridianos entre las estrellas, por esa razón a este intervalo de tiempo lo llamaremos día sidéreo.

Si razonamos a la inversa, y nos paramos en un meridiano terrestre, veremos girar la esfera celeste sobre nuestra cabeza a un ritmo de 24 horas sidereas por cada rotación completa.

Es evidente que para un observador sobre la Tierra es fundamental poder asociar la coordenada celeste  $\alpha$ , con la hora que marcará la posición de un meridiano determinado entre las estrellas.

**TSL (Tiempo Sidereo Local) =  $t_\gamma$  (ángulo horario del punto vernal)**

TSG (TS en Greenwich)

$$\lambda = \text{TSL} - \text{TSG}$$

En cada caso podemos hablar de Tiempo Sidereo aparente o medio, dependiendo que hayamos considerado la nutación o la precesión.

En relación a las coordenadas del objeto:

$$\text{TSL} = t(*) + \alpha(*)$$

Supongamos que tenemos un reloj de tiempo sidéreo que acumula 24 hs. al cabo de una rotación completa de la Tierra. Ese reloj empieza a funcionar cuando el equinoccio vernal pasa sobre el meridiano del observador y acumulará 24 hs. cuando el mismo punto vuelva a pasar al día siguiente. La hora de tal reloj nos indica cuanto tiempo ha transcurrido desde que el equinoccio pasó por el meridiano y ese tiempo se denomina tiempo sidereo local TSL.

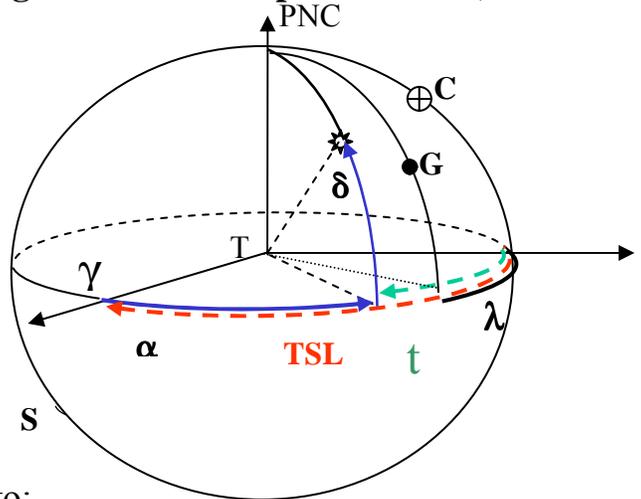
Si quisiéramos saber cuanto tiempo ha transcurrido desde que pasó una estrella cualquiera, simplemente tenemos que restar al TSL la  $\alpha$  de la estrella lo que nos dará una medida que llamaremos ángulo horario local de la estrella AHL que nos indica precisamente su posición con respecto al meridiano local.

Dicho de otra forma:

- Disponemos de un reloj de Tiempo Sidereo Local, luego, en todo momento conocemos TSL.

- Conocemos las coordenadas  $\alpha$  y  $\delta$  del astro que deseamos ubicar en el cielo.

- Podemos calcular el ángulo horario del astro para el instante en que lo vamos a apuntar con un telescopio como:

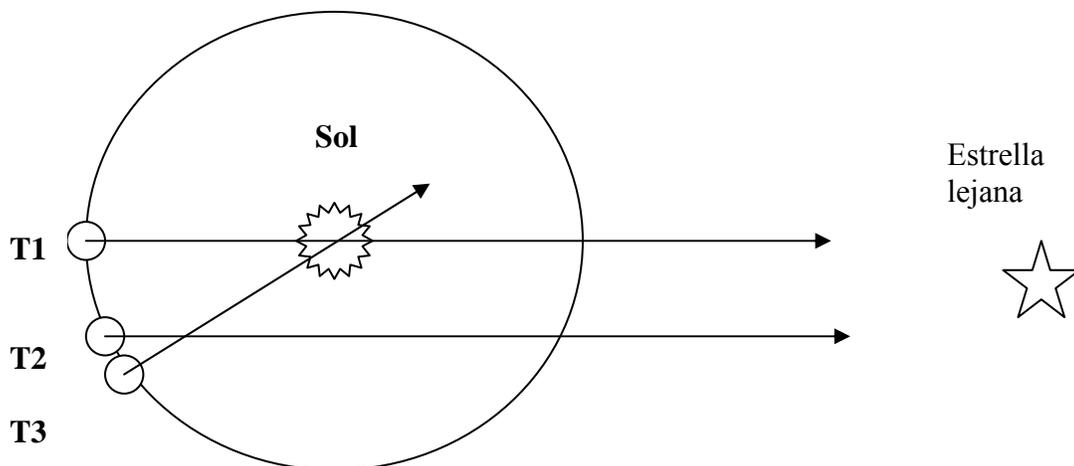


$$t = \text{TSL} - \alpha$$

Esta medida nos indica a que distancia está el astro del meridiano local.

En un telescopio con montura ecuatorial, es decir, con un eje principal paralelo al eje de rotación de la Tierra, la declinación  $\delta$  se puede “calar” (apuntar) directamente, mientras que la coordenada restante es el ángulo horario local AHL, que se calcula para el instante en que vamos a apuntar el telescopio. Inmediatamente de localizado el objeto en el campo del telescopio, este se mueve alrededor del eje principal movido por un motor controlado por el reloj sidéreo de manera que el telescopio sigue al astro sin necesidad de intervención del observador.

Al mismo tiempo que rota sobre sí misma, la Tierra se traslada en el espacio moviéndose en una órbita casi circular alrededor del Sol. El fenómeno visible más notable que se origina por la rotación es la sucesión de los días y las noches. Con respecto a la traslación, es la causante de las estaciones. Dos fenómenos en principio separables e independientes.



En la figura aparecen representadas tres posiciones de la Tierra (T1, T2 y T3) a lo largo de su trayectoria de traslación alrededor del Sol. En la posición T1, el Sol y una determinada estrella lejana aparecen alineadas. Para el punto sobre la Tierra que se encuentra alineado también en ese instante, será el mediodía verdadero ya que tendrá al Sol exactamente en el Cenit.

Supongamos que 24 hs. sidéreas después, el mismo punto de la Tierra se vuelve a alinear con la misma estrella. Pero la Tierra se ha trasladado de la posición T1 a la posición T2, y como consecuencia de esta traslación el Sol no está alineado en el mismo instante.

Para que el Sol vuelva a pasar por encima del mismo punto de la Tierra, es necesario un pequeño giro adicional, y en ese intervalito la Tierra pasa a la posición T3.

El intervalo de tiempo entre las posiciones T1 y T2 equivale a una rotación completa de la Tierra con respecto a las estrellas (1 día sidéreo = 24 hs. sidéreas).

El intervalo de tiempo entre las posiciones T1 y T3 equivale a una rotación completa de la Tierra con respecto al Sol (1 día solar = 24 hs. solares).

Si analizamos cuidadosamente lo que ocurre a lo largo del año, resulta evidente que el tiempo sidéreo se va adelantando al tiempo solar. Como sabemos, un año tiene aproximadamente 365 días solares, en ese mismo intervalo se producen 366 días sidéreos. De ese razonamiento podemos calcular que:

**365 días solares => mismo intervalo de tiempo =>366 días sidéreos**

**1 día solar = 366/365 días sidéreos = 1.0027 días sidéreos**

**Esto quiere decir que 1 día sidéreo es aproximadamente 3 min 56 seg más corto que un día solar, y es acumulativo día tras día.**

Este fenómeno es trascendente y su comprobación está a nuestro alcance, simplemente observando cuidadosamente que las estrellas salen un poco más temprano todos los días. A lo largo de varios días veremos como todo el cielo estrellado observado a una hora (solar) determinada se va corriendo hacia el Oeste. Esto produce el cambio de constelaciones que podemos observar a lo largo del año.

El tiempo solar es utilizado para la vida diaria. Se relaciona con la ubicación del sol con referencia al meridiano local.

## **El Tiempo Solar ( $T_{\oplus}$ ) = $t_{\oplus}$ + 12 hs**

Debido a que el movimiento del sol sobre la eclíptica no es uniforme, se genera un “sol ficticio” que se mueve a velocidad constante sobre el ecuador y que encuentra el sol verdadero en los equinoccios.

## **Tiempo Solar Medio ( $T_{\oplus m}$ ) = $t_{\oplus m}$ + 12 hs**

$$T_{\oplus m} = TU + \lambda \qquad TU : \text{Tiempo Universal} \equiv T_{\oplus m} \text{ (Greenwich)}$$

Formalizando todo lo dicho en relación con la medida del tiempo podemos decir que 1 día sidéreo es el intervalo que media entre dos pasos sucesivos del equinoccio por el meridiano del observador.

Del mismo modo, 1 día solar es el intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos del Sol por el meridiano del observador. Como se puede deducir, ambas escalas de tiempo se dicen “rotacionales” porque se miden teniendo como base un fenómeno natural repetitivo y medible: la rotación de la Tierra.

A modo de comentario, corresponde agregar que ninguno de estos tiempos es uniforme, porque el “reloj Tierra” presenta pequeñas irregularidades en su rotación (fracciones de segundo).

En el caso del tiempo solar, definido de la manera simple en que lo hicimos, presenta irregularidades de varios minutos en distintas épocas del año producto entre otras cosas de la elipticidad de la órbita de la Tierra. Estas irregularidades pueden calcularse satisfactoriamente mediante la llamada “Ecuación del Tiempo” que permite transformar al tiempo solar verdadero en un “tiempo solar medio” que se parece mucho al tiempo que llevamos en nuestros relojes.

### ***4.2 Tiempo atómico y la hora oficial***

Como hemos visto, para construir una escala de tiempo es necesario disponer de algún fenómeno natural o artificial que tenga características de “repetitivo y medible”. Por ejemplo, un péndulo es un buen ejemplo de tal fenómeno: el movimiento se repite, y podemos definir una unidad de tiempo en base a un número de oscilaciones que podemos contar (medir).

Durante siglos, los relojes de péndulo sirvieron para conservar el tiempo, y en los Observatorios Astronómicos se realizaban las observaciones necesarias para corregir esos relojes en base a la observación del tiempo sidéreo y el tiempo solar materializados por el movimiento de las estrellas y el Sol respectivamente. Es decir, que el reloj Tierra permitía corregir el reloj mecánico (de péndulo o de cuerda) y así la hora que cada país adoptaba era controlada astronómicamente.

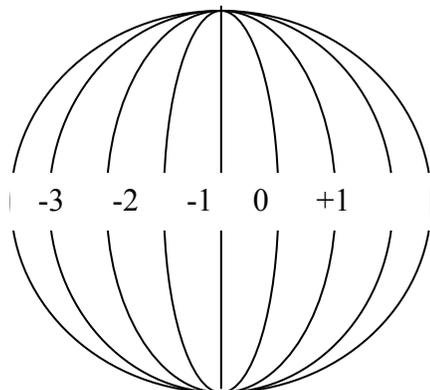
En los años cuarenta y cincuenta se desarrollaron primero los relojes de cuarzo basados en las oscilaciones de los cristales de ese material, y luego los relojes atómicos, basados en un fenómeno atómico que permite controlar las oscilaciones de un reloj electrónico.

Estos relojes alcanzaron rápidamente un nivel de estabilidad (y de uniformidad) que superaba al del “reloj Tierra” y permitía medir sus irregularidades.

En la actualidad, nuestros servicios de hora oficiales (en Argentina, el diseminado por el Observatorio Naval Buenos Aires) están basados en la escala de Tiempo Atómico Internacional, muy próxima del Tiempo Solar en el meridiano de Greenwich.

#### Sobre Husos y Costumbres:

Para adaptar la hora de cada país a su longitud, se adopta un sistema de franjas (husos) que particionan imaginariamente al planeta en 24 zonas cada una de las cuales difiere de la siguiente en 1 hora:



Si en el meridiano de Greenwich es una hora cualquiera, los países que se encuentran en el Huso 1 (hacia el Oeste) tienen una hora menos (más temprano), mientras que los que están al Este tienen una hora más, y así sucesivamente a medida que nos alejamos en una u otra dirección, las diferencias horarias se incrementan.

Por ejemplo, a nuestro país le correspondería el huso 3. Es decir que por estar al Oeste deberíamos tener 3 horas menos que en Greenwich ( a las 12 GMT deberíamos tener las 9). En Alemania, que está al Este de Greenwich debería tener una hora más, para el caso las 13.

No obstante, cada país adopta el huso que mejor le convenga según sus propias costumbres. En Argentina habitualmente nos manejamos con el huso 3, pero periódicamente revivimos la polémica:

Huso 3 vs. Huso 4:

Algunos conceptos complementarios:

- Que sentido tiene la división aceptada internacionalmente de franjas (husos) horarias de 1 hora ?

Exactamente en el centro de cada franja se da la situación particular que la mitad de la noche verdadera (es decir, del intervalo entre la puesta del sol y la salida al día siguiente) se produce aproximadamente a la hora 0.

Dicho de otro modo, entre la hora de puesta del sol y la hora 0, pasa aproximadamente el mismo tiempo que entre las 0 y la salida del sol.

Veamos que pasaría en La Plata cuya longitud al Oeste de Greenwich es muy próxima a 4 hs, si se adoptara el huso 4:

el 1ero de julio el sol se pondría a las 16 hs 51 min y saldría al día siguiente a las 7 hs, es decir que el intervalo entre la puesta y la 0 hs es de 7 hs. 9 min.

Y entre las 0 hs y la salida del sol, de 7 hs.

Se daría en esta situación la “simetría de la medianoche verdadera” que establece la convención de husos horarios internacionales.

- Cual ha sido la situación habitual ?

En los últimos años nuestros relojes han estado en huso 3. Esto produce una asimetría respecto de la hora 0 porque es menor el intervalo que media entre esta hora y la puesta del sol, que el que transcurre entre las 0 hs y el amanecer.

- Que es lo correcto ?

Lo correcto es que adoptemos aquella hora que mejor se ajuste a las costumbres:

Si nos gusta ponernos en actividad plena temprano, y volver a casa también temprano, deberíamos adoptar el huso 4 que producirá el efecto deseado: “el sol saldrá antes”.

Si por el contrario preferimos empezar nuestras actividades un poco más tarde a la mañana, estirar el regreso a casa, cenar a las 22 y acostarnos casi a medianoche, el huso 4 producirá el efecto contrario, tendremos una larga noche invernal que comenzará aproximadamente a las 17 hs.

- Estos razonamientos son válidos para todo el país ?

No, esta forma de pensar es válida al Este de Argentina. Efectivamente para las provincias cordilleranas, el huso 3 en el que hemos estado habitualmente es muy inapropiado porque amanece muy tarde.

Muchos países cuya extensión en el sentido Este – Oeste es importante, adoptan distintas horas por región.

Esta es la solución más racional desde un punto de vista abstracto. Adoptar el huso horario 4 durante el invierno solo en las provincias del Oeste.

Seguramente habrá conflictos con aquellas empresas que tienen sistemas u organizaciones nacionales. No obstante cabe imaginar que las mismas tendrán suficientes recursos técnicos para resolver el problema.

### ***4.3 El Tiempo Universal Coordinado***

El Tiempo Atómico, como hemos visto, no depende para nada de la rotación terrestre. El razonamiento del ítem anterior en relación con la necesidad que las definiciones científicas guarden relación y se adapten a la vida del hombre también se aplica a este caso.

El Tiempo Atómico es perfectamente uniforme y la rotación de la Tierra no. No obstante nuestra vida se rige por la rotación de la Tierra, desarrollamos nuestras actividades en función de la sucesión de los días y las noches.

Para evitar un apartamiento no deseado entre el Tiempo Atómico y el Tiempo Solar se emplea el Tiempo Universal Coordinado, que es una escala de tiempo que marcha como el tiempo atómico, pero que está sujeto a saltos de 1 segundo entero para que no se aparte del Tiempo Solar en más de 0.9 de segundo.

Esta es la razón por la que a veces leemos la noticia que todos los relojes del mundo se atrasan 1 segundo a las 12 de la noche del 30 de junio o el 31 de diciembre.

De manera que la hora que tenemos en nuestros relojes se rige por esta escala de Tiempo Universal Coordinado simplemente corregida un número entero de horas en función del huso horario adoptado.