

127.—Para dar una idea del modo de determinar las longitudes geográficas, supongamos que se mida la distancia zenital de un astro que, como la luna, varíe rápidamente de ascensión recta, y sea  $\delta$  su declinación en el instante  $T$  en que se observe, y  $\varphi$  la latitud del lugar. Con los elementos  $\varphi$ ,  $\delta$  y  $z$  podremos calcular su ángulo horario  $h$  por las fórmulas (2), y entonces la relación (1) dará su ascensión recta á la hora  $T$  de la observación. Si en seguida por medio de las Tablas astronómicas se calcula la hora  $T'$  de otro lugar de la tierra, por ejemplo, de Greenwich, á la cual tenía la luna la ascensión recta observada  $\alpha = T - h$ , la diferencia de horas  $T' - T$  expresará en tiempo, la longitud de la estación; porque esta coordenada no es otra cosa más que la diferencia de horas que se cuentan en dos lugares de la tierra en un mismo instante físico, como es aquel en que un astro adquiere una posición determinada.

Tales son, en resumen, las aplicaciones prácticas más frecuentes de la Astronomía; y aunque las resoluciones de estos problemas están muy lejos de ofrecer la extremada sencillez con que las he presentado, siempre considero ventajoso formarse desde el principio una idea general de su objeto, porque de esa manera se fijará más la atención en los detalles correspondientes á cada una de las operaciones. Estos detalles, la preparación de los datos, sus diversas correcciones, el uso de la Efemérides y las modificaciones de que, en determinadas circunstancias, es susceptible el formulario mismo que antes he expuesto, formarán el principal objeto de los Capítulos siguientes.

## CAPITULO II.

### DE LA MEDIDA DEL TIEMPO.

128.—Hemos dado á conocer el día sideral, que es el espacio de tiempo que transcurre entre dos pasos sucesivos de una estrella por el meridiano, y dijimos también que se cuenta desde el instante del tránsito del punto equinoccial, origen de las ascensiones rectas. Esta unidad de tiempo se divide en 24 horas siderales; cada una de estas en 60 minutos; cada minuto en 60 segundos, etc. En la Astronomía se hace un uso continuo del tiempo sideral; pero también se emplea con mucha frecuencia el solar y, por consiguiente, importa establecer la relación exacta que existe entre estas dos especies de tiempo. Antes de hacerlo, sin embargo, recordemos que el día solar puede ser de tiempo *verdadero* y de tiempo *medio*. El primero es determinado por dos tránsitos sucesivos del sol verdadero por el meridiano; y el segundo por los de un astro ficticio, llamado *sol medio*, que se supone recorrer una órbita circular con un movimiento uniforme, é igual en magnitud á la velocidad media de sol verdadero. Se sabe, en efecto, que este último astro recorre aparentemente una órbita elíptica, aunque poco excéntrica, con una velocidad algo variable, lo cual da por resultado una pequeña desigualdad en la duración de los días solares verdaderos; y como esas diferencias serían difíciles de imitar en las máquinas que sirven para medir el tiempo, tales como los péndulos y los cronómetros, los astrónomos han recurrido al artificio del tiempo medio, como más á propósito para ser

medido con aparatos cuya construcción está fundada en la uniformidad del movimiento. La adopción del tiempo medio no puede originar, por otra parte, error alguno respecto de la realidad de las cosas, con tal que en cualquier instante se pueda determinar la diferencia que existe entre una y otra especie de tiempo; porque esta diferencia vendrá á ser una corrección aplicable á las indicaciones de los instrumentos arreglados al movimiento del sol medio ó ficticio.

La diferencia de la hora media á la hora verdadera se llama *ecuación del tiempo*. Si, pues, se representa la primera por *M* y la segunda por *V*, tendremos en general:

$$M = V + E \dots \dots \dots (1)$$

siendo *E* la ecuación del tiempo. Esta cantidad, que apenas excede de un cuarto de hora cuando adquiere su valor máximo, es positiva ó negativa en diversas épocas del año, según que el movimiento irregular del sol verdadero lo hace atrasar ó adelantar respecto del sol medio, dotado hipotéticamente de un movimiento uniforme. El valor de *E* es positivo actualmente desde el 25 de Diciembre hasta el 15 de Abril siguiente, así como desde el 15 de Junio hasta el 31 de Agosto. En todo el resto del año es negativo. En las Efemérides consta su valor para cada día del año, y puede interpolarse, en consecuencia, para un instante cualquiera.

129.—Veamos ahora la manera de calcular la duración del día medio y su relación con el sideral. Como el año trópico, que es el tiempo que transcurre entre dos equinoccios de primavera, tiene una duración de 365.242215 días, se deduce que en ella recorre aparentemente el sol toda su órbita; y que suponiendo uniforme su movimiento, hallaríamos el correspondiente á cada día por la ecuación:

$$x = \frac{360^\circ}{365^{\text{a}}.242215} = \frac{1296000''}{365^{\text{a}}.242215} = 59' 8'' .33$$

Este valor será, por consiguiente, el movimiento diario que se atribuye al sol medio en su órbita, la cual se supone ser el ecuador, de suerte que si un día cualquiera se admite que este astro ocupe la posición *p* grados de la órbita en el momento de su tránsito por el me-

ridiano de un lugar, al día siguiente al llegar á este plano ocupará la posición *p* + 59' 8'' .33. Se concibe entonces que la tierra en su movimiento de rotación ha tenido que girar 360° 59' 8'' .33 para que el meridiano del lugar que se considera haya vuelto á ponerse en la dirección del sol medio. Como, además, el intervalo entre estos dos tránsitos, que es el que constituye el día medio, se divide también en 24<sup>h</sup>, resulta que cada media hora corresponderá á un arco de.....  $\frac{360^\circ 59' 8'' .33}{24}$ , ó igual á 15° 2' 27'' .847.

Desprovistas las estrellas de un movimiento semejante, sólo tiene que girar la tierra 360° para que un meridiano vuelva á coincidir con una estrella fija, lo cual asigna á cada hora sideral un arco de 15° solamente. De aquí se deduce que el tiempo que invierte la tierra en recorrer el arco de 59' 8'' .33 representa el exceso del día medio respecto del sideral; exceso que puede valuarse tanto en tiempo medio como en tiempo sideral. Para lo primero tendremos que si el arco de 15° 2' 27'' .847 corresponde á una hora media, 59' 8'' .33 corresponderá á 3<sup>m</sup>55<sup>s</sup>.90944 de la misma especie de tiempo; y para lo segundo, si 15° corresponden á una hora sideral, el arco de 59' 8'' .33 corresponderá á 3<sup>m</sup>56<sup>s</sup>.55533 de tiempo sideral. Estas duraciones se designan generalmente con el nombre de *aceleración* de las estrellas fijas, porque expresan efectivamente la cantidad de tiempo en que las estrellas parecen anticipar diariamente su tránsito por el meridiano respecto del sol.

De la aceleración 3<sup>m</sup> 55<sup>s</sup> .90944 en tiempo medio, y 3<sup>m</sup> 56<sup>s</sup> .55533 en tiempo sideral, puede deducirse la relación que existe entre ambas especies de tiempo; pues designando en general por *m* una duración cualquiera expresada en tiempo solar medio, y por *s* su equivalente en tiempo sideral, tendremos:

$$\frac{m}{s} = \frac{235^{\text{s}}.90944}{236^{\text{s}}.55533}$$

de donde resultan las dos relaciones:

$$\left. \begin{aligned} m &= 0.9972696 s \\ s &= 1.0027379 m \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

por cuyo medio es fácil convertir intervalos de tiempo sideral en tiempo medio y vice versa. Sin embargo, como estas reducciones son muy frecuentes, y sería molesto recurrir siempre al cálculo directo, se han formado las Tablas que constan en las páginas siguientes, y cuyo uso abrevia notablemente la operación. La primera de estas Tablas tiene por argumento el tiempo medio en horas, minutos y segundos, y al lado de cada cantidad la corrección aditiva para convertir los intervalos correspondientes en tiempo sideral. La segunda, por el contrario, tiene el tiempo sideral por argumento y las correcciones sustractivas que les corresponden.

*Ejemplo.*—Sea  $7^h 19^m 24^s .57$  una duración de tiempo medio que se desea convertir en sideral. Por la primera Tabla se tendrá:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Por $7^h$ .....               | $1^m 8^s 995$                          |
| „ $19^m$ .....                | $3. 121$                               |
| „ $24^s$ .....                | $0. 066$                               |
| „ $0. 5$ .....                | $0. 001$                               |
| „ $0. 07$ .....               | $0. 001$                               |
| <hr/>                         |  |
| Por $7^h 19^m 24^s .57$ ..... | Reducción = + $1^m 12^s 184$           |
|                               | Duración media = $7 19 24.57$          |
|                               | <hr/>                                  |
|                               | Duración sideral = $7^h 20^m 36^s .75$ |

Reduzcamos ahora por la segunda Tabla el intervalo  $7^h 20^m 36^s .75$  de tiempo sideral á tiempo medio.

|                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Por $7^h$ .....               | $1^m 8^s 807$                        |
| „ $20^m$ .....                | $3. 277$                             |
| „ $36^s$ .....                | $0. 098$                             |
| „ $0. 7$ .....                | $0. 002$                             |
| „ $0. 05$ .....               | $0. 000$                             |
| <hr/>                         |                                      |
| Por $7^h 20^m 36^s .75$ ..... | Reducción = - $1^m 12^s 184$         |
|                               | Duración sideral = $7 20 36.75$      |
|                               | <hr/>                                |
|                               | Duración media = $7^h 19^m 24^s .57$ |

Aunque en las Tablas no constan entre los argumentos las frac-

ciones de segundo, se toman las correcciones correspondientes á cada cifra suponiendo que expresa segundos enteros, y se escriben hacia la derecha en el lugar que les corresponde.

130.—Los cálculos precedentes sirven para convertir los *intervalos*, expresados en una especie de tiempo, en los equivalentes expresados en la otra; pero para reducir una hora absoluta de tiempo medio á la sideral que debe contarse en ese instante, ó vice versa, se hace uso de la fórmula  $T = a + h$ , que contiene la relación entre la hora sideral, la ascensión recta de un astro y su ángulo horario. Aplicada al sol medio, siendo  $A$  su ascensión recta y  $H$  su ángulo horario, tendremos, pues:

$$T = H + A$$

y como el ángulo horario del sol medio al Occidente del meridiano no es otra cosa más que la hora media que se cuenta en ese instante, se ve que esta fórmula da desde luego la reducción de una hora á la otra. Si el sol se halla al Oriente del meridiano,  $H$  representa el tiempo que le falta para llegar á este plano, y por tanto la hora media es en ese momento  $H' = 24^h - H$ . Introduciendo este valor de  $H$ , y teniendo presente que el ángulo horario en tal caso es negativo, la ecuación será:  $T = A + H' - 24^h$ . Este resultado indica que subsiste la fórmula primitiva, pues la adición ó la substracción de  $24^h$  no tiene más objeto que el de evitar las horas negativas, ó bien el de no excederse en la fecha del día á que corresponden los datos. Por regla general: siempre que una combinación de horas produzca más de  $24^h$ , debe restarse esa cantidad; y por el contrario, agregarse para no tener horas negativas.

De las consideraciones precedentes se deduce que en todos casos debe tomarse  $T = H + A$  por relación entre las horas media y sideral; pero conviene notar que como la ascensión recta  $A$  del sol siempre expresa tiempo sideral, mientras que  $H$  expresa tiempo medio, resulta que si tomamos por  $A$  la hora sideral que se cuenta en el momento del tránsito del sol, no podrá subsistir la ecuación entre una duración media y las dos siderales  $A$  y  $T$ , á menos que se reduzca  $H$  á esta última especie de tiempo por la adición de la cantidad que

le corresponda, tomada en las primeras de las Tablas de reducción. Esto equivale evidentemente á tomar en cuenta el cambio de la ascensión recta del sol en el tiempo  $H$ , en proporción de su aumento diario de  $3^m 56^s .55$ , ó lo que es lo mismo, á tomar por  $A$  en la fórmula, tal como la hemos escrito, la ascensión recta del sol en el instante  $H$ . Si, pues se toma la que corresponde al momento de su culminación, el valor de  $T$  deberá ser:

$$T = H + A + \text{acel. } (H) \dots\dots\dots (3)$$

representado por  $\text{acel. } (H)$  la corrección que da la Tabla por el intervalo  $H$ , ó sea la parte proporcional de la aceleración.

Calculemos, por ejemplo, la hora sideral que se contaba en México el día 16 de Enero de 1870 á las 9<sup>h</sup> de la mañana. En tiempo astronómico, la fecha y hora que corresponden á ese instante son: 15 de Enero y 21<sup>h</sup>; y como el 15 al pasar el sol por el meridiano de México tenía por ascensión recta  $A = 19^h 40^m 1^s .32$ , según las Efemérides, dispondremos el cálculo como sigue:

$$\begin{array}{r} H = 21^h 00^m 00^s .00 \\ A = 19 \ 40 \ 1 \ .32 \\ \text{acel. } (H) = \quad 3 \ 26 \ .99 \\ \hline T = 16^h 43^m 28^s .31 \end{array}$$

La suma de  $A$  y  $\text{acel. } (H)$  representa la ascensión recta del sol á la hora  $H$ , y en este caso sería de  $19^h 43^m 28^s .31$ .

131.—Si conociendo la hora sideral  $T$  quisiera hallarse la hora media correspondiente, la ecuación primitiva daría  $H = T - A$ ; pero si por  $A$  se toma la ascensión recta del sol en el momento de su tránsito, la diferencia  $T - A$ , sería el ángulo horario  $H$  en tiempo sideral, por indicar esta clase de tiempo  $T$  y  $A$ . Para obtener, pues, el valor de  $H$  en tiempo medio, es preciso restarle la reducción que da la Tabla segunda por el intervalo  $(T - A)$ . Representándola por  $\text{red. } (T - A)$ , tendremos, en consecuencia:

$$H = T - A - \text{red. } (T - A) \dots\dots\dots (4)$$

Para aplicar esta fórmula calculemos la hora media de México el día 15 de Enero de 1870 cuando la sideral era  $T = 16^h 43^m 28^s .31$ .

$$\begin{array}{r} T = 16^h 43^m 28^s .31 \\ A = 19 \ 40 \ 1 \ .32 \\ \hline T - A = 21 \ 3 \ 26 \ .99 \\ \text{red. } (T - A) = \quad - \ 3 \ 26 \ .99 \\ \hline H = 21^h 00^m 00^s .00 \end{array}$$

En este ejemplo fué preciso añadir  $24^h$  á  $T$  para poder efectuar la substracción de la ascensión recta  $A$ .

132.—En las fórmulas (3) y (4) se ha tomado por  $A$  la ascensión recta del sol medio á la hora de su culminación. Este elemento lo suministran las Efemérides para todos los días del año, y está calculado para el instante del paso del sol por el meridiano del lugar para el cual se han formado las mismas Tablas, y que se denomina *primer meridiano* ó *meridiano principal*. Las Efemérides inglesas que tienen por título "*Nautical Almanac*" y las americanas que llevan el mismo nombre, están referidas al de Greenwich, como primer meridiano. Las francesas llamadas "*Connaissance des temps*" se refieren al meridiano de Paris; las españolas al de San Fernando, etc.

No obstante que el origen del día solar medio es el instante en que se supone que el centro del sol medio pasa por el meridiano de un lugar, en las Efemérides se llama ese momento *medio día medio*, así como también se denomina *medio día verdadero* el instante en que culmina el sol real. Sin duda estas denominaciones están derivadas del lenguaje común de los usos civiles, en los cuales se toma generalmente por *día* el espacio de tiempo que permanece el sol sobre el horizonte; y aunque astronómicamente impropias, están, sin embargo, admitidas. Así, pues, las Tablas astronómicas dan la ascensión recta del sol medio para el medio día medio del primer meridiano, y comunmente bajo el título de "*Tiempo sideral á medio día medio*;" porque es, en efecto, la hora sideral que se cuenta al pasar el sol medio por el meridiano. Lo primero que, según esto, debe hacerse para aplicar las fórmulas (3) y (4), es interpolar el valor de  $A$  para el

**TABLA**  
Para reducir intervalos de tiempo medio á intervalos equivalentes de tiempo sideral.  
Argumento: *el tiempo medio.*

| Horas.         | Reducción.                         | Minutos.       | Reducción.          | Minutos.        | Reducción.          | Segunds.       | Reducción.          | Segunds.        | Reducción.          |
|----------------|------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 1 <sup>h</sup> | +0 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup> 856 | 1 <sup>m</sup> | +0 <sup>s</sup> 164 | 31 <sup>m</sup> | +5 <sup>s</sup> 092 | 1 <sup>s</sup> | +0 <sup>s</sup> 003 | 31 <sup>s</sup> | +0 <sup>s</sup> 085 |
| 2              | 0 19 .713                          | 2              | 0. 329              | 32              | 5. 257              | 2              | . 005               | 32              | . 088               |
| 3              | 0 29 .569                          | 3              | 0. 493              | 33              | 5. 421              | 3              | . 008               | 33              | . 090               |
| 4              | 0 39 .426                          | 4              | 0. 657              | 34              | 5. 585              | 4              | . 011               | 34              | . 093               |
| 5              | 0 49 .282                          | 5              | 0. 821              | 35              | 5. 750              | 5              | 0. 014              | 35              | 0. 096              |
| 6              | 0 59 .139                          | 6              | 0. 986              | 36              | 5. 914              | 6              | . 016               | 36              | . 099               |
| 7              | 1 8 .995                           | 7              | 1. 150              | 37              | 6. 078              | 7              | . 019               | 37              | . 101               |
| 8              | 1 18 .852                          | 8              | 1. 314              | 38              | 6. 242              | 8              | . 022               | 38              | . 104               |
| 9              | 1 28 .708                          | 9              | 1. 478              | 39              | 6. 407              | 9              | . 025               | 39              | . 107               |
| 10             | 1 38 .565                          | 10             | 1. 643              | 40              | 6. 571              | 10             | 0. 027              | 40              | 0. 109              |
| 11             | 1 48 .421                          | 11             | 1. 807              | 41              | 6. 735              | 11             | . 030               | 41              | . 112               |
| 12             | 1 58 .278                          | 12             | 1. 971              | 42              | 6. 899              | 12             | . 033               | 42              | . 115               |
| 13             | 2 8 .134                           | 13             | 2. 136              | 43              | 7. 064              | 13             | . 036               | 43              | . 118               |
| 14             | 2 17 .991                          | 14             | 2. 300              | 44              | 7. 228              | 14             | . 038               | 44              | . 120               |
| 15             | 2 27 .847                          | 15             | 2. 464              | 45              | 7. 392              | 15             | 0. 041              | 45              | 0. 123              |
| 16             | 2 37 .704                          | 16             | 2. 628              | 46              | 7. 557              | 16             | . 044               | 46              | . 126               |
| 17             | 2 47 .560                          | 17             | 2. 793              | 47              | 7. 721              | 17             | . 046               | 47              | . 129               |
| 18             | 2 57 .416                          | 18             | 2. 957              | 48              | 7. 885              | 18             | . 049               | 48              | . 131               |
| 19             | 3 7 .273                           | 19             | 3. 121              | 49              | 8. 049              | 19             | . 052               | 49              | . 134               |
| 20             | 3 17 .129                          | 20             | 3. 285              | 50              | 8. 214              | 20             | 0. 055              | 50              | 0. 137              |
| 21             | 3 26 .986                          | 21             | 3. 450              | 51              | 8. 378              | 21             | . 057               | 51              | . 140               |
| 22             | 3 36 .842                          | 22             | 3. 614              | 52              | 8. 542              | 22             | . 060               | 52              | . 142               |
| 23             | 3 46 .699                          | 23             | 3. 778              | 53              | 8. 707              | 23             | . 063               | 53              | . 145               |
| 24             | 3 56 .555                          | 24             | 3. 943              | 54              | 8. 871              | 24             | . 066               | 54              | . 148               |
|                |                                    | 25             | 4. 107              | 55              | 9. 035              | 25             | 0. 068              | 55              | 0. 151              |
|                |                                    | 26             | 4. 271              | 56              | 9. 199              | 26             | . 071               | 56              | . 153               |
|                |                                    | 27             | 4. 435              | 57              | 9. 364              | 27             | . 074               | 57              | . 156               |
|                |                                    | 28             | 4. 600              | 58              | 9. 528              | 28             | . 077               | 58              | . 159               |
|                |                                    | 29             | 4. 764              | 59              | 9. 692              | 29             | . 079               | 59              | . 161               |
|                |                                    | 30             | +4. 928             | 60              | +9. 856             | 30             | +0. 082             | 60              | +0. 164             |

meridiano del lugar en que se desea calcular la hora media por la sideral, ó vice versa. Como el sol medio se supone uniforme en su movimiento, la interpolación se reduce á hallar la parte proporcional que, por la variación diurna 3<sup>m</sup> 56<sup>s</sup>.555, corresponde al lugar cuya longitud respecto del meridiano de las Efemérides sea *L*. En efecto, en un lugar que tenga *L* por longitud expresada en tiempo, se verificará el paso del sol *L* horas después que en el primer meridiano; ó bien *L* horas antes si la longitud es negativa, quiere decir,

**TABLA**  
Para reducir intervalos de tiempo sideral á intervalos equivalentes de tiempo medio.  
Argumento: *el tiempo sideral.*

| Horas.         | Reducción.                         | Minutos.       | Reducción.          | Minutos.        | Reducción.          | Segunds.       | Reducción.          | Segunds.        | Reducción.          |
|----------------|------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| 1 <sup>h</sup> | -0 <sup>m</sup> 9 <sup>s</sup> 830 | 1 <sup>m</sup> | -0 <sup>s</sup> 164 | 31 <sup>m</sup> | -5 <sup>s</sup> 079 | 1 <sup>s</sup> | -0 <sup>s</sup> 003 | 31 <sup>s</sup> | -0 <sup>s</sup> 085 |
| 2              | 0 19 .659                          | 2              | 0. 328              | 32              | 5. 242              | 2              | . 005               | 32              | . 088               |
| 3              | 0 29 .489                          | 3              | 0. 492              | 33              | 5. 406              | 3              | . 008               | 33              | . 090               |
| 4              | 0 39 .318                          | 4              | 0. 655              | 34              | 5. 570              | 4              | . 011               | 34              | . 093               |
| 5              | 0 49 .148                          | 5              | 0. 819              | 35              | 5. 734              | 5              | 0. 014              | 35              | 0. 096              |
| 6              | 0 58 .977                          | 6              | 0. 983              | 36              | 5. 898              | 6              | . 016               | 36              | . 098               |
| 7              | 1 8 .807                           | 7              | 1. 147              | 37              | 6. 062              | 7              | . 019               | 37              | . 101               |
| 8              | 1 18 .637                          | 8              | 1. 311              | 38              | 6. 225              | 8              | . 022               | 38              | . 104               |
| 9              | 1 28 .466                          | 9              | 1. 474              | 39              | 6. 389              | 9              | . 025               | 39              | . 107               |
| 10             | 1 38 .296                          | 10             | 1. 638              | 40              | 6. 553              | 10             | 0. 027              | 40              | 0. 109              |
| 11             | 1 48 .125                          | 11             | 1. 802              | 41              | 6. 717              | 11             | . 030               | 41              | . 112               |
| 12             | 1 57 .955                          | 12             | 1. 966              | 42              | 6. 881              | 12             | . 033               | 42              | . 115               |
| 13             | 2 7 .784                           | 13             | 2. 130              | 43              | 7. 045              | 13             | . 036               | 43              | . 117               |
| 14             | 2 17 .614                          | 14             | 2. 294              | 44              | 7. 208              | 14             | . 038               | 44              | . 120               |
| 15             | 2 27 .443                          | 15             | 2. 457              | 45              | 7. 372              | 15             | 0. 041              | 45              | 0. 123              |
| 16             | 2 37 .273                          | 16             | 2. 621              | 46              | 7. 536              | 16             | . 044               | 46              | . 126               |
| 17             | 2 47 .103                          | 17             | 2. 785              | 47              | 7. 700              | 17             | . 046               | 47              | . 128               |
| 18             | 2 56 .932                          | 18             | 2. 949              | 48              | 7. 864              | 18             | . 049               | 48              | . 131               |
| 19             | 3 6 .762                           | 19             | 3. 113              | 49              | 8. 028              | 19             | . 052               | 49              | . 134               |
| 20             | 3 16 .591                          | 20             | 3. 277              | 50              | 8. 191              | 20             | 0. 055              | 50              | 0. 137              |
| 21             | 3 26 .421                          | 21             | 3. 440              | 51              | 8. 355              | 21             | . 057               | 51              | . 139               |
| 22             | 3 36 .250                          | 22             | 3. 604              | 52              | 8. 519              | 22             | . 060               | 52              | . 142               |
| 23             | 3 46 .080                          | 23             | 3. 768              | 53              | 8. 683              | 23             | . 063               | 53              | . 145               |
| 24             | 3 55 .909                          | 24             | 3. 932              | 54              | 8. 847              | 24             | . 066               | 54              | . 147               |
|                |                                    | 25             | 4. 096              | 55              | 9. 010              | 25             | 0. 068              | 55              | 0. 150              |
|                |                                    | 26             | 4. 260              | 56              | 9. 174              | 26             | . 071               | 56              | . 153               |
|                |                                    | 27             | 4. 423              | 57              | 9. 338              | 27             | . 074               | 57              | . 156               |
|                |                                    | 28             | 4. 587              | 58              | 9. 502              | 28             | . 076               | 58              | . 158               |
|                |                                    | 29             | 4. 751              | 59              | 9. 666              | 29             | . 079               | 59              | . 161               |
|                |                                    | 30             | -4. 915             | 60              | -9. 830             | 30             | -0. 082             | 60              | -0. 164             |

si el lugar de que se trata está al Oriente del meridiano que se haya tomado por primero ó principal. Siendo, pues, *A'* la ascensión recta del sol medio que consta en las Efemérides, y *L* la longitud del lugar, se tendrá en general:

$$A = A' + 236^s.56 \frac{L}{24^h} \dots\dots\dots (5)$$

dando á *L* el signo que le convenga según la posición del lugar res-

pecto del primer meridiano. Aunque este cálculo es extremadamente sencillo, y una vez hecho se obtiene para cada lugar una corrección constante, se puede ejecutar también por medio de la primera de nuestras Tablas, puesto que lo que se desea en último resultado es hallar la aceleración correspondiente al tiempo ó intervalo  $L$ . Determinemos, por ejemplo, la reducción de las ascensiones rectas del sol medio calculadas para Greenwich al medio día de México, siendo la longitud de esta ciudad  $L = 6^h 36^m 28^s .6$  al Oeste de aquel meridiano.

|                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| Por $6^h$ .....              | 59 <sup>s</sup> 139           |
| „ $36^m$ .....               | 5. 914                        |
| „ $28^s$ .....               | 0. 077                        |
| „ $0.6$ .....                | 0. 002                        |
| <hr/>                        |                               |
| Por $6^h 36^m 28^s .6$ ..... | corrección = + $1^m 5^s .132$ |

La cantidad  $1^m 5^s .13$  es, por consiguiente, el aumento constante que debe hacerse á las ascensiones rectas del sol á medio día de Greenwich para reducirlas al medio día de México. El 15 de Enero de 1870, por ejemplo, el Almanaque Náutico da  $A' = 19^h 38^m 56^s .19$ , por lo cual he tomado  $A = 19^h 40^m 1^s .32$  para México al aplicar las fórmulas precedentes.

133. —Las relaciones que se han expuesto entre las diversas especies de tiempo se prestan á muchas combinaciones para resolver varios problemas que se ofrecen con frecuencia. Así, por ejemplo, si se da la hora solar verdadera y se desea hallar la sideral, se determinará primero la hora media correspondiente con ayuda de la ecuación del tiempo por la fórmula (1), y en seguida ésta se convertirá en sideral por la relación (3). Presentemos algunos ejemplos usuales de esta clase de combinaciones.

*Ejemplo 1º*.—¿Qué hora media se contó en México el 5 de Diciembre de 1870 en el instante en que la estrella  $\alpha$  Tauri, cuya ascensión recta es  $a = 4^h 28^m 31^s .19$ , tuvo  $1^h 17^m 23^s .65$  por ángulo horario al Este del meridiano?

El Almanaque Náutico americano indica que en esa fecha á me-

dio día de Greenwich, la ascensión recta del sol medio fué.....  
 $A' = 16^h 56^m 19^s .92$ . Tendremos, pues:

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| $a =$              | $4^h 28^m 31^s .19$ |
| $h =$              | $- 1 17 23 .65$     |
| <hr/>              |                     |
| $T =$              | $3 11 7 .57$        |
| $A =$              | $- 16 57 25 .05$    |
| <hr/>              |                     |
| $T - A =$          | $10 13 42 .49$      |
| red. ( $T - A$ ) = | $- 1 40 .54$        |
| <hr/>              |                     |
| $H =$              | $10^h 12^m 1^s .95$ |

*Ejemplo 2º*.—¿A qué hora media pasó ese día la misma estrella por el meridiano de México?

Este problema puede considerarse como un caso particular del precedente, pues en el momento del tránsito de un astro, su ángulo horario es nulo, y por consiguiente, se tendrá  $T = a$ , con lo cual la fórmula (4) se convierte en la siguiente:

$$\text{Hora media del paso} \dots \dots H = a - A - \text{red. } (a - A) \dots \dots (6)$$

Aplicándola á la estrella  $\alpha$  Tauri, se hal'a:

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| $a =$              | $4^h 28^m 31^s .19$  |
| $A =$              | $- 16 57 25 .05$     |
| <hr/>              |                      |
| $a - A =$          | $11 31 6 .14$        |
| red. ( $a - A$ ) = | $- 1 53 .22$         |
| <hr/>              |                      |
| $H =$              | $11^h 29^m 12^s .92$ |

*Ejemplo 3º*.—¿Cuál sería la ascensión recta de un astro observado el mismo día al Oeste del meridiano de México, y que tuviese  $3^h 25^m 40^s .37$  por ángulo horario, á la hora media  $H = 9^h 55^m 49^s .21$ ?

|                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| $H =$           | $9^h 55^m 49^s .21$  |
| $A =$           | $16 57 25 .05$       |
| acel. ( $H$ ) = | $+ 1 37 .88$         |
| <hr/>           |                      |
| $T =$           | $2 54 52 .14$        |
| $h =$           | $- 3 25 40 .37$      |
| <hr/>           |                      |
| $a =$           | $23^h 29^m 11^s .77$ |

Ejemplo 4.º—¿Cuál era el ángulo horario de *a Tauri* el 5 de Diciembre de 1870 cuando se contaban en México las 13<sup>h</sup> 00<sup>m</sup> 00<sup>s</sup> de tiempo medio?

$$\begin{aligned}
 H &= 13^h 00^m 00^s.00 \\
 A &= 16 57 25.05 \\
 \text{acel. (H)} &= + 2 8.13 \\
 \hline
 T &= 5 59 33.18 \\
 a &= - 4 28 31.19 \\
 \hline
 h &= + 1^h 31^m 1^s.99
 \end{aligned}$$

134.—Como se ofrece con mucha frecuencia la conversión de las longitudes geográficas y de los ángulos horarios, de arco á tiempo y vice versa, terminaré este Capítulo con una Tabla por cuyo medio se hacen las reducciones acaso con más facilidad que por la regla del número 25. El uso de esta Tabla es tan sencillo, que se comprenderá inmediatamente con las siguientes aplicaciones.

La longitud de México respecto de Greenwich, expresada en tiempo, es:  $L = 6^h 36^m 28^s.6$ , ¿cuál será su valor en arco?

|  |               |
|--|---------------|
| Por 6 <sup>h</sup> .....                                   | 90° 00' 00".0 |
| "  36 <sup>m</sup> .....                                   | 9 00 00.0     |
| "  28 <sup>s</sup> .....                                   | 7 00.0        |
| "  0.6.....  | 9.0           |
| Por 6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> .6..... | 99° 7' 9".0   |

Si la longitud de México es de 99° 7' 9", ¿á cuánto equivale en tiempo?

|                    |   |
|--------------------|---|
| Por 90°.....       | 6 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 00 <sup>s</sup> .0 |
| "  9.....          | 36 00.0   |
| "  7'.....         | 28.0  |
| "  9".....         | 0.6   |
| Por 99° 7' 9"..... | 6 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup> 28.6               |

TABLA

PARA CONVERTIR TIEMPO EN ARCO Y RECIPROCAMENTE.

| Tiempo.        | Arco. | Tiempo.        | Arco. | Tiempo.         | Arco. | Tiempo.        | Arco.  | Tiempo.         | Arco.  |
|----------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|----------------|--------|-----------------|--------|
| 1 <sup>h</sup> | 15°   | 1 <sup>m</sup> | 0°15' | 31 <sup>m</sup> | 7°45' | 1 <sup>s</sup> | 0'15'' | 31 <sup>s</sup> | 7'45'' |
| 2              | 30    | 2              | 0 30  | 32              | 8 00  | 2              | 0 30   | 32              | 8 00   |
| 3              | 45    | 3              | 0 45  | 33              | 8 15  | 3              | 0 45   | 33              | 8 15   |
| 4              | 60    | 4              | 1 00  | 34              | 8 30  | 4              | 1 00   | 34              | 8 30   |
| 5              | 75    | 5              | 1 15  | 35              | 8 45  | 5              | 1 15   | 35              | 8 45   |
| 6              | 90    | 6              | 1 30  | 36              | 9 00  | 6              | 1 30   | 36              | 9 00   |
| 7              | 105   | 7              | 1 45  | 37              | 9 15  | 7              | 1 45   | 37              | 9 15   |
| 8              | 120   | 8              | 2 00  | 38              | 9 30  | 8              | 2 00   | 38              | 9 30   |
| 9              | 135   | 9              | 2 15  | 39              | 9 45  | 9              | 2 15   | 39              | 9 45   |
| 10             | 150   | 10             | 2 30  | 40              | 10 00 | 10             | 2 30   | 40              | 10 00  |
| 11             | 165   | 11             | 2 45  | 41              | 10 15 | 11             | 2 45   | 41              | 10 15  |
| 12             | 180   | 12             | 3 00  | 42              | 10 30 | 12             | 3 00   | 42              | 10 30  |
| 13             | 195   | 13             | 3 15  | 43              | 10 45 | 13             | 3 15   | 43              | 10 45  |
| 14             | 210   | 14             | 3 30  | 44              | 11 00 | 14             | 3 30   | 44              | 11 00  |
| 15             | 225   | 15             | 3 45  | 45              | 11 15 | 15             | 3 45   | 45              | 11 15  |
| 16             | 240   | 16             | 4 00  | 46              | 11 30 | 16             | 4 00   | 46              | 11 30  |
| 17             | 255   | 17             | 4 15  | 47              | 11 45 | 17             | 4 15   | 47              | 11 45  |
| 18             | 270   | 18             | 4 30  | 48              | 12 00 | 18             | 4 30   | 48              | 12 00  |
| 19             | 285   | 19             | 4 45  | 49              | 12 15 | 19             | 4 45   | 49              | 12 15  |
| 20             | 300   | 20             | 5 00  | 50              | 12 30 | 20             | 5 00   | 50              | 12 30  |
| 21             | 315   | 21             | 5 15  | 51              | 12 45 | 21             | 5 15   | 51              | 12 45  |
| 22             | 330   | 22             | 5 30  | 52              | 13 00 | 22             | 5 30   | 52              | 13 00  |
| 23             | 345   | 23             | 5 45  | 53              | 13 15 | 23             | 5 45   | 53              | 13 15  |
| 24             | 360   | 24             | 6 00  | 54              | 13 30 | 24             | 6 00   | 54              | 13 30  |
|                |       | 25             | 6 15  | 55              | 13 45 | 25             | 6 15   | 55              | 13 45  |
|                |       | 26             | 6 30  | 56              | 14 00 | 26             | 6 30   | 56              | 14 00  |
|                |       | 27             | 6 45  | 57              | 14 15 | 27             | 6 45   | 57              | 14 15  |
|                |       | 28             | 7 00  | 58              | 14 30 | 28             | 7 00   | 58              | 14 30  |
|                |       | 29             | 7 15  | 59              | 14 45 | 29             | 7 15   | 59              | 14 45  |
|                |       | 30             | 7 30  | 60              | 15 00 | 30             | 7 30   | 60              | 15 00  |

No constando en la Tabla las decimales, lo que se hace es tomar la cantidad que correspondería á cada cifra si fuese entera, y se divide después por 10 ó por 100, según el rango de la decimal. Así, para encontrar el arco equivalente á 0°.6, tomamos el que corresponde á 6°, que es 1' 30" ó bien 90", y lo dividimos por 10. Una operación análoga se ejecuta para hallar el tiempo equivalente á un arco pequeño que no se encuentre en la Tabla, por ejemplo, 12°. Considerándolo descompuesto en 15" — 3", su correspondiente será

$1' - \frac{1}{5}'' = 0'.8$ . Por otra parte, para más sencillez puede hacerse uso de la pequeña tabla auxiliar que sigue, desde 1 hasta 15.

| Arco. | Tiempo.        | Arco. | Tiempo.         | Arco. | Tiempo.         | Arco. | Tiempo.           | Arco. | Tiempo.           | Arco. | Tiempo.           |
|-------|----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| 1'    | 4 <sup>s</sup> | 6'    | 24 <sup>s</sup> | 11'   | 44 <sup>s</sup> | 1''   | 0 <sup>s</sup> 07 | 6''   | 0 <sup>s</sup> 40 | 11''  | 0 <sup>s</sup> 73 |
| 2     | 8              | 7     | 28              | 12    | 48              | 2     | . 13              | 7     | . 47              | 12    | . 80              |
| 3     | 12             | 8     | 32              | 13    | 52              | 3     | . 20              | 8     | . 53              | 13    | . 87              |
| 4     | 16             | 9     | 36              | 14    | 56              | 4     | . 27              | 9     | . 60              | 14    | . 93              |
| 5     | 20             | 10    | 40              | 15    | 60              | 5     | . 33              | 10    | . 67              | 15    | 1. 00             |

### CAPITULO III.

#### DE LA REFRACCIÓN ASTRONÓMICA.

135.—Se sabe que cuando un rayo luminoso pasa oblicuamente de un medio á otro de diversa densidad, se desvía de su dirección primitiva. Este fenómeno, conocido con el nombre de *refracción*, produciéndose en la masa de aire que rodea á la tierra, influye necesariamente en la posición de los astros haciéndonoslos ver en un lugar algo diferente del que ocupan en realidad. La desviación total que sufre el rayo luminoso que emite un astro se produciría de una sola vez al atravesar la atmósfera terrestre, si esta fuera de una densidad uniforme en toda su altura; pero teniendo una densidad decreciente desde la superficie de la tierra, podemos considerarla como compuesta de capas concéntricas, diversamente densas, en cuya hipótesis el rayo luminoso iría experimentando desviaciones parciales y formando, en sus distintas direcciones, una línea quebrada ó poligonal hasta llegar al observador. Atribuyendo á las capas un espesor sumamente pequeño, de manera que pueda suponerse que sus densidades tengan un decremento gradual y continuo, la línea poligonal formada por el rayo luminoso se convertirá en una curva, cuyo último elemento es el que recibe el observador, el cual refiere la dirección del astro á la de la tangente en ese punto de la curva.