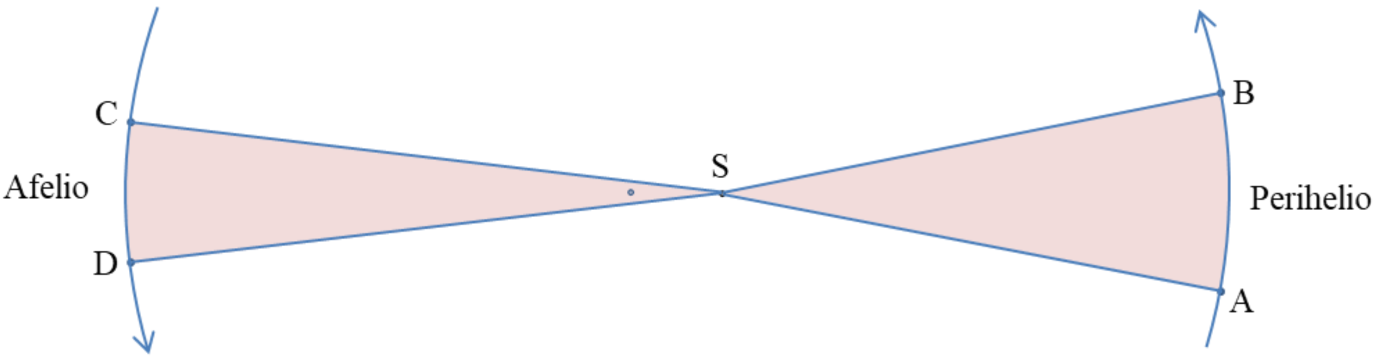
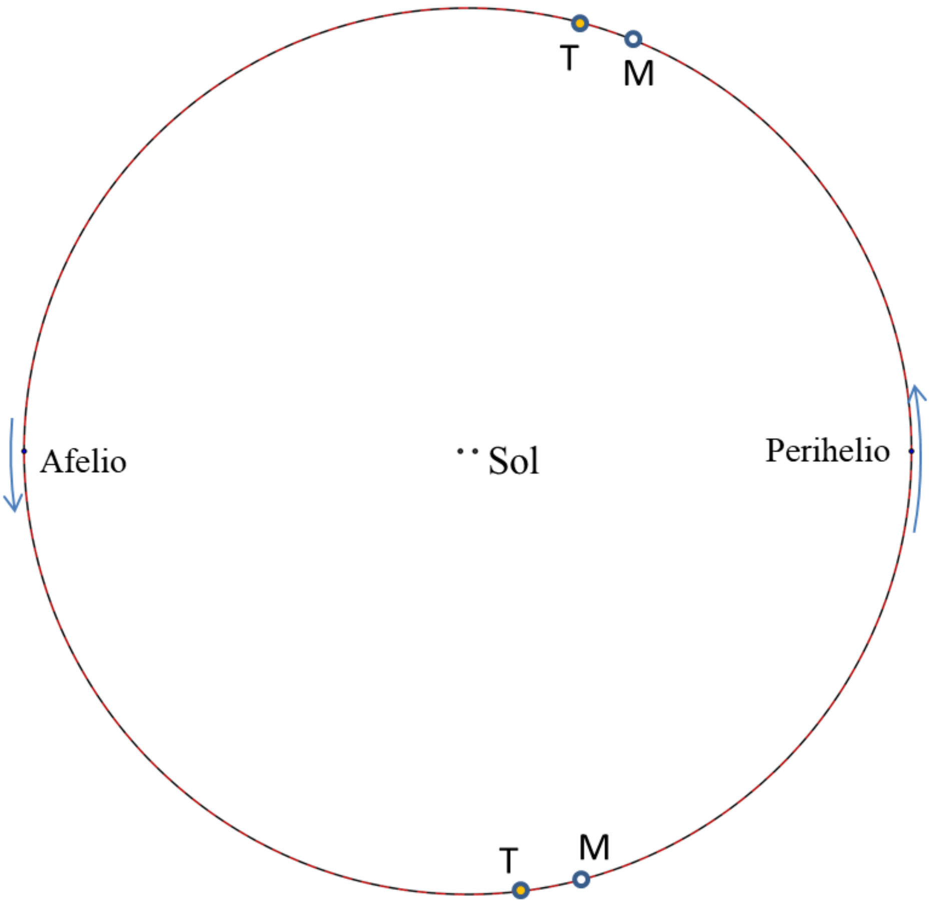
LA ECUACIÓN DE TIEMPO

Corrección por excentricidad

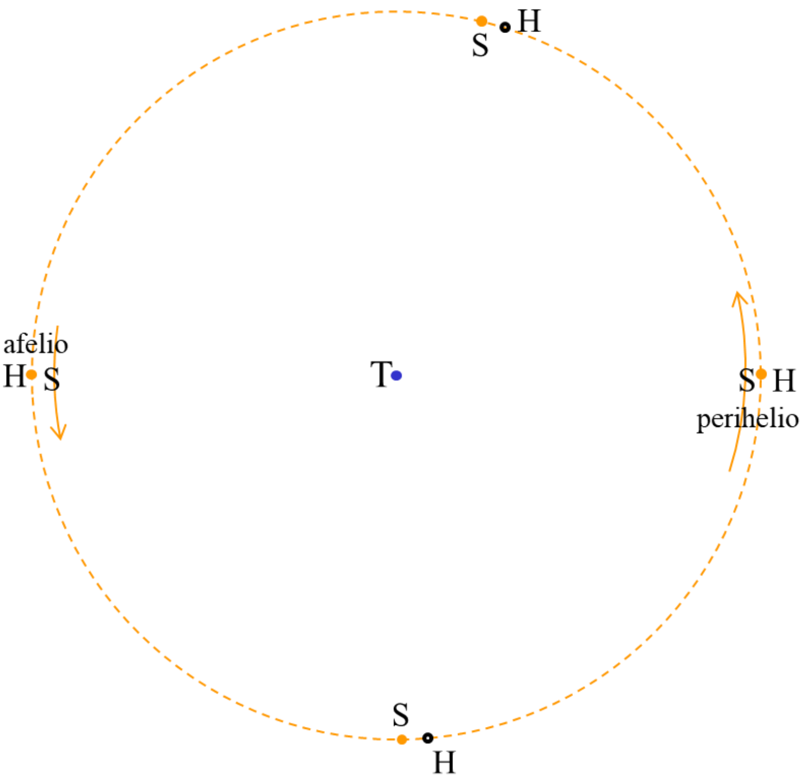
El avance de nuestro planeta por su órbita no se efectúa a velocidad constante sino ligeramente variable obedeciendo la segunda ley de Kepler: los triángulos SAB y SCD deben tener igual área por lo que el arco AB tiene que ser mayor que el CD (en la figura se ha exagerado mucho este efecto) y ambos se recorren en el mismo tiempo. La Tierra circula más rápida en el perihelio y más lenta en el afelio.



Imaginemos una “Tierra Media” (M) que recorra su órbita regularmente. El punto de partida es el Perihelio (4 de enero): allí arrancan las dos, la verdadera Tierra (T) y ese punto ideal M. Pero como en el perihelio T va más deprisa de lo normal, comenzará a ir por delante de M y se irá separando cada vez más, hasta que comience a frenarse poco a poco. T y M volverán a coincidir en el afelio (3 de julio), pero a partir de ahí, al ir T más despacio, se irá quedando atrás hasta que vuelva a acelerar y a acercarse a M con quien se reunirá de nuevo en el siguiente perihelio.

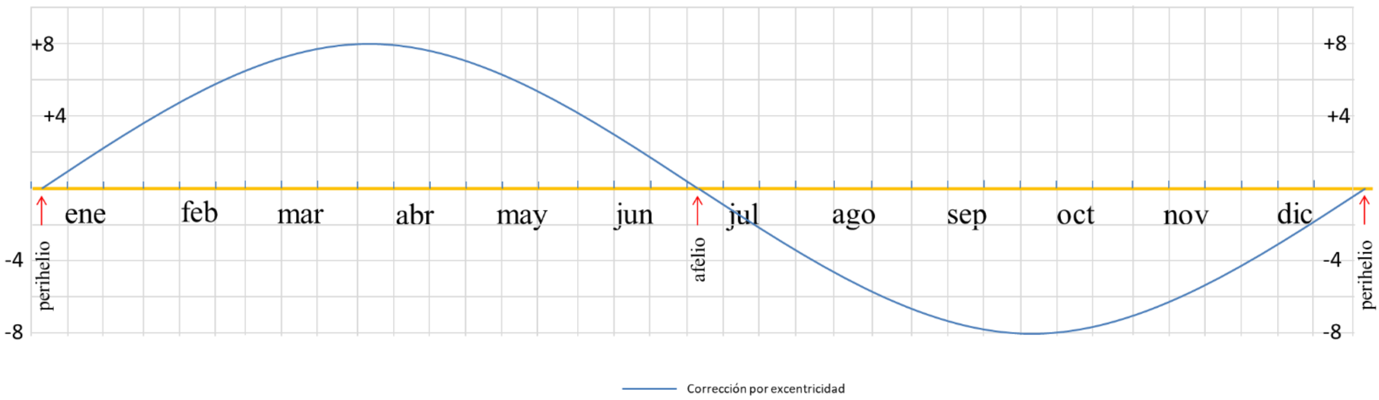


Desde un punto de vista geocéntrico la situación es similar: nosotros vemos al Sol (S) recorrer la eclíptica en un año, pero a velocidad variable. Aparentemente S va más deprisa en enero (perihelio) y más despacio en julio (afelio) de forma que se adelanta o atrasa con respecto a un punto (H) que recorra la eclíptica a velocidad constante.



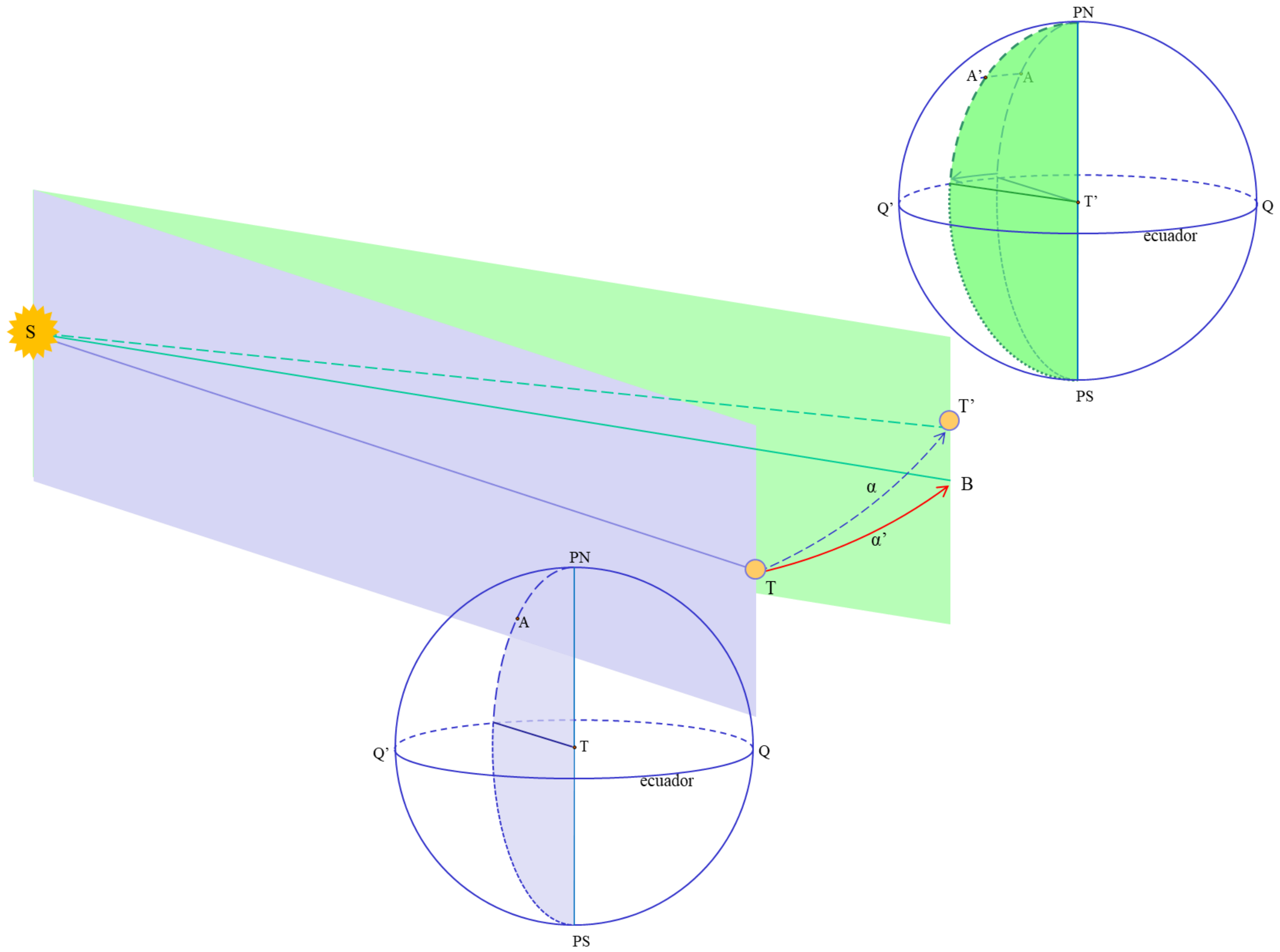
Esta separación de S respecto a H se puede calcular. Por ejemplo, el 14 de febrero, S está 1º¼ por delante de H, pero para lo que aquí nos ocupa es mejor expresar este ángulo en tiempo (360º equivalen a 24 horas, 15º a 1 hora y 1º a 4 minutos) por lo que ese día S está 5 minutos adelantado. La diferencia alcanza un máximo hacia mediados de abril, cuando S va unos 8 minutos de tiempo por delante del regular H; y un mínimo a primeros de octubre, cuando S va retrasado con respecto a H también 8 minutos.

En la gráfica siguiente se muestra esta distancia, en minutos de tiempo, a lo largo del año.



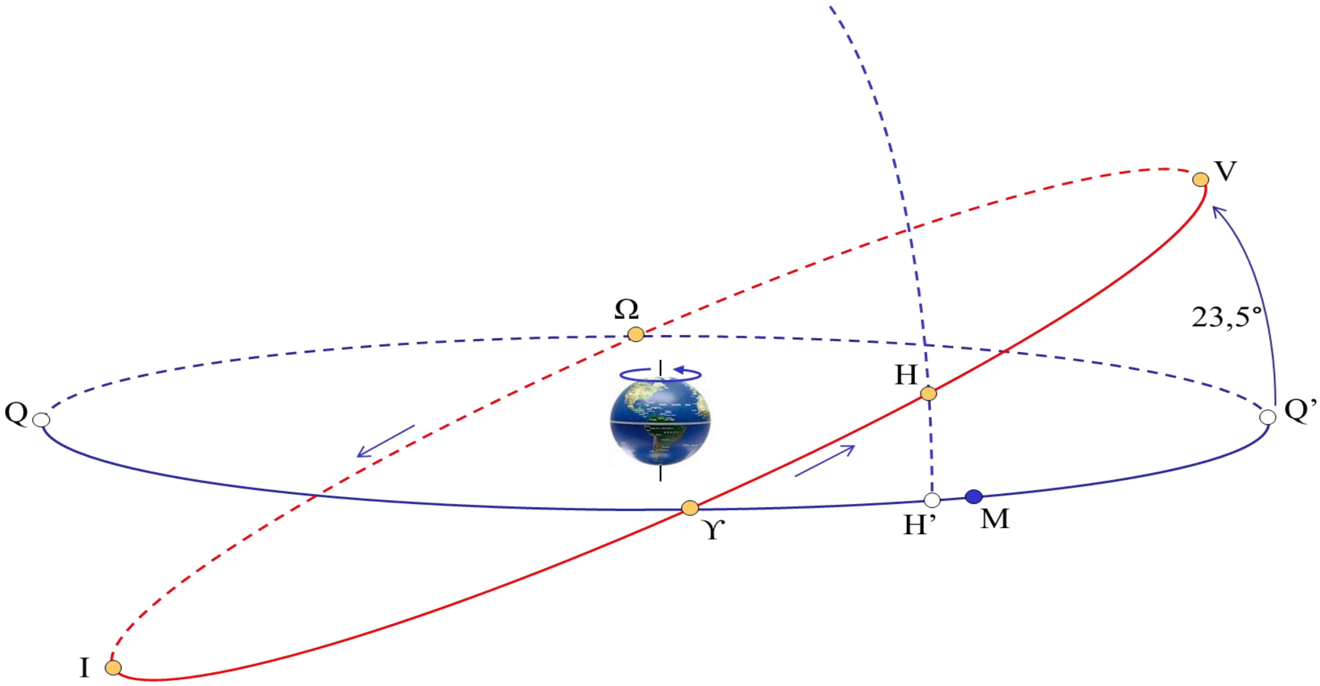
Corrección por oblicuidad

Causada por la inclinación de la eclíptica respecto al ecuador. En la posición T de la Tierra es mediodía en A y el plano azul, que es el plano del meridiano de A, pasa por el Sol. Un día después la Tierra ha avanzado α grados (exageradísimo en esta figura) por su órbita que está inclinada respecto al ecuador hasta T’. Para que vuelva a ser mediodía en A hace falta que el plano del meridiano de A (ahora en verde) pase por el Sol, es decir la Tierra tiene que rotar algo más de 360º (el ángulo extra sería el arco AA’). Pero como el eje de rotación es perpendicular al ecuador, el ángulo extra que tiene que rotar la Tierra para que el sol vuelva a estar en el meridiano de A no es α, sino α’, proyección de α sobre el ecuador.

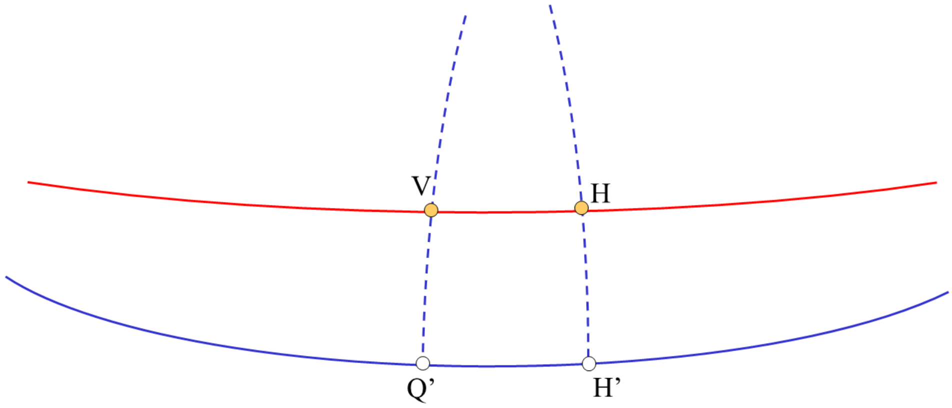


En visión geocéntrica, si H es un punto que recorre la eclíptica uniformemente, lo que nos interesa para ver la duración del día es su proyección H’ sobre el ecuador. Obviamente en el equinoccio de primavera (ϒ) y en el de otoño (Ω) coinciden. También en los solsticios: cuando H haya avanzado 90º por la eclíptica (y se sitúe en el solsticio de verano V) su proyección será el punto del ecuador Q’, a 90º de ϒ, y lo mismo en el de invierno I. Es decir, si consideramos ahora un punto M (el sol medio) que recorra el ecuador a ritmo uniforme en un año, M y H’ coincidirán cada 90º. Ese sol medio M es el que permite definir el día solar medio de 24 horas: el tiempo que transcurre desde que M está en el meridiano de un lugar cualquiera de la Tierra hasta que M vuelve a estar en él. Ese intervalo de tiempo sí que es fijo.

Pero H’ no avanza por el ecuador con velocidad constante. Esto se aprecia especialmente en los equinoccios y solsticios. Si H se encuentra a, digamos, 30º de ϒ por la eclíptica, el arco ϒH’ sobre el ecuador es claramente algo menor.

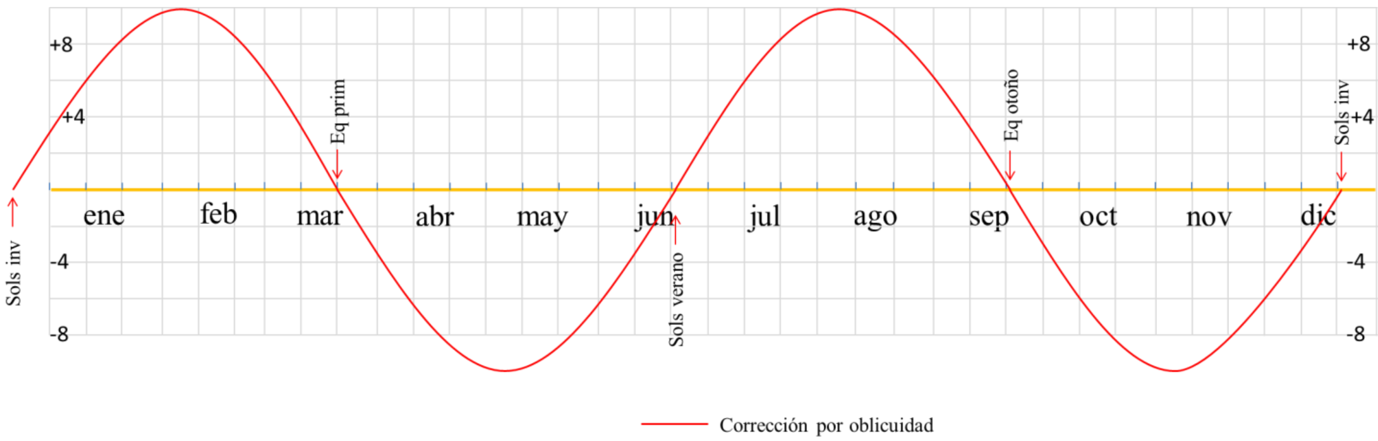


En cambio, en los solsticios, al estar la eclíptica casi paralela al ecuador y como los meridianos convergen en el polo y se van abriendo ligeramente hacia el ecuador, el arco Q’H’ es algo mayor que el VH.



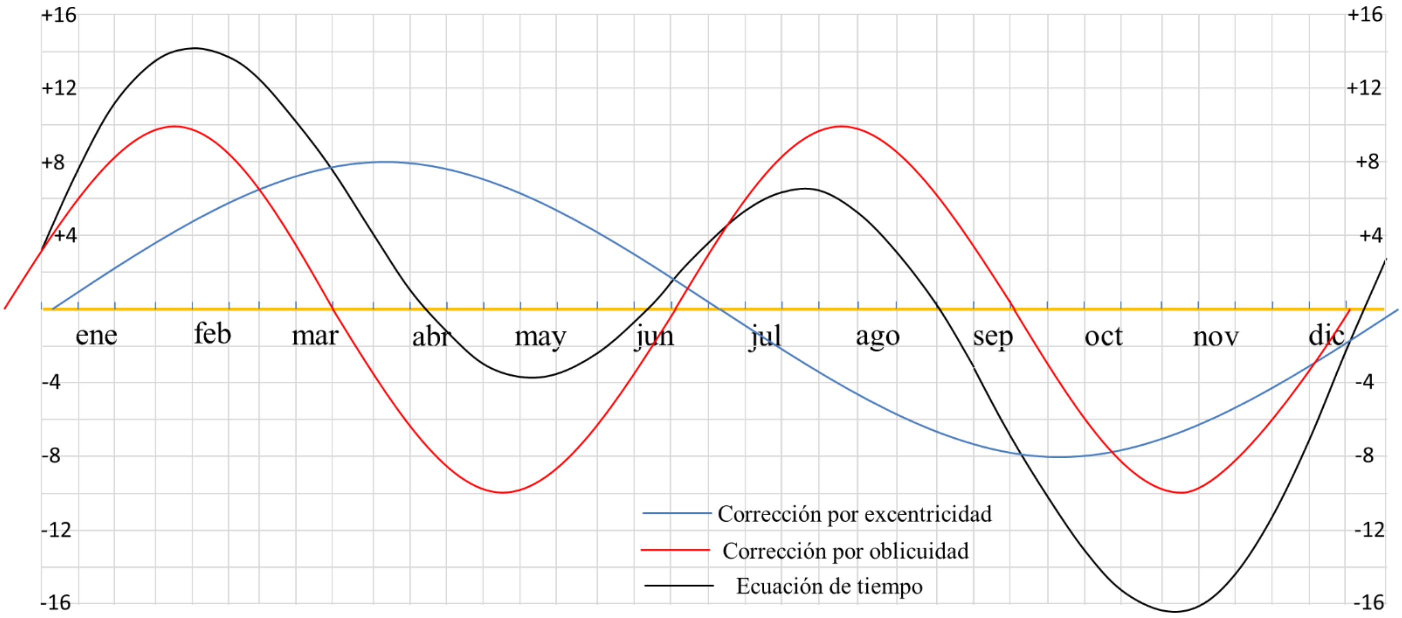
Así que M y H’ coinciden en solsticios y equinoccios. Pero en los solsticios H’ va más deprisa que M y en los equinoccios sucede lo contrario. En el solsticio de invierno M y H’ coinciden, pero H’ empieza a adelantarse; en febrero ya H’ empieza a ir más lento, aunque sigue por delante, hasta que coinciden en el equinoccio de primavera. Luego H’ sigue retrasándose y va por detrás de M; en mayo H’ empieza a acelerar, sigue por detrás, pero alcanza a M en el solsticio de verano. Y lo mismo sucede en la segunda mitad del año.

Estas diferencias entre H’ y M pueden calcularse con relativa facilidad y el resultado es el de la siguiente gráfica: H’ puede ir hasta 10 minutos por delante o por detrás de M.



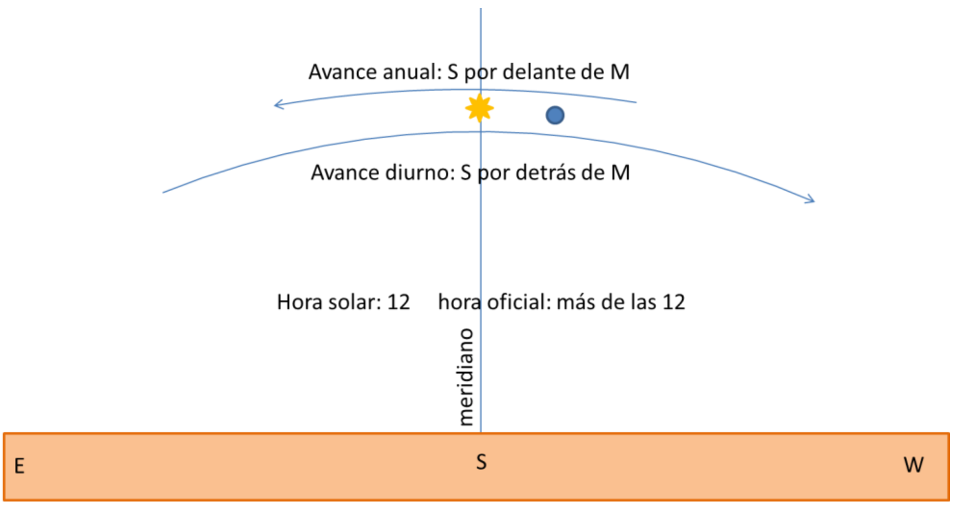
Ecuación de tiempo

La suma de estas dos correcciones nos da la ecuación de tiempo, que es la diferencia (en minutos) entre el paso meridiano del sol verdadero (S) y el del sol medio (M). Podemos efectuar esa suma y obtener finalmente esta gráfica:

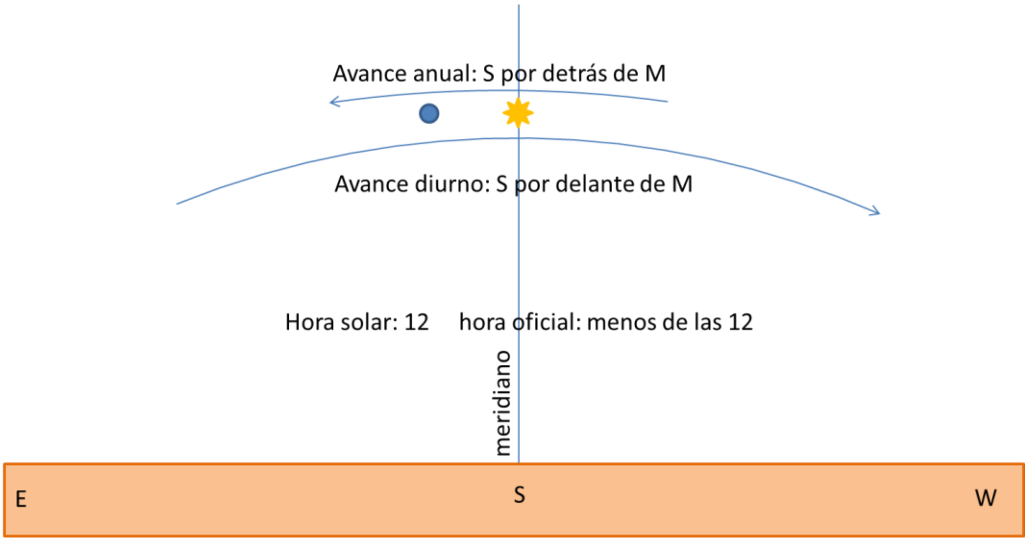


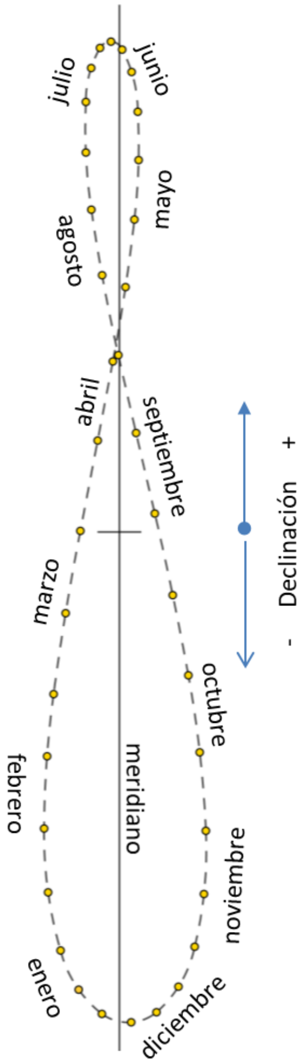
La ecuación de tiempo alcanza un máximo de unos 14 minutos a mediados de febrero y un mínimo de -16 minutos a primeros de noviembre. Hay otro mínimo y otro máximo menos acusados en mayo y julio. Y se anula en cuatro fechas: en torno al 15 de abril, 13 de junio, 26 de agosto y 25 de diciembre.

Si la corrección es positiva es que S está adelantado respecto a M **en su recorrido anual**, es decir S tendrá mayor ascensión recta que M, estará al Este de M, se verá a la izquierda de M (mirando al Sur, claro). Por tanto, en el recorrido diurno, que es lo que nos interesa, S pasará por el meridiano después de M. Cuando sean las 12 hora solar, M ya habrá pasado por el meridiano y la hora oficial será mayor. Para hallar la hora oficial habrá que sumar lo que indique la ecuación de tiempo a la hora del reloj de sol.



En cambio, si el valor de la ecuación de tiempo es negativo, es que S está por detrás de M en su recorrido anual, entonces quedará al Oeste de M, a su derecha (mirando al S), tendrá menos ascensión recta. Pero en el recorrido diurno S va por delante: a las 12 hora solar aún no serán las 12 hora oficial.





Conclusión: Para calcular la hora del reloj de pulsera habrá que corregir la hora solar con lo que indique la ecuación de tiempo (medio – verdadero) con el signo que aparece en la gráfica.

Si, en un lugar situado en el meridiano de Greenwich, anotamos a lo largo del año la posición del sol a las 13:00 hora oficial (o a las 14:00 en primavera y verano) observaremos que el sol sube y baja, lo vemos más alto en verano y más bajo en invierno, como era de esperar. Pero resulta que no se limita a subir y bajar en línea recta sino que se balancea y se desvía a veces a la izquierda y otras a la derecha.

Si lo hiciéramos en otro lugar, con longitud geográfica diferente de 0, habría que hacer estas observaciones a la hora esperada del mediodía solar medio. Por ejemplo, en Barcelona cuya longitud Este es de 2º 11’ (que equivalen a 8 min 43 s), la hora prevista del mediodía sería las 12:51:17 desde finales octubre hasta marzo o las 13:51:17 entre abril y octubre. Pero siempre las posiciones van a describir una curva parecida a un 8, llamada “analema”.