

## Objetivos

Los alumnos aprenderán a:

- Construir y manejar un reloj de sol portátil.
- Se ofrece información necesaria para que el alumno calcule la hora con las correcciones correspondientes a la ecuación del tiempo.

## Materias

- Tecnología
- Física
- Geometría

## Destrezas

- Hacer modelos
- Observación
- Capacidad de realizar medidas

## Información

Este cuadrante para hora solar verdadera se basa en el reloj de sol portátil inventado en 1630 por el jesuita P. François de Saint-Rigaud, y se ha dibujado para la latitud de 40°25' Norte (que corresponde a Madrid), como paralelo aproximadamente medio de la península.

**Problemas con los cambios de horas:**

Habrá que convertir la hora solar verdadera, que se lee en este reloj, en hora legal, que es la que marcan los relojes. Repasaremos algunos conceptos de horas para mejor comprender la transformación.

La hora que nos indica el sol en su recorrido normal es la que llamamos "hora solar verdadera"; así, decimos que son las 0 horas (las 12 hora civil) cuando el sol está más alto. El periodo que transcurre hasta el paso del sol por el mismo lugar es un día, al que dividiremos en 24 partes que llamamos horas.

Esto es una hora local. Si nos rigiéramos por la hora "local" podría darse el caso de que el viajero que salga en un avión desde Barcelona aterrizase en La Coruña prácticamente a la misma hora de salida de Barcelona, dado que hay más de 42 minutos de diferencia entre los horarios locales de ambas ciudades. Antiguamente podía usarse la hora local, pero con la aparición del ferrocarril y el telégrafo hubo que unificar para todo el territorio nacional la misma hora; caso práctico de los horarios de las estaciones del ferrocarril para unificar llegadas y salidas.

En un principio se eligió para paliar este problema la hora local de la capital como hora oficial; más tarde (en España desde el 1 de enero de 1901) se utilizó el sistema universal de los husos horarios, en el que se considera al globo terráqueo dividido en 24 husos esféricos por meridianos equidistantes entre sí 15° de paralelo, que corresponden a una hora de las 24 del día solar. Estos husos están numerados del 0 al 23 hacia oriente y el huso 0 está bisecado por el meridiano de Greenwich. El centro de cada uno de los husos tendrá, por consiguiente, una hora local, que solamente diferirá de la de Greenwich en un número exacto de horas. Cada país adopta la hora de tiempo medio civil local correspondiente al centro del huso o husos que abarca como hora oficial o legal.

España, situada en el huso 0, tendrá por hora "legal" el tiempo medio civil local de Greenwich, llamado tiempo universal (TU). Las 0 horas de "tiempo universal" corresponden con la media noche de Greenwich, en cuyo momento el sol medio pasa por el meridiano cuya longitud geográfica (con origen en Greenwich) será igual a 180°.

Los puntos situados al oeste del meridiano de Greenwich tienen la hora media civil local desfasada respecto a la de éste en un tiempo igual a la diferencia de longitudes geográficas, expresada en tiempo. Es decir, que si nuestro reloj marca las 12 (sin horas de adelanto) quiere decir que lo son en ese instante en Greenwich y faltarán 14'45" (diferencia de longitud entre Madrid y Greenwich) para que el sol esté en la misma posición en Madrid; es decir, que vamos adelantados respecto a Greenwich. Así, cuando el sol pase por el meridiano de Madrid (hora media civil local), hará 14" 15' que pasó por Greenwich; entonces, para saber en ese momento la hora media civil local (TU) en Greenwich, tendremos que sumar a la hora real del lugar de observación, en nuestro caso Madrid, la diferencia de longitudes. En resumen:

Conociendo la longitud respecto a Greenwich, tendremos que sumársela o restársela a la hora local, obtenida con el reloj de sol, según el lugar de observación sea longitud oeste o este.

En el modelo recortable se puede interpolar, según el lugar, la longitud (en tiempo)

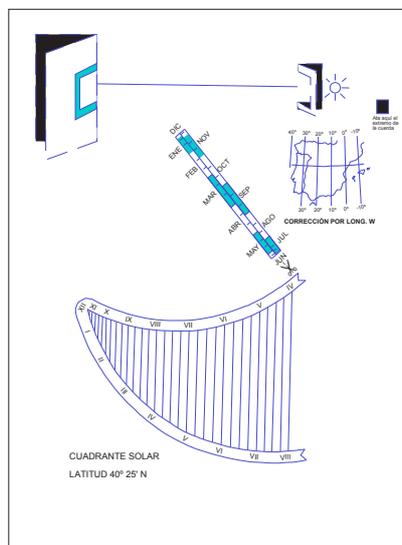
Queda todavía una modificación. En España, como en otros países, por necesidades varias como el aprovechamiento de la luz solar, se adelanta la hora de Greenwich en una hora en invierno y en dos en verano. Resulta así la hora "oficial o legal" de España. Esta medida la han adoptado también otras naciones.

Como paso final tendremos que sumarle 1 ó 2 horas a las obtenidas hasta ahora, dependiendo de la época del año en que estemos, para que la hora que obtuvimos con nuestro reloj de sol portátil coincida con la de los relojes que regulan nuestra vida ordinaria.

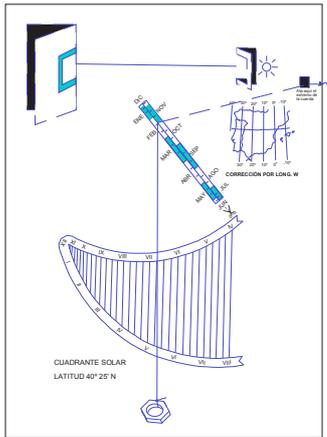
## → Materiales

- Cartulina
- Papel A4
- Un trozo de hilo o cuerda
- Algo pesado que pueda hacer de plomada (P. ej, una tuerca)
- Tijeras
- Cola blanca

## → Actividad



- 1 Pegamos en primer lugar la hoja del cuadrante propiamente dicho sobre un cartón. Recortaremos después por las líneas marcadas.
- 2 Recortaremos la mirilla y la doblaremos de forma que quede perpendicular a la cartulina.
- 3 El rectángulo a la izquierda de la mirilla al sol tiene dibujada la sombra de la mirilla. Recortamos por la línea de puntos y doblamos de forma que quede perpendicular a la cartulina. El rectángulo que hay dibujado en el interior es el dibujo de la sombra de la mirilla. Cuando lo coloquemos al sol, la sombra de la mirilla deberá caer sobre este rectángulo para una correcta orientación del reloj (¡OJO! ¡NUNCA MIRAR AL SOL DIRECTAMENTE POR LA MIRILLA!, Buscaremos la sombra de la mirilla en el rectángulo de la izquierda).



- 4 Lo completaremos con un cordel fino, de unos 50 cm, de uno de cuyos extremos colgaremos un peso cualquiera (una arandela metálica, por ejemplo) a modo de plomada.
- 5 A unos 12 cm del extremo de la plomada el cordel debe tener un nudo o marca que funcionará como índice del cuadrante.
- 6 Por la línea central de la escala de fechas realizaremos una fina ranura por la que pasaremos el cordel quedando la plomada y el índice del lado de la cara principal; dejaremos unos 25 cm desde el nudo o señal, y ataremos el cordel al borde del cartón.

## → Instrucciones de manejo para leer la hora.

- 1 Llevamos el índice del cordel al punto XII
- 2 Tensamos el cordel de modo que pase por el día de la fecha
- 3 Mantendremos el aparato en un plano vertical
- 4 Orientaremos el instrumento hacia el sol de modo que la sombra de la mirilla caiga sobre el dibujo de la sombra en el rectángulo de la izquierda.
- 5 El índice del cordel marca sobre el cuadrante solar la hora verdadera.
- 6 Para pasar a la hora legal efectuaremos las correcciones que se indican a continuación:

$$HL = HSV + LONG W + AHC$$

O si se desea incluir las correcciones de la ecuación del tiempo:

$$HL = HSV + LONG W + AHC + ET$$

Las correcciones a aplicar para relacionar la hora que leemos con la legal son:

LONG W: Longitud oeste (que puede estimarse en el mapa, ya en minutos-tiempo) para pasar a la hora civil del huso horario.

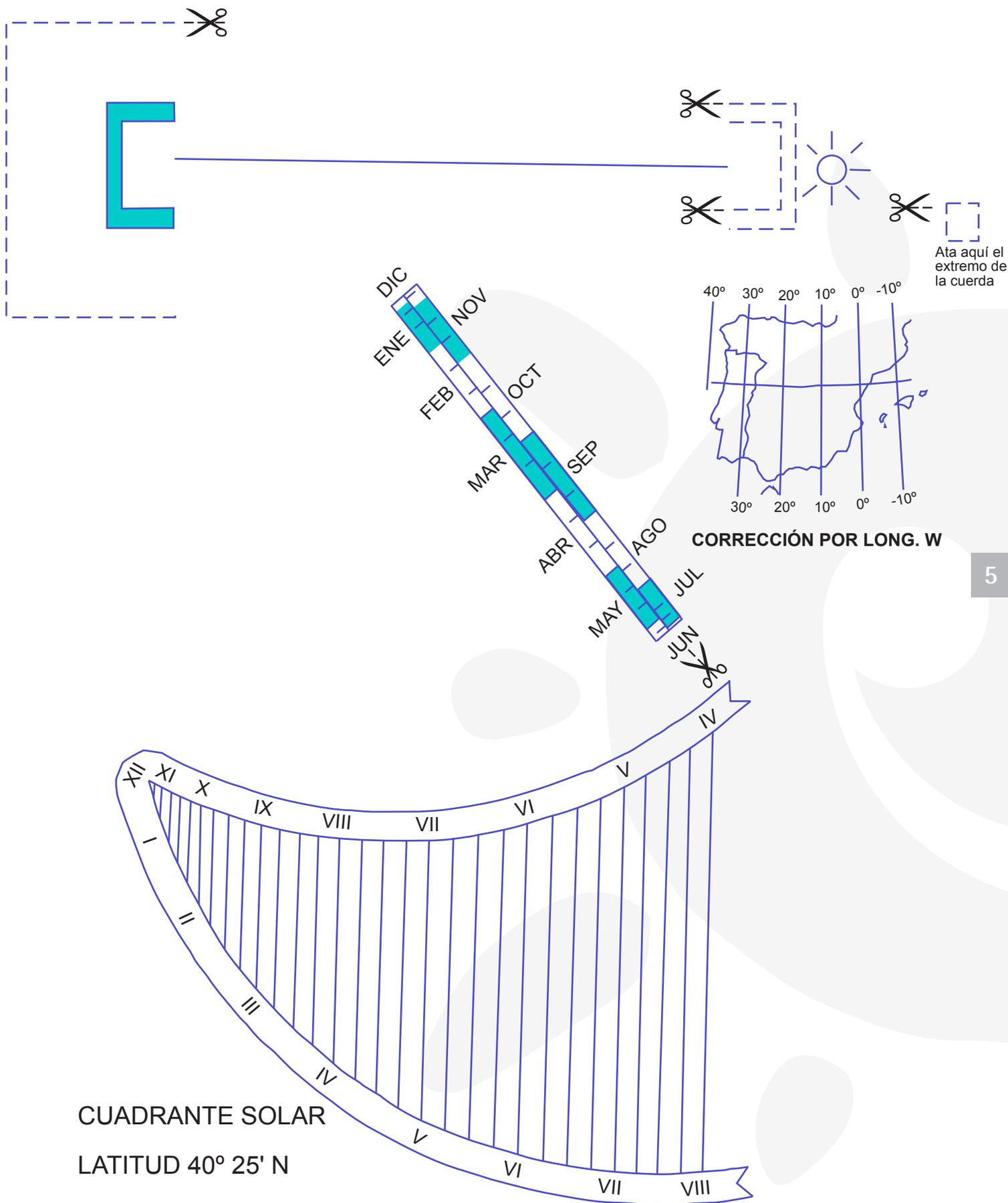
AHC: Incremento sobre la hora civil, que depende de las disposiciones legales del momento (suele ser un número entero de horas).

ET: Ecuación del tiempo (estimada en la gráfica, según la fecha) para tener la hora solar media local

## → Consideraciones

Como podemos comprobar prácticamente, nos dará mayor error el reloj cuando más próximo a las XII esté la hora de observación. Coincide con la realidad, ya que el sol en esos momentos pasa de ascender a descender en su culminación máxima y la altura varía muy poco, correspondiendo poco incremento de altura para un largo periodo de tiempo. Sin embargo, en el resto del cuadrante, podemos apreciar por lectura directa los 15 minutos y a estima los cinco minutos. Realizando todo el proceso con cuidado, no nos será difícil obtener una precisión con el reloj de cinco minutos de margen, podemos realizar la lectura dos o tres veces.

Para otras latitudes precisaremos dibujar nuevos relojes, sin más que variar la latitud, aunque éste que aquí dibujamos se puede utilizar para latitudes próximas a la expresada, sin mucho error.



## → Para saber más

La hora que nos indica el sol en su recorrido normal es la que llamamos "hora solar verdadera"; así, decimos que son las 0 horas (las 12 hora civil) cuando el sol está más alto. El periodo que transcurre hasta el paso del sol por el mismo lugar es un día, al que dividiremos en 24 partes que llamamos horas.

Pero ocurre que el tiempo transcurrido entre dos pasos del sol verdadero por el mismo meridiano no es exactamente el mismo; así, un día solar en el mes de febrero es de distinta duración que en el mes de abril. Esto se debe a que es variable la velocidad con la que la tierra se desplaza a lo largo de su órbita (unos días gira más rápidamente que otros), según la segunda ley de Kepler. Otra de las causas es la oblicuidad del eje terrestre respecto al plano de la órbita que describe la tierra. Si quisiéramos medir este tiempo, que es variable en sus periodos, sería muy difícil. Para solucionar este problema se "inventó" el "tiempo solar medio"; así, una hora solar media será el promedio de las horas solares verdaderas a lo largo del año y que entonces podremos medir con un reloj mecánico que funcione con movimiento uniforme. Observaremos que unas veces, durante el año, cuando la tierra se desplaza más rápidamente sobre su órbita, el "sol medio" va adelantado respecto al verdadero, mientras que otras veces se retrasa, siempre para un mismo instante físico.

La suma de estas dos diferencias nos da la llamada "ecuación del tiempo".

$$ET = TM - TV - 12h$$

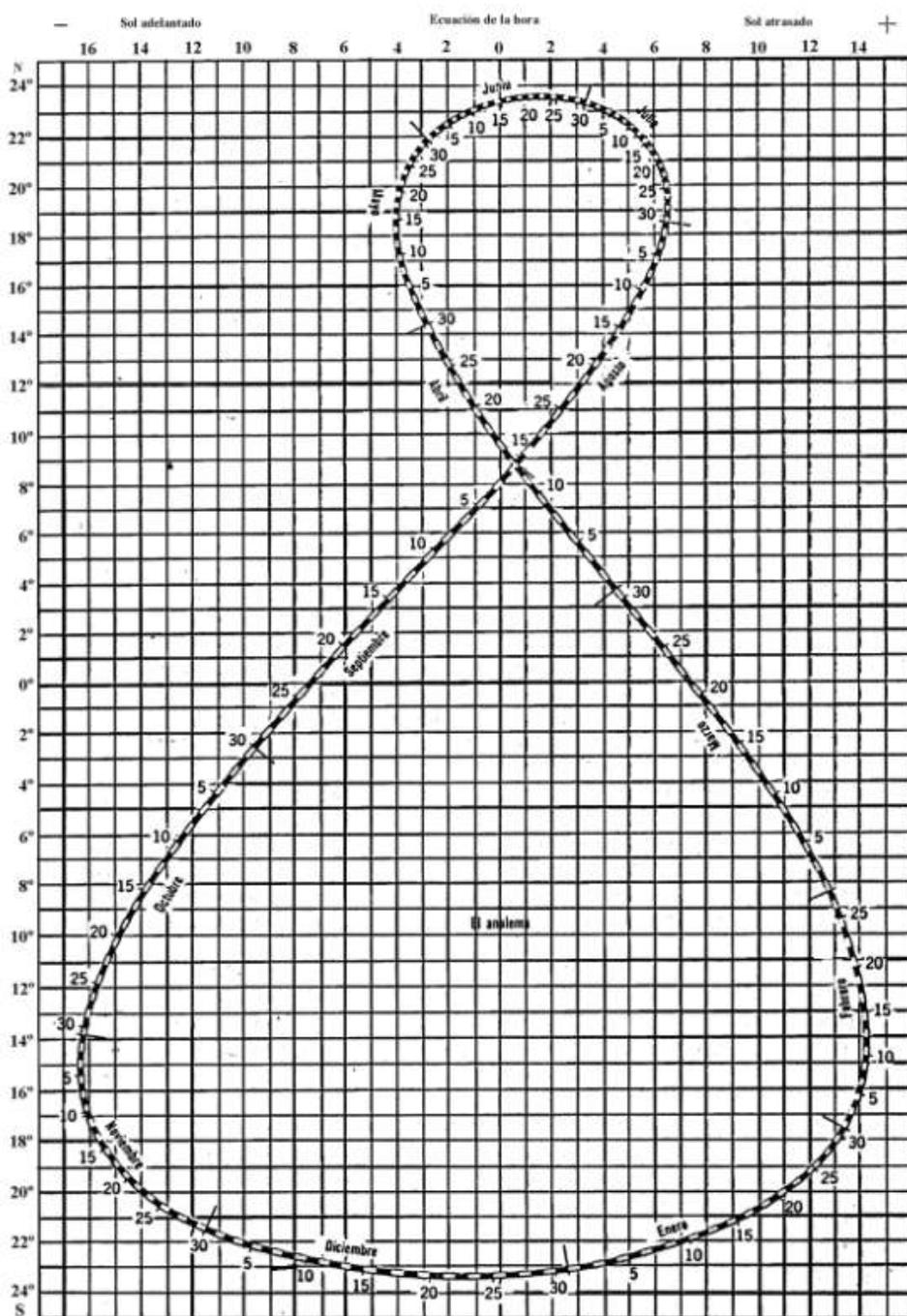
Habrá que tener en cuenta los signos y también que en el Anuario Astronómico el paso del sol por el meridiano de Madrid viene en tiempo universal (en el tiempo civil de Greenwich). El "tiempo civil" es el "medio local" que hemos utilizado hasta ahora, pero aumentado 12 horas. Luego, si el "tiempo verdadero" lo contamos desde 0 al pasar el sol por el meridiano, al restar el "tiempo medio civil" habrá que restar 12 horas que, al sobrar, tendremos que restar. En nuestro reloj de sol no hay que hacer tal cálculo, pues ya hemos puesto la hora solar verdadera en su paso por el meridiano en las 12 horas.

En resumen, sumando con su signo a la hora solar verdadera (más 12 horas) la ecuación del tiempo obtendremos la hora solar local media civil. Esta hora sí que la podemos medir con un reloj mecánico.

Resumiendo todo lo expuesto, haremos un ejemplo práctico del manejo y cálculos de nuestro reloj de sol portátil.

Supongamos que la observación la hemos efectuado el día 1 de Abril y que después de ajustar el aparato según las instrucciones, el nudo que nos sirve de índice nos marca las 3h30m de la tarde (procurando que no roce el cordel con el cartón). Haremos los cálculos siguientes:

Hora solar verdadera medida con el reloj (HSV)	3h30m00s
La ecuación del tiempo para el 1 de abril, de signo positivo en el gráfico (ET)	+4m30s
HORA MEDIA CIVIL LOCAL	3h34m30s
Corrección por longitud W (LW) en Madrid	+14m45s
HORA MEDIA LOCAL DE GREENWICH	3h48h75h
Hora de adelanto en España (HC de invierno)	1h00m00s
HORA OFICIAL O LEGAL EN LA PENÍNSULA, hora de reloj (HL)	4h48m75s = 4h49m 15s



## ➔ Analema

Buscamos la fecha del día en que estamos realizando la medida, y leemos en la parte superior los minutos que hay que sumar o restar a la ecuación del tiempo (a la derecha sumar y a la izquierda se restan)

En el eje de la izquierda podremos saber la inclinación del eje de la Tierra en ese momento.