



# **Manual sobre relojes solares**

**tuCiencia.org**

**Roberto Machorro Mejía**

Copyright © PAPIME DGAPA  
Copyright © 2018 SAOMLab

PUBLICADO POR EDICIONES UNAM  
PATROCINADO CON PROYECTO PAPIME PE-100618 UNAM

WWW.TUCIENCIA.ORG

Licenciado bajo la licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 3.0 Unported (la "Licencia"). Usted no puede usar este archivo excepto en conformidad con la Licencia. Usted puede obtener una copia de la Licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>. A menos que sea requerido por la ley aplicable o haya sido acordado por escrito, el presente libro distribuido bajo la Licencia se distribuye bajo una base de "TAL COMO ESTÁ", SIN GARANTÍAS O CONDICIONES DE NINGÚN TIPO, ya sea expresa o implícita.

*Primera impresión, Febrero de 2018.*

( 31.85N, -116.61 )

Ensenada, B.C., México

## Índice General

<b>1</b>	<b>Reloj solar</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>Fenómeno físico</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>Relación con texto de ciencias</b>	<b>6</b>
1.2.1	1er grado.- Dónde vivo? 87 .....	6
1.2.2	2o grado.- Cómo me oriento? Sol, NSEO 26 .....	6
1.2.3	2o grado.- Sistema solar 41-45, 4o grado.- 131, 143, 4o grado.- 133-149 .....	6
1.2.4	3er grado.- Reloj solar, pág. 114-115 .....	6
1.2.5	3o y 4o grados.- El sol y las planetas 56, 131 .....	6
1.2.6	4o grado.- Reloj solar, pág. 138 .....	6
<b>1.3</b>	<b>Relación con otros temas de ciencias</b>	<b>6</b>
1.3.1	1er grado.- La hora 95 .....	6
1.3.2	5o grado.- Gravedad, pags. 98 .....	6
1.3.3	3er grado.- Eclipses 113 .....	6
1.3.4	2o grado.- Mapas 28 .....	6
<b>2</b>	<b>Principio de funcionamiento</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Leyes que gobiernan</b>	<b>7</b>
2.1.1	Rotación de la Tierra alrededor del Sol .....	7
2.1.2	Sombra de un objeto .....	7
2.1.3	Efecto de la longitud .....	8
	2.1.3.1 Usos horarios .....	9
2.1.4	Efecto de plano de rotación .....	10
2.1.5	Efecto de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol .....	11
2.1.6	Duración del año .....	11
2.1.7	Definición de la hora .....	11
	2.1.7.1 Tiempo civil .....	12
	2.1.7.2 Hora civil .....	12

2.1.7.3	Tiempo Oficial . . . . .	12
2.1.7.4	Tiempo Universal . . . . .	12
2.1.7.5	Tiempo Legal . . . . .	12
2.1.7.6	Tiempo verdadero . . . . .	12
2.1.8	Analema . . . . .	12
2.1.8.1	Corrección de la hora con un reloj solar . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Hagamos un reloj solar . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipos de relojes solares</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Construcción</b>	<b>18</b>
3.2.1	Reloj Vertical . . . . .	18
3.2.2	Reloj Horizontal . . . . .	18
3.2.3	Reloj Ecuatorial . . . . .	20
3.2.4	Reloj Polar . . . . .	20
3.2.5	Corrección por efecto de Longitud en el sitio . . . . .	20
<b>3.3</b>	<b>Uso</b>	<b>20</b>
3.3.1	Ubicación y orientación del reloj . . . . .	20
3.3.2	Observación de resultados . . . . .	20
3.3.3	Analema . . . . .	20
3.3.4	Errores y tolerancias . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Aplicaciones . . . . .</b>	<b>21</b>
4.0.1	Tiempo de sembrar. Las estaciones. . . . .	21
4.0.2	Orientación . . . . .	22
4.0.3	Hora de rezar . . . . .	22
4.0.4	Eclipses . . . . .	22
4.0.5	En todos lados! . . . . .	22
4.0.6	Cómo divertirse con el experimento . . . . .	22

( 31.85N, -116.61 )  
Ensenada. B.C., México

## 1. Reloj solar

### 1.1 Fenómeno físico

Todos apreciamos el día y la noche. Notamos que el Sol aparece en el horizonte en la dirección Este, sube en el cielo, a medio día está en lo alto y por la tarde desaparece por el Oeste. La explicación de esto viene en sus textos, lo que se mueve no es el Sol, sino la Tierra, nosotros giramos alrededor del Sol. La Tierra gira una vuelta cada 24 horas, aproximadamente.



Esto hace que nuestra sombra, estando quietos en un lugar, estará cambiando de posición a medida que transcurre el día. Obviamente, cuando el Sol se oculta no veremos sombra.

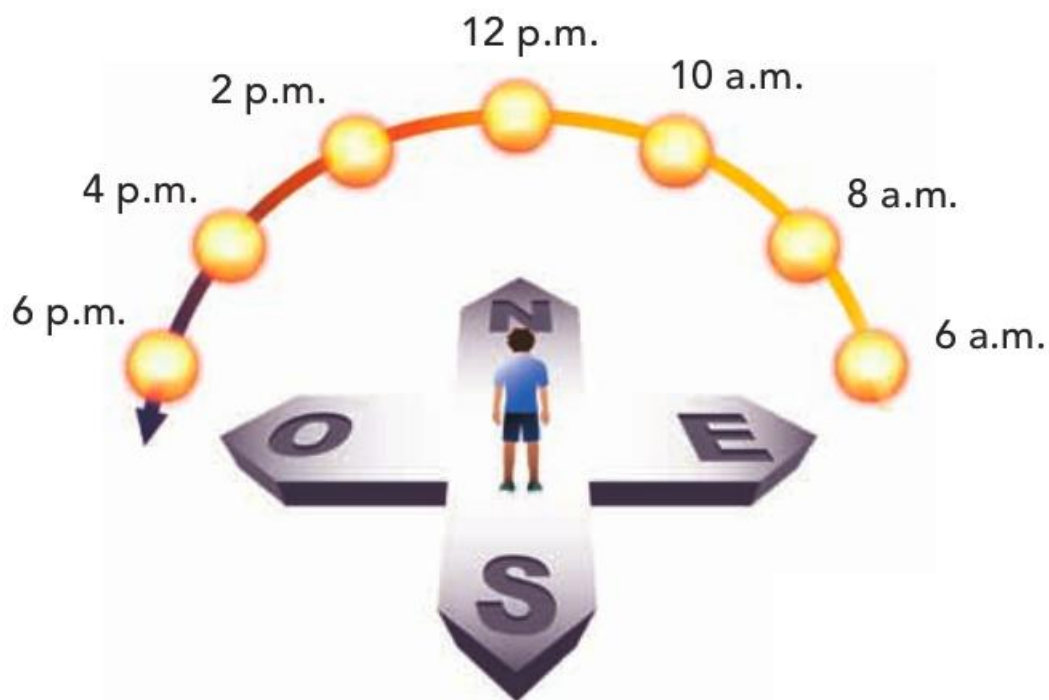


Figura tomada del texto oficial de ciencias naturales AB-CN-4\_BAJA.pdf

## 1.2 Relación con texto de ciencias

1.2.1 1er grado.- Dónde vivo? 87

1.2.2 2o grado.- Cómo me oriento? Sol, NSEO 26

1.2.3 2o grado.- Sistema solar 41-45, 4o grado.- 131, 143, 4o grado.- 133-149

1.2.4 3er grado.- Reloj solar, pág. 114-115

1.2.5 3o y 4o grados.- El sol y las planetas 56, 131

1.2.6 4o grado.- Reloj solar, pág. 138

## 1.3 Relación con otros temas de ciencias

1.3.1 1er grado.- La hora 95

1.3.2 5o grado.- Gravedad, pags. 98

1.3.3 3er grado.- Eclipses 113

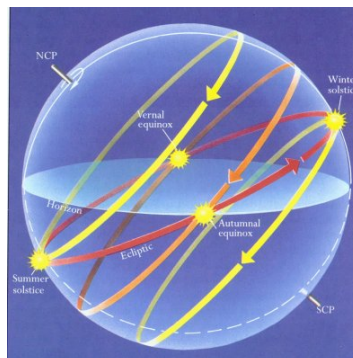
1.3.4 2o grado.- Mapas 28

( 31.85N, -116.61 )  
Ensenada. B.C., México

## 2. Principio de funcionamiento

### 2.1 Leyes que gobiernan

#### 2.1.1 Rotación de la Tierra alrededor del Sol



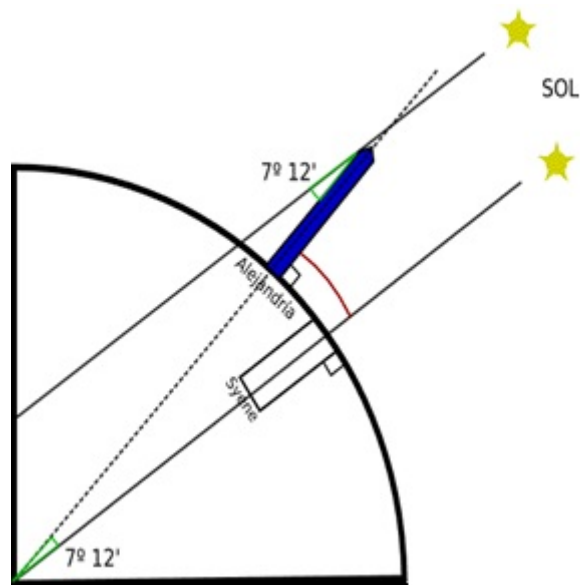
#### 2.1.2 Sombra de un objeto

Desde los primeros hombres, apreciaron el movimiento de la sombra de los objetos producida por la luz solar. Cualquier objeto, colocado al Sol, produce sombras. Dependiendo del lugar, de la estación y de la hora, será la dirección y tamaño de esta.



### 2.1.3 Efecto de la longitud

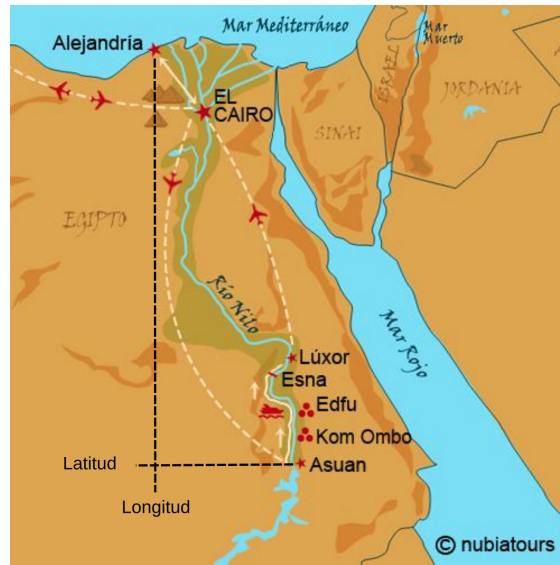
Hace muchos años, Eratóstenes (Cirene, 276 - Alejandría, 194 a.C), director de la Biblioteca de Alejandría, se le ocurrió una manera de medir el diámetro de la Tierra. Vivió su niñez en Siena (hoy Asuán, en Egipto), donde el día 21 de Junio al mediodía, los rayos del Sol iluminaban el fondo de un pozo que había por el lugar. Posteriormente se fue a vivir a Alejandría. Observó que el 21 de Junio la sombra no caía verticalmente, sino con un ángulo, que midió en  $7^{\circ} 12''$ .



Pidió a una persona que midiera, con pasos iguales, no había otra, la distancia entre las dos ciudades. Reportó la distancia en estadios, unidad que no estamos muy seguros de su valor, ya que hay estadios de varios tipos, usando un estadio de 157,5 m (estadio egipcio) <sup>1</sup>, Eratóstenes obtuvo el diámetro de la Tierra, 39.740 kilómetros, sólo 327 menos de su valor actual aceptado. En el siguiente mapa podrás apreciar la ubicación de las dos ciudades, en Egipto.

<sup>1</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio\\_\(unidad\\_de\\_longitud\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Estadio_(unidad_de_longitud))



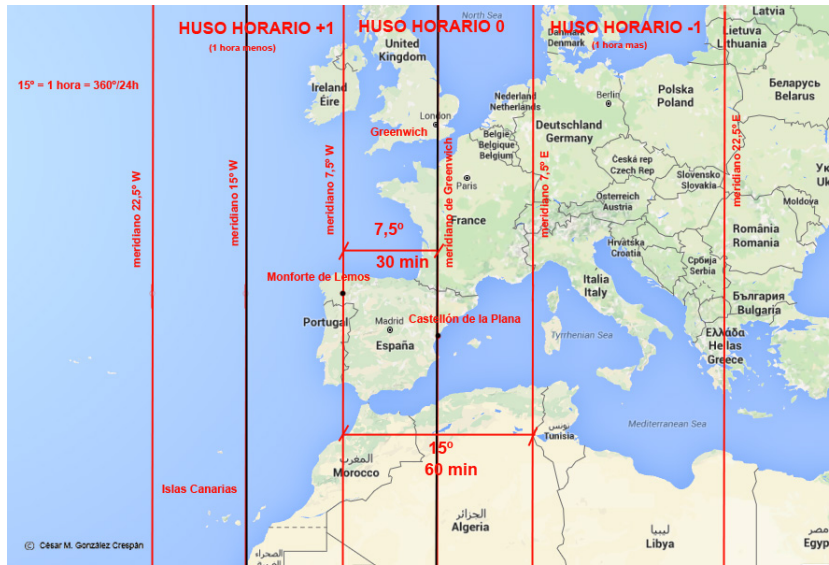


Observa que hay dos rectas, una vertical y otra horizontal. La primera etiquetada como Longitud, la otra como Latitud. Si midieras la sombra, digamos el 21 de Junio, misma hora, en lugares a lo largo de la línea de Longitud, todas darán el mismo ángulo! Tendrán variaciones de tamaño, debido a la ubicación respecto al ecuador (latitud). Imagina una fila de personas a lo largo de Longitud, a medio día el Sol estará sobre sus cabezas al mismo tiempo, ya sea que estén en el Ecuador, o hasta el Polo, para ellos la hora es la misma.

En cambio, si mides el 21 de Junio a la misma hora, la sombra sobre la recta marcada con Latitud (donde la latitud no cambia), la sombra es diferente, dependiendo del lugar donde la midas. Eratóstenes lo hizo en los dos lugares, Asuán y Alejandría, de allí pudo medir el diámetro terrestre. En una fila de personas a lo largo de Latitud, todas y cada una tendrán sombras diferentes! Las que estén al este de mí, la sombra apunta al este, los que estén al oeste de mí, su sombra apunta al oeste.

### 2.1.3.1 Usos horarios

Como sería imposible que todos tengamos horas diferentes, hay un acuerdo mundial en definir usos horarios, regiones donde todas las personas tenga la misma hora. Eso se hace de acuerdo a la latitud. Se usa de referencia el meridiano de Greenwich, que tiene Longitud=0. Cada cambio de 15 grados en longitud es una hora ( $360/15=24$ ). Los lugares al este del longitud  $7.5E$  tendrán una hora más, los del  $7.5O$  una hora menos. Cuando en Europa es de noche, en América es medio día.

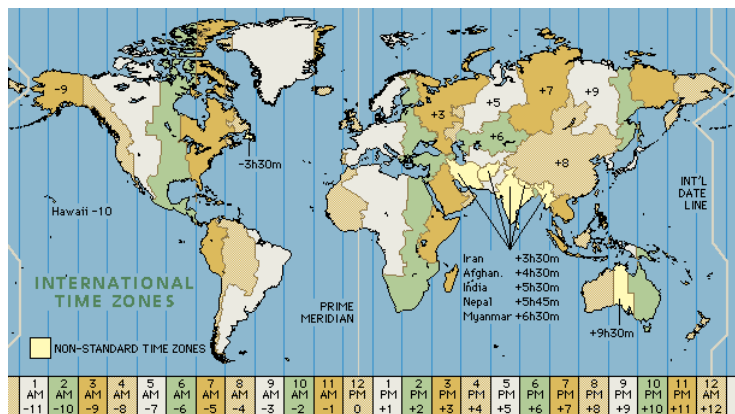


Hay acuerdos entre países para mantener la misma hora, por ejemplo, en Europa la hora se rige por el mapa siguiente:

husohorario01

Para un reloj mecánico, la hora es la misma en España y en Alemania, a pesar de que hay 15 grados (promedio) de diferencia, es decir una hora de diferencia. Londres y Mallorca tendrán casi la misma hora solar (llamada verdadera), pero por cuestiones políticas Mallorca tiene la misma hora que la Europa continental. Cuando en Alemania son las 5PM, en Mallorca debieran ser las 4PM, pero no, son las 5PM oficiales!

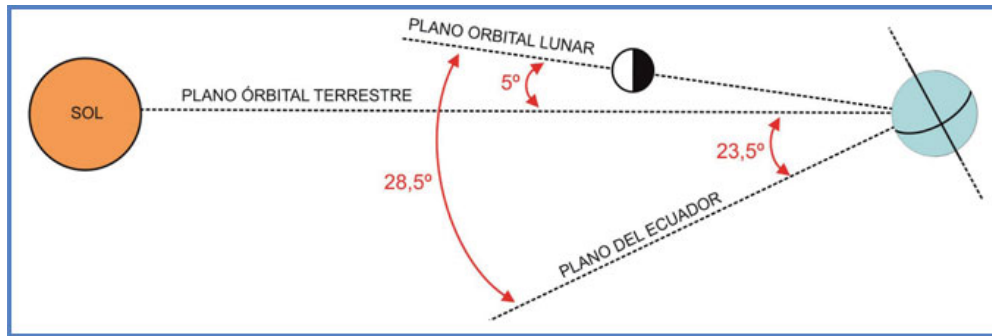
A nivel mundial los usos horarios son como se muestra en la siguiente figura.



### 2.1.4 Efecto de plano de rotación

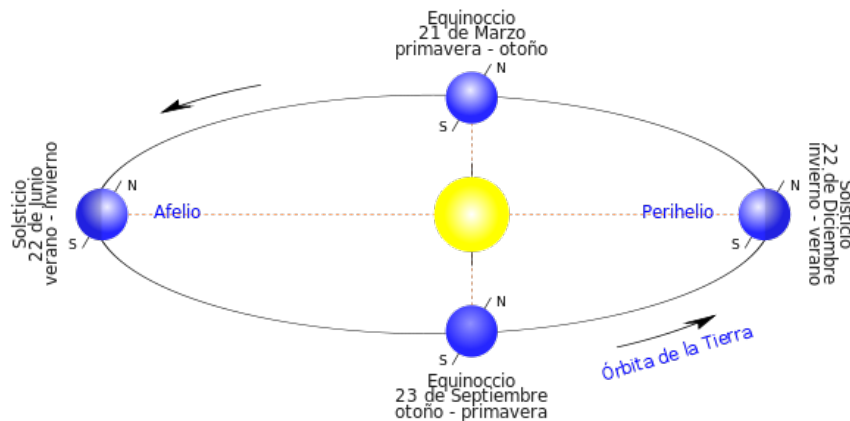
La Tierra gira sobre su eje, y también alrededor del Sol. Los planos de ambas rotaciones no coinciden. El eje de rotación de la Tierra sobre si misma, está a  $23^{\circ} 27'$  respecto al plano de en que gira alrededor del Sol<sup>2</sup>.

<sup>2</sup><http://www.isndf.com.ar/la-luna/>



### 2.1.5 Efecto de la órbita elíptica de la Tierra alrededor del Sol

Otro efecto adicional que debemos tomar en cuenta es que la Tierra no gira en trayectoria circular alrededor del Sol, como se creía antes de Kepler<sup>3</sup>. En cambio sigue una trayectoria elíptica, el Sol se encuentra en uno de los focos<sup>4</sup>. La siguiente figura muestra lo anterior, de manera exagerada.



Los dos efectos combinados, la inclinación del eje de la Tierra y la elipticidad de la órbita, dan lugar a las estaciones del año, como se muestran en la gráfica anterior.

### 2.1.6 Duración del año

Cuando nos preguntan la hora, y usamos el reloj mecánico, damos la hora civil. Esta hora no tiene corrección ni por longitud, ni por inclinaciones de la órbita de la Tierra, ni que viaja en camino elíptico. Es la misma siempre, se rige por las oscilaciones de los átomos de Cesio<sup>5</sup>. El reloj perfecto! dirán ustedes. Pues hay que estar corrigiendo constantemente, cada cuatro años, para ser precisos, y eso no tanto.

El año civil y el real difieren. El real tiene 365 días 5 h 48 min 45,10 s (365.242189 días) y el año calendario de 365 días exactos. En el año bisiesto se le añade un día al mes de Febrero, para compensar un poco el error. Pero  $0.242189 \times 4 = 0.968756$ , no es uno. La diferencia, 0.031244, se debe compensar cada 768.147484317 años, con un día completo más!.

### 2.1.7 Definición de la hora

En una revista sobre relojes solares, decía que una hora muy importante la rige el estómago, cuando hace hambre, es hora de comer. Un poco más refinada, la hora de comer para la gente del campo es cuando la sombra de uno mide dos pies de largo.

<sup>3</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_Kepler](https://es.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler)

<sup>4</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Precesi%C3%B3n\\_de\\_los\\_equinoccios](https://es.wikipedia.org/wiki/Precesi%C3%B3n_de_los_equinoccios)

<sup>5</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_at%C3%B3mico](https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_at%C3%B3mico)

### 2.1.7.1 Tiempo civil

Tiempo Civil- Es fácil convertir el Tiempo Medio en Tiempo Civil: basta con sumar (o restar) 12 horas para pasar del uno al otro. Así el día comienza y termina a la medianoche.

### 2.1.7.2 Hora civil

En la vida normal de los seres humanos el día no comienza al mediodía sino a medianoche, porque si no habría que cambiar la fecha de los documentos según se firmaran por la mañana o por la tarde.

### 2.1.7.3 Tiempo Oficial

Como la hora civil depende del meridiano.

Este método hace que todos los relojes del mundo marquen los mismos minutos y los mismos segundos; la diferencia de tiempo entre dos lugares cualquiera de la Tierra es un número entero de horas.

### 2.1.7.4 Tiempo Universal

Se llama Tiempo Universal (T.U.) a la hora civil de Greenwich, que es el Tiempo Oficial del huso 0.

### 2.1.7.5 Tiempo Legal

Los gobiernos de los países pueden legalmente alterar los límites de los husos horarios y la hora del país. Por ejemplo, en Alemania se tiene una hora más que la de Greenwich (TU), Ciudad de México 7 horas menos del TU, Ensenada 8 horas menos que el TU.

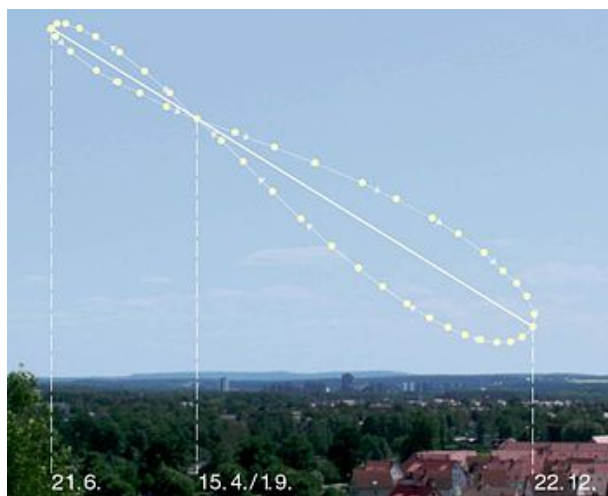
En primavera los relojes se adelantan una hora (horario de verano) y en otoño se retrasa esa hora, quedando la hora "correcta".

### 2.1.7.6 Tiempo verdadero

Es el que dan los relojes solares, toman en cuenta todos los factores ya mencionados: la inclinación de la órbita, la elipticidad de su trayectoria alrededor del Sol, la longitud en que se encuentra, etc.

## 2.1.8 Analema

Por otro lado, y es lo que debemos tomar en cuenta para un reloj solar<sup>6</sup>, los días no tienen la misma duración. Es necesario corregir, día con día, la hora. Si nos tomamos el trabajo de tomar una fotografía del Sol con una cámara fija, para una hora civil dada, la que llevamos en los relojes o celulares, a lo largo de todo un año, la posición del Sol estará cambiando día con día, hasta formar la figura de 8, que se le llama Analema<sup>7</sup>,



<sup>6</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj\\_de\\_sol](https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_de_sol)

<sup>7</sup><https://es.wikipedia.org/wiki/Analema>

Los números al pie de la fotografía corresponden a las fechas en que fueron tomadas las fotos del Sol. Así que 21.6 es el 21 de Junio, 15.4 es el 15 de Abril, 1.9 es el 1 de Septiembre y 22.12 es el 22 de Diciembre.

### 2.1.8.1 Corrección de la hora con un reloj solar

Para hacer compatibles la hora civil<sup>2.1.7.3,2.1.7.5</sup> con la hora verdadera<sup>2.1.7.6</sup>? Los astrónomos se han encargado de calcular las correcciones necesarias, y lo han puesto en una gráfica que se llama Ecuación del Tiempo, o Analema, la cual mostramos en la figura siguiente.

En el eje horizontal es la corrección en minutos, son los minutos que debemos sumar o restar a la hora que nos proporcione el reloj solar. Por ejemplo, del 10 al 15 de febrero debemos sumar 14.4 minutos. El 30 de octubre debemos restar 16.5 minutos a la hora verdadera para tener la hora oficial. Únicamente hay cuatro días en que los dos tiempos, el oficial y el verdadero, coinciden, estos son (aproximadamente): el 25 de diciembre, 1 de septiembre, 15 de abril y 12 de junio.

Entonces, al leer un reloj solar, no sólo nos debemos fijar en la sombra, sino también sumar o restar los minutos correspondientes a la fecha de la medida.

Por ejemplo, hoy a las 5:04 horas (verificar, recibí las fotos a las 8:06), según nuestro reloj de pulsera, vimos la hora en un reloj solar ecuatorial<sup>8</sup> de Mallorca, isla española (39.5696N, 2.6502E)<sup>9</sup>. EL tiempo verdadero marca 3:07 horas (escala pegada a los analemas). Es uno de los muchos relojes (más de 1000, según Joan Serra)<sup>10</sup>.

De acuerdo con el analema o ecuación del tiempo, siendo 10 de septiembre, habría que restarle 4 minutos a la hora verdadera, quedando 3:03 horas. Qué ha pasado con las dos horas de diferencia? Una es por el horario de verano, la otra es por efecto de la longitud. Como se mencionó en la secc. 2.1.3.1, Mallorca debiera regirse por el uso horario de Grennwich, que es una hora menos de la europea continental.

Quedan un minutos de diferencia, cosa menor si se considera la magnitud del reloj solar y las dificultades para llevarlo a cabo.

Hay información adicional. El gnómon define la sombra, su extremo cae sobre el cuerpo ecuatorial del reloj, definiendo la época del año. El extremo inferior es para el 21 de junio, el superior para 21 de diciembre. El cruce del analema es en 13 de abril y 30 de agosto.

---

<sup>8</sup>Hecho por Rafael Soler Gayà, 1985

<sup>9</sup><https://es.wikipedia.org/wiki/Mallorca>

<sup>10</sup><https://relojesdesol.wordpress.com/category/relojes-de-sol-en-espana/mallorca/palma-de-mallorca/>

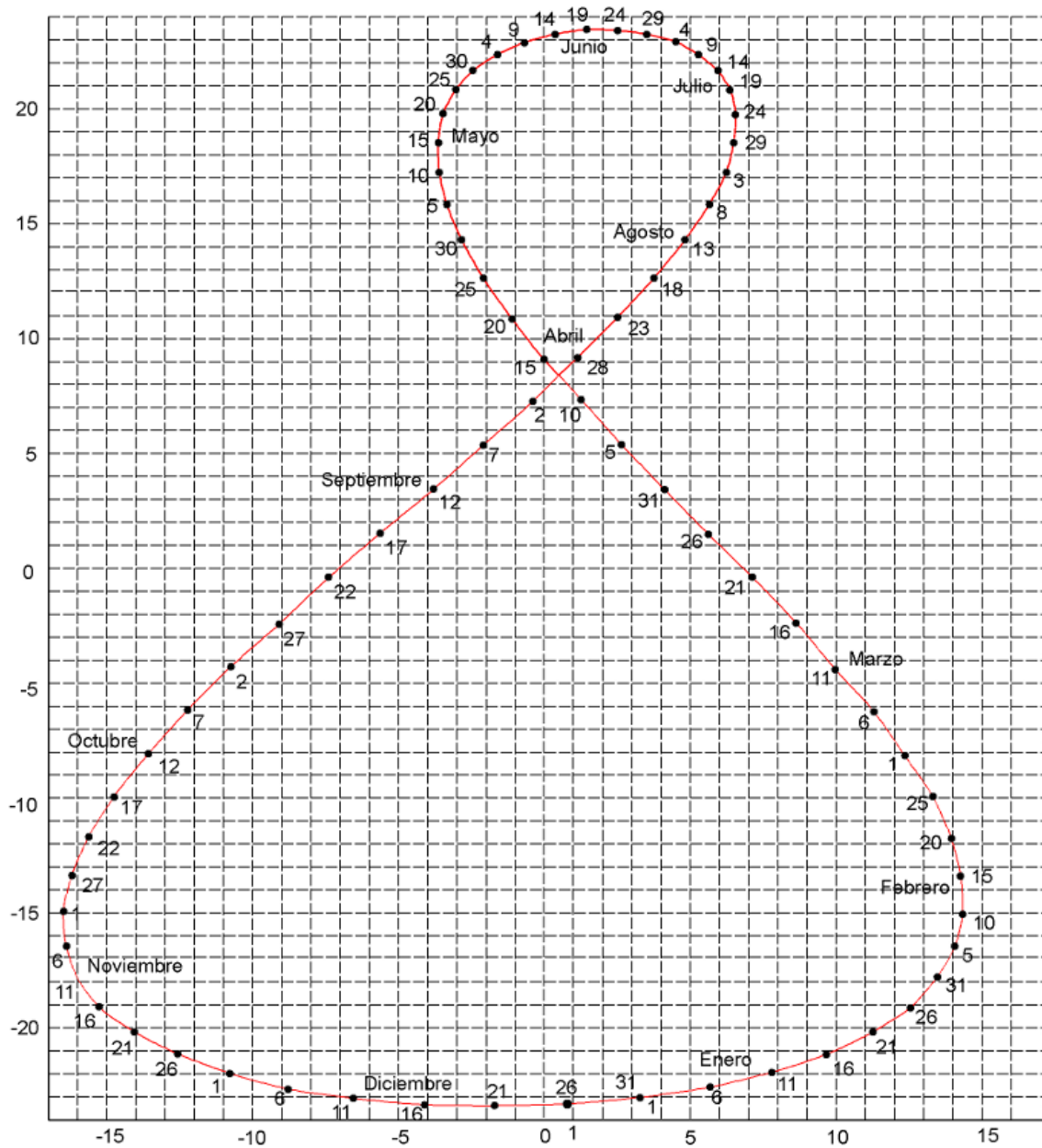


Figura 2.1: Adaptado de programa Shadows



Figura 2.2: Fotografía de Mirely, 10 de septiembre 2017





### 3. Hagamos un reloj solar

#### 3.1 Tipos de relojes solares

Observen con detenimiento la siguiente figura, parece complicada y si, lo es un poco.

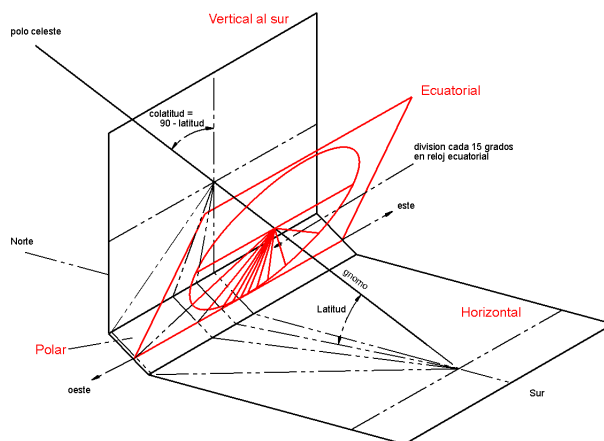


Figura 3.1: Tipos de relojes

Corresponde a una pared vertical viendo al sur (**Vertical al Sur**); El piso es perpendicular a la pared, **Horizontal**. En lugar de la esquina que hacen el piso y la pared hemos puesto un plano, que llamaremos **Polar**, el cual es paralelo a una recta muy importante, se le llama GNOMON o apuntador de la hora. Esta recta es paralela a una recta imaginaria que va de un polo al otro.

El gnomon se construye a partir de un punto arbitrario sobre la horizontal, y el otro punto yace en la estrella polar. El ángulo que hace el gnomon respecto al piso es justamente la latitud del lugar,

la posición de sitio en el globo terraqueo, en el caso de Ensenada es de 31.5 grados. Sustituyendo esa recta imaginaria por un hilo, o un bástago de madera, notaremos que el gnomon produce una sombra tanto en el piso, como en la pared, y la esquina hecha con el plano paralelo a al gnomon. Si colocamos un plano perpendicular al gnomon, esto es paralelo al ecuador, o **plano Ecuatorial**, también sobre este plano se da la sombra.

Naturalmente, la sombra que hay en la pared, partiendo del gnomon intersectándola, mostrada con línea punteada en la figura, llega al plano polar, sigue por el piso y llega a la base del gnomon.

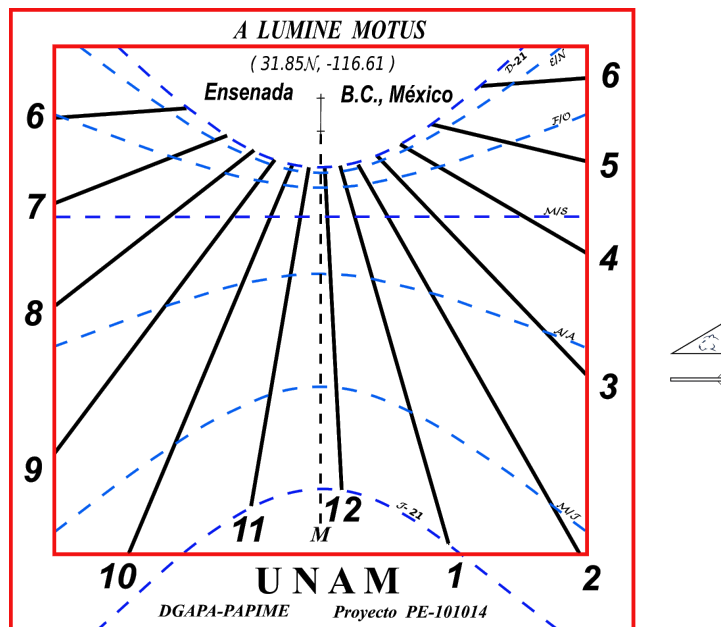
Los planos marcados con rojo en la figura definen los relojes principales, estos son **Reloj Vertical**, **Reloj Horizontal**, **Reloj Polar**, **Reloj Ecuatorial**. Si la pared no está vertical o no ve directamente al sur, derivan otras familias de relojes que no veremos aquí.

### 3.2 Construcción

En la parte final de este manual encontrarán una versión tamaño carta de varios relojes, los cuales se describen a continuación. Basta con recortar cada uno, cortar el gnomon y pegarlo en la posición que se indica. Ubicar el reloj en una zona asoleada, ver sección 3.3.1. La sombra del gnomon sobre el reloj indicará la hora. En la sección 3.3.4, se dará información de adecuar esa hora a la hora civil.

Estos relojes ya incluyen la corrección por longitud (ver sección 3.2.5, 3.3.1) y están trazados para la latitud 31.85 grados al norte del ecuador, en particular para Ensenada, B.C. Si le interesa un diseño específico para su localidad, puede pedirlo a roberto@cyn.unam.mx

#### 3.2.1 Reloj Vertical

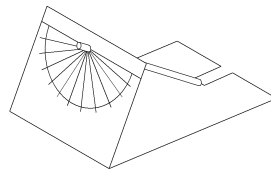
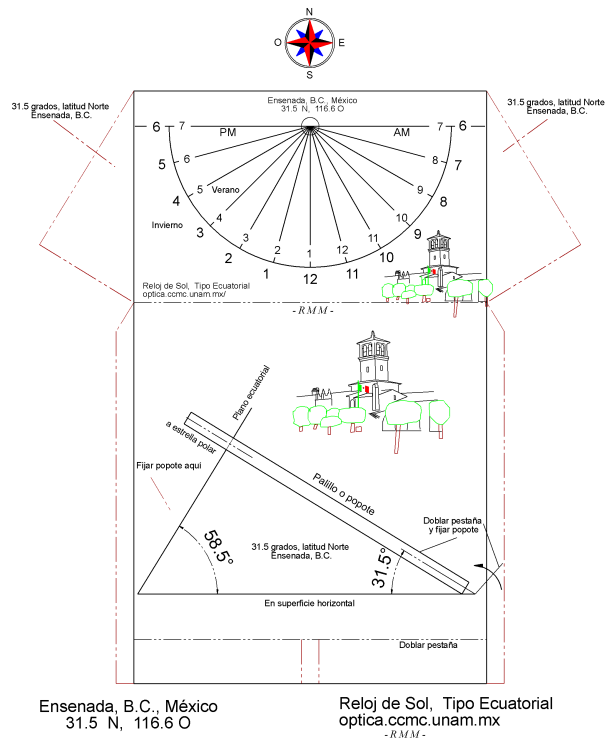


#### 3.2.2 Reloj Horizontal

[https://en.wikipedia.org/wiki/Schema\\_for\\_horizontal\\_dials](https://en.wikipedia.org/wiki/Schema_for_horizontal_dials)



### 3.2.3 Reloj Ecuatorial



### 3.2.4 Reloj Polar

### 3.2.5 Corrección por efecto de Longitud en el sitio

## 3.3 Uso

### 3.3.1 Ubicación y orientación del reloj

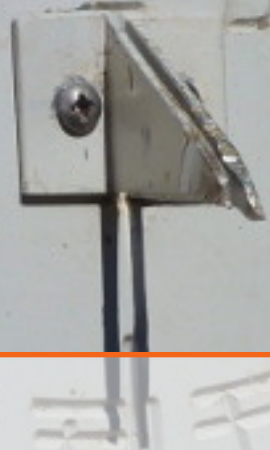
### 3.3.2 Observación de resultados

### 3.3.3 Analema

### 3.3.4 Errores y tolerancias

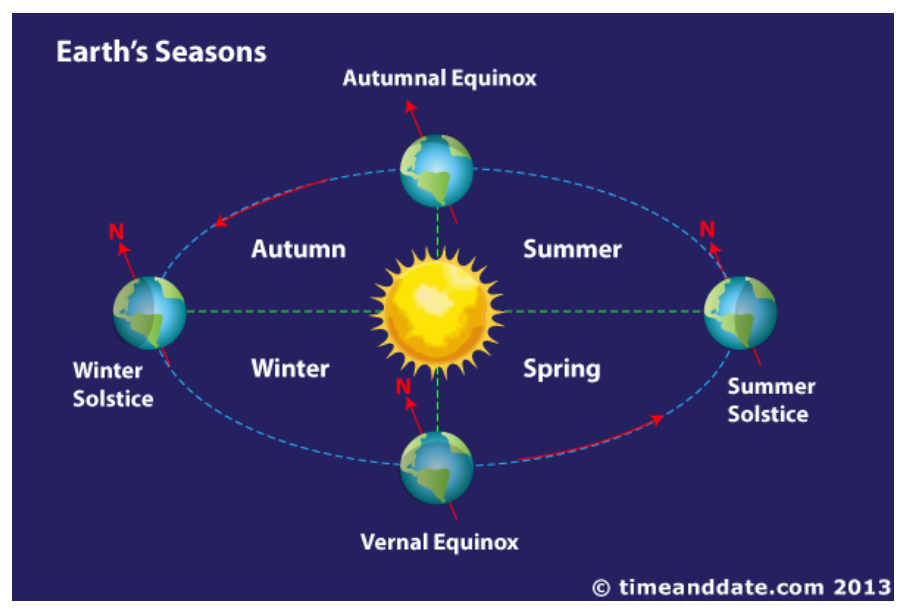
( 31.85N, -116.61 )

Ensenada, B.C., México



## 4. Aplicaciones


### 4.0.1 Tiempo de sembrar. Las estaciones.



## 4.0.2 Orientación

☞ La salida del Sol por un punto del horizonte y su desaparición por el punto opuesto permitió al **hombre** crear unos puntos de ubicación.

☞ De allí surge la palabra **orientación** que significa **determinación del oriente**.



El diagrama ilustra el ciclo del día. En el centro, un niño y un perro observan el horizonte. A la izquierda, un sol con una cara triste y la etiqueta 'Puesta del Sol ATARDECER' indica el final del día. A la derecha, un sol con una cara feliz y la etiqueta 'Salida del Sol AMANECER' indica el inicio del día. Arriba, dos sol con caras felices están conectados por una línea horizontal, con flechas que muestran el movimiento del sol desde la salida hasta la puesta.

## 4.0.3 Hora de rezar

No fueron los agricultores, ni los comerciantes ni los pastores quienes crearon los primeros relojes mecánicos independientes de las variaciones inestables del Sol, sino que fueron las Órdenes religiosas que, movidas por el deseo de cumplir, con constancia y sin olvido, sus deberes con Dios, idearon los primeros relojes mecánicos, allá por el siglo XIV. La misión de esos artefactos no era precisamente marcar las horas sino hacer sonar una campana que indicaba el momento de iniciar los rezos. A modo de verdaderos despertadores, recordaban los rezos del Ángelus:

HORA PRIMA, al amanecer,  
HORA TERCIA, a media mañana,  
HORA SEXTA o MERIDIES, al medio día,  
HORA NONA, a media tarde,  
HORA VESPERALIS, al atardecer, y  
HORA COMPLETORUM, cuando caía la noche.

## 4.0.4 Eclipses

## 4.0.5 En todos lados!


## 4.0.6 Cómo divertirse con el experimento

### Agradecimientos

Este proyecto empezó por iniciativa de un grupo de voluntarios, Chicas Solares (ver página aquí ). Gracias al PAPIME, por el proyecto 101014, con el que ha sido posible la adquisición de material para dejar experimentos en las escuelas y los experimentos itinerantes.

Agradecemos también estudiantes de CICESE y UNAM por su creativa participación durante los eventos que organizamos.

## **Derechos (Copyleft)**

Los derechos de estos manuales quedan registrados con la licencia de Creative Commons  **creative commons**,  
ver [liga aquí](#) .





( 31.85N, -116.61 )

Ensenada. B.C., México

## Bibliography

- [1] <https://www.dropbox.com/sh/I9tfja53gjhv7w8/AAA60twrXYWINWWcF62x2RUaa?dl=0>
- [2] libro de ciencias para 4º grado
- [3] libro de ciencias para 6º grado
- [4] <http://tuciencia.org>
- [5] <https://creativecommons.org/>