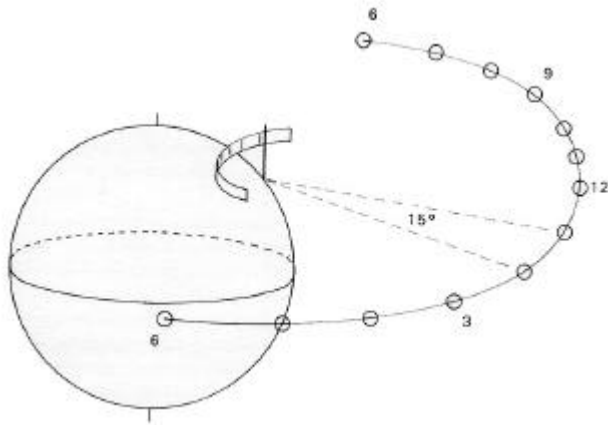


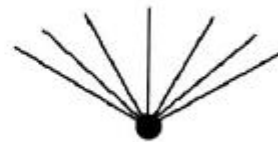
CONSTRUCCIÓN DE RELOJES DE SOL. MODELAJE DE RELOJES.

1. La primera aproximación a un reloj de sol



El intervalo elemental para la medida del tiempo es el día, período entre dos puestas sucesivas del Sol. A su vez, nuestros antepasados dividieron, de una forma arbitraria, el día en 24 intervalos llamados horas. Como el Sol describe un círculo completo (360°) en torno a la Tierra, cada hora supone un desplazamiento de $360^\circ/24 = 15^\circ$ (cada hora) en la posición aparente del Sol. O lo que es lo mismo, la

sombra de un “gnomon” paralelo al eje de giro terrestre y perpendicular al ecuador celeste se desplaza 15° cada hora.

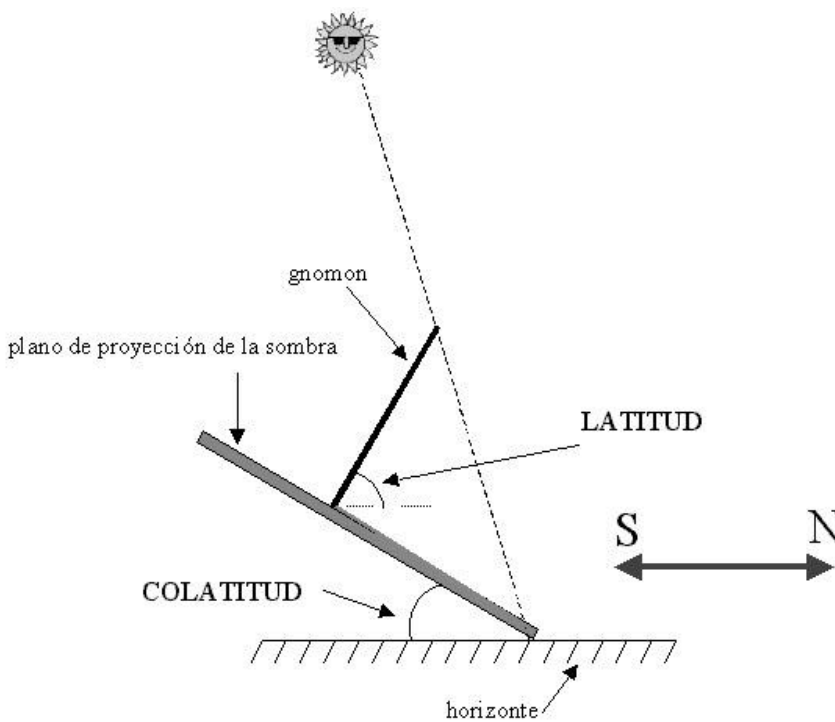


La primera aproximación a un reloj de Sol la podemos hacer fijando un “gnomon” vertical y estudiando las sombras sobre un plano horizontal. Si dibujamos sobre el plano horizontal la posición de las sombras cada hora comprobaremos que su separación es irregular, no están separadas por intervalos de 15° . Ese espaciamiento depende de la latitud del lugar de observación como luego veremos en detalle. Igualmente sucedería si estudiamos las sombras proyectadas sobre un plano vertical, su amplitud es también irregular.

De aquí deducimos que el método para construir relojes de Sol dependerá de la posición del plano de proyección de la sombra y de la latitud geográfica del lugar. Por consiguiente vamos a estudiar los distintos tipos de relojes de Sol en función de su ubicación con relación a los rayos del Sol

2. El reloj de Sol ecuatorial

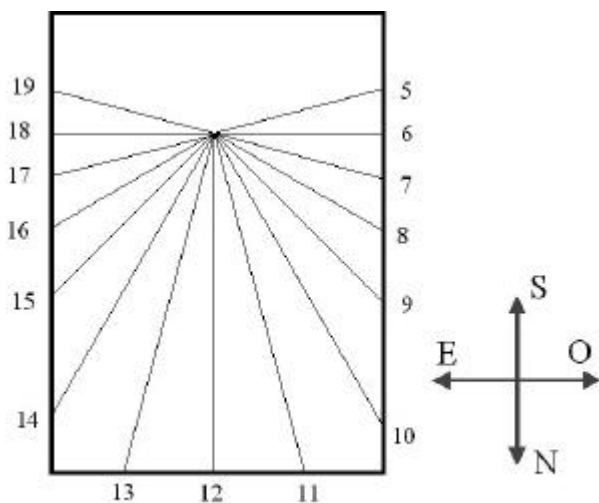
El “gnomon” debe orientarse según el eje de giro de la Tierra, es decir, apuntando a la estrella polar y paralelo al eje del mundo. Para ello debemos situar el “gnomon” formando un ángulo con el plano horizontal, igual a la latitud (ϕ) geográfica del punto donde nos situemos. El plano sobre el que se proyectan las sombras forma un ángulo con la horizontal igual a la colatitud ($90^\circ - \phi$) del lugar.



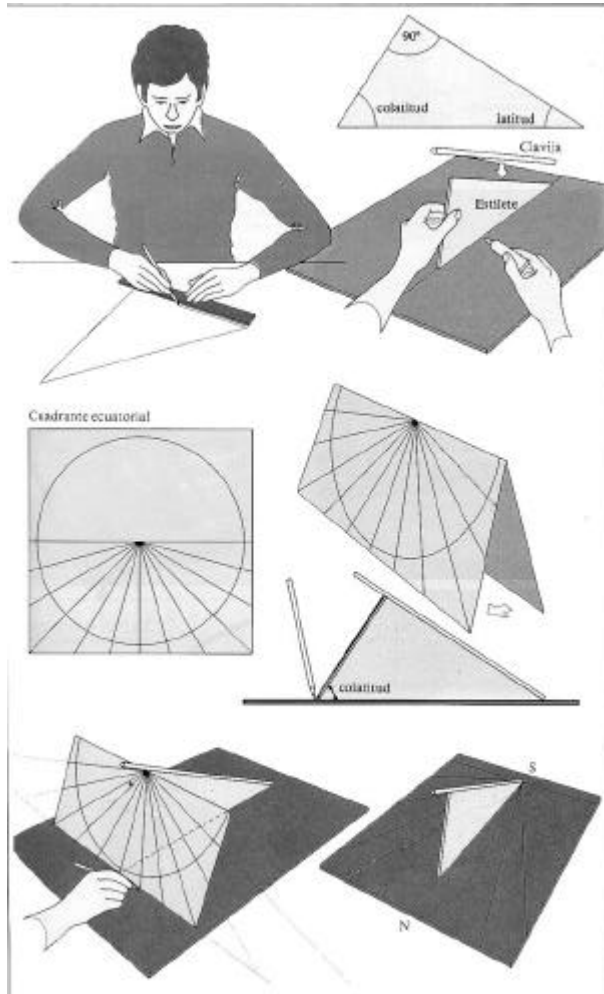
El reloj lo alineamos en la dirección de la meridiana, es decir de la línea Norte-Sur, con la ayuda de una brújula.

A partir de la línea meridiana trazamos líneas cada 15° , a derecha e izquierda, sabiendo que la línea meridiana marca las 12 h (debemos añadir 1 h en invierno y 2 h en verano para saber la hora oficial) y

hacia el Este vamos disminuyendo; 11 – 10 – 9 - y hacia el Oeste, vamos aumentando; 13 – 14 – 15 -



sumamos 1 hora en invierno y 2 h en verano



PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN RELOJ DE SOL ECUATORIAL

EQUIVALENCIA ENTRE LAS DIVISIONES EN EL RELOJ DE SOL ECUATORIAL Y EN EL HORIZONTAL

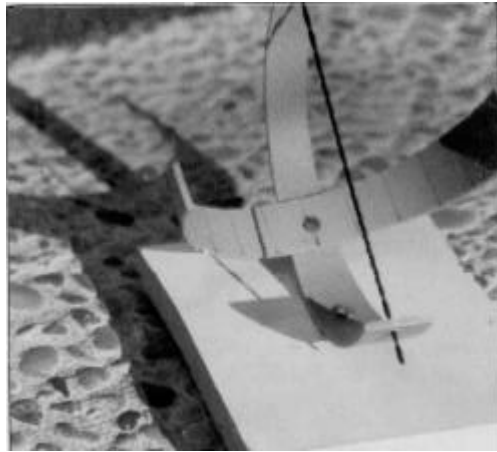
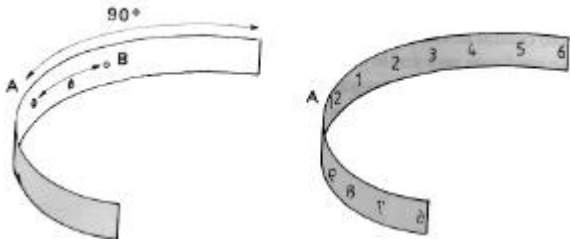
Con este diseño, en verano, cuando el Sol está por encima del ecuador celeste la sombra se proyecta sobre la cara superior y en invierno cuando el Sol está por debajo del ecuador

celeste, las sombras se proyectan sobre la cara inferior. En los equinoccios la sombra está indeterminada y el este modelo de reloj es poco práctico, en esos días, para medir el tiempo. Puede corregirse este problema sustituyendo el plano paralelo al ecuador por un cuenco o un limbo cóncavo sobre el que dibujaremos las marcas horarias como vamos a ver a continuación.

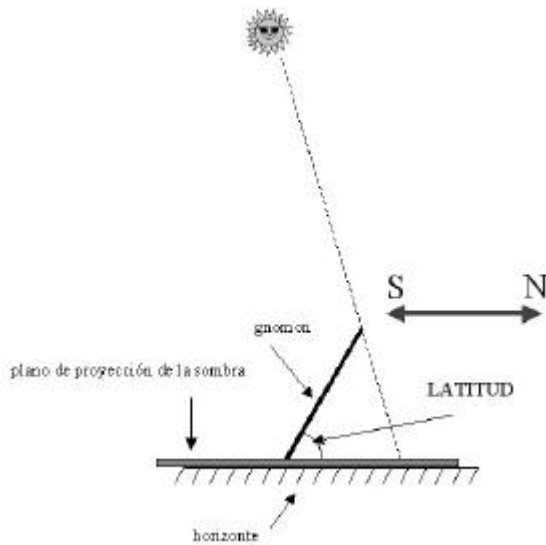
3. El reloj de Sol Anular

Otro modelo de reloj de Sol, basado en la misma orientación es el llamado reloj de Sol anular, caracterizado porque la zona receptora de la sombra no es un plano sino un anillo situado también paralelamente al ecuador celeste. Las sombras horarias están separadas 15° y resulta asimismo muy fácil de construir. El “gnomon” pasa por el centro del anillo siguiendo la dirección del eje del mundo.

En este caso las sombras no son líneas convergentes, sino líneas paralelas entre sí, regularmente espaciadas y siguiendo la misma dirección del “gnomon”.



4. El reloj de Sol horizontal



Para eliminar el problema de los relojes de Sol ecuatoriales en la determinación del tiempo en las fechas de los equinoccios, podemos situar el plano sobre el que se proyectará la sombra en posición horizontal. En este caso la posición del “gnomon” sigue siendo la misma, orientado en la dirección de la polar (paralelo al eje del mundo), pero la sombra no se proyecta sobre un plano paralelo al ecuador celeste, sino sobre el horizonte del lugar de observación.

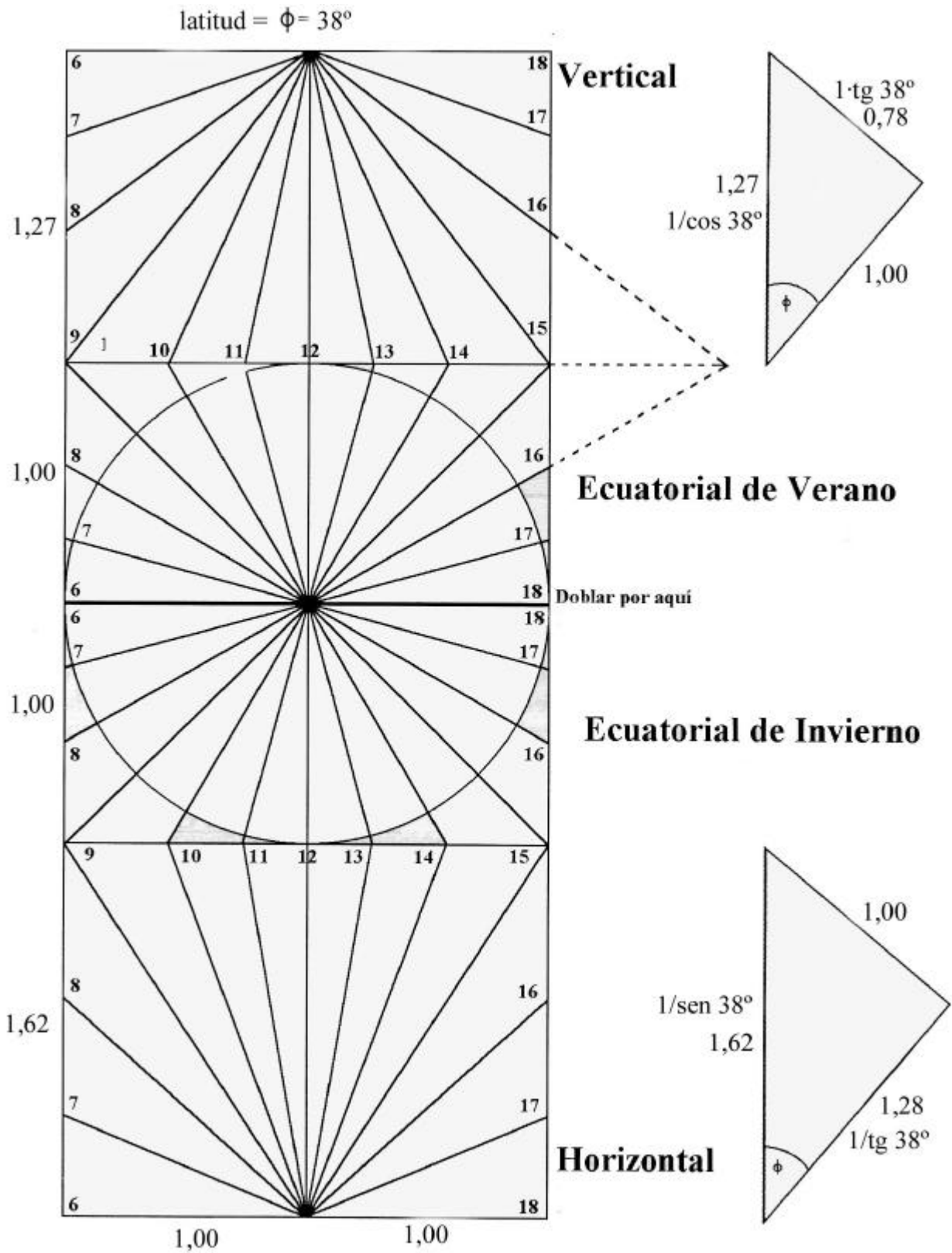
Las horas las marcaremos proyectando las marcas horarias del plano ecuatorial sobre el plano horizontal. Al proyectar, las marcas horarias no están separadas ángulos de 15° sino que debemos determinar su posición mediante una sencilla construcción geométrica (ver figura).

Los intervalos horarios en un reloj de sol horizontal forman ángulos que vienen determinados por la expresión.

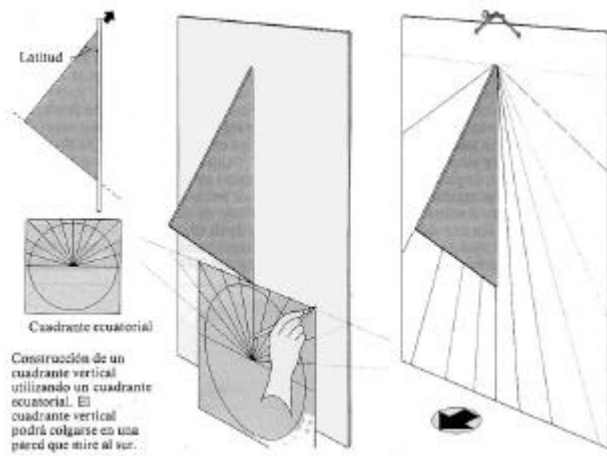
$$\alpha = \text{arc tg} (\text{sen } \varphi \cdot \text{tg } 15^\circ \cdot n)$$

Siendo φ la latitud del lugar y n el número de horas. Por ejemplo, para la latitud de Alicante $\varphi = 38^\circ$, los ángulos a dibujar sobre el plano horizontal serían.

$\text{tg } \alpha_1 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 15^\circ$	$\alpha_1 = 9,4^\circ$
$\text{tg } \alpha_2 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 30^\circ$	$\alpha_2 = 19,57^\circ$
$\text{tg } \alpha_3 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 45^\circ$	$\alpha_3 = 31,6^\circ$
$\text{tg } \alpha_4 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 60^\circ$	$\alpha_4 = 46,8^\circ$
$\text{tg } \alpha_5 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 75^\circ$	$\alpha_5 = 66,5^\circ$
$\text{tg } \alpha_6 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 90^\circ$	$\alpha_6 = 90^\circ$
$\text{tg } \alpha_7 = \text{sen } 38^\circ \cdot \text{tg } 105^\circ$	$\alpha_7 = -66,5^\circ$



5. El reloj de Sol Vertical



Tradicionalmente los relojes de sol se situaban en los muros de los edificios públicos, principalmente en la fachada de las iglesias. La fachada debía estar orientada hacia el sur y de nuevo deberemos proyectar las marcas horarias del reloj de sol ecuatorial sobre un plano vertical. El método es idéntico al anterior sin más que cambiar el seno por el coseno.

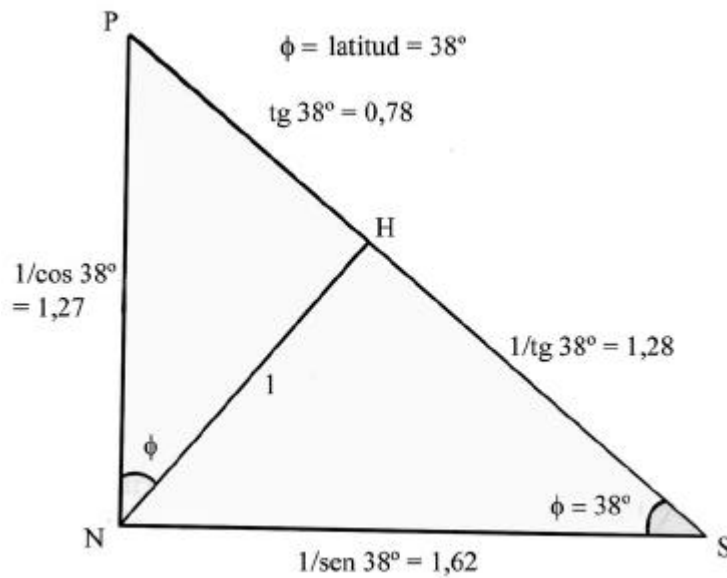
$$\beta = \text{arc tg} (\cos \varphi \cdot \text{tg } 15^\circ \cdot n)$$

$\text{tg } \beta_1 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 15^\circ$	$\beta_1 =$
$\text{tg } \beta_2 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 30^\circ$	$\beta_2 =$
$\text{tg } \beta_3 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 45^\circ$	$\beta_3 =$
$\text{tg } \beta_4 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 60^\circ$	$\beta_4 =$
$\text{tg } \beta_5 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 75^\circ$	$\beta_5 =$
$\text{tg } \beta_6 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 90^\circ$	$\beta_6 =$
$\text{tg } \beta_7 = \cos 38^\circ \cdot \text{tg } 105^\circ$	$\beta_7 =$

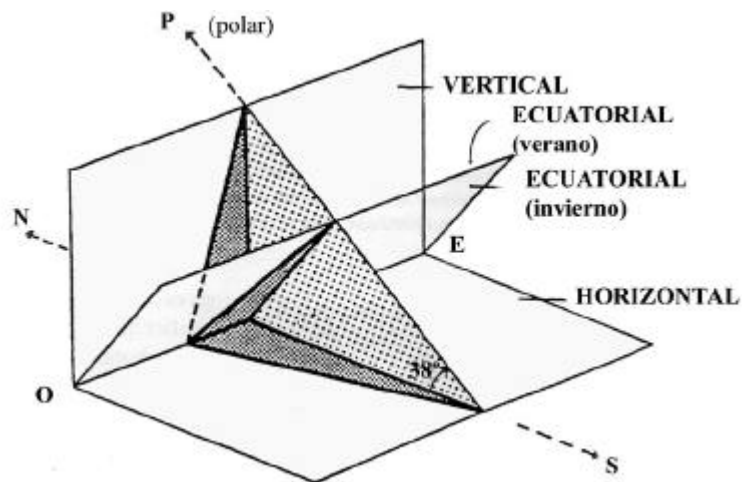
6. Un reloj de Sol híbrido

Podemos construir un reloj de Sol, de aplicación más bien teórica que recoja los tres tipos estudiados; ecuatorial, horizontal y vertical.

Suponiendo una latitud $\phi = 38^\circ$, la base del diseño es un triángulo rectángulo cuyos ángulos son la latitud y la colatitud del lugar. Tomando la altura del triángulo como unidad, los catetos se corresponden con la cosecante y la secante de la latitud, tal como se observa en la figura adjunta.



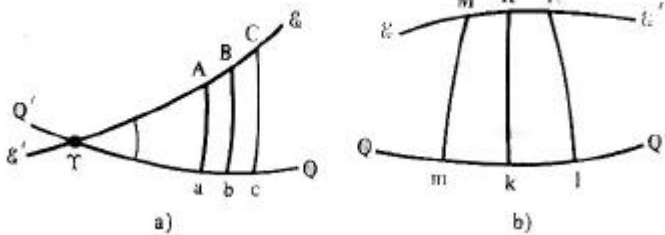
El reloj, a falta de dibujar las líneas horarias, presentaría el siguiente aspecto.



7. El reloj de Sol no marca la hora exacta. La ecuación del tiempo.

La Tierra, en su movimiento en torno al Sol, no lleva una velocidad de traslación constante. Esto es debido a que la órbita terrestre no es un círculo, sino una elipse. Por tanto, la distancia Sol-Tierra es variable; el 4 de enero la Tierra está a km del Sol y el 4 de julio está a km del Sol. La mayor cercanía provoca una fuerza de atracción gravitatoria más intensa y consecuentemente una aceleración positiva en el movimiento de traslación de la Tierra. Cuando la distancia aumenta, la atracción disminuye y la Tierra frena su movimiento de traslación.

Visto desde la Tierra, es como si el Sol adelantara o retrasara su paso por el meridiano del lugar.



Por otra parte, el movimiento aparente del Sol no transcurre por el ecuador celeste sino por la eclíptica. Esto significa que la declinación solar varía a lo largo del año. En nuestro cómputo del tiempo, nosotros

tomamos un Sol medio ficticio que se mueve por el ecuador celeste de una forma uniforme. Al tratarse de círculos máximos (la eclíptica y el ecuador celeste) que se cruzan, la proyección del arco descrito por el Sol en la eclíptica sobre el ecuador celeste no guardan proporcionalidad, esto es, en el mismo intervalo de tiempo los arcos medidos sobre la eclíptica no tienen igual longitud que los arcos descritos sobre el ecuador celeste.

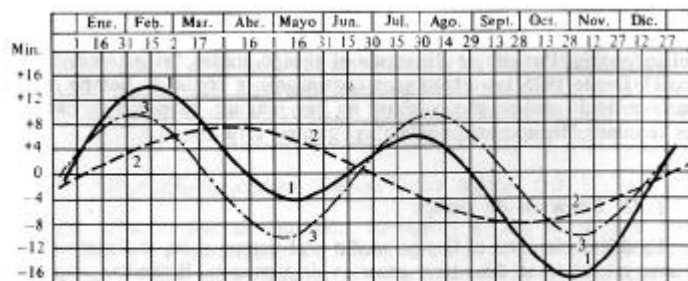


Fig. 14. Gráfico de la ecuación del tiempo: 1, ecuación del tiempo; 2, ecuación del tiempo correspondiente a un día determinado; 3, ecuación de la inclinación de la eclíptica.

La suma de estos dos efectos da como resultado una diferencia notable entre el sol real (variable) y el sol ficticio (constante). A esa diferencia la llamamos “ecuación del tiempo”. La ecuación del tiempo correspondiente a un día determinado no es más que la

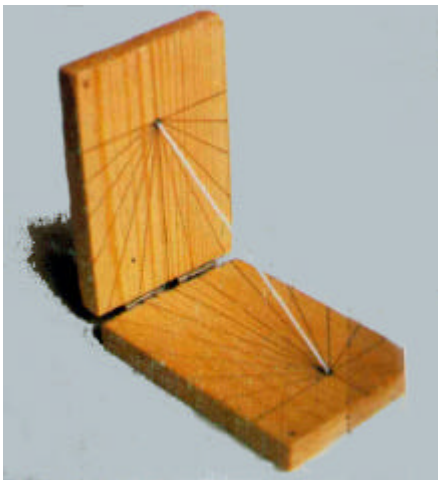
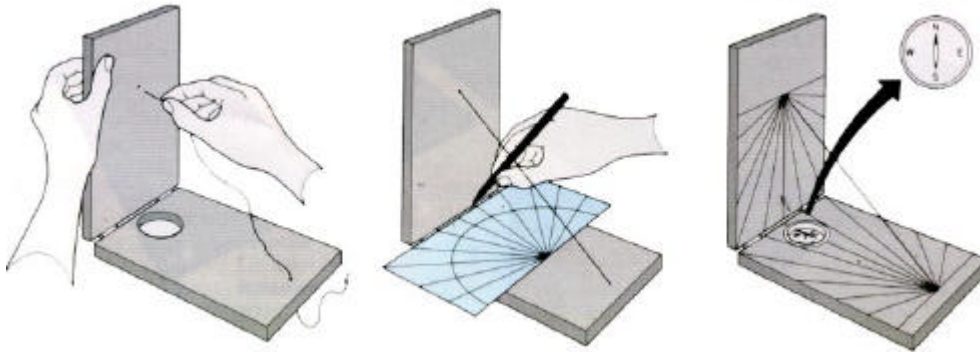
diferencia en minutos entre la hora señalada por el reloj de Sol y la hora oficial marcada por nuestro reloj de muñeca. NOTA: Supongo que estamos sobre el meridiano de Greenwich.

ECUACIÓN DEL TIEMPO ANUAL												
Datos en minutos y segundos. El signo negativo indica que el Sol real se retrasa respecto del horario oficial												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
1	-03 09	-13 27	-12 30	-04 08	+02 49	+02 20	-03 39	-06 21	-00 16	+10 04	+16 23	+11 19
2	-03 37	-13 35	-12 19	-03 50	+02 56	+02 11	-03 51	-06 18	+00 03	+10 23	+16 25	+10 56
3	-04 05	-13 42	-12 07	-03 32	+03 03	+02 02	-04 02	-06 14	+00 23	+10 42	+16 26	+10 33
4	-04 33	-13 49	-11 54	-03 15	+03 09	+01 52	-04 13	-06 09	+00 42	+11 01	+16 26	+10 10
5	-05 00	-13 55	-11 41	-02 57	+03 15	+01 42	-04 24	-06 03	+01 02	+11 20	+16 26	+09 46
6	-05 27	-14 00	11 28	-02 40	+03 20	+01 31	-04 34	-05 57	+01 22	+11 38	+16 24	+09 21
7	-05 53	-14 04	-11 14	-02 23	+03 25	+01 21	-04 45	-05 51	+01 42	+11 55	+16 22	+08 56
8	-06 19	-14 07	-10 59	-02 06	+03 29	+01 09	-04 54	-05 44	+02 02	+12 13	+16 19	+08 30
9	-06 45	-14 10	-10 45	-01 49	+03 32	+00 58	-05 04	-05 36	+02 23	+12 29	+16 15	+08 04
10	-07 09	-14 11	-10 30	-01 33	+03 35	+00 46	-05 13	-05 28	+02 43	+12 46	+16 10	+07 37
11	-07 34	-14 12	-10 14	-01 16	+03 38	+00 34	-05 21	-05 19	+03 04	+13 02	+16 04	+07 10
12	-07 58	-14 13	-09 59	-01 01	+03 39	+00 22	-05 30	-05 10	+03 25	+13 17	+15 57	+06 42
13	-08 21	-14 12	-09 43	--00 45	+03 40	+00 10	-05 37	-05 00	+03 46	+13 32	+15 50	+06 14
14	-08 44	-14 11	-09 27	-00 30	+03 41	-00 03	-05 45	-04 49	+04 07	+13 47	+15 42	+05 46
15	-09 06	-14 09	-09 10	-00 15	+03 41	-00 16	-05 52	-04 38	+04 29	+14 01	+15 33	+05 17
16	-09 27	-14 06	-08 53	-00 00	+03 40	-00 29	-05 59	-04 27	+04 50	+14 14	+15 23	+04 49
17	-09 48	-14 03	-08 37	+00 14	+03 39	-00 42	-06 04	-04 15	+05 11	+14 27	+15 12	+04 19
18	-10 08	-13 59	-08 19	+00 28	+03 37	-00 55	-06 09	-04 02	+05 33	+14 40	+15 00	+03 50
19	-10 27	-13 54	-08 02	+00 41	+03 35	-01 08	-06 14	-03 49	+05 54	+14 51	+14 48	+03 21

20	-10 46	-13 49	-07 45	+00 54	+03 32	-01 21	-06 18	-03 35	+06 16	+15 03	+14 35	+02 51
21	-11 04	-13 43	-07 27	+01 07	+03 29	-01 34	-06 21	-03 21	+06 37	+15 13	+14 21	+02 22
22	-11 21	-13 36	-07 09	+01 19	+03 25	-01 47	-06 24	-03 06	+06 58	+15 23	+14 06	+01 52
23	-11 37	-13 28	-06 51	+01 31	+03 21	-02 00	-06 27	-02 51	+07 20	+15 32	+13 51	+01 22
24	-11 52	-13 20	-06 33	+01 42	+03 16	-02 13	-06 28	-02 35	+07 41	+15 41	+13 34	+00 52
25	-12 07	-13 11	-06 15	+01 53	+03 11	-02 26	-06 30	-02 19	+08 02	+15 49	+13 17	+00 23
26	-12 21	-13 02	-05 57	+02 03	+03 05	-02 38	-06 30	-02 03	+08 23	+15 56	+12 59	-00 07
27	-12 34	-12 52	-05 39	+02 13	+02 58	-02 51	-06 30	-01 46	+08 43	+16 03	+12 41	-00 37
28	-12 46	-12 41	-05 21	+02 23	+02 52	-03 03	-06 30	-01 28	+09 04	+16 08	+12 21	-01 06
29	-12 58		-05 02	+02 32	+02 44	-03 16	-06 29	-01 11	+09 24	+16 13	+12 01	-01 36
30	-13 08		-04 44	+02 41	+02 37	-03 28	-06 27	-00 53	+09 44	+16 17	+11 40	-02 05
31	-13 18		-04 26		+02 29		-06 24	-00 34		+16 21		-02 34

$$\text{Hora oficial} = \text{Hora solar} - \text{Ecuación del tiempo} + \text{Longitud geográfica (Oeste)}$$

8. Reloj de Sol de bolsillo



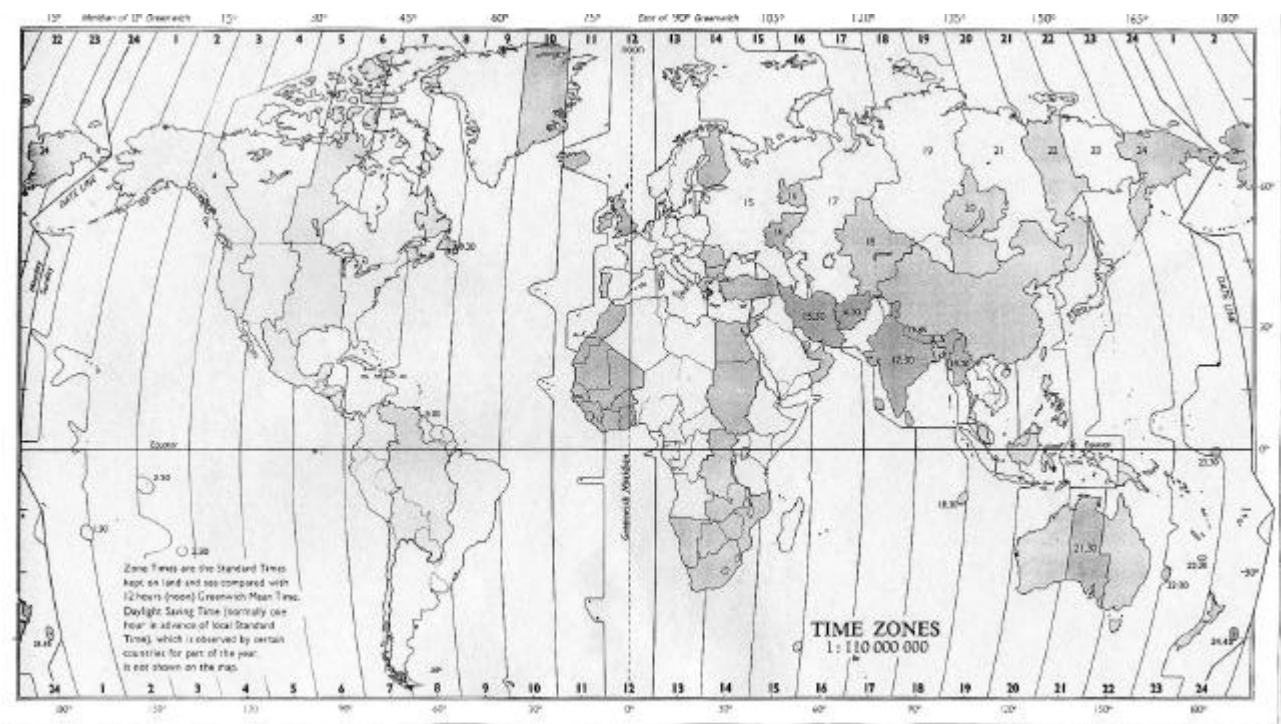
El reloj de Sol de bolsillo está formado por dos piezas rectangulares de madera colocadas perpendicularmente entre sí, unidas por unas bisagras y por un cordel. Dicho cordel debemos atarlo a las dos piezas formando un ángulo con la horizontal igual a la latitud del lugar. Todo el conjunto debe estar orientado en la dirección Norte-Sur, para lo cual nos valdremos de una pequeña brújula.

El dibujo de las líneas horarias es igual al método expuesto en la construcción de los relojes de Sol horizontal y vertical.

9. Corrección de la hora solar con la longitud geográfica

Es un hecho conocido que la posición del Sol es distinta para observadores situados en zonas de longitud geográfica diferente. La medida de las longitudes geográficas utiliza el meridiano que pasa por Greenwich, pequeña población a orillas del Támesis, cerca de Londres, como origen del sistema de referencia. Hacia la izquierda, medimos de 0° a 180°, longitud Oeste y hacia la derecha medimos de 0° a 180°, longitud Este. Como el Sol recorre la esfera celeste (360°) en 24 horas, significa que cada hora avanza 15° en su movimiento aparente desde oriente a occidente.

Sucede que el horario solar va cambiando constantemente cuando nos desplazamos a lo largo de un paralelo terrestre, lo cual representa un inconveniente para simultanear sucesos en una misma zona geográfica. Por ello, los gobiernos establecen un horario uniforme en un mismo país, de acuerdo con unos husos horarios (24 en total), los cuales suelen tener una anchura de $7,5^\circ + 7,5^\circ = 15^\circ$, a izquierda y derecha del meridiano.



Por ejemplo, Madrid está situado a 14' 45" de longitud oeste, eso significa que cuando el sol medio está situado sobre el meridiano de Greenwich, todavía le faltan 14 minutos y 45 segundos para llegar al meridiano de Madrid.

Es decir, si leemos la hora señalada por un reloj de Sol en Madrid, debemos sumarle 14' 45" para corregir el efecto debido a la longitud geográfica de Madrid. Además, el gobierno de España adelanta la hora oficial 1 h durante el invierno y 2 h durante el verano. Por consiguiente, para interpretar la lectura en un reloj de Sol debemos hacer lo siguiente.

Hora oficial = Hora leída en el reloj de Sol - Ecuación del tiempo + Longitud oeste + 1 h (invierno)

Hora oficial = Hora leída en el reloj de Sol - Ecuación del tiempo + Longitud oeste + 2 h (verano)

En los puntos situados “a la derecha” del meridiano de Greenwich (longitud este), deberemos restar su longitud en vez de sumarla. Así por ejemplo, en Palma de Mallorca con longitud este = 10' 36", tendremos que restar 10 minutos y 36 segundos a la hora solar para conocer la hora oficial.

10. El reloj de Sol analemático



A la vista de lo expuesto hasta ahora deducimos que el proceso para determinar la hora oficial a partir de la medida de un reloj de Sol, es un proceso un tanto incómodo y engorroso que nos obliga a tener delante una tabla con la ecuación del tiempo y además conocer con exactitud la longitud geográfica del lugar de observación, aparte las operaciones matemáticas a realizar. Sería deseable disponer de algún sistema para medir la hora exacta de una forma directa, al igual como hacemos cuando consultamos nuestro reloj de pulsera. Es decir, un reloj de Sol que corrigiera automáticamente la ecuación del tiempo y la longitud geográfica. Dicho reloj existe, ha sido diseñado por D. Juan Vicente Pérez Ortiz del Círculo Astronómico de Alicante y su diseño vamos a estudiar a continuación.

Su fundamento teórico consiste en desplazar la sombra una distancia equivalente a la ecuación del tiempo del día de observación. Los relojes de Sol tradicionales constan de un gnomon fijo que proyecta una sombra sobre un limbo y a partir de esa medida sumamos o restamos la ecuación del tiempo. El reloj de Sol analemático desplaza la sombra justo el valor de la ecuación del tiempo y por consiguiente, su lectura directa nos proporciona la hora exacta.

Está basado en el reloj de Sol anular. Es decir, disponemos de un limbo circular graduado, orientado según el ecuador celeste, pero ese limbo está desplazado una distancia igual a la longitud del lugar. Es decir, si lo construimos en Alicante con una longitud geográfica aproximadamente igual a 2 minutos Oeste, cuando el sol medio alcanza el meridiano de Alicante el reloj marca las 12 h (solar media) y 2 minutos. Como en España vamos adelantados 1 h en invierno con relación al Tiempo Universal y 2 h en verano, para facilitar su lectura, en el punto del mediodía señala las 13 h en invierno y las 14 h en verano.

Hasta aquí el diseño es el tradicional, la originalidad reside en sustituir el gnomon por una regla orientable donde se ha dibujado (vaciado) una zona determinada por la ecuación del tiempo y por la declinación del Sol de todo el año. Es decir, la curva resultante de unir los puntos obtenidos por

intersección de la ecuación del tiempo y la declinación solar durante los 365 días del año. Dicha curva recibe el nombre de analema.

Veamos ahora con detalle el proceso de construcción

En primer lugar partimos de un limbo semicircular cuyo radio sea de 300 mm, por ejemplo. La longitud del arco valdrá pues.

$$L = \pi \cdot R = 3,14 \cdot 300 = 942 \text{ mm}$$

El limbo semicircular abarca un total de 12 horas. Por consiguiente.

1 hora.....

1 minuto



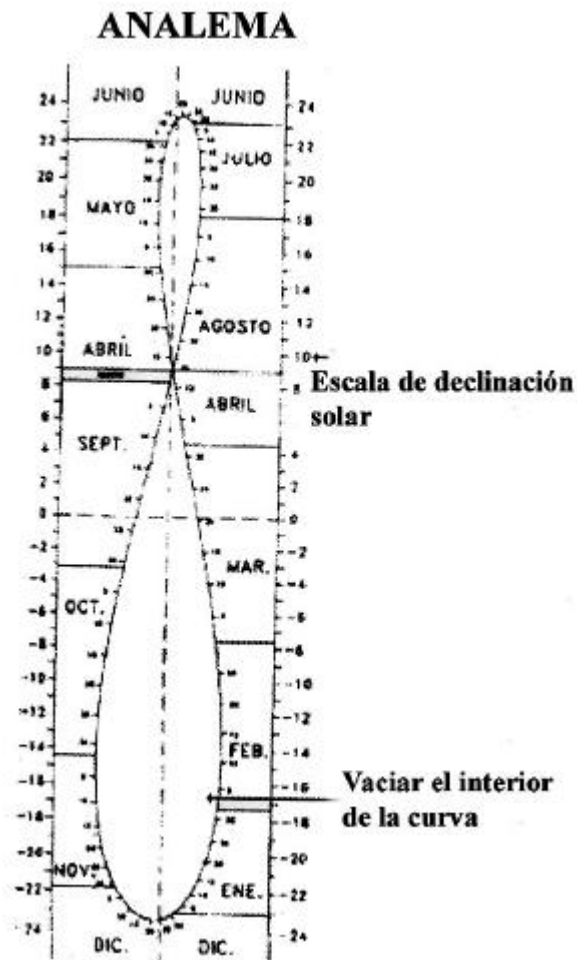
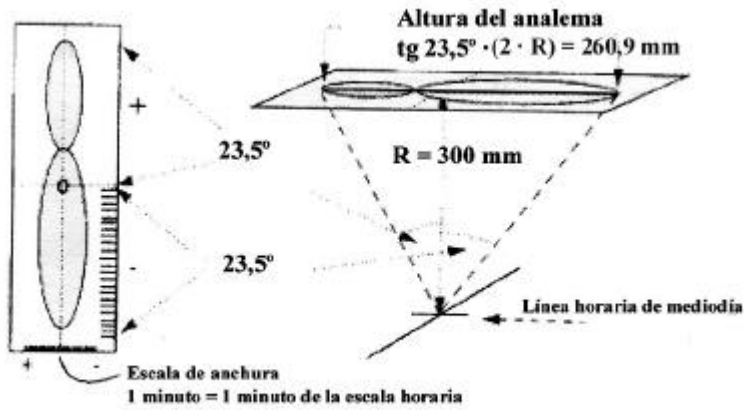
Una vez diseñado el limbo, pasamos a diseñar el analema. Para ello tomamos un sistema cartesiano formado por dos ejes perpendiculares. El eje horizontal representa la ecuación del tiempo. Tomamos los valores positivos a la derecha (Sol atrasado) y los valores negativos a la izquierda (Sol adelantado). El eje vertical representa la declinación solar que oscila de 0 a +23,5° en la parte positiva del eje y de 0 a -23,5° en la parte negativa del eje.

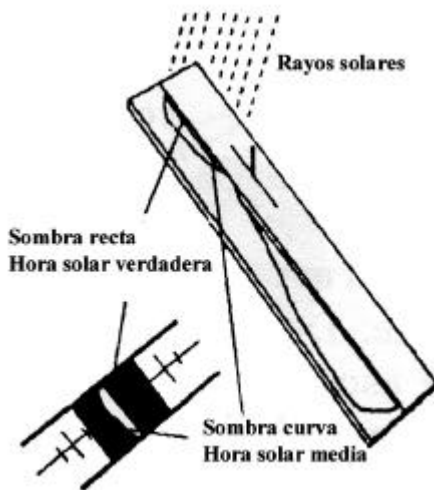
La escala del eje horizontal es la misma del limbo semicircular; 1 minuto = 1,3 mm y para el eje vertical tomamos como longitud total.

$$L = 2 \cdot R \cdot \text{tg } 23,5^\circ = 260,9 \text{ mm}$$

La posición de cada grado estará a una posición del centro igual al producto del radio por la tangente del ángulo.

- 1 grado estará a una distancia del centro igual a $\text{tg } 1^\circ \cdot R$
- 2 grados estará a una distancia del centro igual a $\text{tg } 2^\circ \cdot R$
- 3 grados estará a una distancia del centro igual a $\text{tg } 3^\circ \cdot R$
- 4 grados estará a una distancia del centro igual a $\text{tg } 4^\circ \cdot R$
- y así, sucesivamente, hasta...
- 23,5 grados estará a una distancia del centro igual a $\text{tg } 23,5^\circ \cdot R$





Una vez dibujado el analema marcamos sobre cada punto, el día del año. La lectura del reloj se hace orientando la placa móvil en la dirección perpendicular a los rayos del Sol. Con un objeto delgado, un lápiz por ejemplo, señalamos el día del año y su sombra leída sobre el limbo semicircular nos da la hora exacta sin necesidad de realizar ningún cálculo suplementario.

CAPITAL	LATITUD NORTE (° ‘ ‘‘)	LONGITUD (min seg)	ALTITUD (m)	GRAVEDAD (cm/seg²)
Albacete (Torre iglesia de San Juan)	38 59 44	07 25,5 W	680	979,896
Alicante (Torre iglesia de San Nicolás)	38 20 43	01 56,0 W	7	980,042
Almería (Torre de la Catedral)	36 50 18	09 52,3 W	17	979,911
Avila (Torre de la Catedral)	40 30 21	18 47,5 W	1.131	979,939
Badajoz (Torre del Castillo)	38 52 55	27 52,3 W	209	980,050
Barcelona (Torre de la Catedral)	41 23 03	08 42,3 E	12	980,240
Bilbao (Torre de la Catedral)	43 15 20	03 03,3 W	6	980,240
Burgos (Torre norte de la Catedral)	42 20 25	14 49,2 W	861	980,161
Cáceres (Torre iglesia de San Mateo)	39 28 23	25 29,1 W	459	979,937
Cádiz (Torre de Tavira)	36 31 55	25 11,7 W	14	979,937
Castellón (Torre Sta. María, Catedral)	39 50 10	00 09,1 W	29	979,937
Ciudad Real (Torre de la Catedral)	38 59 12	15 43,6 W	620	979,925
Córdoba (Torre de la Catedral)	37 52 46	19 07,4 W	106	979,950
Coruña, La (Torre igl. Sto. Domingo)	43 22 12	33 33,9 W	26	980,501
Cuenca (Torre Mangana)	40 04 35	08 31,6 W	1.001	979,899
Gerona (Torre de la Catedral)	41 59 14	11 18,1 E	98	979,899
Granada (Torre de la Catedral)	37 10 35	14 24,0 W	685	979,069
Guadalajara (T. Sta. M ^a la Mayor, Cat.)	40 38 04	12 39,1 W	685	980,014
Huelva (Torre iglesia de San Pedro)	37 15 36	27 24,2 W	26	979,971
Huesca (Torre de la Catedral)	42 08 26	01 38,1 E	488	979,971
Jaén (Torre de la Catedral)	37 45 54	15 09,8 W	574	979,810
León (Torre más alta de la Catedral)	42 35 57	22 16,2 W	838	980, 186
Lérida (Torre de la Catedral vieja)	41 37 03	02 30,3 E	222	980,260
Logroño (T. Sta. M ^a la Redonda, Cat.)	42 28 00	09 47,0 W	384	980,265
Lugo (Torre vieja de la Catedral)	43 00 34	30 14,0 W	454	980,365
Madrid (Observatorio Astronómico)	40 24 30	14 45,1 W	655	979,981
Málaga (Torre de la Catedral)	36 43 13	02 55,7 W	8	979,918
Murcia (Torre de la Catedral)	37 59 04	10 14,2 E.	42	979,918
Orense (Torre de la Catedral)	42 20 11	16 42,2 W	139	979,918
Oviedo (Torre de la Catedral)	43 21 44	08 37,5 W	232	980,430

Palencia (Torre iglesia de San Miguel)	42 00 28	03 23,3 W	734	980,151
Palma de M. (Baluarte Sta. Margarita)	39 34 32	25 21,5 E	33	980,179
Palmas, Las (Torre de la Catedral)	28 05 58	46 54,2 W	13	979,385
Pamplona (Torre norte de la Catedral)	42 49 11	08 11,0 E	449	980,273
Pontevedra (Torre iglesia Sta. María)	42 26 01	19 50,4 W	20	980,273
Salamanca (Torre de la Catedral)	40 57 38	07 55,0 W.	803	980,057
San Sebastián (Torre de la Catedral)	43 19 01	06 49,4 E.	8	980,419
S. C. Tenerife (T. igl. la Concepción)	28 27 47	50 22,4 W	5	979,411
Santander (T. igl. de la Anunciación)	43 27 47	00 28,3 W	15	980,503
Segovia (Torre de la Catedral)	40 57 00	01 45,2 W	1.002	979,968
Sevilla (Torre de la Catedral, Giralda)	37 23 10	09 13,2 W	10	979,965
Soria (Señal geodésica P.O del Mirón)	41 46 06	04 53,0 E	1.064	980,040
Tarragona (Torre de la Catedral)	41 07 09	19 47,0 E	69	980,040
Teruel (Torre iglesia de San Martín)	40 20 39	10 18,8 E	913	979,925
Toledo (Torre de la Catedral)	39 51 26	01 20,8 W	512	980,015
Valencia (T. de la Cat., El Miguelete)	39 28 31	13 14,8 E	16	980,127
Valladolid (Torre de la Catedral)	41 39 08	04 08,5 W	692	980,111
Vitoria (Torre de la Catedral)	42 51 01	04 03,5 E	550	980,111
Zamora (Torre de la Catedral)	41 29 56	08 16,1 W	649	980,146
Zaragoza (Torre este iglesia del Pilar)	41 30 24	11 13,9 E	200	980,242

DECLINACIÓN DEL SOL A LO LARGO DEL AÑO												
Datos en grados, minutos y segundos. El signo (-) indica que el Sol está por debajo del ecuador y el (+) por encima												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
1	-23 03 09	-17 17 10	-07 50 19	+04 16 57	+14 52 25	+21 57 37	+23 08 56	+18 10 51	+08 31 15	-02 55 32	-14 12 39	-21 41 35
2	-22 58 17	-17 00 09	-07 27 33	+04 40 07	+15 10 36	+22 05 50	+23 04 58	+17 55 49	+08 09 31	-03 18 49	-14 31 54	-21 50 59
3	-22 52 58	-16 42 51	-07 04 40	+05 03 11	+15 28 32	+22 13 39	+23 00 36	+17 40 28	+07 47 40	-03 42 03	-14 50 56	- 21 59 58
4	-22 47 11	-16 25 14	-06 41 41	+05 26 11	+15 46 13	+22 21 05	+22 55 50	+17 24 51	+07 25 41	-04 05 15	-15 09 43	-22 08 32
5	-22 40 57	-16 07 21	-06 18 37	+05 49 04	+16 03 38	+22 28 08	+22 50 39	+17 08 56	+07 03 34	-04 28 24	-15 28 15	-22 16 40
6	-22 34 16	-15 49 11	-05 55 27	+06 11 52	+16 20 48	+22 34 47	+22 45 05	+16 52 45	+06 41 21	-04 51 30	-15 46 32	-22 24 23
7	-22 27 08	-15 30 44	-05 32 13	+06 34 33	+16 37 41	+22 41 02	+22 39 08	+16 36 17	+06 19 01	-05 14 33	-16 04 34	-22 31 39
8	-22 19 34	-15 12 02	-05 08 53	+06 57 08	+16 54 17	+22 46 54	+22 32 46	+16 19 33	+05 56 34	-05 37 31	-16 22 19	-22 38 28
9	-22 11 33	-14 53 04	-04 45 30	+07 19 35	+17 10 37	+22 52 21	+22 26 01	+16 02 34	+05 34 02	-06 00 25	-16 39 48	-22 44 52
10	-22 03 06	-14 33 51	-04 22 03	+07 41 55	+17 26 39	+22 57 25	+22 18 53	+15 45 19	+05 11 24	-06 23 15	-16 56 60	-22 50 48
11	-21 54 14	-14 14 23	-03 58 33	+08 04 08	+17 42 24	+23 02 04	+22 11 22	+15 27 48	+04 48 40	-06 45 59	-17 13 55	-22 56 17
12	-21 44 55	-13 54 42	-03 34 59	+08 26 12	+17 57 51	+23 06 19	+22 03 28	+15 10 03	+04 25 52	-07 08 38	-17 30 32	-23 01 19
13	-21 35 12	-13 34 46	-03 11 23	+08 48 08	+18 13 01	+23 10 09	+21 55 11	+14 52 04	+04 02 59	-07 31 12	-17 46 51	-23 05 54
14	-21 25 03	-13 14 37	-02 47 45	+09 09 56	+18 27 51	+23 13 35	+21 46 32	+14 33 50	+03 40 02	-07 53 39	-18 02 51	-23 10 02
15	-21 14 29	-12 54 14	-02 24 05	+09 31 34	+18 42 24	+23 16 37	+21 37 30	+14 15 22	+03 17 01	-08 15 59	-18 18 32	-23 13 41
16	-21 03 31	-12 33 40	-02 00 23	+09 53 03	+18 56 37	+23 19 14	+21 28 07	+13 56 41	+02 53 57	-08 38 13	-18 33 55	-23 16 53
17	-20 52 09	-12 12 53	-01 36 40	+10 14 22	+19 10 31	+23 21 26	+21 18 21	+13 37 46	+02 30 49	-09 00 19	-18 48 57	-23 19 37
18	-20 40 23	-11 51 54	-01 12 56	+10 35 31	+19 24 06	+23 23 13	+21 08 14	+13 18 39	+02 07 38	-09 22 17	-19 03 39	-23 21 53
19	-20 28 13	-11 30 45	-00 49 13	+10 56 29	+19 37 21	+23 24 36	+20 57 45	+12 59 19	+01 44 25	-09 44 07	-19 18 01	-23 23 40

20	-20 15 41	-11 09 24	-00 25 29	+11 17 17	+19 50 16	+23 25 34	+20 46 55	+12 39 46	+01 21 09	-10 05 48	-19 32 02	-23 24 60
21	-20 02 45	-10 47 53	-00 01 45	+11 37 53	+20 02 50	+23 26 07	+20 35 44	+12 20 02	+00 57 52	-10 27 21	-19 45 41	-23 25 51
22	-19 49 27	-10 26 12	+00 21 57	+11 58 18	+20 15 04	+23 26 15	+20 24 12	+12 00 06	+00 34 33	-10 48 44	-19 58 59	-23 26 14
23	-19 35 47	-10 04 21	+00 45 39	+12 18 31	+20 26 57	+23 25 58	+20 12 20	+11 39 -59	+00 11 13	-11 09 58	-20 11 55	-23 26 09
24	-19 21 45	-09 42 21	+01 09 19	+12 38 31	+20 38 29	+23 25 17	+20 00 08	+11 19 40	-00 12 08	-11 31 01	-20 24 29	-23 25 36
25	-19 07 21	-09 20 13	+01 32 57	+12 58 19	+20 49 39	+23 24 11	+19 47 35	+10 59 11	-00 35 30	-11 51 54	-20 36 40	-23 24 34
26	-18 52 37	-08 57 56	+01 56 32	+13 17 54	+21 00 28	+23 22 40	+19 34 43	+10 38 32	-00 58 51	-12 12 36	-20 48 28	-23 23 04
27	-18 37 32	-08 35 31	+02 20 05	+13 37 16	+21 10 55	+23 20 44	+19 21 32	+10 17 43	-01 22 13	-12 33 06	-20 59 54	-23 21 06
28	-18 22 06	-08 12 58	+02 43 35	+13 56 24	+21 21 01	+23 18 24	+19 08 01	+09 56 44	-01 45 34	-12 53 26	-21 10 55	-23 18 40
29	-18 06 21		+03 07 01	+14 15 19	+21 30 43	+23 15 39	+18 54 11	+09 35 35	-02 08 55	-13 13 33	-21 21 33	-23 15 46
30	-17 50 16		+03 30 24	+14 33 59	+21 40 04	+23 12 30	+18 40 03	+09 14 17	-02 32 14	-13 33 28	-21 31 46	-23 12 24
31	-17 33 52		+03 53 43		+21 49 02		+18 25 36	+08 52 50		-13 53 10		-23 08 34

ASCENSIÓN RECTA DEL SOL A LO LARGO DEL AÑO												
Datos en horas, minutos y segundos												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTBRE	OCTUBRE	NOVBRE	DICBRE
1	18 43 58,4	20 56 29,4	22 45 56,3	00 39 47,2	02 31 07,1	04 33 48,8	06 38 04,9	08 43 00,1	10 39 07,6	12 27 04,8	14 22 58,3	16 26 19,9
2	19 48 23,2	21 00 34,1	22 49 41,2	00 43 25,8	02 34 56,2	04 37 54,3	06 42 13,1	08 46 53,1	10 42 45,2	12 30 42,0	14 26 53,1	16 30 38,7
3	18 52 47,7	21 04 38,0	22 53 25,7	00 47 04,5	02 38 45,9	04 42 00,3	06 46 20,9	08 50 45,5	10 46 22,5	12 34 19,4	14 30 48,7	16 34 58,1
4	18 57 11,8	21 08 41,1	22 57 09,7	00 50 43,4	02 42 36,1	04 46 06,6	06 50 28,5	08 54 37,3	10 49 59,6	12 37 57,2	14 34 45,1	16 39 18,2
5	19 01 35,6	21 12 43,3	23 00 53,2	00 54 22,4	02 46 26,8	04 50 13,3	06 54 35,8	08 58 28,5	10 53 36,5	12 41 35,3	14 38 42,3	16 43 38,9
6	19 05 58,9	21 16 44,8	23 04 36,2	00 58 01,6	02 50 18,2	04 54 20,3	06 58 42,8	09 02 19,1	10 57 13,1	12 45 13,8	14 42 40,4	16 48 00,2
7	19 10 21,8	21 20 45,5	23 08 18,9	01 01 41,0	02 54 10,1	04 58 27,7	07 02 49,5	09 06 09,1	11 00 49,5	12 48 52,6	14 46 39,3	16 52 22,1
8	19 14 44,3	21 24 45,4	23 12 01,2	01 05 20,6	02 58 02,6	05 02 35,4	07 06 55,8	09 09 58,6	11 04 25,7	12 52 31,9	14 50 39,1	16 56 44,4
9	19 19 06,3	21 28 44,5	23 15 43,1	01 09 00,5	03 01 55,6	05 06 43,4	07 11 01,8	09 13 47,5	11 08 01,7	12 56 11,6	14 54 39,7	17 01 07,3
10	19 23 27,8	21 32 42,8	23 19 24,6	01 12 40,6	03 05 49,3	05 10 51,6	07 15 07,4	09 17 35,9	11 11 37,6	12 59 51,7	14 58 41,1	17 05 30,6
11	19 27 48,7	21 36 40,4	23 23 05,8	01 16 21,1	03 09 43,5	05 15 00,2	07 19 12,6	09 21 23,6	11 15 13,3	13 03 32,3	15 02 43,4	17 09 54,4
12	19 32 09,1	21 40 37,3	23 26 46,8	01 20 01,8	03 13 38,4	05 19 09,0	07 23 17,4	09 25 10,8	11 18 48,9	13 07 13,3	15 06 46,5	17 14 18,5
13	19 36 28,9	21 44 33,4	23 30 27,4	01 23 42,8	03 17 33,8	05 23 17,9	07 27 21,7	09 28 57,4	11 22 24,3	13 10 54,9	15 10 50,5	17 18 43,0
14	19 40 48,1	21 48 28,7	23 34 07,7	01 27 24,1	03 21 29,8	05 27 27,1	07 31 25,6	09 32 43,5	11 25 59,7	13 14 36,9	15 14 55,3	17 23 07,8
15	19 45 06,7	21 52 23,3	23 37 47,8	01 31 05,8	03 25 26,4	05 31 36,4	07 35 28,9	09 36 29,0	11 29 35,0	13 18 19,5	15 19 00,9	17 27 32,9
16	19 49 24,7	21 56 17,2	23 41 27,7	01 34 47,8	03 29 23,6	05 35 45,9	07 39 31,8	09 40 13,9	11 33 10,2	13 22 02,5	15 23 07,4	17 31 58,3
17	19 53 41,9	22 00 10,4	23 45 07,3	01 38 30,2	03 33 21,3	05 39 55,4	07 43 34,1	09 43 58,3	11 36 45,4	13 25 46,2	15 27 14,7	17 36 23,9
18	19 57 58,5	22 04 02,9	23 48 46,7	01 42 12,9	03 37 19,6	05 44 05,0	07 47 35,9	09 47 42,1	11 40 20,5	13 29 30,4	15 31 22,8	17 40 49,7
19	20 02 14,4	22 07 54,6	23 52 25,9	01 45 56,0	03 41 18,4	05 48 14,6	07 51 37,2	09 51 25,5	11 43 55,7	13 33 15,2	15 35 31,6	17 45 15,7

20	20 06 29,5	22 11 45,7	23 56 05,0	01 49 39,6	03 45 17,8	05 52 24,3	07 55 37,9	09 55 08,3	11 47 30,8	13 37 00,5	15 39 41,4	17 49 41,8
21	20 10 43,9	22 15 36,0	23 59 43,9	01 53 23,5	03 49 17,7	05 56 33,9	07 59 38,0	09 58 50,6	11 51 06,0	13 40 46,5	15 43 51,9	17 54 08,0
22	20 14 57,5	22 19 25,7	00 03 22,7	01 57 07,8	03 53 18,1	06 00 43,5	08 03 37,5	10 02 32,5	11 54 41,3	13 44 33,1	15 48 03,2	17 58 34,2
23	20 19 10,4	22 23 14,8	00 07 01,4	02 00 52,5	03 57 19,0	06 04 53,0	08 07 36,5	10 06 13,9	11 58 16,6	13 48 20,4	15 52 15,3	18 03 00,5
24	20 23 22,4	22 27 03,2	00 10 39,9	02 04 37,7	04 01 20,4	06 09 02,5	08 11 34,9	10 09 54,8	12 01 52,0	13 52 08,4	15 56 28,2	18 07 26,9
25	20 27 33,6	22 30 51,0	00 14 18,4	02 08 23,3	04 05 22,3	06 13 11,9	08 15 32,6	10 13 35,2	12 05 27,5	13 55 57,0	16 00 41,9	18 11 53,2
26	20 31 44,1	22 34 38,2	00 17 56,8	02 12 09,4	04 09 24,7	06 17 21,1	08 19 29,8	10 17 15,3	12 09 03,2	13 59 46,3	16 04 56,4	18 16 19,4
27	20 35 53,7	22 38 24,8	00 21 35,2	02 15 56,0	04 13 27,6	06 21 30,2	08 23 26,4	10 20 54,9	12 12 39,1	14 03 36,4	16 09 11,6	18 20 45,6
28	20 40 02,5	22 42 10,8	00 25 13,5	02 19 43,0	04 17 30,9	06 25 39,2	08 27 22,3	10 24 34,1	12 16 15,2	14 07 27,3	16 13 27,6	18 25 11,7
29	20 44 10,5		00 28 51,9	02 23 30,5	04 21 34,7	06 29 48,0	08 31 17,7	10 28 13,0	12 19 51,5	14 11 18,9	16 17 44,3	18 29 37,6
30	20 48 17,6		00 32 30,3	02 27 18,6	04 25 39,0	06 33 56,6	08 35 12,4	10 31 51,5	12 23 28,0	14 15 11,2	16 22 01,7	18 34 03,4
31	20 52 23,9		00 36 08,7		04 29 43,7		08 39 06,6	10 35 29,7		14 19 04,4		18 38 28,9