

**LA MEDICIÓN DEL TIEMPO
Y
LOS RELOJES DE SOL**

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Alicante por

D. Juan Vicente Pérez Ortiz

el día 7 de julio de 2006

**LA MEDICIÓN DEL TIEMPO
Y
LOS RELOJES DE SOL**

Depósito Legal: M-25136-2006

Imprime:
Gráficas Loureiro, S.L.

**LA MEDICIÓN DEL TIEMPO
Y
LOS RELOJES DE SOL**

Discurso leído en el acto de su recepción como
Académico Correspondiente en Alicante por
D. Juan Vicente Pérez Ortiz
el día 7 de julio de 2006

Arrecife (Lanzarote), Hotel Lancelot

ÍNDICE

1. MEDIR EL TIEMPO.....	5
2. RELOJES DE SOL.....	6
3. LA CIENCIA GNOMÓNICA.....	12
4. CALENDARIOS.....	15
5. EL DÍA SIDEREO, EL DÍA SOLAR Y EL DÍA MEDIO.....	16
6. LA ECUACIÓN DEL TIEMPO Y EL ANALEMA.....	19
7. APLICACIÓN DEL ANALEMA.....	21
8. EL RELOJ DE SOL ANALEMATICO.....	22
8.1. FUNCIONAMIENTO.....	32
8.2. APLICACIONES DIDÁCTICAS.....	36
9. EL RELOJ DE SOL DE DIFRACCIÓN.....	41
10. OTROS DISEÑOS.....	45
11. EPILOGO.....	46

LA MEDICIÓN DEL TIEMPO Y LOS RELOJES DE SOL

1. MEDIR EL TIEMPO

La evolución de la vida está ligada al paso del tiempo, las plantas son sensibles a ciclos naturales, germinan, florecen o fructifican en determinadas fases lunares o estacionales, los animales también llevan en su instinto la influencia de esos ciclos naturales, pero ni las unas ni los otros miden el tiempo.

El hombre es capaz de modificar la naturaleza, es decir, sembrar, recolectar, criar ganado etc. y atiende a esos mismos ciclos para el tiempo de siembra o de recolección; hasta aquí se podría decir que actúa como cualquier otro animal, pero el hombre es el único ser consciente y esa conciencia de sí mismo y de lo que le rodea le dotan de una potencia que se llama memoria.

La memoria es un registro del tiempo, es la capacidad de crear un registro histórico de uno mismo y de su mundo, con todo lo que eso supone para su propio desarrollo. Sin la memoria el hombre estaría condenado a ser un animal más.

La Historia es la memoria colectiva y la Historia está escrita en el tiempo. Por esa razón y muchas otras, medimos el tiempo.

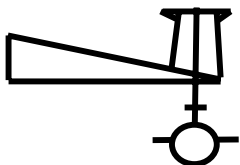
2. LOS RELOJES DE SOL

No es mi intención hacer una descripción exhaustiva de la evolución de esta ciencia, pero daré algunos datos que marcan los hitos más importantes dentro de lo que conocemos como cultura occidental, puesto que también las culturas orientales y amerindias, los chinos, los incas, mayas, etc. supieron medir el tiempo con la sombra del astro rey.

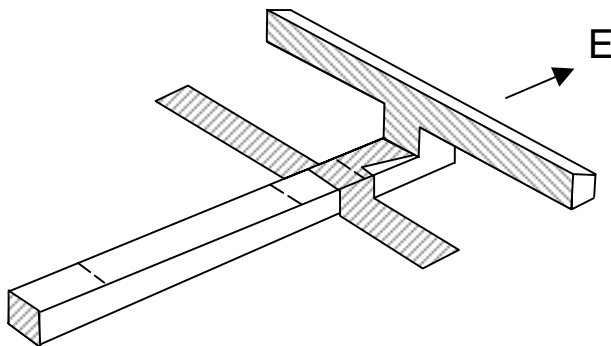
Fueron los babilonios y sobre todo los egipcios, los que se iniciaron en la medición del tiempo con el paso del sol.

Básicamente los relojes de sol egipcios podían ser de dos clases:

a) *Relojes de sombra*, basados únicamente en medir la longitud de la sombra tanto por la mañana como por la tarde, y a los que había que cambiar la orientación a mediodía, llamados *Merket*, -en el lenguaje jeroglífico la palabra “hora” estaba descrita por el ideograma que representa un reloj de sol del este tipo-; y



Ideograma de la palabra hora



Reloj de sombra Merket

b) *Los relojes de sol propiamente dichos* que se basaban en la variación angular de la sombra del “gnomon”. Este gnomon era el instrumento más elemental que se haya podido usar en la historia de la observación astronómica, era simplemente un palo vertical que sabiamente utilizado, lo mismo servía para medir la altura de las estrellas que el paso de las horas o incluso de las estaciones.



Los egipcios transmitieron sus conocimientos gnomónicos a los griegos, y sin duda en el “el mundo clásico” se perfeccionaron, pasando con el devenir de los tiempos a la cultura romana. Si bien, a pesar de que los romanos usaron muchas variantes de relojes de sol, no les incorporaron avances significativos.

Con la caída del imperio romano hubo un periodo de decadencia y barbarie en que se perdieron los conocimientos sobre esta ciencia como los de tantas otras.

Fue en la edad media donde el feudalismo y las órdenes religiosas, sobre todo las que seguían la regla de San Benito, los que extendieron por occidente el uso y perfeccionamiento de los relojes de sol, cuya utilización en oriente aún permanecía, aunque de manera tosca y poco perfeccionada.

Pero no sería objetivo si no mencionase que fue en la Italia del renacimiento donde al igual que otras ciencias floreció con mayor ímpetu, y donde se dio la más prolífica difusión de toda clase y formas de relojes de sol.

La principal innovación en los relojes de sol desde que fueron inventados tal vez por los babilonios, fue la sustitución del gnomon vertical por el *gnomon inclinado*, es decir paralelo al eje terrestre, lo que abrió el camino para el diseño de los relojes horizontales y verticales o de pared que han sido los más extendidos y usados.

En España también hubo un florecimiento de los cuadrantes solares que casi siempre fue unido, como en Italia, a las órdenes religiosas que los instalaban en sus iglesias y conventos con el fin de guiar las horas de sus *rezos canónicos*.

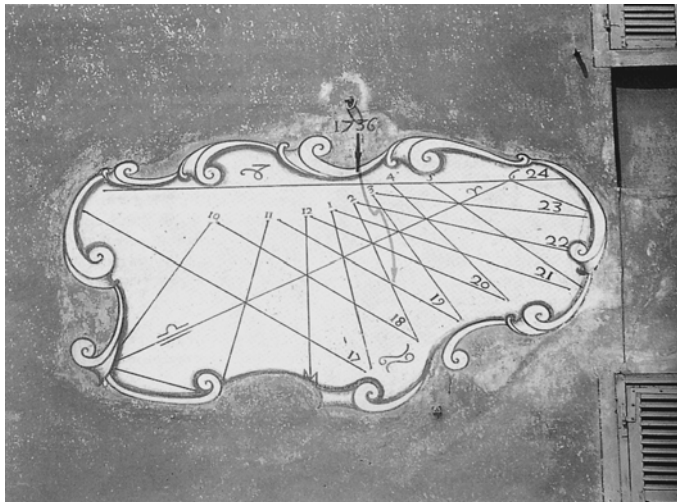
Los relojes de sol primitivos medían horas desiguales también llamadas naturales o *canónicas*, por lo expuesto anteriormente. Estos dividían la duración del día de luz en 12 horas que se contaban solamente desde el orto al ocaso, no teniendo por tanto más remedio que considerar las horas del invierno más cortas que las del verano.

Con el avance de los tiempos, los relojes se diseñaron para medir las horas con la misma duración en todas las épocas del año, puesto que se consideraba un día, no las horas de luz sino también horas de oscuridad, viniendo a tener este día completo las 24 horas, que se determinaban como el tiempo transcurrido en el intervalo entre un “medio día” y el siguiente.

Una vez conseguido esto, todavía hubo diferentes formas de enumerar las horas; las llamadas horas *babilónicas* se enumeraban empezando a contar al salir el sol, las horas *itálicas* por el contrario se contaban empezando en el ocaso, hasta que por fin se convino en contar la hora 12 a medio día y por tanto el periodo completo de 24 horas se iniciaba doce horas antes, es decir a media noche, siendo éstas las horas *modernas*.



Reloj de sol con horas *babilónicas*



Reloj de sol con horas *itálicas*



Reloj de sol con horas *modernas*

Pero todavía hay un uso distinto en la forma de empezar a contar las horas, y es el que utilizan los actuales astrónomos que cuentan la primera hora a mediodía, por la lógica del llamado cómputo juliano que no utiliza años sino solamente días, lo que facilita los cálculos astronómicos.

En tiempos de la Ilustración aún se usaban los relojes de sol, pero la imposición de los relojes mecánicos, que se tuvieron que perfeccionar para la resolución del *problema de la longitud en la navegación*, fue poco a poco sustituyendo a estos, que empezaron a caer en desuso a partir del siglo diecinueve, cuando la Unión Astronómica Internacional estableció la división del globo terrestre en veinticuatro husos horarios de 15° de anchura, centrados en los correspondientes meridianos.

Esta modificación aceptada por todos los países, venía impuesta por el desarrollo de los tiempos modernos en los que ya se utilizaba el telégrafo y el ferrocarril, y la conexión entre ciudades era más inmediata que la de las lentas diligencias de antaño, siendo por tanto necesario conocer los horarios de las ciudades con mayor simultaneidad y precisión.

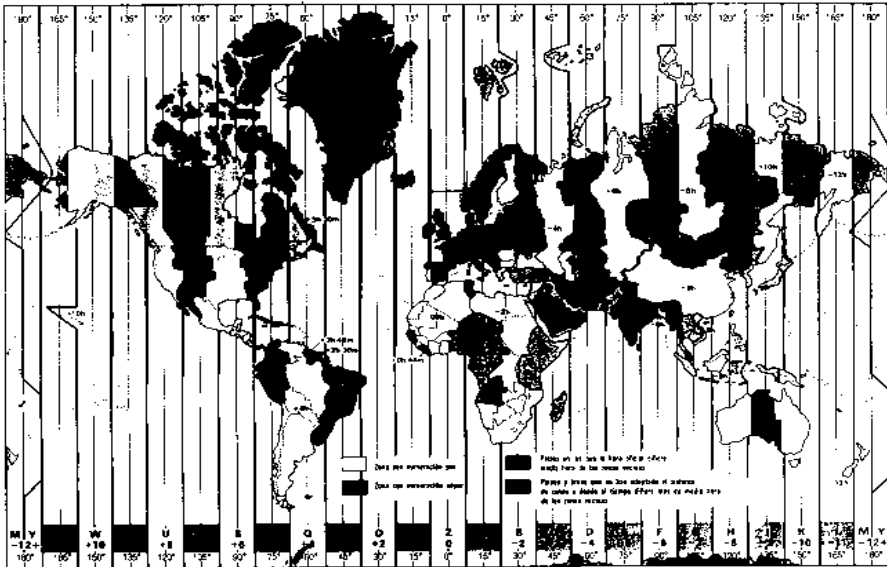


Figura 3.4. Mapa que muestra las zonas horarias del mundo. (Según el U.S. Navy Oceanographic Office, nom. 5192.)

División del globo en husos horarios

La intención de esta reforma era clara, se pretendía acabar con la incómoda situación de que en un mismo país cada ciudad se rigiese por el horario local, así pues todos los territorios que cayesen dentro del mismo huso horario tendrían una misma hora, que sería la marcada por el meridiano correspondiente, estos husos horarios harían que los territorios solamente tuvieran diferencias horarias de una hora completa, y fueron enumerados a partir del meridiano cero, teniendo el privilegio de ser éste el que pasaba por Greenwich.

Las razones para esta elección fueron de tipo político y práctico; las de tipo político se pueden suponer si consideramos que el Imperio Británico tenía el dominio de gran parte del mundo en aquellos años; las de tipo práctico, mucho más serias desde mi punto de vista, fueron determinadas por un hecho geográfico que les favorecía, a saber: si se tomaba como cero el meridiano que pasaba por Greenwich el meridiano doce o meridiano del cambio de fecha a 180°, caería justamente en el centro del océano Pacífico donde no hay ningún continente

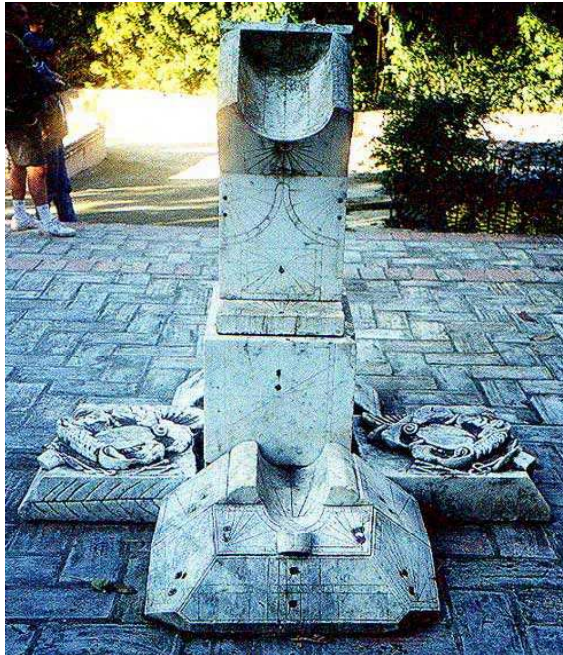
cuyos territorios se pudiesen ver afectados por tener un país en que se diesen simultáneamente dos fechas distintas.

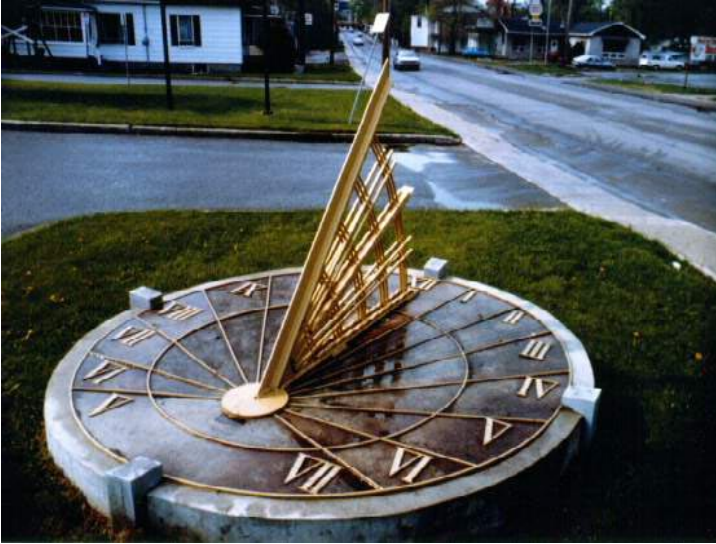
A partir de ese momento, oficialmente dejaron de tenerse en cuenta los horarios locales determinados por los meridianos de cada ciudad y que se regían por la hora solar, que también fue abandonada incluso para el meridiano 0, siendo sustituida ésta por la hora media.

3. LA CIENCIA GNOMONICA

Por eso ya casi nadie, salvo algunos locos que nos llamamos *gnomonistas*, pretende estudiar lo mucho de interesante que todavía le queda a esta disciplina, si no ya para medir el tiempo, sí para entender, divulgar y enseñar Astronomía.

Los relojes de sol han quedado como un patrimonio artístico mejor o peor conservado, existiendo verdaderas joyas en edificios tanto privados como públicos, civiles o religiosos, que son dignos de admiración por sí solos.







Estos relojes nos enseñan cómo en la antigüedad el hombre se las ingeniaba con más o menos éxito para medir el tiempo basándose en los ritmos impuestos por la naturaleza.

Y aún hoy día el tiempo medido por los actuales relojes atómicos, está sujeto al ritmo del Sol y de la Tierra, el ejemplo lo tenemos muy cercano, este año 2006 ha tenido que ser corregido dotándolo de un segundo más para adaptarlo al giro de la Tierra que poco a poco se va ralentizando, debido entre otras causas a la interacción con la Luna a través de las mareas

Desde que se empezó a medir el tiempo con estos instrumentos, todos los relojes de sol han utilizado la sombra de un gnomon proyectada sobre una superficie, siendo usados como tal multitud de objetos diferentes, desde varillas finas a edificios enteros, no importaba tanto el objeto sino la sombra que produjese.

Para los interesados en los relojes de sol, es conocido que esta ciencia llamada **Gnomónica** porque su principal instrumento es el gnomon o estilete, se basa en el estudio de cómo situar éste y observar como se comportan las sombras del mismo cuando son iluminadas por el sol durante el día y a lo largo del año, por eso también esta ciencia se llamó **Sciografía** que quiere decir, escritura de las sombras, la raíz “scíos” viene del griego y significa sombra.

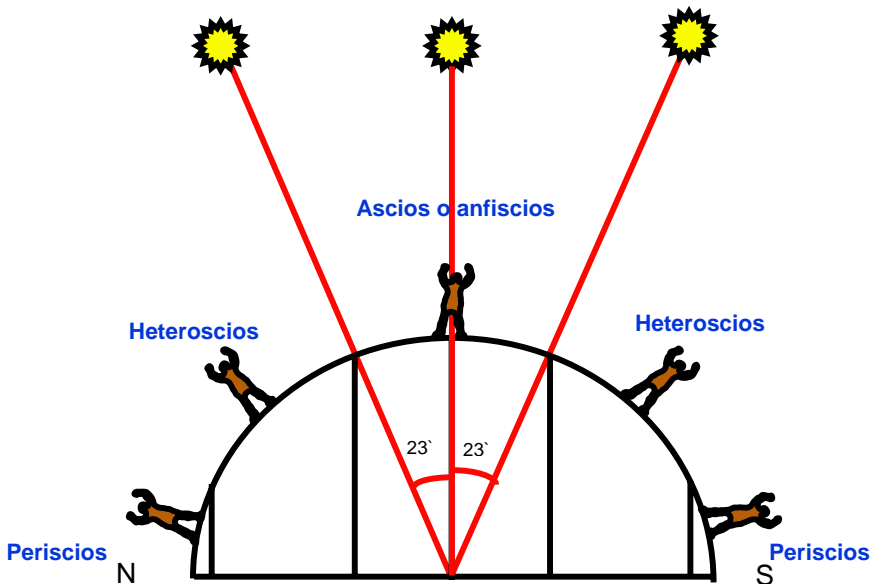
Ascios o anfiscios, heteroscios y periscios, son los nombres que esta ciencia **Sciografía**, da a los seres humanos según su situación en el globo terrestre, en función de como son iluminados por el sol al mediodía a lo largo del año.

Así a aquellos que se encuentra entre los trópicos se les denomina **Ascios o anfiscios** debido a que algún día del año pueden perder la sombra o en otras ocasiones proyectarla a un lado u otro, es decir al norte o sur, según la estación.

A los que nos encontramos entre los trópicos y los círculos polares se nos denomina **heteroscios** ya que siempre proyectamos sombras opuestas unos con

respecto a otros, es decir los que vivimos en el hemisferio norte con respecto a los que lo hacen el hemisferio sur.

Y por último aquellos que viven dentro de los círculos polares se les denomina *periscios* porque la sombra de sus cuerpos se mueve girando a su alrededor a lo largo del día que dura seis meses.



4. CALENDARIOS

Pero veamos cual es la forma que tenemos para medir el tiempo.

Siempre que tenemos que medir algo, hemos de crear un patrón de medida al que hacer referencia y ese patrón ha de ser lo más inalterable posible. Así pues para medir el tiempo el ser humano tuvo que buscar un patrón.

Ese patrón lo adoptó la humanidad sin ser consciente siquiera, no había que inventarlo, simplemente la naturaleza nos lo servía en bandeja, casi podríamos decir que lo llevamos en los genes, el patrón no es otro que el día.

Después vendría la observación, el estudio, etc. y surgiría la medición de las estaciones, los meses lunares y los años.

Cuanto más ha avanzado la civilización más precisión se ha necesitado en la medición del tiempo, y durante siglos esa precisión se ha seguido encontrando en la Astronomía. Aunque como dijimos, en la actualidad ya se usan los relojes atómicos basados en la nueva definición del *segundo* adoptada en 1956, que anteriormente se definía como 1/86400 partes del día solar medio, y que desde entonces pasó a tener su actual definición como: ***la duración de 9.192.631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.***

Pero retomemos la historia.

La velocidad de rotación terrestre determina la duración del día y la velocidad de translación en torno a sol, determina la duración del año.

Así pues, como el número de días que dura un año no es un número entero -lo que sería una casualidad impropia de la naturaleza- el problema del calendario en todas las civilizaciones siempre ha consistido en buscar la manera de idear un cómputo de días y años de forma que las estaciones no se desfasaran.

Todos lo calendarios han buscado la forma de resolver este problema y de hecho no se puede decir que se tenga totalmente resuelto.

Cuando Julio Cesar instauró un calendario con años bisiestos parecía que ya se había logrado. Sin embargo al cabo de unos siglos el Papa Gregorio XIII en 1582 hubo de corregir el desfase, restituyendo al calendario los diez días que se llevaban perdidos, además de decretar la excepción secular y su supresión cada cuatro siglos. Pero los decimales son tan tercicos que en el futuro, cada cuatro mil años habrán de introducirse nuevas correcciones.

5. EL DIA SIDEREO, EL DÍA SOLAR Y EL DIA SOLAR MEDIO

El patrón de medición del tiempo siempre ha sido el día, pero la astronomía más perfeccionada, nos ha demostrado que el día no es buen patrón de medida cuando buscamos precisión.

Veamos, en principio intuimos que un día se corresponde con una revolución o giro de la tierra sobre su eje, revolución que es lógico pensar que es de 360°.

Pero para medir el giro de la tierra sobre su eje hemos de tomar un punto de referencia; aquí hay que tener mucho cuidado pues no es lo mismo tomar un punto de referencia que esté fijo e inmóvil, que tomar un punto de referencia que esté en movimiento con respecto a nosotros o nosotros respecto a él.

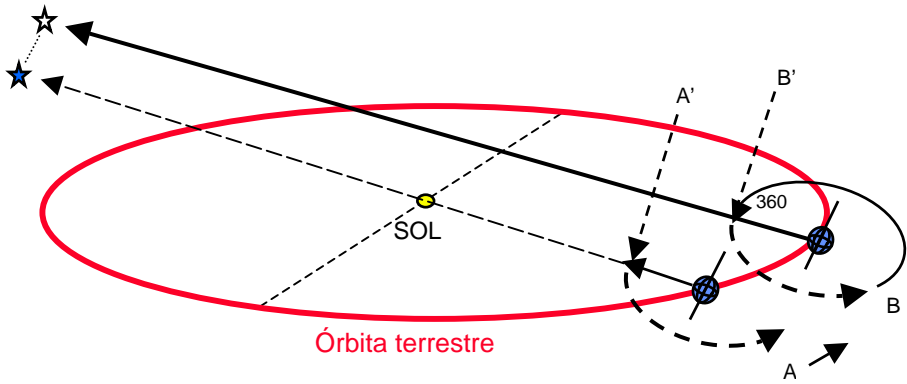
Así pues si tomamos como punto de referencia una estrella lejana en el firmamento, y medimos el giro o revolución terrestre con respecto a ella, obtendremos que ese giro mide 360° exactos, o sea lo que se llama un **día sidéreo**, esta exactitud le viene de considerar precisamente esa inmovilidad de la estrella, aunque en realidad si dejásemos pasar unos miles años, la estrella también se habría desplazado, debido a la *precesión* del movimiento de rotación terrestre.

Sin embargo, para nosotros el punto de referencia para medir ese giro o revolución terrestre ha sido siempre el Sol, que aparentemente se desliza por el firmamento debido a nuestro movimiento de traslación en torno a él, por lo tanto lo que nosotros llamamos día es una revolución de aproximadamente 361° con respecto al fondo de estrellas o firmamento.

Alguien podría pensar que lo mejor y mas exacto sería que utilizásemos como punto de referencia la estrella fija, y que usásemos como día el **día sidéreo**, pero esto traería unas consecuencias difíciles de aplicar a la vida diaria pues el medio día se iría desplazando a lo largo del año con respecto al horario sidéreo o lo que es lo mismo para que el medio día coincidiese con la hora 12 horas ,todos las mañanas al levantarnos deberíamos variar nuestro reloj aproximadamente 4 minutos y esto no es natural ni práctico.

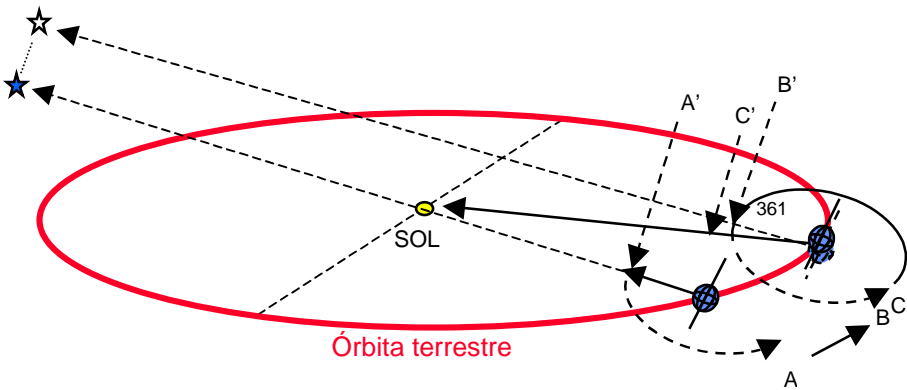
Por este motivo se tiene que tomar como referencia el **día solar**, que como hemos dicho se corresponde con un giro terrestre de aproximadamente 361°, este grado demás tiene una duración temporal de aproximadamente esos 4 minutos anteriormente citados, lo que implica suponer que el **día solar** tiene 24 horas y el **día sidéreo** casi cuatro minutos menos.

DIA SIDÉREO: 23 h. 56 m. 4 s.



El día Sidéreo supone una revolución de 360°

DIA SOLAR: 24 h.



El día solar supone una revolución de 361° aproximadamente

Sigamos estudiando los movimientos celestes, con un análisis más exhaustivo observaremos que si medimos la duración de un **día solar** tomando como tal el tiempo transcurrido desde que el sol culmina o lo que es lo mismo desde su paso por el meridiano, hasta la siguiente culminación, esta duración no es la misma para todos los días del año.

Lo que nos indica que el tiempo medido por el sol no es uniforme; las diferencias son de unos pocos segundos, y en los casos más extremos no son superiores a medio minuto por día.

Esto no parecería muy grave, si no fuese por que estas diferencias son acumulativas, lo que provoca adelantos o atrasos del mediodía que pueden ser de hasta ± 16 minutos con respecto a un tiempo uniforme que llamamos tiempo medio, procedente del **día solar medio** que no es ni más ni menos que la media de la duración de todos los días del año.

De esta manera hemos decidido que el **día solar medio** sea el que tenga 24 horas exactas.

Tradicionalmente los relojes de sol bien diseñados han ofrecido una tabla con estos adelantos y atrasos de $\pm 16m$, para que el observador pudiese sumar o restar esos minutos a la lectura directa sobre sus escalas, obteniendo así la hora media.

6. LA ECUACIÓN DEL TIEMPO Y EL ANALEMA

Astronómicamente el problema de estas anomalías o diferencias entre el **día solar** y el **día solar medio** viene determinado por algunos de los parámetros orbitales del planeta, veamos:

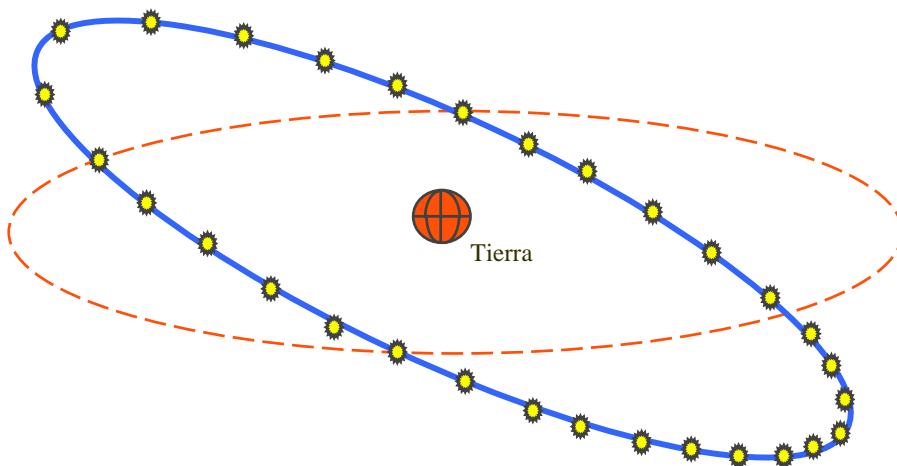
Además de las velocidades de rotación y traslación de la Tierra, que determinan la duración del día y del año, hay tres parámetros que son los verdaderos responsables de estas anomalías en la duración de los días solares, a saber: *la excentricidad de la órbita, la oblicuidad de la eclíptica y la longitud del perihelio*, despreciando otros parámetros como la nutación y la precesión etc.

La excentricidad de la orbita fue descubierta por Kepler dando lugar a su primera Ley, que básicamente nos dice que los planetas giran alrededor del Sol en orbitas elípticas mas o menos excéntricas, motivo por el cual se produce el efecto enunciado en su segunda Ley.

Esta segunda Ley, demuestra que la velocidad del planeta alrededor del Sol no es constante; pero como la velocidad de rotación si lo es, esto origina que los

días medidos, sean de distinta duración según en que parte de la órbita nos encontremos.

Para entenderlo mejor observemos la figura que nos ilustra como se distribuirían las posiciones del Sol en la eclíptica vistos desde la Tierra durante diferentes épocas del año.

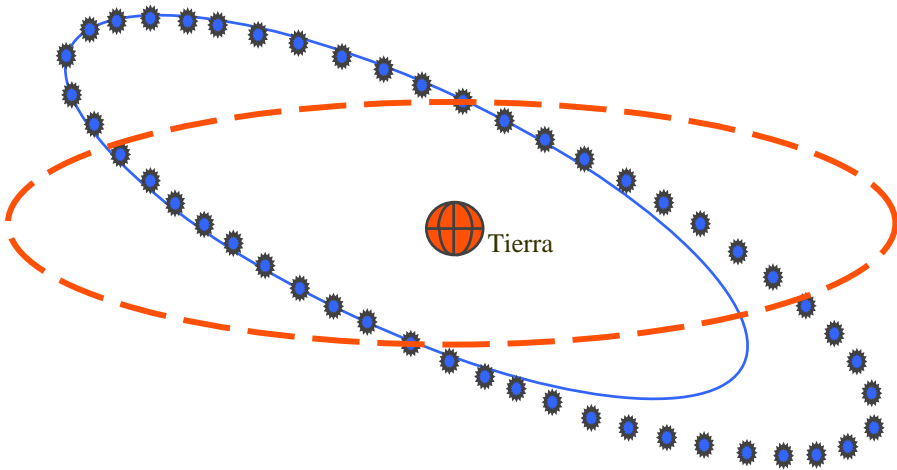


El Sol real se mueve por la eclíptica y no es constante.

Podemos ver así que el recorrido del Sol durante un tramo de la órbita es más lento que en otros tramos, lo que indica claramente que unos días han de durar más que otros, aunque esa diferencia sea muy pequeña.

Para que nos hagamos una idea de lo que esto representa, hemos de tener en cuenta que la órbita terrestre tiene una excentricidad de 0,01671%, por lo que, si viésemos la órbita de la tierra desde el polo de la eclíptica, nuestro ojo sería incapaz de distinguir si es un círculo o una elipse.

Si el movimiento aparente de Sol no estuviese afectado por la segunda ley de Kepler su distribución a lo largo de la eclíptica sería uniforme y este movimiento sería constante. Para solucionarlo vamos a imaginar un Sol virtual al que llamaremos ***Sol constante*** y cuya distribución sería uniforme a lo largo de toda la eclíptica.



El Sol constante se distribuye por la eclíptica uniformemente

De esta manera el *Sol constante* no produciría ni adelantos ni atrasos.

Pero no hemos terminado de resolver el problema: hay otro parámetro determinante para esas anomalías que he mencionado y que se suma al anterior; *la oblicuidad de la eclíptica*, es decir, la inclinación del plano de rotación terrestre con respecto al plano de traslación alrededor del Sol, que es de $23,5^\circ$ aproximadamente, y que disminuye unos $47''$ por siglo.

Para entender como influye este parámetro en el fenómeno que estamos estudiando, en primer lugar tenemos que tener en cuenta que para medir el **tiempo**, o lo que es equivalente, **ángulos**, nuestro sistema de referencia es la rotación de la Tierra, siendo por tanto medible esa “revolución” solamente en el plano ecuatorial, que como es obvio es perpendicular a ese eje de rotación.

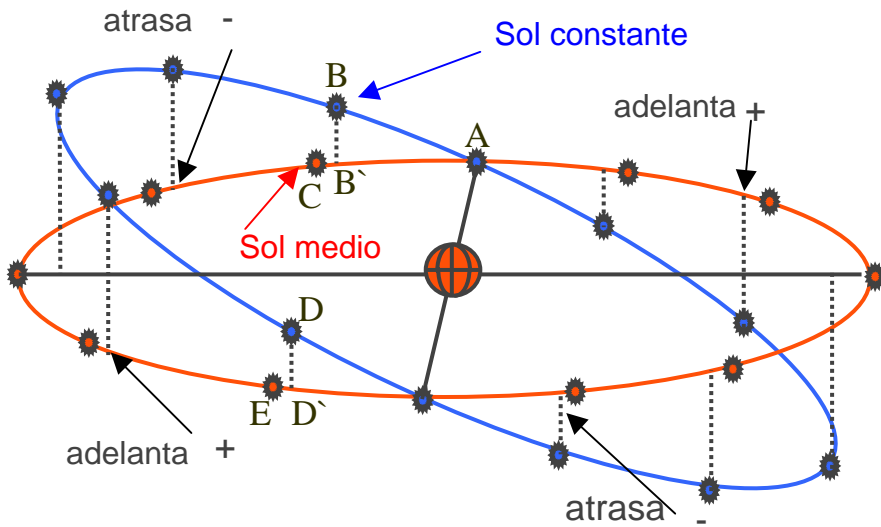
Pero como acabamos de decir que el Sol en su movimiento aparente no se nos muestra por el ecuador sino por la eclíptica, para resolver este nuevo problema, ahora tendremos que volver a inventar otro Sol virtual, que además de ser constante se mueva por el ecuador para poder medir su paso angular con respecto a nuestro eje de rotación.

A este otro sol virtual le llamamos **Sol medio** y es el que daría lugar al **día solar medio**.



El Sol medio es constante y se mueve por el ecuador

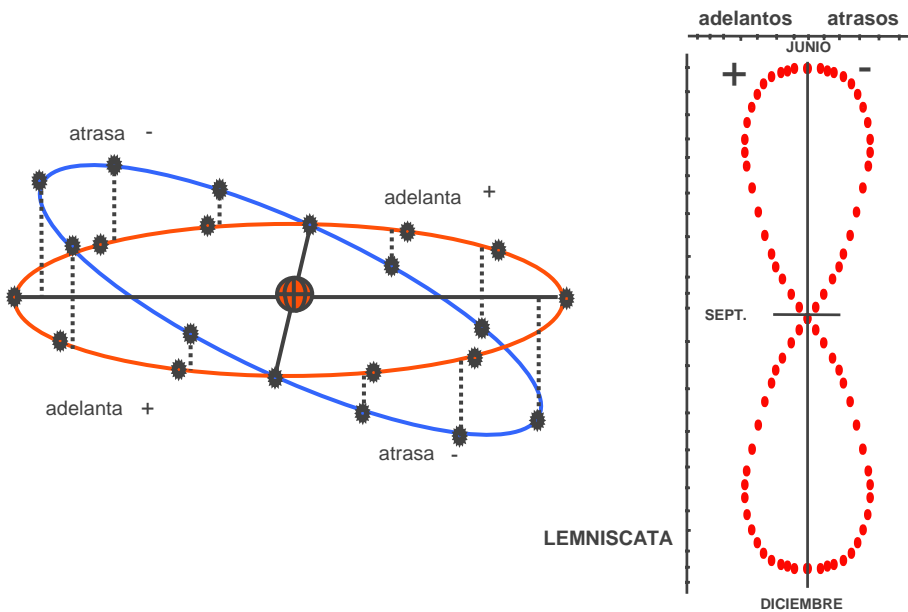
Estudieemos porqué se producen las anomalías debidas a la inclinación de la eclíptica, comparando las posiciones del **Sol constante** con el **Sol medio**.



El arco AB es igual al AC pero la proyección AB' es menor
El arco AD es igual al AE pero la proyección AD' es mayor

Se observa claramente que el **Sol constante** al ser proyectado sobre el ecuador, único lugar donde se puede medir su paso angular, se ve afectado de diferente forma según en qué punto de la eclíptica se encuentre, originando así, con respecto al **Sol medio**, adelantos y atrasos a lo largo de su recorrido anual.

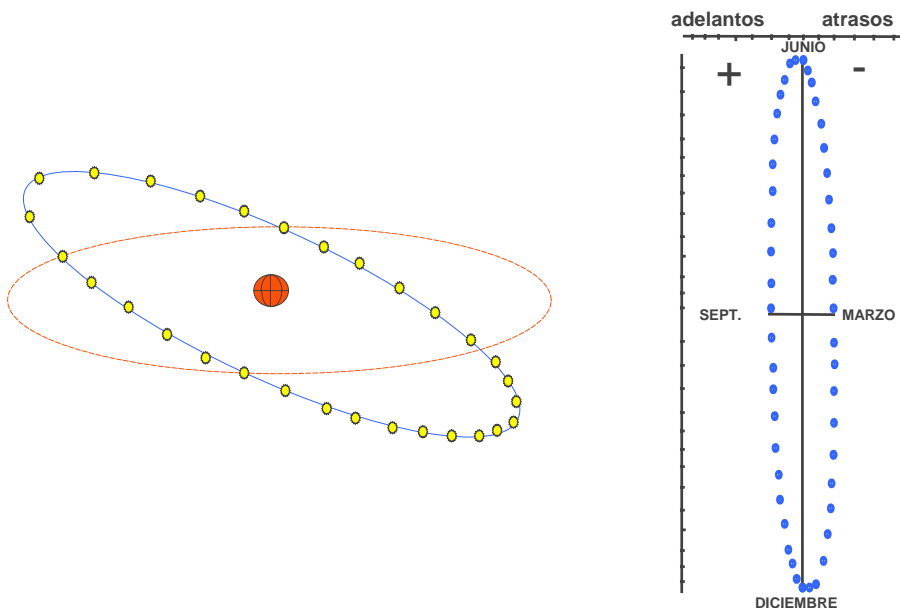
Pues bien, si representamos en un sistema de ordenadas los **adelantos y atrasos** mencionados y **las declinaciones solares**, es decir sus correspondientes posiciones en la eclíptica para cada día del año, obtendremos así una curva simétrica, en los dos ejes del tipo lemniscata - “lemnos” en griego quiere decir lazo-.



Esta figura representa la llamada ecuación de la eclíptica

Y si en el mismo gráfico sustituimos esos adelantos o atrasos debidos a la inclinación de la órbita, por las diferencias debidas a la 2ª ley de Kepler, antes estudiadas, es decir las producidas por la excentricidad, nos encontramos con una

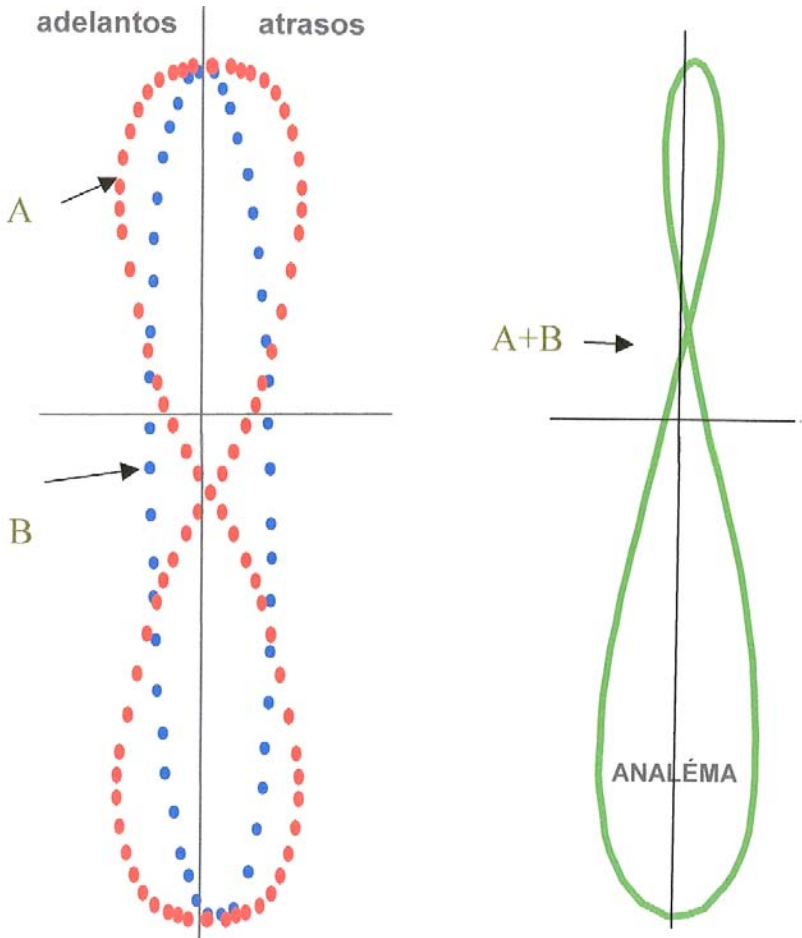
figura no simétrica en la que se observa, que durante medio año el sol adelanta y durante otro medio el sol atrasa.



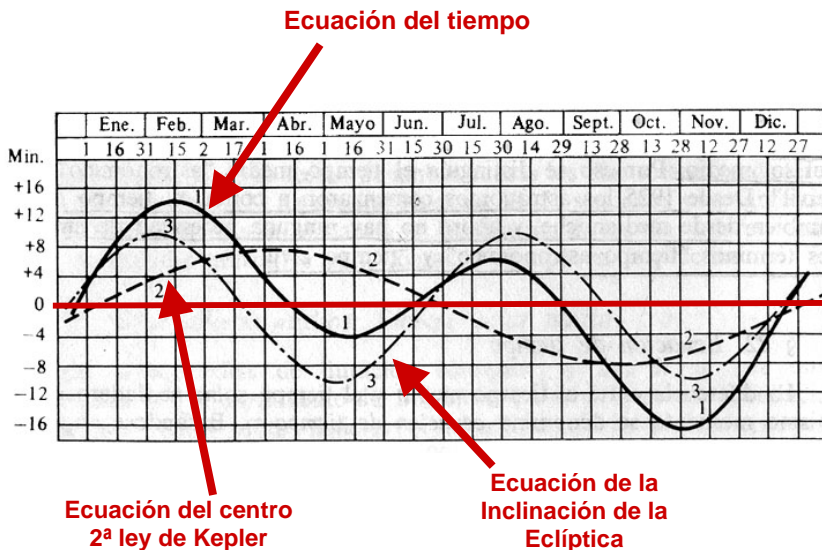
Esta figura representa la llamada ecuación del centro

Como es evidente esta curva muestra una pequeña inclinación o asimetría en el eje vertical que se explica por el tercero de los parámetros mencionados al principio, es decir la **longitud del perihelio**, que se expresa como la diferencia angular entre el solsticio y el perihelio, pues como todos sabemos no son coincidentes, ya que el solsticio ocurre sobre el 21 de diciembre y el perihelio o momento de máxima aproximación terrestre al sol, se da alrededor del 4 de enero.

Si ahora sumamos ambas curvas, la figura resultante es otra curva en forma de ocho, alargada y asimétrica en sus dos ejes, a la que llamamos “**analema**” o **ecuación del tiempo**, resultante de la suma de las llamadas, **ecuación de la eclíptica** y **ecuación del centro**. Y que nos describe qué adelanto o atraso lleva el Sol con respecto a la hora media para los 365 días del año.



La suma de las dos curvas nos da la ecuación del tiempo



La Ecuación del tiempo E es la suma algebraica de todas las correcciones que es preciso aplicar al tiempo solar verdadero, $H\odot$, para despojarlo de todas sus irregularidades.

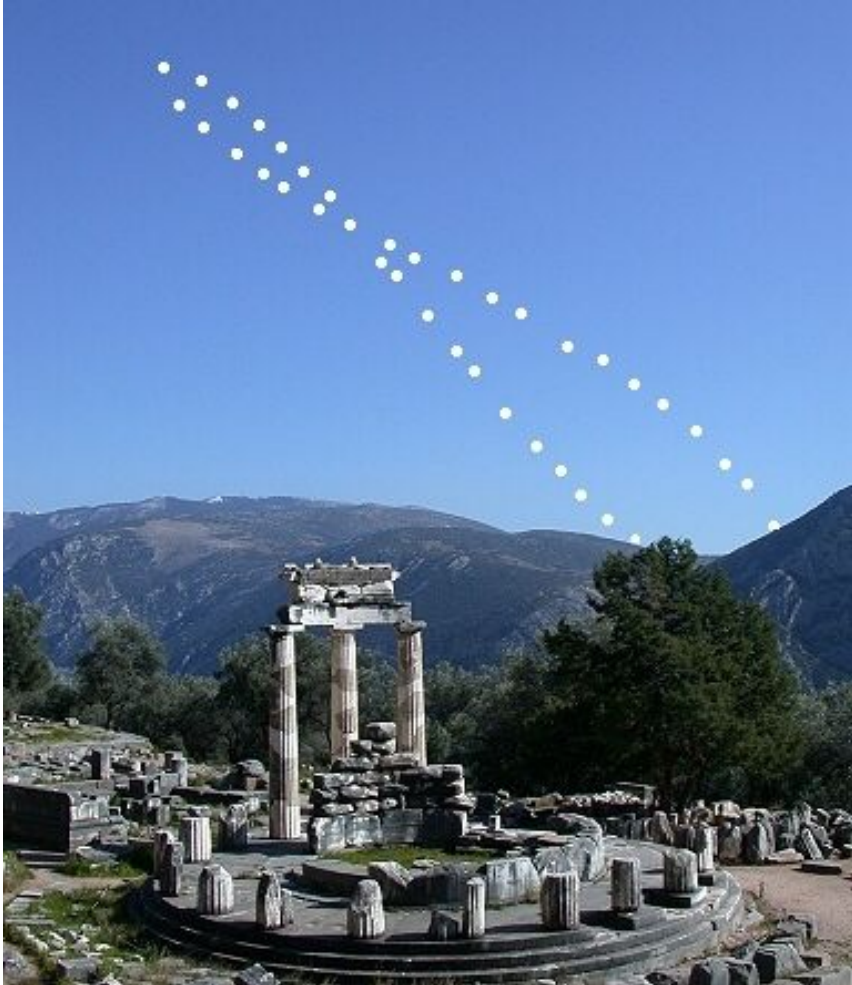
$$H_m = H\odot + E$$

O sea que:

$$E = H_m - H\odot$$

Donde H_m es el tiempo solar medio.

La demostración empírica nos la dará el propio Sol si fotografiamos su posición a lo largo de un año, con la única condición que siempre lo hagamos a la misma *hora media*, con lo que obtendremos una imagen como esta.

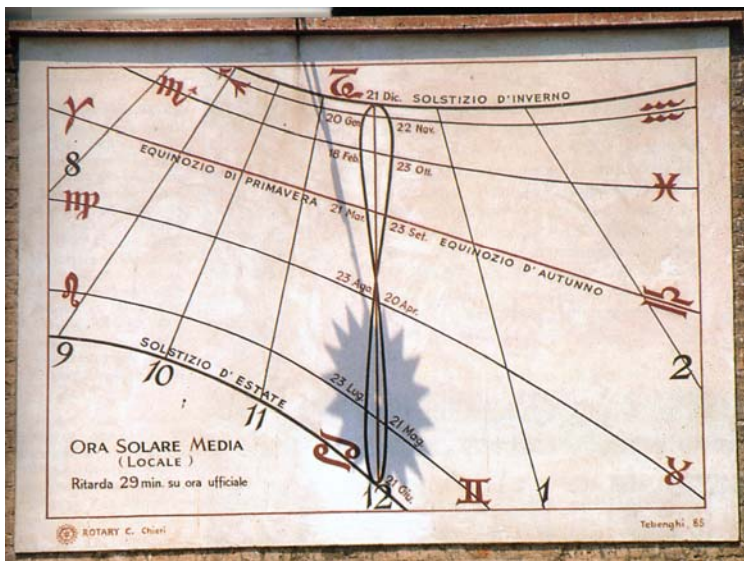


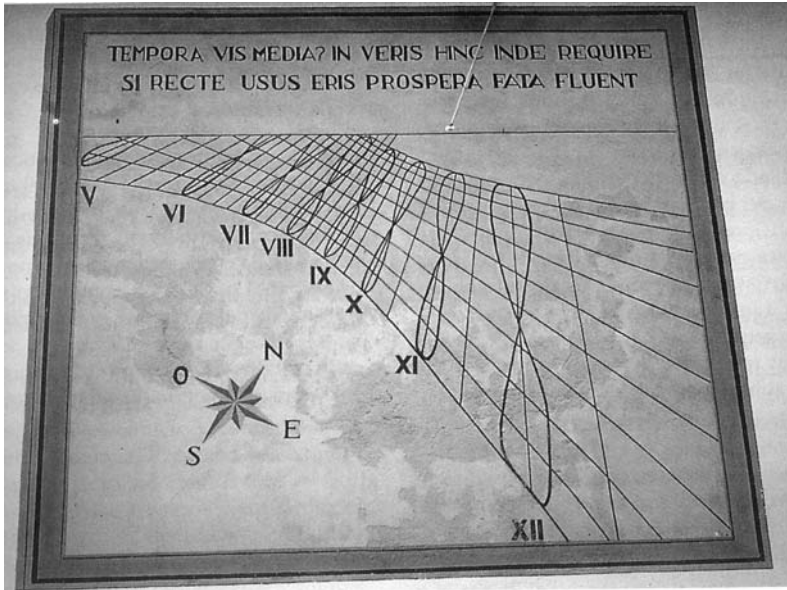
7. APLICACIÓN DEL ANALEMA

Como he citado anteriormente, algunos relojes de sol ofrecían las tablas de ecuación del tiempo, para poder calcular la hora media a partir de la observación de la hora solar, lo que significaba tener que hacer un pequeño cálculo.



Pero esta corrección también se puede hacer analógicamente si tomamos la curva analemática y la incorporamos a los relojes, dibujándola sobre la misma escala horaria, pudiendo obtener así la hora media al hacer la lectura sin cálculo alguno.



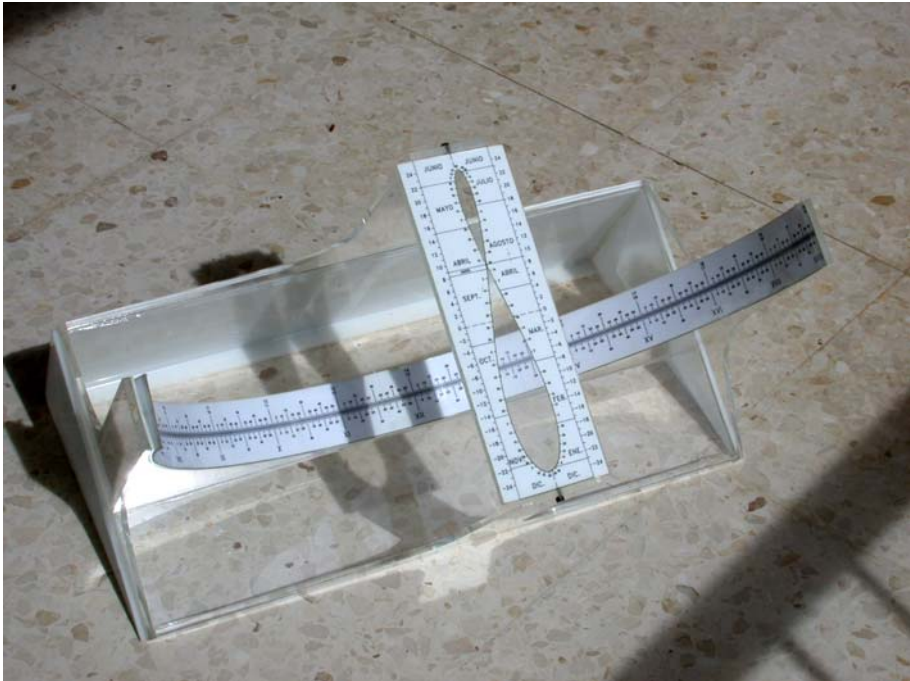


Este método con ser un avance todavía no daba la solución perfecta debido a que el analema se dibujaba sobre la hora 12 o como mucho sobre cada una de las doce horas, pero no se podía aplicar a todos los instantes del día, lo que implicaba tener que esperar a cada hora en punto para saber la hora media, pues de otro modo tendríamos que dibujar un analema para cada instante del día y eso crearía un borrón ininteligible que no se podría llevar a la práctica.

8. EL RELOJ DE SOL ANALEMÁTICO

Por mi afición a esta ciencia gnomónica, yo tenía la inquietud de resolver este inconveniente, y dándole vueltas al problema se me ocurrió la posibilidad de que ese dibujo del analema sobre el reloj no fuese permanente, sino que se fuese dibujando solamente para el instante en que se tenía que hacer la lectura, y eso sólo se podría conseguir proyectando la figura con la sombra de un objeto que tuviese esa forma, por lo que la solución era sustituir el gnomon o varilla del reloj por un gnomon en forma de analema. Así se obtendría la hora media en todos los instantes del día.

Los primeros prototipos portátiles de este reloj los hice con un diámetro de 60 centímetros, en metacrilato, para el Aula de Astronomía que yo mismos había diseñado y dirigía para el **Centro Educativo del Medio Ambiente “Los Molinos”** en Crevillente, Alicante.



Fué en una visita que el profesor González de Posada realizó a este prestigioso centro, **Obra Social de la Caja de Ahorros del Mediterráneo**, cuando se gestó la posibilidad de mi colaboración en la instalación del **Observatorio Astronómico Arturo Duperier**, en el **Castillo de San Gabriel de Arrecife**.

Y allí gracias a su aprobación y apoyo se pudo instalar en la terraza del citado castillo el **primer reloj calendario analemático escultural**, del que a partir de ese momento se **clonarían casi veinte ejemplares** que están repartidos por la península y las islas. Y que incluso ha mejorado en su diseño desde entonces.



Las características de este reloj y la novedad que implica en el mundo de la gnomónica, le han hecho merecedor de grandes elogios así como el honor de ser ubicado en Museos de Ciencia, Universidades, parques públicos etc. además de reconocerse su originalidad, pues de otra forma no habría sido posible registrarlo en la Oficina Española de Patentes.

8.1. FUNCIONAMIENTO

Pero sabiendo las posibilidades que este reloj tiene para el conocimiento de la Astronomía de posición, y el provecho didáctico que se le puede sacar a su estudio en el campo de la enseñanza, quisiera a partir de ahora hacer una descripción minuciosa de su funcionamiento y de las aplicaciones didácticas que se pueden extraer de su especial diseño.

La estructura elegida para el soporte de este reloj es la ecuatorial, es decir, que sus horas en la escala semicircular están separadas 15° entre sí, no habiendo por tanto proyección de éstas sobre la pared como lo hacen los relojes verticales o sobre el suelo como lo hacen los relojes horizontales.

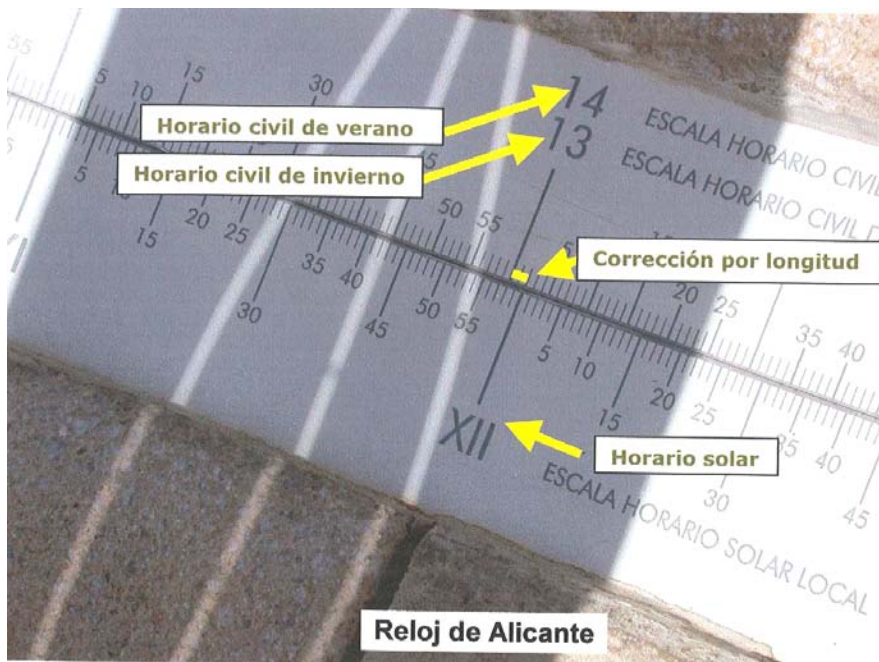
La principal característica del reloj es la sustitución de lo que en un reloj ecuatorial típico sería el gnomon de varilla, por una placa giratoria en la que se ha impreso la figura del analema, de forma tal que esa figura pueda ser proyectada por el sol, sobre la escala horaria.

Así pues el reloj consta de dos partes fundamentales: la escala horaria y el gnomon analemático y calendario.

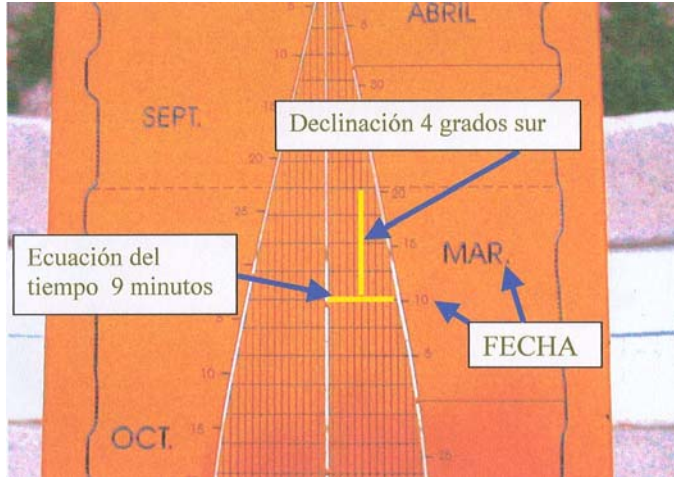


La escala horaria en realidad es una escala doble, ya que contiene divisiones horarias con precisión de un minuto tanto para la hora civil como para la hora solar local.

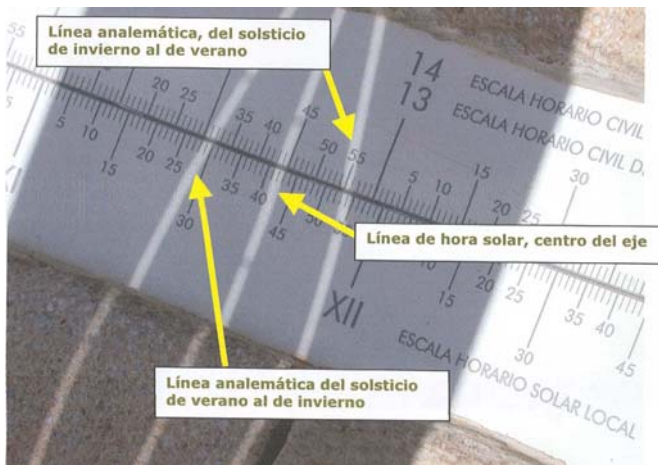
Para que esta lectura sea precisa, la escala de hora civil y la de hora solar local están desfasadas de forma que se corrige la variación por longitud, este ajuste o desfase se define en la instalación del reloj.



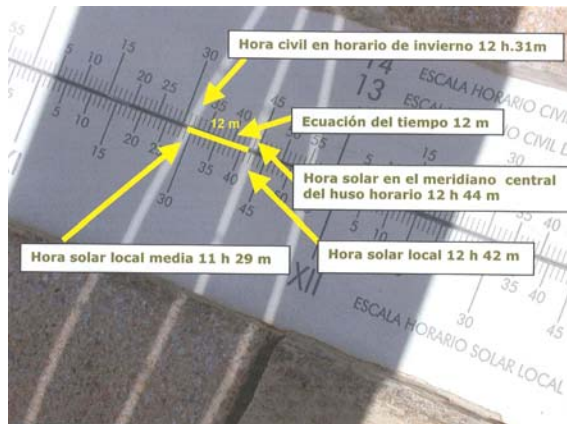
El gnomon analemático contiene una cantidad de información tal, que permite conocer la fecha de la observación así como la declinación solar expresada en grados y la ecuación del tiempo expresada en minutos para todos los días del año.



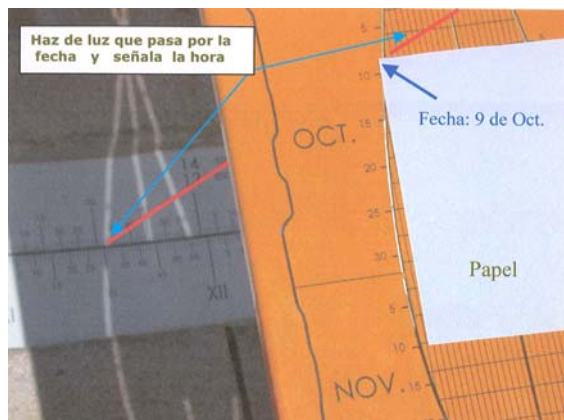
La idea principal que subyace en el reloj es aprovechar el movimiento anual del sol para que él mismo seleccione la parte del analema que corresponde al día de la observación, proyectando sobre las escalas tanto la línea tradicional recta que señala la hora solar, que se correspondería con la sombra de la varilla de cualquier reloj solar ecuatorial, como la línea analemática curva que corrige la ecuación del tiempo pudiéndose obtener así la hora civil en lectura directa en cualquier instante del día.



La proyección por el sol de la figura analemática contenida en el gnomon como líneas de luz sobre las escalas y la intersección de estas líneas de luz sobre ellas, es la que permite hacer las lecturas de las diferentes horas, a saber: hora solar local, hora solar media, hora solar en el meridiano central del huso horario y hora civil.



La forma de hacer la lectura de la fecha sobre el gnomon analemático es tan sencilla como deslizar un dedo o papel sobre la figura curva del analema hasta que la sombra del papel coincida con el centro de la escala, y ese punto del analema nos indicará la fecha en el calendario que éste lleva impreso.



Como se podrá apreciar la interacción del observador con el reloj es imprescindible, pues las lecturas requieren el manejo del gnomon, girando éste para que el sol proyecte la figura sobre las escalas, y efectuar la operación anteriormente citada para la lectura de la fecha.

Esta interactividad implica que el observador no va a ser pasivo como en los relojes de sol tradicionales, que incluso se sitúan en las paredes a una altura inaccesible.

Esta participación tiene por sí misma un valor didáctico pues la implicación requiere un mayor esfuerzo que se ve recompensado con la mejor comprensión de la mecánica celeste. Todos sabemos que en los museos modernos de ciencia hay una norma básica: “prohibido no tocar”, porque en los museos se han dado cuenta que para comprender mejor las cosas hay que poner todos los sentidos en ellas y así uno se “construye” su propia idea del mundo que le rodea.

He usado el término “construye” entre comillas para fijar la atención sobre uno de los conceptos didácticos más actuales, conocido como “constructivismo”, que implica que cuando uno participa en la construcción de sus propios conocimientos estos quedan mejor fijados que si es otro el que te los sirve demasiado elaborados.

Ésta es la razón por la que muchos de los que se acercan por primera vez a este reloj se sienten incapaces de hacer las lecturas, debido a que están acostumbrados a no poner nada de su parte en la comprensión del funcionamiento de los relojes de sol, sino que simplemente se limitan a leer la hora y comprobar con decepción que nunca coincide con su reloj de pulsera. En realidad el reloj lleva escritas en el gnomon suficientes instrucciones para poder ser manejado sin ningún problema.

8.2. APLICACIONES DIDACTICAS

Entrando en el mundo de la enseñanza hemos de tener en cuenta que las clases de Astronomía han de impartirse en horarios lectivos que no precisamente son nocturnos, y que hay que hacer un esfuerzo para idear prácticas astronómicas diurnas, siendo aquí donde todas las ventajas las tienen aquellas prácticas relacionadas con el movimiento aparente del Sol a lo largo del día, de su orto, ocaso y altura en las distintas estaciones del año. Y para estas prácticas el reloj de sol analemático es ideal.

Veamos algunos conceptos astronómicos que se pueden estudiar con la observación del reloj, y que sirven de motivación al docente para que el alumno pueda ir comprendiendo, con prácticas sencillas, buena parte de los mismos.

Orientación:

Necesariamente el reloj de sol ha de estar orientado en la línea Norte-Sur, por lo que los cuatro brazos que conforman la semiesfera armillar, indican la dirección de los cuatro puntos cardinales. Es un buen instrumento para fijar los conceptos de orientación.

Latitud:

Podemos observar y medir con un inclinómetro la inclinación del gnomon del reloj, y comprobar que se corresponde con los grados de latitud del lugar donde éste se ha instalado. Y si mirásemos por la noche usando el gnomon como puntero veríamos que apunta a la estrella polar, que coincide con el norte celeste. Aquí se puede hacer la distinción entre norte como punto cardinal que está siempre en el horizonte, y que ya se ha estudiando en el concepto de **orientación**, y el norte celeste como punto alrededor del cual gira aparentemente el firmamento, siendo precisamente la altura en grados sobre el horizonte de este punto el que determina la latitud del lugar.

Longitud:

Las escalas de hora solar y hora civil pueden contener un desfase en minutos de tiempo, equivalente en grados a la diferencia de longitud entre el meridiano del lugar y el meridiano central del huso horario correspondiente; este meridiano es el 0 en el caso de la península y Baleares, y el 15 en el caso de las Canarias. La práctica incluye pues esa transformación de tiempo a grados sexagesimales, con lo que se comprende mejor que la rotación terrestre es la medida del mismo, siendo por tanto el valor de cada grado de longitud equivalente a cuatro minutos de tiempo, y cada hora de tiempo se corresponde con 15 grados de longitud.

Hora solar local y meridiano local:

Al hacer la lectura de la hora solar local el alumno ha de tomar como referencia la escala inferior con la intersección de la línea de luz recta, observando que las doce de esta escala que figura en números romanos coincide con el centro del reloj, lo que implica que éste es el momento el que el sol pasa por el meridiano del lugar, y por tanto la hora solar local de esta escala, solamente es válida para todos los puntos que estén en el mismo meridiano que el nuestro.

Hora solar media:

Esta hora se obtiene haciendo la lectura en la misma escala inferior, de hora solar, pero no con la línea de luz recta, sino con la línea curva analemática correspondiente a la fecha de la observación. Con lo que podemos hacer que el alumno compare entre la hora solar local y la hora solar media, y contando los minutos de diferencia entre una y otra, obtenga la **ecuación del tiempo** de ese día.

Hora civil:

Cuando se trata de hacer la lectura de la hora civil, hay que optar por la escala superior, donde tenemos la posibilidad de leer tanto la hora civil de verano como la de invierno ya que se corresponden y siempre llevan una hora de diferencia. La lectura se obtiene en el cruce de la escala elegida con la línea de luz curva analemática correspondiente a la fecha de la observación.

Además éste es el momento de mostrar al alumno la utilidad del cambio de hora que se realiza dos veces al año para aprovechar la luz solar, ahorrando de esta forma energía según dictan las directrices europeas, y explicar que las diferencias horarias con respecto al meridiano central del huso horario son de dos horas en verano y una en invierno.

Rotación terrestre:

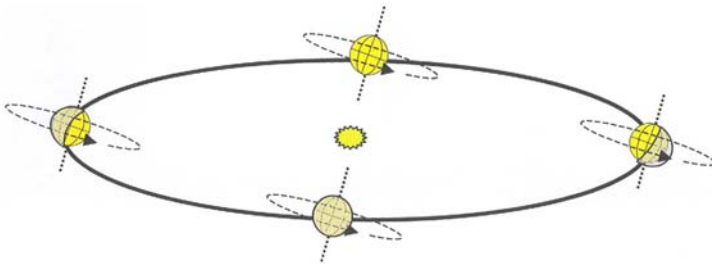
Es obvio que el funcionamiento de todo reloj de sol se basa en la rotación del planeta sobre su eje, siendo por tanto el instrumento ideal para que se pueda explicar al alumno que aunque aparentemente el Sol se mueve a lo largo del día de Este a Oeste, en realidad el movimiento es inverso siendo la Tierra la

que se mueve de Oeste a Este, Lo que en un reloj tradicional es la varilla o gnomon, en este reloj se convierte en un plano, que se tiene que girar para poder seguir al Sol en su movimiento diurno, lo que hace más explícito este movimiento de rotación de la tierra.

Traslación alrededor del sol y estaciones:

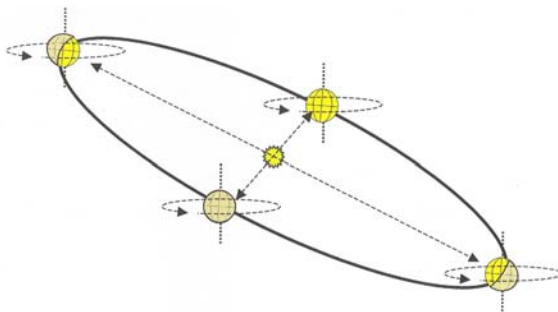
El reloj de sol analemático es uno de los mejores instrumentos para explicar el movimiento anual de la Tierra entorno a Sol.

El dibujo tradicional que en todos los textos de astronomía escolar se ha utilizado para explicar la traslación terrestre y las estaciones, ha sido este:



Este dibujo, aun siendo geoméricamente correcto, deja mucho que desear desde el punto de vista didáctico debido a que la representación de la tierra con el eje inclinado moviéndose alrededor del Sol resulta bastante incomprensible, y por lo tanto las diferentes fases de iluminación del planeta, que son las que provocan las estaciones tampoco se ven claramente.

Existe otra forma más entendible de representar la causa de las estaciones, en la que la iluminación del planeta se comprende mucho mejor:



Es obvio que en este gráfico la Tierra siempre tiene el eje en la misma posición y lo que está inclinada es su órbita. Así podremos ver claramente que cuando la Tierra está por debajo del Sol, es iluminado por su hemisferio norte, donde estamos en verano, mientras que cuando está por encima del Sol, el verano tiene que darse en el hemisferio sur, puesto que es ese hemisferio el mejor iluminado.

Pues bien, el analema dibujado en el reloj permite explicar esa subida y bajada de la tierra en su órbita, invirtiendo los términos con respecto al Sol como hicimos cuando hablábamos de rotación.

No les será difícil a los profesores programar una actividad de observación durante varios días de la sombra del analema deslizándose hacia arriba o abajo por la escala del reloj.

O estudiar la declinación solar para cualquier día del año y observar la coincidencia de máxima altura del Sol con el solsticio de verano y mínima en el solsticio de invierno, o la declinación cero que el Sol alcanza en ambos equinoccios.

Así mismo las divisiones del calendario nos muestran que el movimiento aparente del Sol a lo largo del año justifica los términos solsticio de verano y solsticio de invierno, puesto que se ve claramente que estas divisiones son muy cortas en dichas estaciones permaneciendo el Sol casi quieto durante mucho tiempo en ellas, dando sentido a la palabra solsticio que significa en latín “Sol stitium” es decir Sol quieto.

Estudio de los ortos y ocasos en las distintas estaciones:

Otra utilidad del gnomon analemático es la capacidad de ser utilizado para la predicción de los puntos del horizonte por donde ha de salir y ponerse el sol.

Si alineamos el centro de la escala de horario solar local a las 6 de la mañana o a las 6 de la tarde, con el punto del calendario deseado y prolongamos esta línea hasta cortar el horizonte, ese punto será por donde saldrá o se pondrá el sol en el día elegido.

....

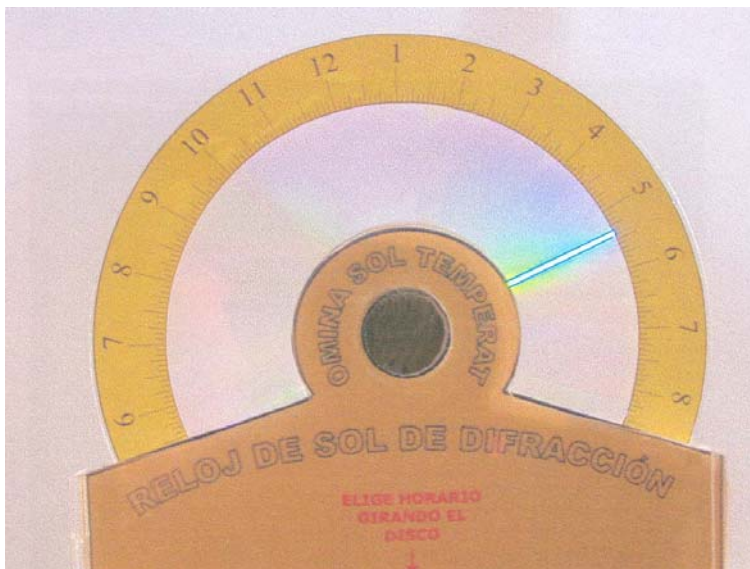
La Escuela de Verano de Astronomía y Astrofísica para Profesores que tiene lugar desde hace 10 años en el **Centro Educativo del Medioambiente “Los Molinos”** imparte un taller de astronomía dedicado los relojes de sol, en el que los profesores de enseñanzas medias estudian entre otras las aplicaciones didácticas aquí presentadas.

Resumiendo, hay que admitir que los relojes de sol, y en especial el **reloj de sol calendario analemático**, son instrumentos que ofrecen unas posibilidades didácticas que difícilmente serían superables por otros métodos.

9. EL RELOJ DE SOL DE DIFRACCIÓN

Les presento ahora un nuevo reloj que también he patentado, en el que se abandona el concepto de avance angular de la sombra de un gnomon, utilizando en su lugar para el seguimiento del sol, la fina banda de difracción producida por una red al ser iluminada por la propia luz solar.

El reloj consiste en un disco traslúcido en el que hay grabada una red de difracción de líneas concéntricas en cuyo borde se dibujan las 24 horas con las divisiones que permita el tamaño del mismo.



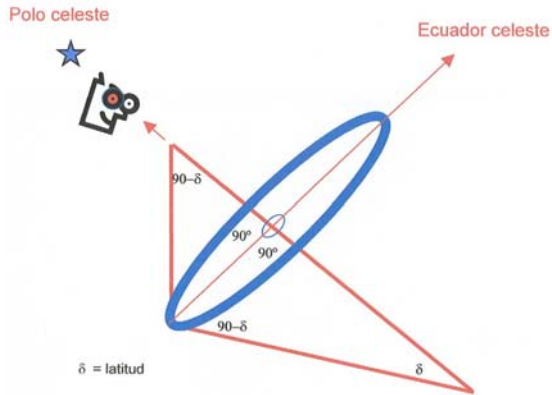
Además y muy importante, en el centro del disco hay un pequeño espejo, que permitirá adoptar la posición correcta al observador para hacer la lectura de la hora elegida, ya que el reloj contempla, además de la hora solar, la corrección de la escala para obtener la hora civil, sea de verano o de invierno.

Este disco va montado sobre un soporte le que permite ser girado, para orientarlo en dirección norte-sur y en declinación.

Así pues una vez orientado y ajustado el disco nos ofrece una línea de luz que va desde el centro del mismo hacia la orilla señalando la posición del Sol.



Para que la lectura sea correcta, solamente habrá una forma de observarlo. Esta forma es mirando desde el centro del disco en dirección perpendicular al mismo.



Esquema de la posición correcta de lectura en el reloj de sol de difracción

El disco es paralelo al plano ecuatorial y si miramos la línea de difracción desde el eje que pasa por el centro del disco, esta línea que llega a nuestro ojo será la proyección de la posición del Sol sobre la escala horaria situada en el borde de dicho disco.

Este aparente inconveniente resulta ser de gran utilidad si queremos comprender el mecanismo del reloj, pues solamente cuando nuestro ojo esté en el eje del reloj la lectura será buena ya que solo la proyección del Sol sobre el plano ecuatorial es válida para medir su paso.





Elementos que permiten orientar el reloj en dirección norte sur y latitud

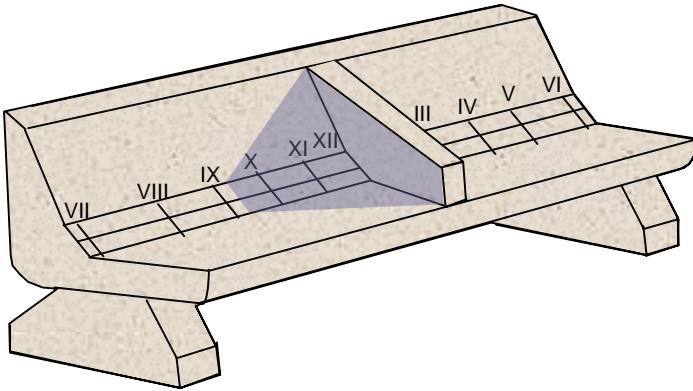
El reloj tiene una ventana o dial que le permite seleccionar la hora: civil, solar, e incluso corregir la longitud y *ecuación del tiempo*.



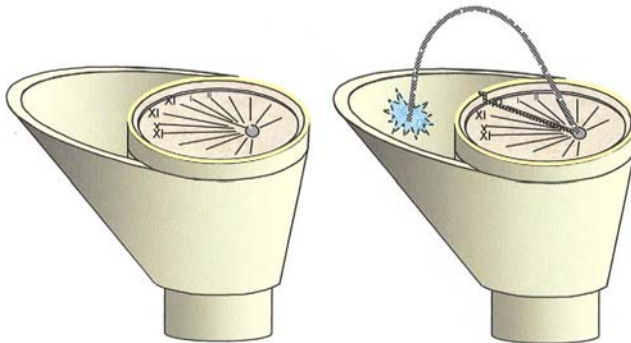
10. OTROS DISEÑOS ORIGINALES

Les quiero mostrar algunas ideas gnomónicas que se me ocurren y que me parece que tienen suficiente originalidad como para ser expuestas ante Uds.

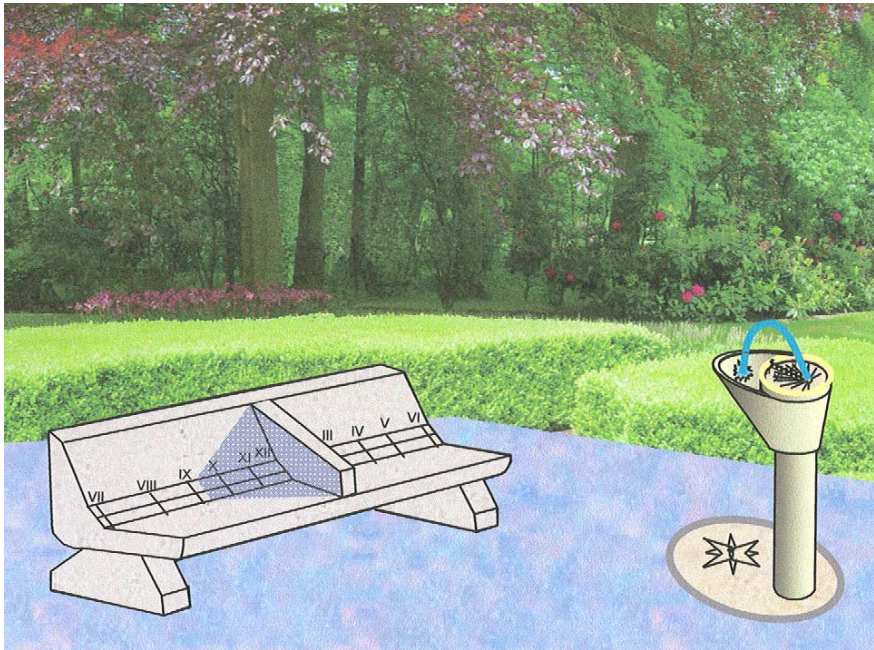
Este banco, es en realidad un original Reloj de sol que se puede incluir también como mobiliario urbano.



O este modelo, de reloj de sol fuente, pensado para evitar el vandalismo que destroza el mobiliario urbano en plazas y parques públicos, presenta un gnomon irrompible, por ser éste un chorro de agua, que a la vez sirve de fuente para jardín.



Solamente aparecerá el gnomon líquido mientras presionemos el grifo que pone en marcha la fuente.



11. EPÍLOGO

Para terminar quisiera hacer un llamamiento a los ingenieros, arquitectos, entidades y autoridades que se encargan de planificar los espacios públicos o privados, como parques, jardines, universidades, museos etc. para que tomen conciencia del magnifico potencial de los relojes de sol para difundir la ciencia astronómica, a la vez que para conservar una tradición milenaria que no se debe perder y que demuestra el grado de civilización de los pueblos, además de fomentar en la sociedad el valor del conocimiento científico.

COLECCIÓN: **DISCURSOS ACADÉMICOS**

- 1.- *La Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote en el contexto histórico del movimiento académico.* (Académico de Número).
Francisco González de Posada. 20 de mayo de 2003.
Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
- 2.- *D. Blas Cabrera Topham y sus hijos.* (Académico de Número).
José E. Cabrera Ramírez. 21 de mayo de 2003.
Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
- 3.- *Buscando la materia oscura del Universo en forma de partículas elementales débiles.* (Académico de Honor).
Blas Cabrera Navarro. 7 de julio de 2003.
Amigos de la Cultura Científica.
- 4.- *El sistema de posicionamiento global (GPS): en torno a la Navegación.* (Académico de Número).
Abelardo Bethencourt Fernández. 16 de julio de 2003.
Amigos de la Cultura Científica.
- 5.- *Cálculos y conceptos en la historia del hormigón armado.* (Académico de Honor).
José Calavera Ruiz. 18 de julio de 2003.
INTEMAC.
- 6.- *Un modelo para la delimitación teórica, estructuración histórica y organización docente de las disciplinas científicas: el caso de la matemática.* (Académico de Número).
Francisco A. González Redondo. 23 de julio de 2003.
Excmo. Ayuntamiento de Arrecife.
- 7.- *Sistemas de información centrados en red.* (Académico de Número).
Silvano Corujo Rodríguez. 24 de julio de 2003.
Excmo. Ayuntamiento de San Bartolomé.
- 8.- *El exilio de Blas Cabrera.* (Académica de Número).
Dominga Trujillo Jacinto del Castillo. 18 de noviembre de 2003.
Departamento de Física Fundamental y Experimental, Electrónica y Sistemas.
Universidad de La Laguna.
- 9.- *Tres productos históricos en la economía de Lanzarote: la orchilla, la barrilla y la cochinilla.* (Académico Correspondiente).
Agustín Pallarés Padilla. 20 de mayo de 2004.
Amigos de la Cultura Científica.

- 10.- *En torno a la nutrición: gordos y flacos en la pintura.* (Académico de Honor).
Amador Schüller Pérez. 5 de julio de 2004.
Real Academia Nacional de Medicina.
- 11.- *La etnografía de Lanzarote: "El Museo Tanit".* (Académico Correspondiente).
José Ferrer Perdomo. 15 de julio de 2004.
Museo Etnográfico Tanit.
- 12.- *Mis pequeños dinosaurios. (Memorias de un joven naturalista).* (Académico Correspondiente).
Rafael Arozarena Doblado. 17 diciembre 2004.
Amigos de la Cultura Científica.
- 13.- *Laudatio de D. Ramón Pérez Hernández y otros documentos relativos al*
Dr. José Molina Orosa. (Académico de Honor a título póstumo).
7 de marzo de 2005.
Amigos de la Cultura Científica.
- 14.- *Blas Cabrera y Albert Einstein.* (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo del Excmo. Sr. D. **Blas Cabrera Felipe**).
Francisco González de Posada. 20 de mayo de 2005.
Amigos de la Cultura Científica.
15. *La flora vascular de la isla de Lanzarote. Algunos problemas por resolver.* (Académico Correspondiente).
Jorge Alfredo Reyes Betancort. 5 de julio de 2005.
Jardín de aclimatación de La Orotava.
16. *El ecosistema agrario lanzaroteño.* (Académico Correspondiente).
Carlos Lahora Arán. 7 de julio de 2005.
Dirección Insular del Gobierno en Lanzarote.
17. *Lanzarote: características geoestratégicas.* (Académico Correspondiente).
Juan Antonio Carrasco Juan. 11 de julio de 2005.
Amigos de la Cultura Científica.
18. *En torno a lo fundamental: Naturaleza, Dios, Hombre.* (Académico Correspondiente).
Javier Cabrera Pinto. 22 de marzo de 2006.
Amigos de la Cultura Científica.
19. *Materiales, colores y elementos arquitectónicos de la obra de César Manrique.* (Acto de Nombramiento como Académico de Honor a título póstumo de **César Manrique**).
José Manuel Pérez Luzardo. 24 de abril de 2006.
Amigos de la Cultura Científica.
20. *La Medición del Tiempo y los Relojes de Sol.* (Académico Correspondiente).
Juan Vicente Pérez Ortiz. 7 de julio de 2006.
Caja de Ahorros del Mediterráneo.

**HOTEL LANCELOT
ARRECIFE (LANZAROTE)**

Patrocina:



CAM

Caja de Ahorros
del Mediterráneo