

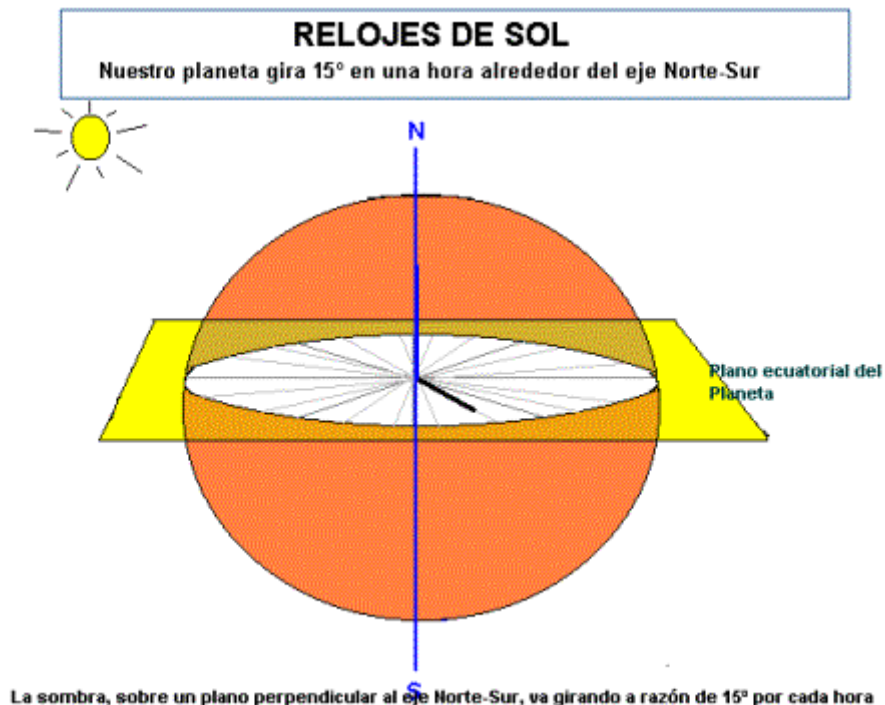
SOBRE LA CONSTRUCCION DE RELOJES DE SOL

1. Construyamos un Reloj de Sol.
2. El reloj de Cuadrante Ecuatorial.
3. El reloj de Cuadrante Horizontal.
4. El reloj de Cuadrante Vertical.
5. Otros tipos de relojes de Sol.
6. Consideraciones sobre la medición del tiempo.

1. Construyamos un Reloj de Sol:

El fundamento básico de un reloj de Sol se encuentra en el movimiento rotacional de nuestro planeta, que, aunque no con absoluta exactitud, da una vuelta completa en 24 horas. Esto es, tarda 24 horas en girar 360° .

Esto quiere decir, evidentemente, que cada hora gira 15° .



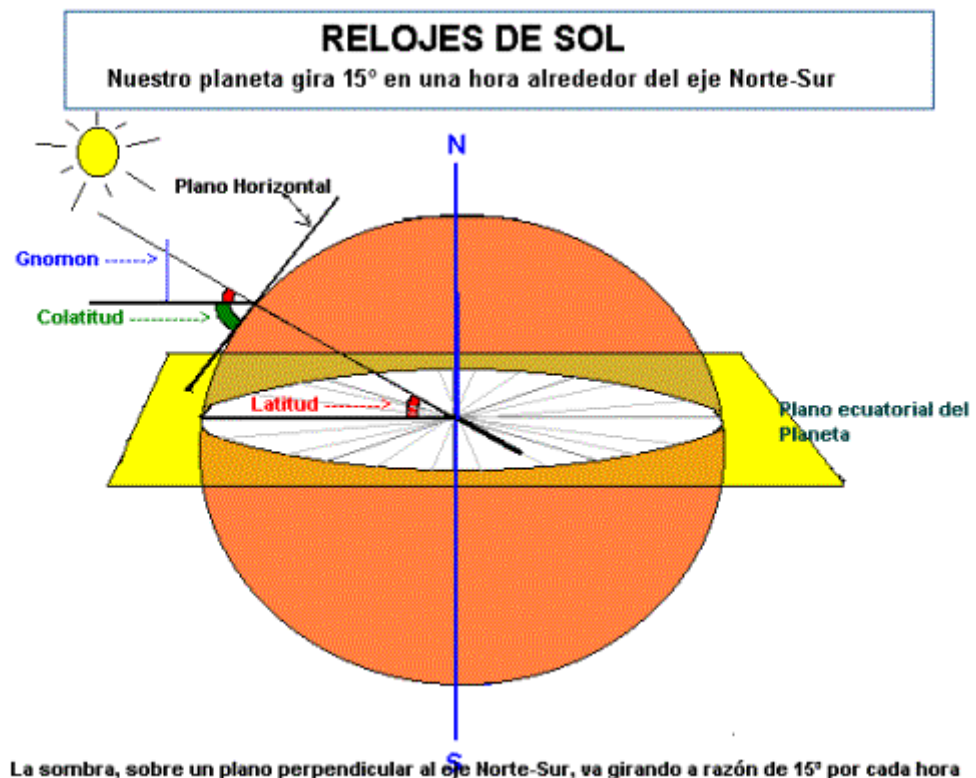
O sea, que si suponemos un plano ecuatorial, que corta a nuestro planeta por el ecuador, tal como se muestra en la figura, la sombra de un gnomon o estilete en la dirección del eje de rotación va desplazándose 15° en cada hora.

Ese plano ecuatorial no podríamos, evidentemente, tenerlo físicamente atravesando nuestro planeta, pero sí podríamos construirlo sobre el punto de la superficie terrestre donde nos encontremos. Lo único importante es que el plano tiene que ser paralelo al anterior, y el gnomon, por consiguiente, tiene que ir dirigido en el sentido Norte-Sur.

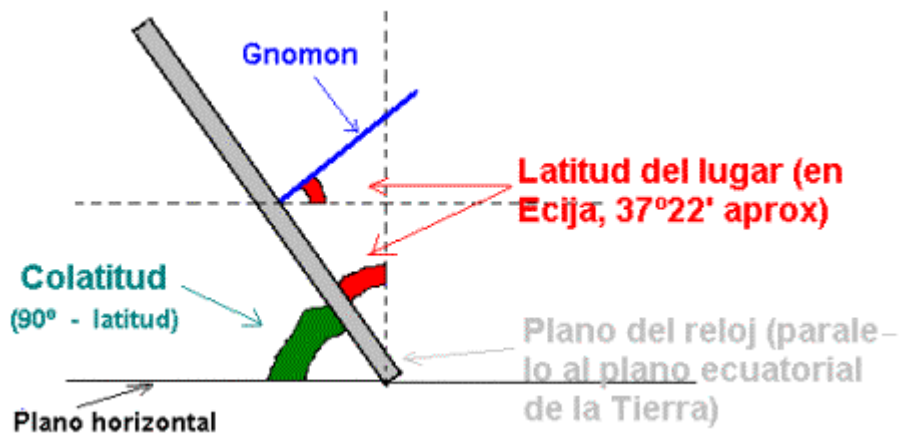
Naturalmente, el plano del reloj, que llamaremos plano ecuatorial, estará inclinado con respecto al plano horizontal donde nos movemos y caminamos sobre la superficie terrestre, tanto mayor es la inclinación cuanto más próximos estemos del ecuador. Así, por ejemplo, si estamos situados en el Polo Norte (o Sur) el plano del reloj coincide con el plano del horizonte, y en el caso de estar en la línea ecuatorial (por ejemplo, en la ciudad de Quito) el plano ecuatorial es perpendicular al suelo, con el gnomon apuntando al horixonte en dirección a la estrella polar.

En general, la inclinación del plano ecuatorial es el complemento a 90° de la latitud del lugar, esto es, la colatitud del lugar.

Veamos en la figura un plano ecuatorial en la posición donde aproximadamente nos encontramos (unos 37° de latitud norte):



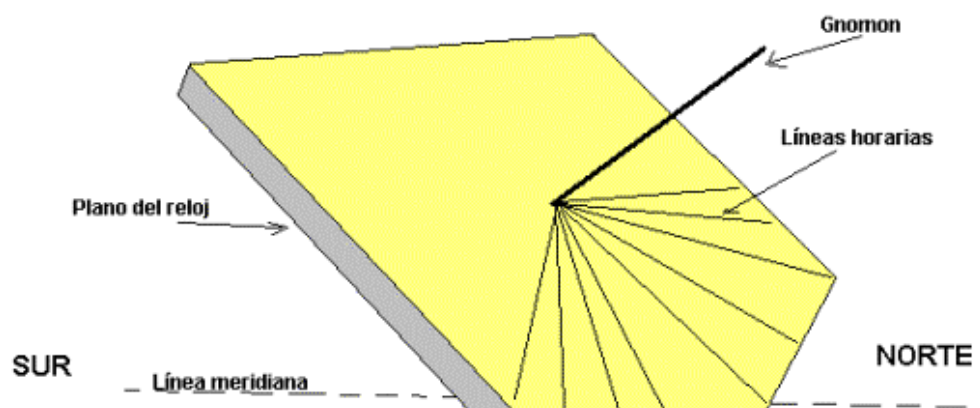
Ese plano ecuatorial, inclinado sobre nuestro horizonte con un ángulo igual a la colatitud del lugar es, ya, un reloj de sol. Veámoslo desde nuestra óptica cotidiana, en nuestra entorno:



2. El reloj de Cuadrante Ecuatorial:

Este plano inclinado, con el estilete o gnomon apuntando hacia el Norte es ya lo que podemos denominar un Reloj de Sol de Cuadrante Ecuatorial. Si recordamos que, en cada hora, la sombra del estilete se desplaza unos 15°, podemos señalar con líneas los diferentes pasos de hora, separados con 15°, así como las medias horas, los cuartos de horas, etc.. Se tiene así entonces, el primer diseño básico de reloj de sol. El de cuadrante ecuatorial, que es el de más fácil construcción:

RELOJ DE SOL DE CUADRANTE ECUATORIAL



Determinación del ángulo @ entre las líneas horarias consecutivas en el reloj de Sol de cuadrante ecuatorial

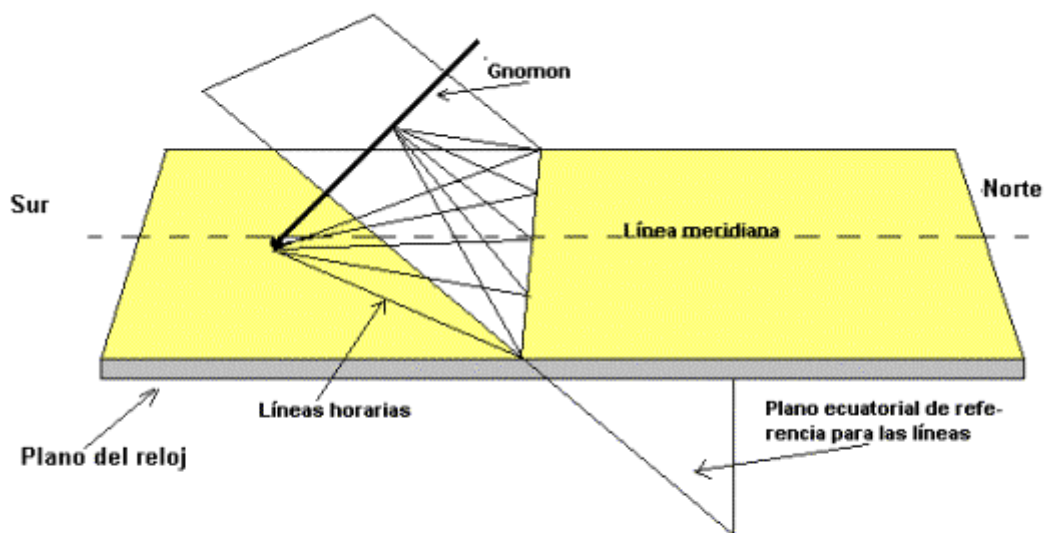
@ = n.15	n = 1, 2, 3, 4, ...
----------	---------------------

3. El reloj de Cuadrante Horizontal:

Un reloj de cuadrante horizontal es simplemente un plano horizontal en el que el gnomon o estilete, cuya sombra indica las horas, está dirigido hacia el Norte, sobre la meridiana del lugar.

Los radios indicativos de las horas, que parten del punto en donde está fijo el estilete, no tienen una separación de 15 grados como en el ecuatorial, sino que es necesario hacer uso de la trigonometría plana para determinarlos. En la práctica, se pueden señalar estos radios a partir del uso como plantilla de referencia de un reloj de cuadrante ecuatorial, en la forma en que se indica en la figura.

RELOJ DE SOL DE CUADRANTE HORIZONTAL



Determinación del ángulo @ entre las líneas horarias consecutivas en el reloj de Sol de cuadrante horizontal

$$\text{@} = \text{arc tg} (\text{tg} (n.15) \cdot \text{sen } l)$$

(n = 1, 2, 3, ...)

4. El reloj de Cuadrante Vertical:

Un reloj de cuadrante vertical es, simplemente, una pared vertical en la que un estilete señala la dirección de la línea Norte-Sur. Si el norte queda a espaldas de la pared (cuando ésta está orientada hacia el sur), el estilete cuya sombra marca las horas estará dirigido hacia el sur (su prolongación, al otro lado de la pared, estaría dirigida hacia el norte).

Evidentemente, si el plano del reloj estuviera dirigido hacia el sur, el estilete o gnomon estaría contenido en un plano perpendicular a dicho plano del reloj. Caso contrario, el gnomon estaría en un plano con una cierta inclinación o "declinación" con respecto al plano del reloj.

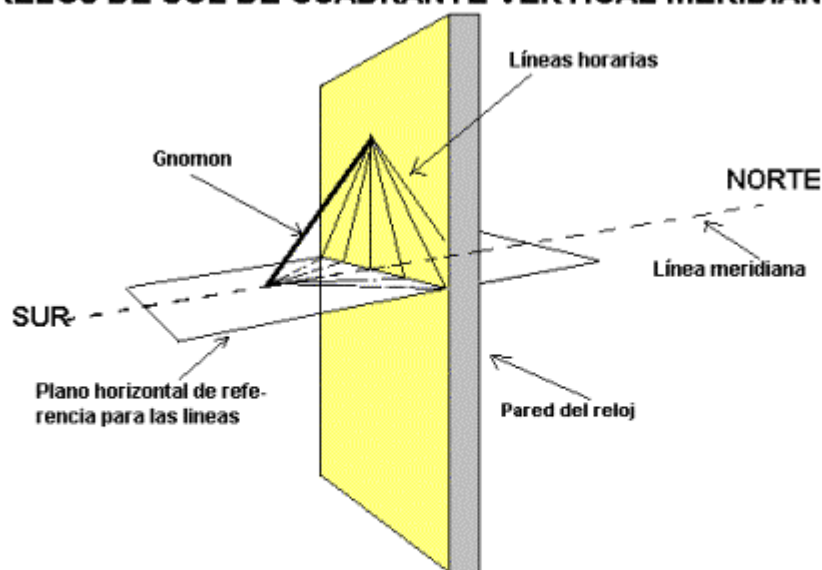
Esto permite clasificar a los relojes de Sol con cuadrante vertical en dos tipos:

a) Relojes de Sol de Cuadrante Vertical Meridiano:

El plano o cuadrante donde se señalan las líneas horarias es un plano vertical dirigido exactamente hacia el Sur. En estos relojes el gnomon, contenido en un plano perpendicular al cuadrante del reloj, forma un ángulo con el plano del reloj igual a la colatitud del lugar (colatitud = 90 - latitud), pues con el plano horizontal forma un ángulo igual a la latitud del lugar.

Para señalar las líneas horarias en este cuadrante hay que hacer uso también de la trigonometría plana, o, en la práctica, usar como plantilla de referencia un reloj de cuadrante horizontal, en la forma que se muestra en la figura.

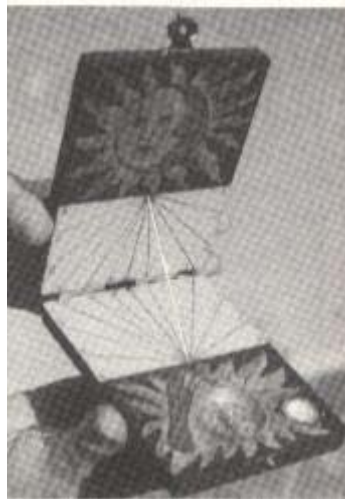
RELOJ DE SOL DE CUADRANTE VERTICAL MERIDIANO



Determinación del ángulo @ entre las líneas horarias consecutivas en el reloj de Sol de cuadrante vertical meridiano (orientado al Sur)

$$\text{@} = \text{arc tg} (\text{tg}(n.15).\text{cos}i) \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

Como curiosidad, se pueden considerar relojes portátiles que participan de las dos características, horizontal y vertical meridiano, y que es preciso, naturalmente, orientar de forma que la pared vertical quede dirigida hacia el Sur. El Gnomon marcador de las horas es un hilo que tiene la función de mantener el ángulo de 90° entre los dos cuadrantes, de forma que el mismo hilo forme con el plano horizontal un ángulo igual a la latitud del lugar, y por tanto con el plano vertical un ángulo igual a la colatitud del lugar.

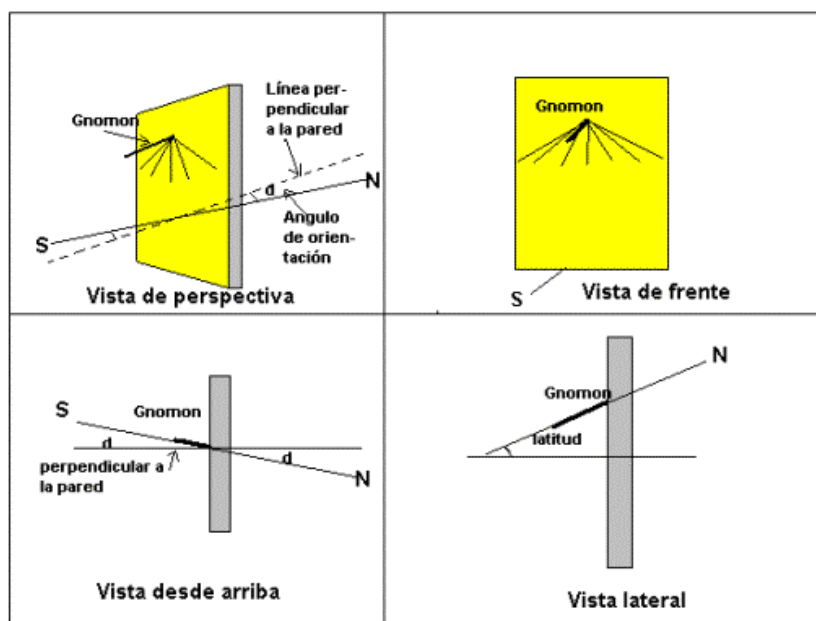


b) Relojes de Sol de Cuadrante Vertical Declinante:

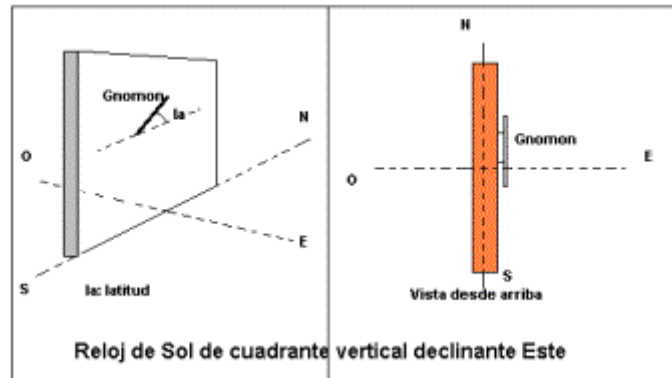
En todos estos relojes de Sol, la línea recta que contiene al Gnomon tiene la dirección Norte-Sur, formando con la horizontal un ángulo igual a la latitud del lugar. En todos los relojes de cuadrante vertical cuya pared esté orientada hacia una dirección austral (SO, SE, intermedias), el estilete del Gnomon aparece en la dirección antedicha con sentido hacia el Sur, y para aquellos relojes con la pared orientada hacia una dirección septentrional, el estilete del Gnomon aparece en dicha dirección pero con sentido hacia el Norte.

En los relojes de cuadrante vertical declinante Oeste, o declinante Este, el estilete del gnomon queda, exactamente, paralelo a la pared que contiene el cuadrante del reloj. Las líneas horarias son paralelas a la dirección del Gnomon. En estos casos conviene que el Gnomon quede separada de la pared y unido a ella mediante agujas muy finas, para que la sombra pueda quedar definida sobre el cuadrante.

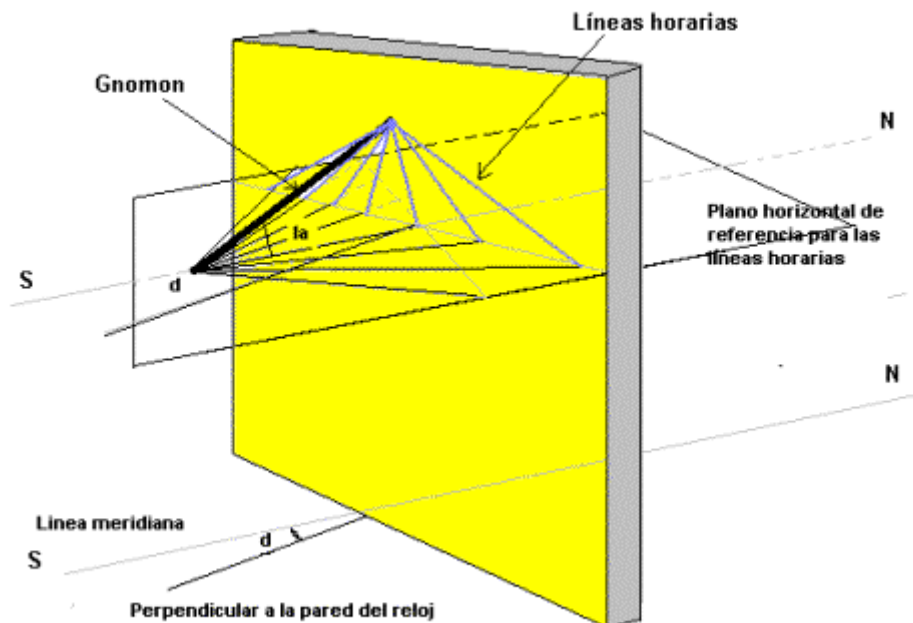
RELOJ DE SOL DE CUADRANTE VERTICAL DECLINANTE



En esta figura se muestra un reloj de cuadrante vertical declinante, en el que el ángulo de orientación o "declinación" es d (ángulo formado por la perpendicular a la pared y la dirección de la línea meridiana)



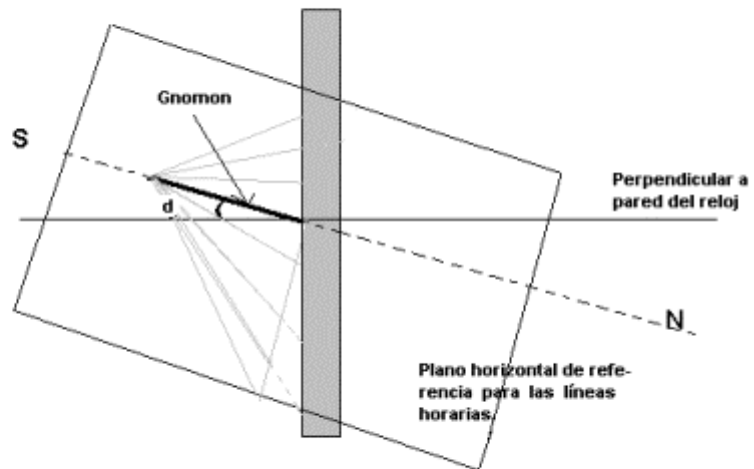
RELOJ DE CUADRANTE VERTICAL DECLINANTE, CON ANGULO DE ORIENTACION d NEGATIVO. (Vista de perspectiva)



d : ángulo de orientación, entre la meridiana y la perpendicular a la pared. Se mide en sentido positivo hacia el oeste. la : latitud del lugar

RELOJ DE CUADRANTE VERTICAL DECLINANTE

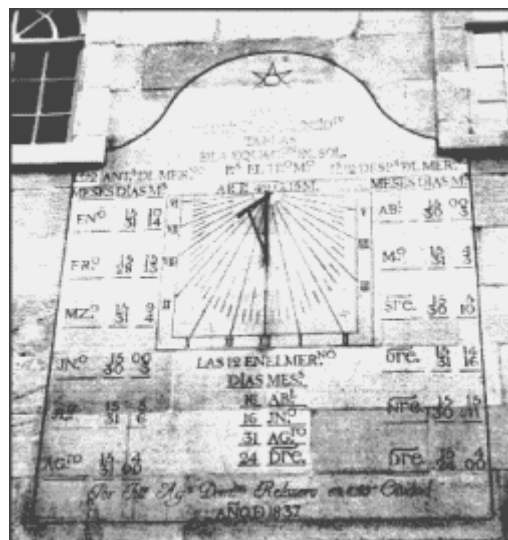
(Vista desde arriba)



$$B = \arctg \frac{\text{sen } \alpha}{\cos(d + \alpha) \cdot \text{tg } \lambda} \quad , \quad \alpha: \text{ angulo correspondiente en el cuadrante horizontal}$$

Si un reloj de cuadrante ecuatorial ha de ser construido en una pared, de un edificio, por ejemplo, es difícil que la pared esté orientada exactamente hacia el Sur, lo cual sería, para simplicidad en la construcción, lo más recomendable. En general, pues, estos relojes son verticales declinantes. La idea básica es que la pared quede orientada hacia el Sur lo más posible.

En la imagen que sigue se observa un reloj de cuadrante vertical, en la pared de un edificio, muy aproximadamente dirigido hacia el Sur:



5. Otros tipos de relojes de Sol:

Partiendo de los tipos básicos de relojes de Sol descritos anteriormente usando como referencia inmediata el movimiento de rotación de la Tierra alrededor del eje Norte-Sur, pueden imaginarse relojes de Sol de de muy diversas formas y posiciones en lo que respecta a sus cuadrantes. Así, podemos imaginar relojes esféricos, cilíndricos, en forma parabólica, etc. Lo importante de todos estos relojes de distinta presentación es que se basan en el hecho de que nuestro planeta gira a razón de 15° sexagesimales en el tiempo que hemos dado en llamar una hora.

Así, por ejemplo, se pueden construir relojes de Sol sobre planos inclinados (no necesariamente ecuatoriales, ni verticales, ni horizontales), como es el caso de los relojes llamados Tinguaro y Guajara, en las Islas Canarias



Reloj TINGUARO ---- Reloj GUAJARA

Estos grandes relojes solares se encuentran ubicados en las paredes nororiental (Tinguaro) y noroccidental (Guajara, enfrentándose a la montaña del mismo nombre) del Laboratorio Solar ("La Pirámide"), que se encuentra situado en la ladera sur de la Montaña del Cabezón, a unos 2.380 metros de altura, dentro del Observatorio Astrofísico del Teide, situado en el Macizo de Izaña, a 16°,5 de longitud Oeste y 28°,3 de latitud Norte.

6. Consideraciones sobre la medición del tiempo:

a) Sobre la hora oficial y la hora solar:

Sabemos que al mediodía la sombra de un gnomon sobre un plano horizontal es la más pequeña de todo el día. Y que el mediodía se alcanza simultáneamente en todos los puntos de un mismo meridiano. Se conoce como tiempo universal, TU, u hora solar de Greenwich, a aquella tal que le asigna la hora 12 a los puntos del mediodía en el meridiano que pasa por la población de Greenwich, cerca de Londres.

Esto quiere decir que en los puntos de aquel meridiano que esté 15 grados al oeste del de Greenwich todavía no se observa la sombra mínima del gnomon, sino que tendrá lugar una hora más tarde. Por eso, la hora del mediodía tendrá lugar cuando sean las 13 horas en ese meridiano. Es decir la hora solar del mediodía en todos los puntos de este meridiano será = TU +1 = 13. Lo mismo para cualquier otro meridiano. Siempre es necesario hacer la correspondiente proporción, (1 hora son 15 grados, o sea, un grado es equivalente a 4 minutos de tiempo universal).

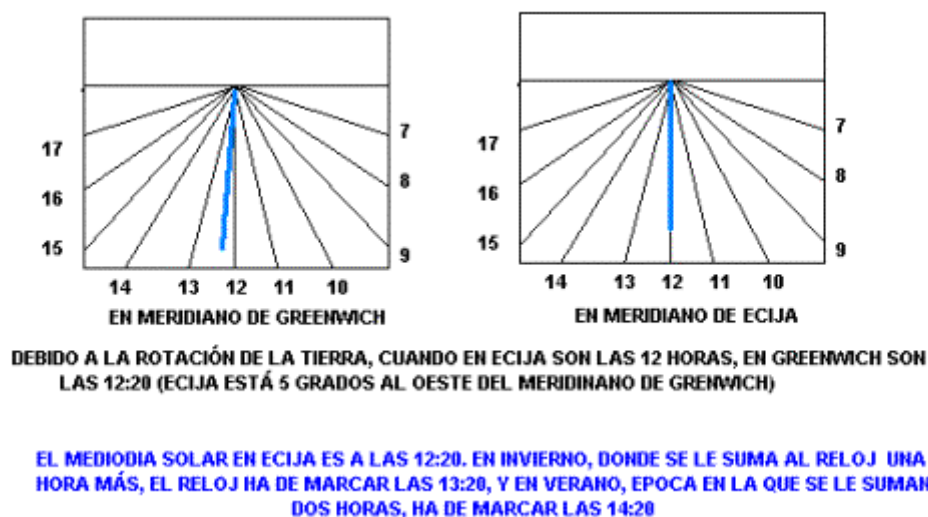
Por ejemplo:

En un lugar que esté a 5°24' de longitud Oeste (es el caso de Marchena, por ejemplo), el mediodía, es decir el instante en el que la sombra del gnomon es la más pequeña del día, corresponde a un tiempo universal de 12horas+5x4+2 minutos = 12horas 22 minutos.

Si se trata de Ecija, que está 5°5' de longitud oeste, el mediodía corresponde a las 12horas 20 minutos.

Pero, no obstante, las administraciones de cada país acostumbran a cambiar la hora solar por otra de conveniencia socioeconómica. Así, en todo el territorio peninsular español, la hora considerada oficial está establecida en 2 horas más que la hora solar, en verano, y una hora más que la hora solar en invierno. Eso quiere decir que el mediodía en Marchena, con la hora oficial de verano sería a las 14horas 22 minutos y con la hora oficial de invierno sería a las 13 horas 22 minutos.

En Ecija, el mediodía se alcanza, con la hora oficial de verano, a las 14horas 20 minutos, y, con la hora oficial de invierno, a las 13 horas 20 minutos.



b) Sobre la ecuación del tiempo:

Sabemos, a partir de modernas observaciones astronómicas y observaciones de satélites artificiales, que el periodo de rotación de la Tierra no es constante, sino que varía tanto en el corto plazo como

a lo largo de los siglos. Estas pequeñas variaciones se deben a variaciones reales en la rotación de la Tierra, y son compensadas insertando segundos adicionales apropiadamente.

Si se usa un reloj de sol para determinar la hora, rápidamente se hace aparente que no indica la misma hora que los relojes. La diferencia asciende a unos 16 minutos en ciertas épocas del año. Esta diferencia también se nota como una falta de simetría en las horas de la salida y el ocaso del Sol. Se la llama La Ecuación del Tiempo.

La Ecuación del Tiempo tiene dos causas. La primera es que el plano del Ecuador de la Tierra está inclinado con respecto al plano de su órbita alrededor del Sol. La segunda es que la órbita de la Tierra alrededor del Sol es una elipse y no una circunferencia.

b.1) La Ecuación del Tiempo debida a la Oblicuidad:

El ángulo entre el plano del Ecuador y el de la órbita de la Tierra alrededor del Sol es llamado el ángulo de Oblicuidad.

Si asumimos que la órbita de la Tierra es circular, entonces el movimiento aparente del Sol a lo largo del gran círculo, o sea, la Eclíptica, será regular, cubriendo ángulos iguales en tiempos iguales. Medimos el tiempo aparente, sin embargo, como una proyección de este movimiento sobre el Ecuador.

Esta proyección llegará a un máximo donde los grandes círculos del Ecuador y la Eclíptica están paralelos (en los solsticios de verano e invierno), y llegará a un mínimo donde los grandes círculos alcanzan su mayor ángulo (en los equinoccios).

El Sol estará en el meridiano al mediodía en ambos solsticios y equinoccios y por lo tanto la Ecuación del Tiempo debida a la Oblicuidad será cero en esos momentos. Entre los solsticios y los equinoccios el Sol se retrasará con respecto a la hora del reloj, con mínimos cerca del 5 de Febrero y del 5 de Agosto. Entre los equinoccios y los solsticios el Sol se adelantará a los relojes, con máximos cerca del 5 de Mayo y del 5 de Noviembre.

b.2) La Ecuación del Tiempo debida al Movimiento Desigual:

La órbita de la Tierra alrededor del Sol es una elipse. La distancia entre la Tierra y el Sol llega a su mínimo (perigeo) el 31 de Diciembre y es máxima (apogeo) el 1 de Julio.

La Longitud aparente del Sol cambia más rápidamente cuando la Tierra está más cerca del Sol. El Sol estará en el meridiano al mediodía en estas dos fechas y por lo tanto la Ecuación del Tiempo debida al Movimiento Desigual será entonces cero. Entre el 31 de Diciembre y el 1 de Julio el Sol se retrasará con respecto a la hora de los relojes, con un mínimo cerca del 31 de Marzo. Entre el 1 de Julio y el 31 de Diciembre el Sol se adelantará con respecto a la hora de los relojes, con máximo cerca del 30 de Septiembre.

b.3) Resumen de La Ecuación del Tiempo:

El total de estos dos efectos da la Ecuación del Tiempo, que se define formalmente como la diferencia entre la hora de los relojes y la hora Solar aparente. La Ecuación del Tiempo tiene la forma de la curva mostrada abajo. Es cero en Abril 16, Junio 15, Septiembre 1, y Diciembre 25, y tiene máximos y mínimos cerca de Febrero 12, Mayo 15, Julio 27, y Noviembre 4.

La Ecuación del Tiempo (el total de los dos efectos de arriba):

