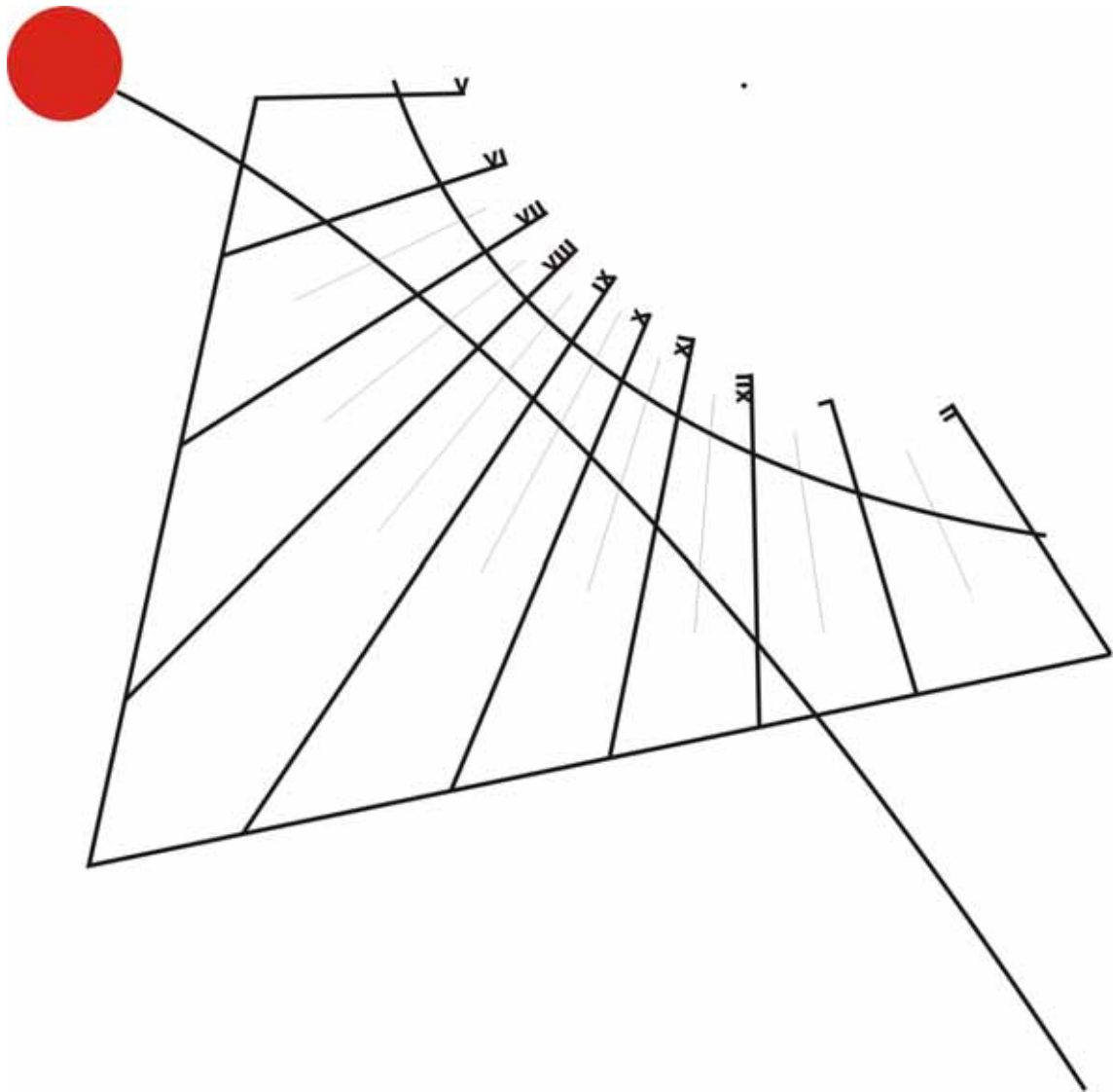


Reloj de sol

Colegio Heidelberg



Junio 2008

CONSTRUCCIÓN DE UN RELOJ DE SOL EN EL COLEGIO HEIDELBERG



Introducción:

Este proyecto tiene como objetivo la construcción de un Reloj de Sol en la fachada principal del Colegio Heidelberg. La idea surge por iniciativa del Profesor de Matemáticas, *Javier Domínguez* y para dotar a la fachada del Colegio de un elemento decorativo que a su vez refleja los cálculos astronómicos que proporcionan la HORA SOLAR.

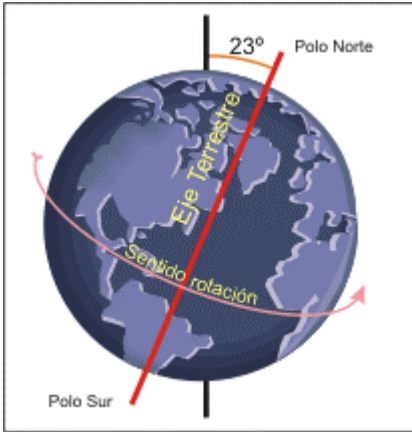
Una vez propuesto a la Dirección y autorizado para su realización, se propone la idea al Profesor de Plástica *Andre Dirickx* con el objeto de su implantación artística. La ejecución del proyecto lleva dos partes complementarias :

1º.- Los cálculos matemáticos a partir de las observaciones realizadas en función de la ubicación geográfica del centro escolar.

2º.- La realización artística y colocación debida en el frontis principal del Colegio

El estudio de las observaciones

A lo largo de estos meses de observaciones y de estudio hemos llegado a conocer el movimiento del Sol en la bóveda celeste. Movimiento no tan simple como parece a simple vista, ya que varía considerablemente a lo largo del año. A partir de las sombras podemos observar varios tipos de movimientos:



El principal y más conocido es su movimiento de este a oeste (E-W), determinado por el movimiento de rotación de la Tierra, y en parte por el de traslación, movimiento diario y continuo, el cual determina el día solar, y varía su duración a lo largo del año.

El segundo movimiento va de norte a sur, y viceversa, y es de carácter semestral. Este movimiento es debido a un parámetro algo más complejo debido a la oblicuidad del eje de rotación de la Tierra, respecto al plano creado por su movimiento de traslación, la *eclíptica*.

Dicho ángulo, provoca que a lo largo del año los rayos del Sol incidan sobre la Tierra con un ángulo de oblicuidad variable. Esta variedad de incidencia está animada, por el movimiento de traslación de la Tierra. Cuando el



plano que contiene al eje de rotación de la Tierra, y es perpendicular a la eclíptica, barre al Sol por su parte norte, respecto la Tierra, y tomando como norte la polar, los rayos de este inciden con menor perpendicularidad en el hemisferio norte que en el sur, provocando que en el norte sea invierno y en el sur verano. Cuando el eje esta orientado de forma contraria, es decir, el polo sur esta más cercano al Sol que el norte, se invierten los papeles. Sin embargo cuando los polos están a la misma distancia del Sol, los rayos del Sol inciden con la misma oblicuidad en ambos hemisferios, provocando, la primavera o el otoño, dependiendo del hemisferio.

Esta variedad de ángulo de incidencia de los rayos Solares sobre la Tierra, provoca que el Sol se vea con una altura variable en función de la posición de la Tierra respecto al Sol, plasmándose en el *gnomon* como una diferencia de longitud de las sombras.

A partir de estas explicaciones podemos hacernos una idea del por qué de las estaciones, y del origen de esta variedad de sombras. Pero esto no es todo. La

Tierra no circula alrededor del Sol formando una circunferencia perfecta, sino que forma una elipse. Esto provoca que los *días sidéreos* no sean iguales a lo largo del año, sino que varíen su duración, con una diferencia de hasta 16 minutos. Esto provoca que si a lo largo de un año, diariamente, tomamos observaciones a la misma hora, y las unimos, no formen una línea recta, sino una especie de ocho, conocido como *analema*.

Para que sirve un reloj de Sol

Un reloj de Sol está formado por un plano, y un estilete. El estilete o *gnomon* se encarga de proyectar las sombras sobre el plano, el cual está dividido en partes desiguales, (excepto en el polo), donde cada parte es una división horaria. Dicho estilete forma un ángulo con el plano, el cual varía de 0° a 90° . Esta inclinación se debe a que el estilete está alineado con la línea que une la estrella polar con el centro de la Tierra, es decir con el eje de rotación. Por lo que varía en cada latitud.

Cuando los rayos Solares inciden sobre el estilete, este proyecta su sombra en el plano. Dependiendo de la hora en que se de esta proyección la sombra caerá sobre una parte del plano u otra, lugar determinado por las divisiones horarias. Para cada franja horaria tenemos una división que nos indica la hora, pero si nos ponemos a pensar nos daremos cuenta de una cosa. Si partimos de la base, de que los días Solares no son constantes, la posición del Sol no está en el mismo meridiano a lo largo de los días. Esto da lugar que a las horas cercanas a la de las divisiones se puedan confundir, estando la sombra en la división que no pertenece, debido a la diferencia de duración en los días sidéreos, por lo que nos hacemos la pregunta de,

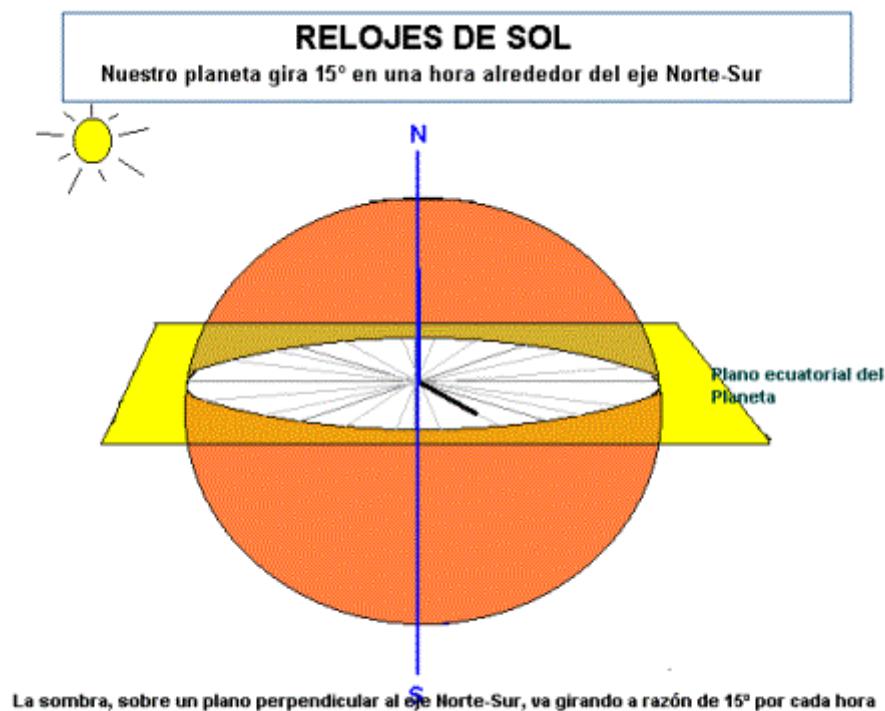
¿ Qué utilidad tiene un reloj de Sol?

Considerado que un reloj de Sol lo que hace, no es más que proyectar el recorrido circular del Sol en un plano, con el objetivo de controlar este movimiento y dividirlo para medir los días, llegamos a la conclusión de que un reloj de Sol es un aparato utilizado para orientarse temporalmente a lo largo del día, más que para conocer la hora exacta, ya que el reloj Solar no mide más que una media de los días sidéreos, midiendo por lo tanto el tiempo Solar medio y no dividirlo cada día uno por uno en partes iguales.

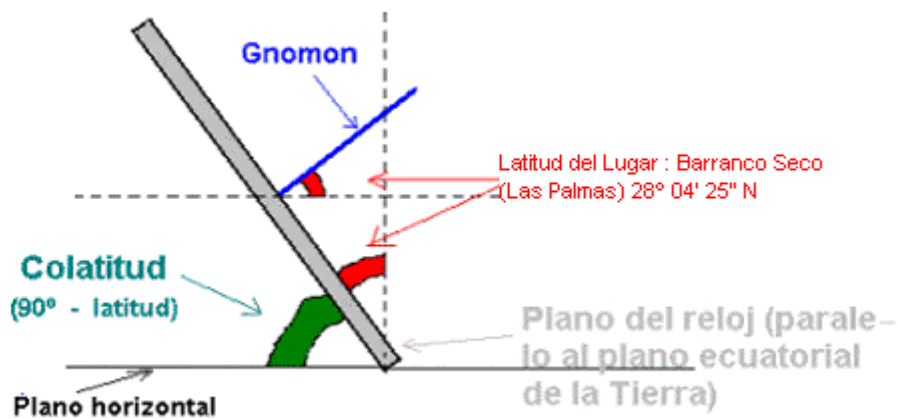
Si nos olvidamos de la función horaria del reloj de Sol podemos encontrarle otra utilidad. Como ya hemos explicado anteriormente, las sombras del Sol a lo largo del año dibujan unas curvas, concretamente hipérbolas, las cuales varían su posición y forma en función de la época del año, las estaciones. Los días claves que marcan la separación de las estaciones, son los *Solsticios* y los *Equinoccios*. Los *Solsticios* tienen las curvas máximas orientado su centro hacia el norte, *Solsticio* de invierno, o hacia el sur, *Solsticio* de verano. Mientras que los *equinoccios* forman una recta perfecta, la cual va de este a oeste. Una vez sabemos esto podemos colocar los días claves. El *Solsticio* de invierno el 22 de diciembre, el equinoccio de primavera el 21 de marzo, el *Solsticio* de verano el 22 de junio y el equinoccio de otoño el 23 de septiembre. Una vez hemos colocado estos días en forma de curvas en el reloj de Sol y estudiadas el resto de hipérbolas podemos utilizar a este como calendario, ya que en función de la posición de la sombra, y la figura dada, será una estación u otra,

pudiendo conocer así los meses. Esta función de calendario, incluso puede ser más exacta que de reloj, ya que las sombras se pueden considerar invariables.

Sabiendo pues todo esto, llegamos a la conclusión de que el reloj de Sol no es un reloj en el sentido estricto de la palabra, si no más bien un aparato que tiene el objetivo de orientarnos a lo largo del día, debido a su carencia de exactitud. Aunque es tan ínfima esta variación, incluso en los extremos, que puede ser muy útil. Sin embargo creo que su mayor utilidad es la de calendario, y en mi opinión más interesante, ya que es como plasmar el calendario que conocemos en su faceta más natural, es observar su ancestral origen.



Estos planos que cortan el plano del horizonte formando unas líneas, las cuales son conocidas como líneas horarias del reloj de Sol. Su función como indica su nombre, es dar la hora Solar. Estas líneas generadas forman cierto ángulo entre ellas, el cual depende de la inclinación del estilete, es decir, de la latitud del lugar.



Construcción de un reloj de Sol Vertical

Para construir un reloj vertical la pared donde deseamos instalarlo debería estar perfectamente alineada con la línea Este-Oeste, y ha de ser perpendicular al plano horizontal, ya que si no es así surgirán varios problemas respecto el ángulo de las líneas horarias. Si no lo es, como pasa la mayoría de las veces, no habría más que restar la inclinación de la pared a cada uno de los ángulos horarios. El reloj vertical declinante es el que se traza en una pared que no mira exactamente al Sur. Puede mirar a levante (SE) o a poniente (SW). Es el mas frecuente de los relojes de sol instalados en paredes verticales.

Una vez conseguido el plano vertical donde instalarlo, (la pared de la fachada del Centro escolar) ,necesitamos una varilla la cual ha de ser perfectamente recta, hecha de un material rígido y opaco que soporte las condiciones atmosféricas. La función de esta varilla es la de estilete, llamado “*gnomon*”, cuyo objetivo es el de proyectar las sombras generadas a lo largo del día por los rayos solares en el plano, y de esta forma conocer la posición del Sol, para poder calcular así el tiempo.

Para alcanzar nuestro objetivo, seguiremos los siguientes pasos:

1. Cálculo de la meridiana del lugar.
2. Buscar la latitud del lugar.
3. Conocer la declinación de la pared.
4. Inclinación del estilete o *gnomon* Hallar la línea y altura subestilar.
5. Dibujar las líneas horarias y de tamaño de la sombra.

Cálculo de la meridiana del lugar

La línea horaria de las 12 se llama *meridiana* y la sombra del *gnomon* debe ser vertical. Todas las líneas horarias concurrirán en un punto que se llama POLO. La forma mas sencilla de hallar la meridiana o el mediodía solar es promediando las horas de salida y puesta de sol que pueden obtenerse en los periódicos locales o en tablas astronómicas , puesto que al mediodía, el sol está en el punto mas alto y su sombra será vertical cualquier día del año. Nosotros también la hemos buscado usando el siguiente método:

Se toma una vara de unos 80cm con una traviesa de donde hacemos colgar una plomada, colocando en el hilo de la plomada una cuenca que pueda deslizarse (usamos un chicle como cuenca). Situamos esa vara en una superficie horizontal.

Con centro en el punto donde la plomada toca a esa superficie trazamos una circunferencia cualquiera. Hacemos la observación hasta que la sombra de la cuenca toca la circunferencia , una vez por la mañana y otra por la tarde. La bisectriz del ángulo formado por el centro de la circunferencia y esos dos puntos corresponde a la meridiana del lugar.

Una vez conocemos los ángulos, los dibujamos en la superficie donde deseamos hacer el Reloj de Sol. Estos trazos pueden hacerse de múltiples maneras, la mas sencilla es hacer la línea Norte - Sur en el Reloj de Sol. Para calcular esta línea se puede hacer de muchas formas. Una de ellas es observar la estrella polar, lo cual nos dará una línea norte sur, siendo el origen el *gnomon* y su dirección la estrella polar. La brújula también sirve para encontrar esta línea N-S y es con lo que nosotros la hemos buscado.

Buscar la latitud del lugar

Para encontrar la *latitud del lugar* podemos hacerlo de dos formas: Una de ellas es mediante la altura de la estrella polar, y la otra, calculando la altura del Sol en un *equinoccio*, puesto que en un *equinoccio* el Sol se encuentra en un plano perpendicular al eje polar, por lo que calculando su altura, lo restamos a 90° , y nos dará el complementario (*colatitud*), es decir, la altura de la polar, o lo que es lo mismo, la *latitud* del lugar. Como hacerlo de esta forma resultaba algo complicado, al no disponer de recursos suficientes para realizar estas medidas, considerando que la latitud de un lugar podemos obtenerla por múltiples vías tales como los datos astronómicos publicados por distintas instituciones, mapas topográficos o cartas náuticas, en nuestro caso, hemos averiguado la latitud del lugar mediante el programa *Google Earth*® el cual nos da la misma con una precisión muy buena, obteniendo $28^\circ 04' 25''$ N para *Barranco Seco*.

Una vez tenemos estas distancias, conocemos el lado contiguo y opuesto de un triángulo, cuyo ángulo será el complementario de la latitud. (*colatitud*)

Conocer la declinación de la pared

La declinación de la pared es el ángulo que forma la pared con el eje E-W. En nuestro caso lo hemos hecho de dos formas: La primera mediante brújula y nivel situándonos en la pared donde se va a instalar el reloj de sol , dándonos como resultado el de 42° W.

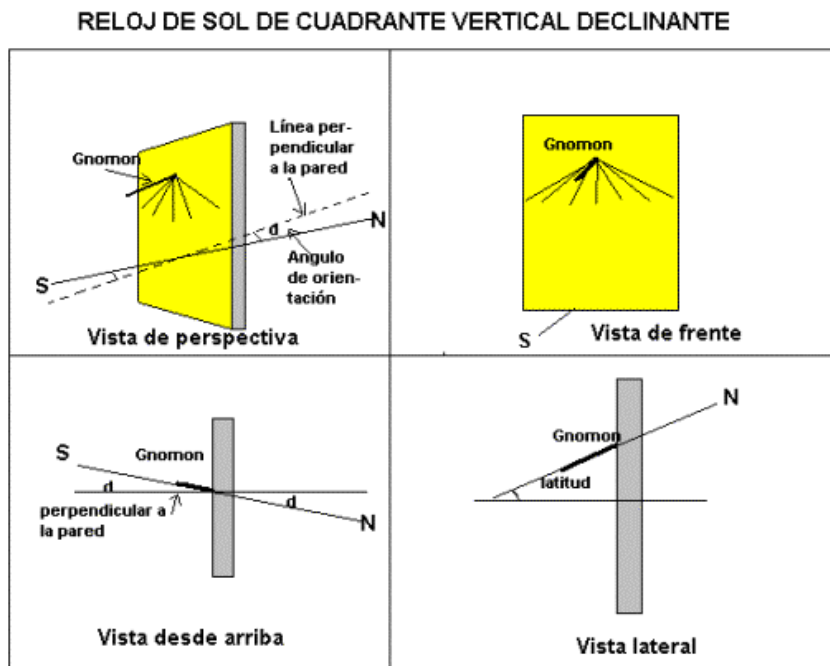
También ensayamos otro método consistente en clavar una varilla en la pared y ,a las 12 hora solar, marcar el punto de sombra de la varilla sobre la pared. Tras unas construcciones trigonométricas podemos averiguar el ángulo de declinación.

Inclinación del estilete o gnomon

El ángulo del estilete debe formar con la pared un ángulo complementario a la latitud del lugar, ya que de esta forma estará alineado con el eje polar. Como la inclinación del estilete en un reloj vertical es diferente, la formula utilizada para el calculo de las líneas horarias también varía, Una cosa muy importante es la inclinación del estilete. Este debe colocarse paralelo al eje de rotación de la tierra. La inclinación es fundamental ya que el estilete es el eje de un haz de planos, los cuales distarían 15° cada uno si estuviésemos en el polo, ya que si forman ángulos iguales corresponden a tiempos iguales, si dividimos el día en 24h nos salen 24 divisiones de 15° cada una. Por eso el gnomon debe formar un ángulo con la pared igual a la *colatitud* del lugar

En nuestro caso: $90^\circ - 28^\circ 04' = 61^\circ 56'$

Una vez realizados estos pasos , pasamos a la construcción del Reloj de Sol, primero su maqueta y luego en su tamaño definitivo. El esquema :



Cálculos mediante el programa Shadows

Este es un programa de ordenador que realiza los cálculos para la construcción de un reloj de sol. Nosotros hemos aplicado la versión 2.2.6 al caso que aquí tratamos. El programa nos permite hacer el reloj y variando las medidas

obtenemos el modelo correspondiente. El reloj de nuestro estudio viene reflejado en el esquema siguiente:

Hoja técnica de datos

Lugar de instalación del cuadrante	
Lugar :	COLEGIO HEIDELBERG, SPAIN (ESPAÑA)
Latitud :	28° 04' 25" Norte
Longitud :	15° 26' 14" Oeste
Huso horario	UT - 0 h
Corección por longitud	1 h 01 min 45 s
Año	2008

Características del cuadrante	
Tipo de cuadrante	Vertical declinante
Anchura del cuadrante	1000 mm
Altura del cuadrante	618 mm
Inclinación del Plano	90° (Vertical)
Declinación del Plano	29° Este
Altura del Estilo	300 mm
Longitud del estilo	247.2 mm
Angulo de la línea subestilar	-42.27°

Dimensiones del cuadrante solar

Hemos querido que el reloj esté incluido en un *rectángulo áureo* , por lo que la relación entre sus dimensiones será de 1,6183.

Para su correcta visión desde la calle estas dimensiones serían:

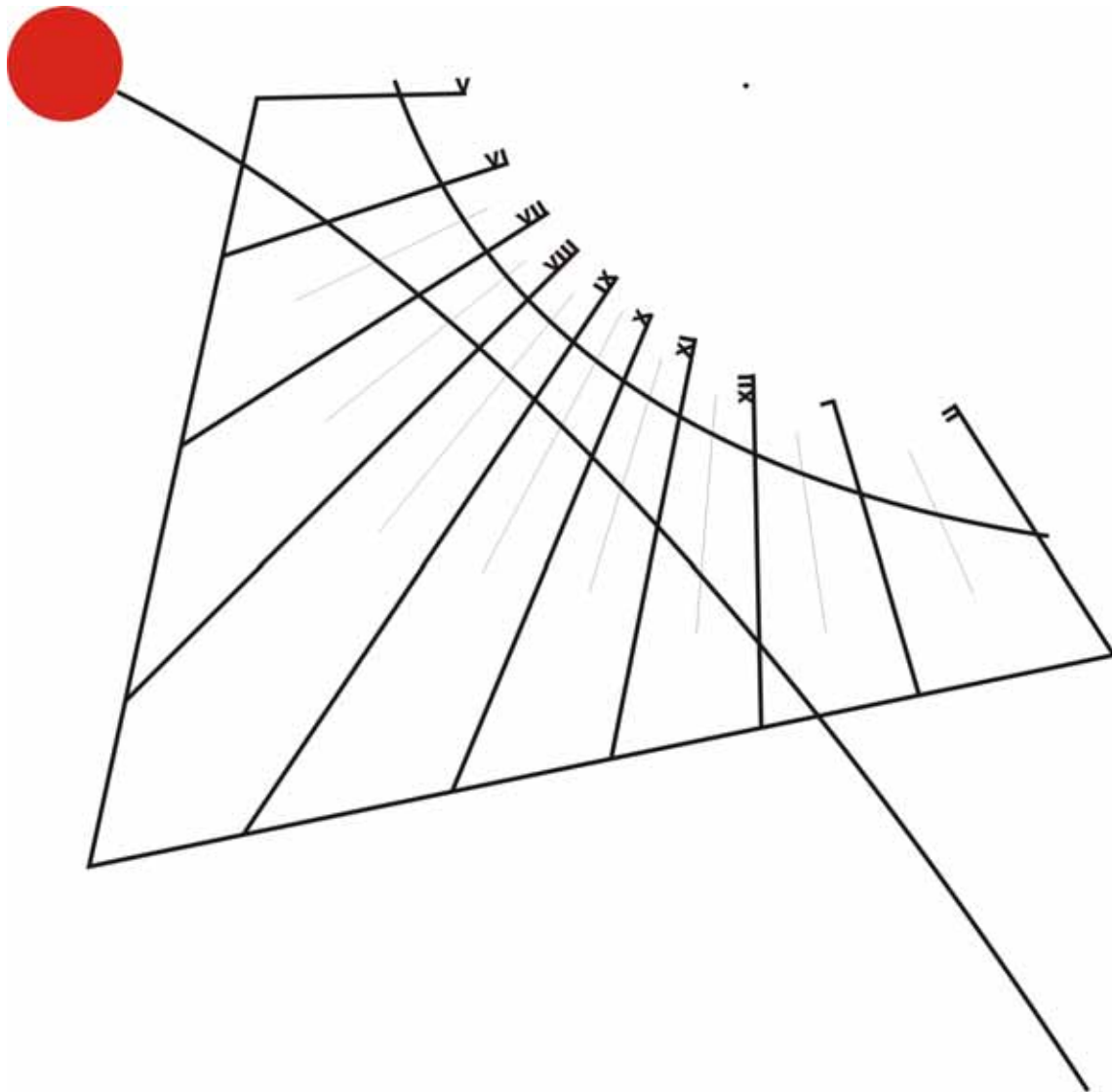
Lado horizontal 1,61m; vertical 1,00 m

Dibujo de las líneas horarias y de tamaño de la sombra

Con el programa hemos obtenido el dibujo de las líneas del reloj de sol a colocar en la fachada principal del Colegio

REALIZACIÓN ARTÍSTICA:

Corre a cargo del Profesor de plástica D. *Andre Dirickx* que construye el Reloj mediante varillas de hierro de 8mm y 12 mm, y en *acero cortén* de 3mm. El acabado en color óxido protegido con barniz especial para metales. Diseñado para que el impacto en la fijación a la pared sea mínimo y de muy poco mantenimiento posterior.



Presupuesto:

Material empleado y mano de obra parte artística:	780,00 €
Trabajo de cálculos astronómicos y ajustes del reloj:	0,00 €

Las Palmas de Gran Canaria a 8 de Mayo de 2008.



**EL RELOJ DE SOL DEL COLEGIO HEIDELBERG QUEDÓ
INSTALADO EL 25 DE JUNIO DE 2008**

ACLARACIONES:

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* en **Inglaterra**. Esto quiere decir que en los puntos de un 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 (TU) 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). En el caso del **Colegio Heidelberg** situado en *Barranco Seco* en **Las Palmas**, lugar que está a $15^{\circ}26'$ de longitud Oeste, el mediodía, es decir el instante en el que la sombra del *gnomon* es vertical y la más corta del día, corresponde a un tiempo universal de: $12h + 15' + 26' \times 4/60 = 13$ horas 15 minutos.

La ecuación del tiempo:

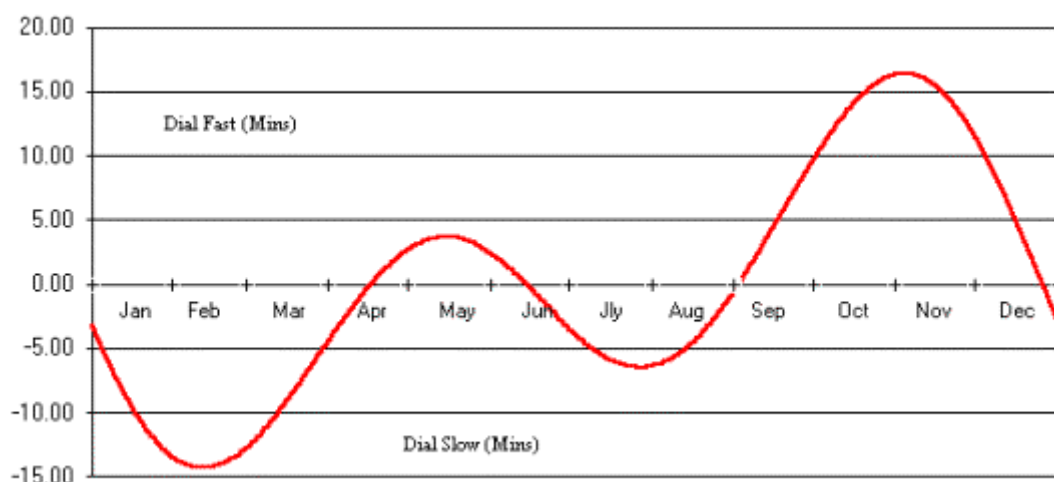
Sabemos, a partir de modernas observaciones astronómicas y observaciones de satélites artificiales, que el periodo de rotación de la Tierra no es constante, sino que varía tanto en el corto plazo como a lo largo de los siglos. Estas pequeñas variaciones se deben a variaciones reales en la rotación de 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. 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.

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.

Gráfica de la Ecuación del Tiempo



Vocabulario:

Analema: es la curva que describe la posición del Sol en el cielo si todos los días del año se lo observa a la misma hora del día (tiempo civil) y desde el mismo lugar de observación. El analema forma una curva que suele ser, aproximadamente, una forma de ocho o *leminiscata*.

Colatitud: Es el ángulo complementario a la *Latitud*, es decir 90° - latitud.

Declinación: es el ángulo que forma la pared con el eje Este-Oeste.

Día sidéreo: es el lapso entre dos culminaciones sucesivas de una estrella en el meridiano local.

Eclíptica : es el plano que contiene la órbita de la Tierra alrededor del sol .

Gnomon o *estilo* se define como un objeto alargado que arroja una sombra sobre un plano.

Latitud : distancia angular, medida sobre un meridiano, entre la línea del ecuador y el paralelo de una localización terrestre.

Meridiana: Es la línea horaria de las 12

Rectángulo áureo: Es un rectángulo que cumple la *proporción áurea*, es decir

largo / ancho= 1,6183

Tiempo solar aparente es el tiempo dado por el movimiento diario del Sol en el firmamento (tal como se ve en un reloj de sol) no es uniforme y regular dado que la órbita terrestre es elíptica, y también porque el Sol se mueve a lo largo de la eclíptica

