

Linterna mágica para dibujar relojes de sol

Arturo Bravo Calderón



LINTERNA MÁGICA PARA DIBUJAR RELOJES DE SOL

Arturo Bravo

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

No. 9 (Secundaria) - Junio 2005

Publicaciones de ApEA

Asociación para la Enseñanza de la Astronomía

Dibujo de Portada:
LeBlanc

Comité de Redacción:
Simón García
Ederlinda Viñuales

Dirección:
Rosa M. Ros (Vocal Editora de Publicaciones de ApEA)
Dept. Matemática Aplicada IV
Universidad Politécnica de Catalunya
Jordi Girona 1-3, modulo C3, 08034 Barcelona
e-mail: ros@mat.upc.es

ISBN: 84-932062-5-3

D.L. B-25570-2005

Imprés a FLAIX ÒFSET

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	7
OBJETIVOS	9
ACERCAMIENTO RÁPIDO A LA LINTERNA	10
- CUESTIONES MÁS O MENOS TEÓRICAS.....	11
- RECETA PARA LA CONSTRUCCIÓN RÁPIDA.....	12
DE CÓMO SE ESTÁ GESTANDO LA IDEA.....	18
ANAMORFOSIS.....	25
NOTA INNECESARIA SOBRE RELOJES CILÍNDRICOS	27
DIBUJO DE LAS LÍNEAS DE LA TULIPA	28
- LÍNEAS HORARIAS.....	24
- ANALEMA	29
- CÁLCULO DE POSICIÓN DE LAS LÍNEAS DE CALENDARIO.....	30
MONTAJE DE LA LINTERNA	32
CÍRCULOS GRADUADOS	33
- CÍRCULO DE AJUSTE DE LATITUD.....	33
- CÍRCULO DE DECLINACIÓN DE LA PARED.....	33
- CÍRCULO DE AJUSTE DE LA LONGITUD GEOGRÁFICA.....	34
- PLANOS DE TRABAJO Y NUEVA VERSIÓN DE LA LINTERNA.....	35
JUGUETERÍA	36
BIBLIOGRAFÍA.....	40

PRESENTACIÓN

Lo que aquí se os presenta es, fundamentalmente, la historia del desarrollo de una idea. Una historia aproximada, claro está, porque ciertos momentos del proceso (tal vez los más críticos) son esencialmente oníricos. Personalmente creo que el desgranar los detalles técnicos es menos fértil que el reflexionar sobre cómo se desarrollan las ideas o bucear en el hecho de que la autoría, nos pongamos como nos pongamos, es siempre compartida. El resultado, el objeto en sí, no es más que el símbolo de otras muchas cosas, más profundas y diversas. Pero comprendo que eso no es exactamente lo que se espera de una publicación de este tipo y por eso he querido llegar a una solución de compromiso entre mis opiniones y vuestras necesidades.

No animo a nadie para que vuelva a construir la linterna que yo hice. Daré una alternativa rápida, algo que se me ha ocurrido puede servir para satisfacer la curiosidad de los más inquietos y nada más; se tarda en construir media hora y los materiales cuestan menos de un euro. Os animo a pasear por caminos que o bien nunca han sido transitados o bien lo han sido hace tanto tiempo que es difícil descubrir el rastro de huella alguna, os animo a transitar otros mundos aunque, si os empeñáis en la linterna, alguno puede tratar de mejorar la mecánica del objeto para lograr cuadrantes más precisos, otro imaginar modelos simplificados de construcción rápida y un tercero modificar la geometría de la tulipa u otros componentes para explorar otras posibilidades. A eso sí os animo.

El primer capítulo es una visión rápida de lo que la linterna es. Puede que para muchos sea suficiente la lectura de esta "instantánea".

El segundo capítulo, la parte central del trabajo, es una revisión histórica del proceso y contiene numerosas notas al pie que remiten a los lugares donde se desarrollan las ideas desde un punto de vista más técnico.

Aunque pueda parecer demasiado localista, a lo largo del capítulo cito nombres de personas reales (a las que estoy sinceramente agradecido por diversos motivos) que, aunque sean desconocidas para el ocasional lector, considero pertinente su presencia aquí porque han sido el instrumento que ha tenido la idea para desarrollarse. También las pequeñas anécdotas que envuelven la historia pueden ser vistas como un enganche con la realidad en la que los acontecimientos fortuitos hacen posible la producción de un objeto concreto.

Respecto a la originalidad de la idea quiero decir algo que espero que se comprenda: la idea en sí no es una creación original. Con esto no quiero decir que, hasta donde yo conozca, alguien haya construido el objeto anteriormente; no quiero decir que esta linterna es, simplemente, una conexión nueva entre dos ideas ya existentes, los relojes de sol y las técnicas para producir imágenes anamórficas de distintos tipos. Ésta puede que sea una conexión sorprendente o inesperada que puede contribuir a hacer más sólida la

estructura de ideas ya establecidas, pero no supone un avance conceptual significativo. Ojalá sirviera como base o trampolín para alguna verdadera creación.

Permitidme un último capricho como es el transcribir algunos versos de un poema sencillo que están muy en sintonía con lo que he querido transmitir en esta presentación:

Ser en la vida / romero / romero solo que cruza / siempre por caminos nuevos;

[...]

Que no hagan callo las cosas / ni en el alma ni en el cuerpo .../

pasar por todo una vez, / una vez sólo y ligero, ligero, siempre ligero. /

Que no se acostumbre el pie / a pisar el mismo suelo, / ni el tablado de farsa, / ni la losa de los templos,

[...]

Para enterrar / a los muertos como debemos / cualquiera sirve, cualquiera .../ menos un sepulturero.

[...]

Romero solo... (León Felipe)

OBJETIVOS

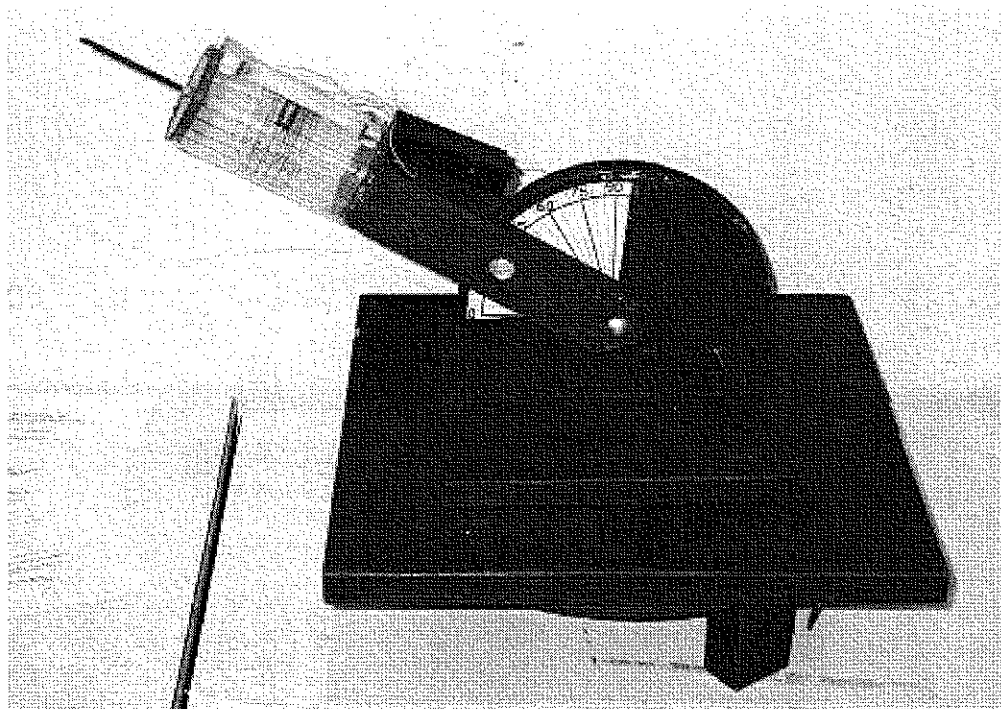
El principal objetivo es, digámoslo así, epistemológico. Tiene dos aspectos:

En primer lugar me gustaría que os fijarais una vez más en cómo el conocimiento se urde sobre sí mismo sin importar la disciplina de procedencia. Como todo el mundo sabe esas separaciones artificiales entre las ciencias y las letras o incluso entre disciplinas en teoría más cercanas sólo son fértiles para divertirse con chistes en los que se encuentran, por ejemplo, ingenieros matemáticos y físicos. Recrearme en el hecho de que no es posible construir nada a base de asignaturas es una primera intención.

Por otro lado el que nos ocupa es otro ejemplo de cómo las ideas no suelen surgir de una sola cabeza. A lo sumo un individuo puede servir como torpe redactor de una serie de conclusiones a las cuales se ha llegado a partir de numerosas conversaciones, lecturas y recuerdos más o menos definidos.

Esquemmatizando, quien se acerque a estas páginas tal vez consiga:

- 1.- Conocer los relojes de sol ecuatoriales y sus derivados más exóticos (horizontales, verticales, mal y bien encarados...)
- 2.- Interpretar el funcionamiento de los relojes de sol como una consecuencia de los movimientos terrestres.
- 3.- Encontrar una relación inesperada entre la gnomónica y el arte.
- 4.- Construir, paso a paso, una linterna para proyectar cuadrantes solares.





- 5.- Dibujar los relojes de sol de distintos tipos, proyectados por la linterna.
- 6.- Aplicar conceptos básicos de geometría y aritmética.
- 7.- Mirar el mundo como quien mira el escaparate de una juguetería.

Luego se cubrirán otros objetivos colaterales, como pueden ser el uso de conceptos matemáticos incluidos en las programaciones de 3º y 4º de E.S.O. o hacer indagaciones sobre la anamorfosis, tan presente en las representaciones gráficas de nuestro tiempo como olvidadas en las programaciones didácticas de nuestras escuelas.

ACERCAMIENTO RÁPIDO A LA LINTERNA

Este capítulo es útil para quien quiera tener a mano una versión de la linterna que le permita entender mejor el resto del trabajo.

CUESTIONES MÁS O MENOS TEÓRICAS

¿Qué relación hay entre los relojes de sol, las señales horizontales de tráfico y el arte renacentista?. Esta pregunta se responde con una sola palabra: ANAMORFOSIS.

Partimos de la idea de que cualquier reloj de sol es una proyección sobre una superficie dada, de un reloj cilíndrico ecuatorial, estando el foco de proyección situado en el centro del cilindro.

Para materializar esta idea he construido una linterna cuya tulipa cilíndrica es un acetato sobre el que están dibujadas las líneas horarias y zodiacales de un reloj cilíndrico ecuatorial. Dicha linterna está montada sobre un sistema de ejes alt-acimutales para variar la latitud del lugar para el que se quiera diseñar el reloj de sol y la declinación de la pared. Eventualmente puede dibujarse sobre la tulipa una analema, permitir que gire sobre su eje para corregir la longitud del lugar y hacer que el reloj de la hora oficial. Con este aparato pueden construirse relojes sobre superficies irregulares, imposibles de realizar con un programa informático. Jugando con él observamos cómo aparecen los distintos tipos de cónicas, lo que varía y lo que permanece invariante en los distintos tipos de relojes de sol.

Una vez dibujado el cuadrante, el gnomon debe tener la orientación del eje de la linterna y una longitud igual a la distancia entre la bombilla y la pared, siguiendo esa dirección (figura 1).

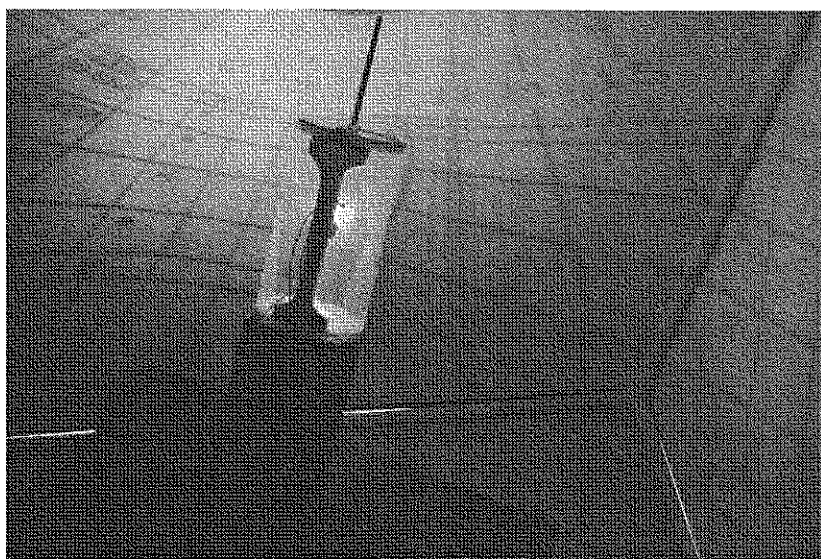


Fig. 1 Linterna Mágica proyectando la imagen de un reloj solar.

El gnomon debe tener longitud bien definida ya que, además de marcar las horas, la sombra de su extremo nos da la fecha si se dibujan las líneas de calendario.

Como todos los relojes de sol son imágenes anamórficas del reloj de sol cilíndrico ecuatorial basta jugar con la linterna para ver cómo se proyectan los cuadrantes en situaciones cambiantes: planos con distinta declinación o superficies no planas. Vemos cómo se generan las cónicas si dibujamos las líneas de calendario, o cómo la línea equinoccial es una línea recta cualquiera que sea el plano sobre el que se proyecte.

Otro efecto sorprendente, consecuencia del carácter anamórfico de los relojes de sol, es la posibilidad de restituir la imagen de reloj cilíndrico ecuatorial si reflejamos sobre un espejo cilíndrico con la inclinación adecuada cualquier cuadrante.

RECETA PARA LA CONSTRUCCIÓN RÁPIDA

La opción que presento aquí no es la más estética ni precisa, pero sí la de más rápida construcción y más baratos materiales.

Materiales (por orden de aparición):

a) Inventariables

- 1.- Botella de plástico transparente, cilíndrica (preferible de 0,5 litros)
- 2.- 1 Acetato tamaño folio
- 3.- Rotulador permanente, fino.
- 4.- Casquillo y bombilla de linterna de 3.5 V
- 5.- 70 cm de cable (dos hilos paralelos).
- 6.- 2 conexiones para pila de petaca
- 7.- 40 cm de tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ de pulgada
- 8.- 50 cm de varilla de madera de 1 cm de diámetro.
- 9.- Tres tornillos (mejor de palomilla) con tuerca, de unos 4 mm de diámetro
- 10.- Montaje de laboratorio: base, varilla, nuez y dos pinzas.
- 11.- Un palillo de dientes
- 12.- Un CD en desuso
- 13.- Un transportador de ángulos

b) Fungibles

- 14.- Estaño de soldar (opcional, para hacer las cuatro conexiones sólidas).
- 15.- Cinta aislante
- 16.- Adhesivo instantáneo de cianocrilato (tipo Super Glue-3)
- 17.- Una pila de petaca.

c) Herramientas

- 18.- Regla
- 19.- Soldador eléctrico (opcional)
- 20.- Taladro
- 21.- Navaja.

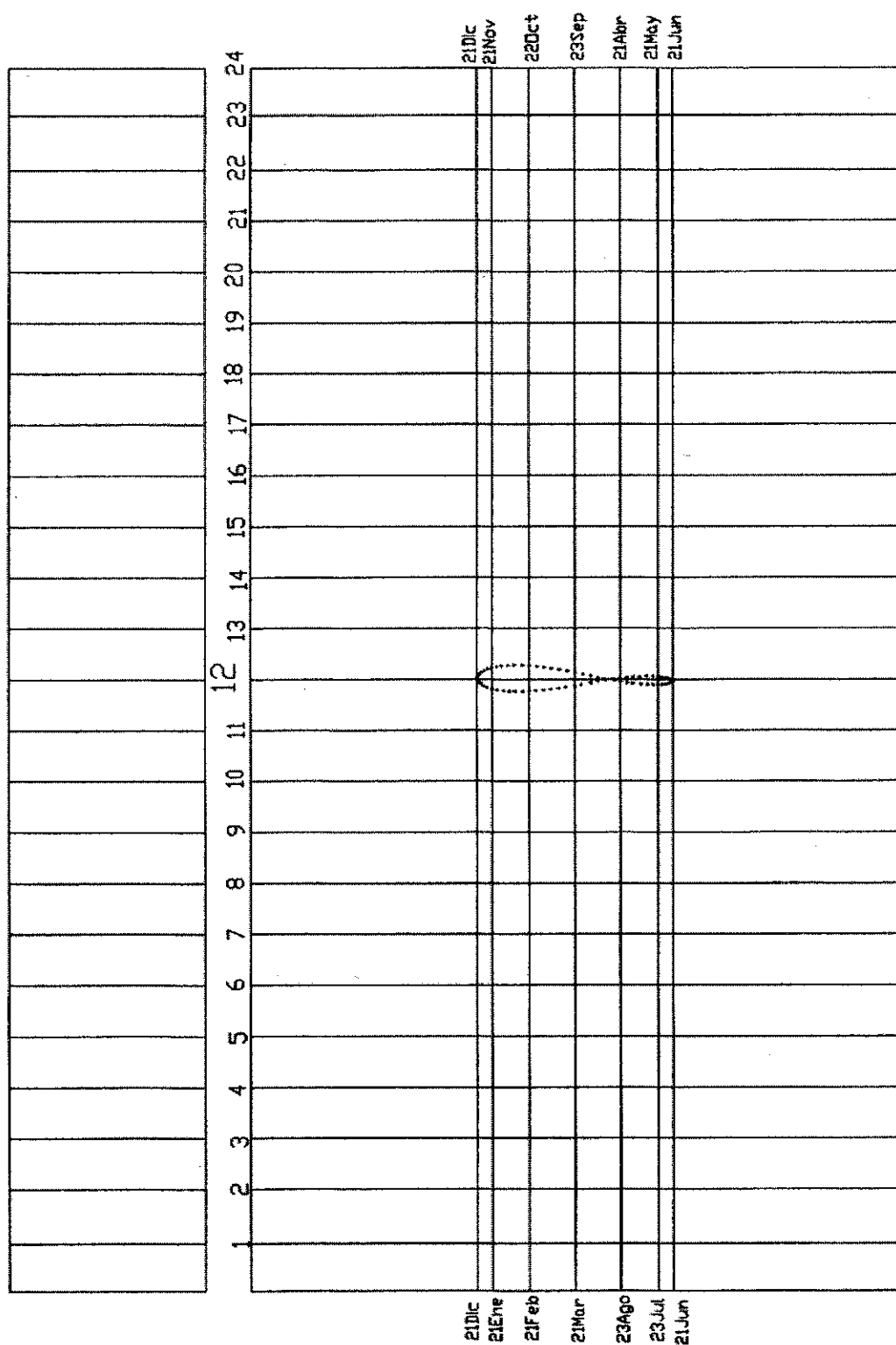


Fig. 2 Dibujo completo de la tulipa. Ha de fotocoparse ampliando o reduciendo la imagen, dependiendo del diámetro de la tulipa. Los nombres de los meses han de trasladarse sobre la línea de las 6 y las 18, respectivamente. Se les han dado esta posición en la figura para mayor claridad.

Procedimiento:

1.- Líneas de la tulipa (figura 2).

Existe la opción de fotocopiar la figura 2 sobre una transparencia y aplicarla sobre la botella de plástico, o bien dibujar lo mismo siguiendo las explicaciones que se detallan a continuación.

Cómo trazar las líneas horarias:

Si utilizamos una botella de medio litro (33 mm de radio), recortamos un rectángulo de acetato de 207 x 85 milímetros.

Colocando la lámina de forma apaisada, las líneas horarias se dibujan verticalmente separadas 8,6 mm unas de otras. Numeramos cada línea del 1 al 24. Repasamos la línea de las 12 con trazo más grueso. Cuando adaptemos el acetato a la botella, serán generatrices del cilindro.

Cómo trazar la línea equinoccial:

La línea equinoccial la dibujaremos con trazo más grueso, y será una línea horizontal que corte la lámina justo por la mitad. En la zona donde esta se corta con la línea de las 6h, escribiremos "21 Marzo"; en la zona de intersección con la línea horaria de las 18h escribiremos "23 Septiembre". Al adaptar la lámina a la botella esta línea será una circunferencia.

Cómo trazar el resto de las líneas de calendario:

Trazamos con líneas finas el resto de las líneas de calendario, paralelas a la equinoccial y a las siguientes distancias, por arriba y por debajo de esta: 6,7 mm, 12,1 mm y 14,3 mm. Tenemos entonces siete líneas paralelas horizontales que podremos etiquetar del modo que se muestra en la figura 3.

21 Diciembre	21 Diciembre
21 Enero	21 Noviembre
21 Febrero	22 Octubre
21 Marzo	23 Septiembre
23 Agosto	21 Abril
23 Julio	21 Mayo
21 Junio	21 Junio

Fig. 3 Esquema de las líneas de calendario

El motivo de la aparente desorganización del orden de los meses tiene que ver con la ecuación de tiempo, y se explicará más adelante (tabla 1).

2.- Bombilla

Si se tiene aversión a los cables y las conexiones eléctricas, se puede solucionar el tema con una linterna lo suficientemente estrecha como para que quepa por el cuello de la botella. Estas linternas suelen costar, dependiendo del tamaño y marca, entre 15 y 50 euros, pero es posible encontrar versiones baratas (menos de 3 euros) en algunos bazares.

Por diversas razones yo prefiero hacer el siguiente montaje eléctrico (figura 4):

- a) Conectar los cables al casquillo y fijar este al extremo de la varilla de madera, con cinta aislante.
- b) Pegar el resto del cable a la varilla con la misma cinta aislante e introducir todo por el tubo de PVC, haciendo que el casquillo sirva de tope.
- c) Por medio de un tornillo u otro procedimiento hacer otro tope por el otro extremo.
- d) Agujerear el tapón de la botella de modo que pase, muy ajustado, el tubo de PVC.
- e) Introducir el conjunto en la botella cuidando que la bombilla esté en su eje y sobre el plano del círculo equinoccial.

3.- Mecanismo de centrado (opcional)

Para facilitar el anterior ajuste viene bien colocar tres tornillos en el cuello de la botella, a 120°.

- a) Practicar en el cuello de la botella tres agujeros de 2 mm de diámetro, a 120°
- b) Pegar con cianocrilato las tuercas sobre dichos agujeros. Es útil reforzar esta fijación pegando sobre el tornillo unas solapitas de acetato. Cuidar que no se manche de pegamento el interior de la tuerca.
- c) Cuando esté bien seco, pasar los tornillos de palomilla. Actuando sobre el tubo de PVC, nos da un ajuste muy fino de la posición de la bombilla.

4.- Montura

Si bien la linterna puede usarse a mano alzada, es interesante montarla en un sistema alt-acimutal para sacarle todo el partido.

Lo más práctico es usar los siguientes accesorios utilizados en los montajes de laboratorio: base, varilla, una nuez y dos pinzas.

5.- Círculos graduados

Para especificar las características del reloj es conveniente dotarle de tres círculos graduados (figura 4)

Círculo de ajuste de longitud. Colocado en el eje de la linterna, controla el giro sobre el mismo $\pm 15^\circ$ para ajustar la longitud geográfica de modo que el reloj diseñado dé la hora oficial, salvo la ecuación de tiempo.

Círculo de ajuste de latitud. Un transportador colocado en el eje de la linterna, dotado de plomada, permite ajustar el ángulo respecto de la horizontal, con lo que podremos diseñar cuadrantes para cada latitud geográfica.

Círculo de ajuste de la declinación del muro. Un círculo graduado de 0° a 360° (se puede construir con un CD en desuso) situado en la base de la varilla del montaje de laboratorio, nos permite girar horizontalmente para diseñar cuadrantes verticales orientados.

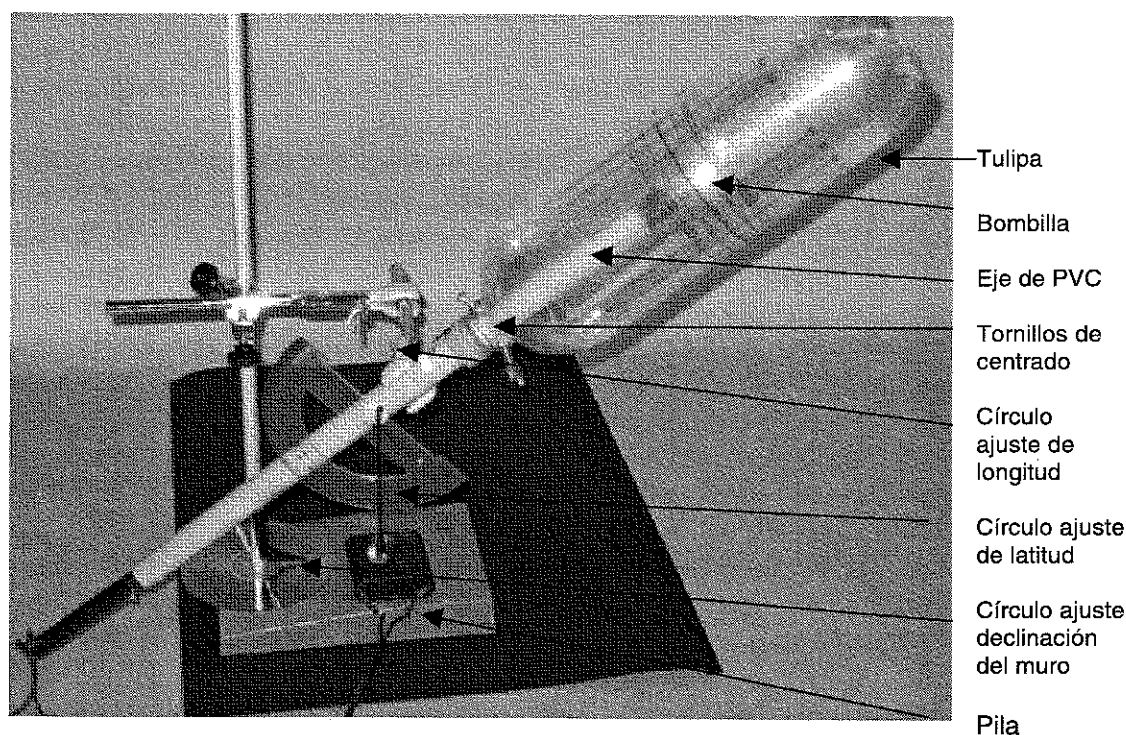


Fig. 4 Aspecto general de la linterna (versión rápida)

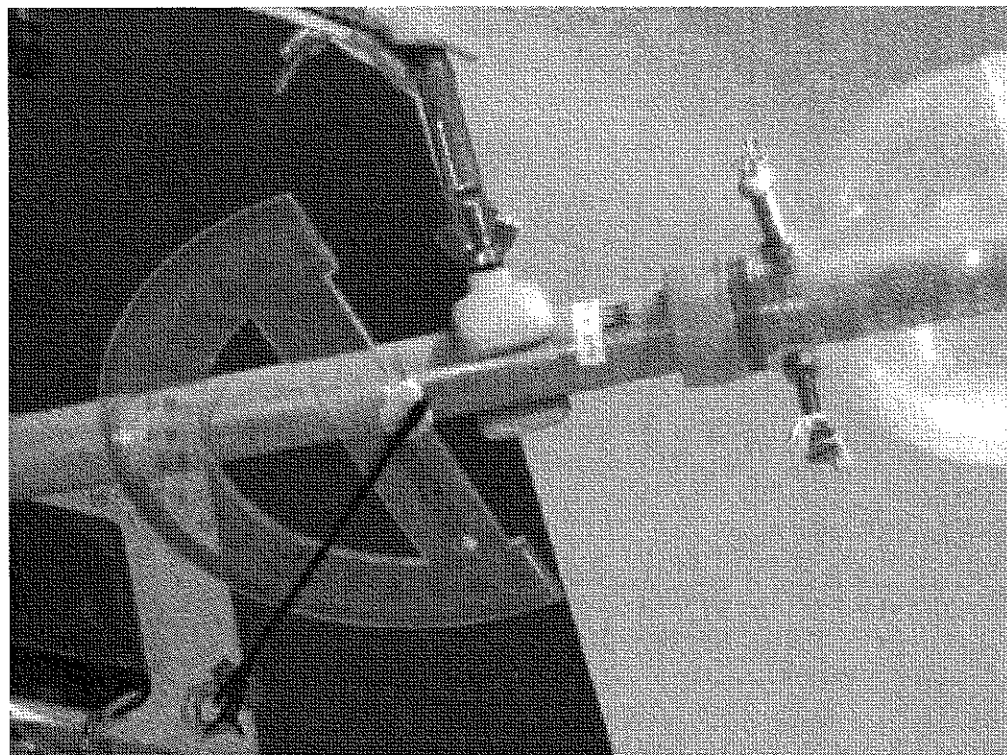


Fig. 5 Detalle del montaje

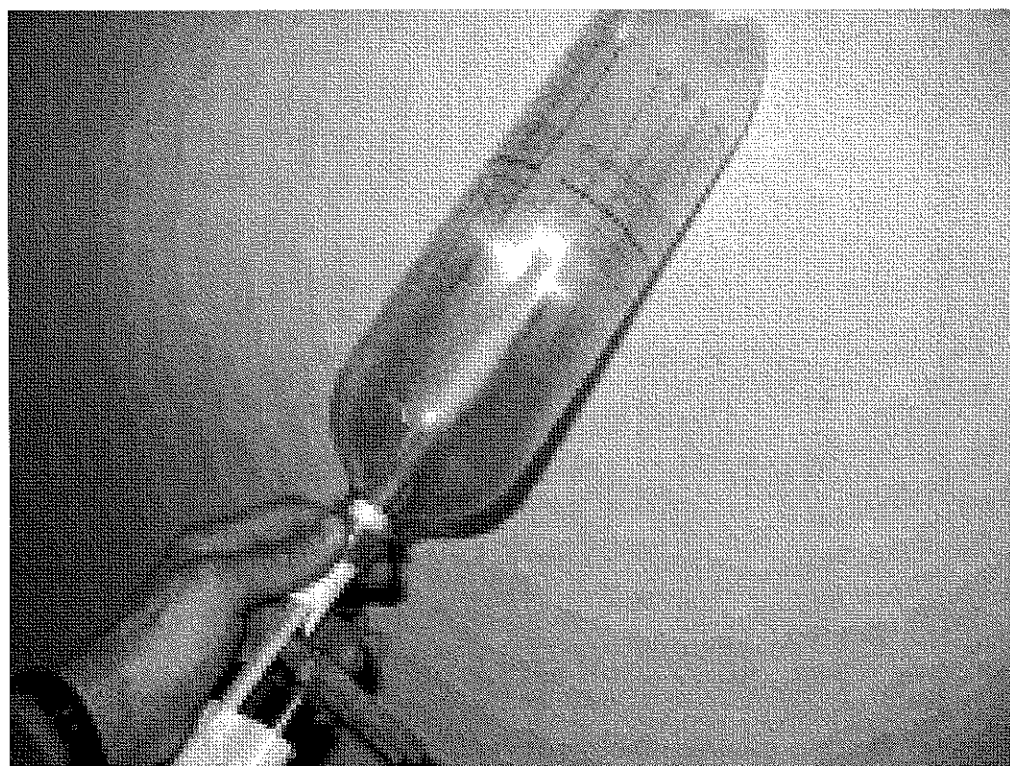


Fig. 6 Detalle de la tulipa

DE CÓMO SE ESTÁ GESTANDO LA IDEA

Durante la primavera del 2002 mi actividad en el instituto era frenética. Estaba comprometido con dos o tres proyectos y víctima de esa perversión que algunos hemos alimentado durante nuestros años de estudiante, lo había dejado todo para última hora. La desorganización absoluta de mis papeles y las notas dispersas que iba tomando Dios sabe dónde, me obligaban a continuos repasos mentales de todos los asuntos, de forma desordenada y poco eficaz.

Dos de las cuestiones que me ocupaban eran el montaje de una exposición en la biblioteca sobre la Razón Áurea, por un lado y la construcción de un reloj de sol ecuatorial de grandes dimensiones, por otro. El estudio de la Divina Proporción nos lleva por los caminos del Renacimiento, las manifestaciones plásticas de la época, el invento del concepto "Hombre" (perfectamente proporcionado) y un curioso engendro producto del gusto por las matemáticas y el arte: el descubrimiento de la perspectiva y las imágenes anamórficas¹, que dan una importancia crucial al punto de vista del observador. En un principio no parecía haber una conexión aparente entre los relojes de sol y el Renacimiento; ¿tal vez que los constructores de relojes de sol gustaban de utilizar en sus creaciones la proporción áurea?: sí, pero había otra más profunda e inesperada que descubriría enseguida.

Uno de los elementos centrales de aquella exposición era una enorme espiral de Fibonacci compuesta en el suelo con cinta aislante, y su correspondencia especular pintada en el techo, esta vez proyectada de forma anamórfica. Las representaciones anamórficas se prodigaron en el Renacimiento y me pareció un guiño simpático establecer esta conexión dibujando un anamórfico áureo (si se permite la expresión).

Llegados a este punto debió suceder algo, pero no lo recuerdo con exactitud, del mismo modo que tampoco se recuerdan los sueños. Supongo que el recuerdo de una antigua lectura, el libro de Jurgis Baltrusaitis, *Anamorphic Art*², activó los mecanismos del razonamiento subconsciente para que, andando en estas, saltara la chispa. Recuerdo incluso dónde estaba sentado cuando me dio por pensar si *todos los relojes de sol* no serían en realidad *imágenes anamórficas del reloj de sol ecuatorial*.

Esta es la idea clave, la frase que yo salvaría de todo este escrito. Cuando el hálito divino te inspira una idea no piensas en otra cosa que en ponerla en práctica, no sea que funcione. Y eso hice; sabía cómo producir imágenes anamórficas puesto que ya había trazado una en el techo de la biblioteca del instituto. El procedimiento consiste en proyectar oblicuamente hacia cualquier superficie la imagen que se quiere convertir en anamórfica.. Dibujé pues en un acetato las líneas convergentes e igualmente espaciadas de un reloj ecuatorial y las proyecté de mil formas distintas. Ningún resultado. La idea no debía ser correcta, después de todo.

¹ Ver ANAMORFOSIS

² Ed. Chadwyck, 1977; ISBN 0 85964 029 9

Pero a veces la imaginación funciona a su aire y da sus frutos aunque nosotros no la forcemos. Una semana después caí de improviso en la cuenta de que era un error tratar de proyectar un reloj ecuatorial plano. Habría que vérselas con un reloj cilíndrico ecuatorial.

Un reloj cilíndrico ecuatorial³ evidentemente no es plano, y no puede proyectarse con un retro-proyector, como había intentado en otra ocasión. Era casi seguro que habría que utilizar un reloj cilíndrico ecuatorial con una bombilla colocada en su interior. Al principio no creía que la solución pudiera ser tan simple: probé si una bombilla de linterna serviría para proyectar una línea interpuesta a pocos centímetros de distancia, porque son conocidas las malas pasadas que puede jugar un filamento no del todo puntual, en el sentido de que no siempre son capaces de proyectar imágenes asimismo puntuales, como saben bien todos aquellos que se hayan adentrado en la aventura de construir un proyector de estrellas para un planetario escolar. El pequeño experimento, sin embargo, pasó la prueba y me lancé a construir el primer prototipo⁴.

Al principio me conformé con una linterna de mano, y me dejaba sorprender por la precisión con que proyectaba las líneas horarias y las de calendario de cualquier reloj de sol. Aquel mismo verano lo mostré a un grupo de profesores en un Taller de Matemáticas, y me regocijaba secretamente al comprobar que ninguno de ellos comprendía, en el fondo, la maravilla que tenía ante sus ojos. Con la linterna de mano podía hablar de las propiedades cualitativas de los distintos relojes de sol con la inmediatez de lo cotidiano, llegando a límites que ningún ordenador podría alcanzar con semejante naturalidad. En aquella ocasión descubrí otra relación oculta que los relojes de sol tenían con las figuras anamórficas.

Todos mis cachivaches, al principio ordenados en una secuencia lógica, parecieron adquirir vida propia en el escenario: en el transcurso de las horas fueron acomodándose en el lugar que más les convenía llegando a una disposición que, más que desordenada yo llamaría caótica, con esa inefable propiedad que tiene el caos de hacer surgir propiedades emergentes producto de un orden interno e invisible. Entre otras cosas llevé al Taller algunas paradojas ópticas muy conocidas y mis queridos anamórficos. En particular una botella de Pico Plata (imperfecto cilindro espejado) me servía para reconstruir las imágenes de ciertas proyecciones anamórficas cilíndricas. Aquello fue como juntar el fuego y la yesca: tenía cuadrantes solares generados por ordenador para comprobar la bondad de mi linterna y, a pocos centímetros, la botella de Pico Plata. ¿Qué sucedería si...? Al colocar la botella con la inclinación correcta sobre los pulcros cuadrantes, todos los reflejos que me devolvía eran... ¡relojes cilíndricos ecuatoriales!⁵.

Es curioso, pero muchas veces las ideas se alimentan cuando tratas de compartirlas con los demás: aquel día, mientras charlaba con los compañeros

³ Ver NOTA INNECESARIA SOBRE RELOJES CILÍNDRICOS

⁴ Ver CÓMO CONSTRUIR TU LINTERNA

⁵ Ver JUGUETERÍA

sobre mis pequeños experimentos, descubrí otra propiedad sorprendente de la linterna. Recuerdo que la sesión se desarrollaba en el decadente escenario modernista de un colegio de provincias. Encaramado en lo más alto y con las luces apagadas hice brillar la linterna para que todos la vieran. Confieso que yo mismo me sorprendí del resultado: no solo las líneas se dibujaron en la pared plana que pretendía fuera cuadrante, sino también sobre la pared contigua, el telón del escenario, las volutas rococós y sobre las cabezas de los maravillados asistentes. En ese momento comprendí que podía dibujar relojes de sol sobre cualquier superficie, por muy extrañamente curvada que estuviera, cosa harto difícil incluso usando las modernas técnicas informáticas. Por esta vez habíamos vencido al ordenador⁶.

Meses después me decidí a mostrar la Linterna en una charla que la Agrupación Astronómica Cántabra me invitó a ofrecer en Laredo, un día lluvioso de otoño. Lógicamente encontré más complicidad entre mis amigos astrónomos que entre los profesores de instituto, y confieso que sentí cierta inquietud cuando al final de la charla un jubilado de entre el público se acercó para felicitarme precisamente por la linterna, de entre todo el zoológico de cachivaches que mostré aquella tarde. Era el primer desconocido que había mostrado algún interés por el pequeño artefacto; de alguna forma la idea dejaba de pertenecerme porque había empezado a navegar por su cuenta.

Poco a poco fui perdiendo interés por la linterna. Tenía la sensación de que era un aparato demasiado sencillo como para que nunca nadie hubiera reparado en algo similar; incluso solía preguntar a quien se me ponía a tiro si no la habría visto alguna vez en algún sitio algo parecido.

Pasó el tiempo y, en invierno del 2002, la Consejería de Educación me contrató para que participase en una feria del conocimiento para jóvenes, Juvecant 2.002. Como es lógico llevé también el proyector mágico, recuperándolo de milagro del rincón en que estaba confinado. En esta ocasión también ocurrió algo: pude hacer el hallazgo de algo que siempre temí descubrir tarde o temprano.

Fascinado como estaba por la anamorfosis, incluí en la muestra una habitación de Amies⁷ que diseñé para que en su fondo cupieran de pie más de media docena de personas. Ignoro si Carrol la aceptaría como residencia para su Conejo Blanco, pero como el universo de Alicia siempre se me ha antojado bastante anamórfico, me atreví a titularla "You in Wonderland". La habitación de Amies, por ser un espacio anamórfico tenía una sorteada relación con la linterna; ahora me pregunto qué aspecto tendrá un reloj de sol dibujado en una de las paredes de esta habitación, un anamórfico dentro de otro anamórfico (lo podemos dejar como ejercicio)

⁶ Ver JUGUETERÍA

⁷ Aquella habitación tenía un diseño ligeramente diferente a la que podemos disfrutar, por ejemplo, en el Parque de las Ciencias de Granada, lo que quiere decir que no importa la forma de la habitación mientras las líneas de referencia dibujadas en las paredes sean anamórficas a las que podríamos dibujar en un ortoedro.

En un lugar preferente del pequeño museo se describían explícitamente los detalles de la anamorfosis, en sus distintas versiones. Llamaba particularmente la atención la anamorfosis cilíndrica y recibí, de uno de los trabajadores de la muestra una pregunta comprometida: ¿cuál es la técnica usada para dibujar los anamórficos cilíndricos? Ciertamente, en el siglo XXI ese tipo de preguntas siempre tienen la misma respuesta: por ordenador. Pero un dibujo del siglo XVIII se resiste a ese tipo de lógica. Le contesté con franqueza que no lo sabía, pero que lo que sí sabía era dónde buscarlo. Me pasé la noche buceando en el mar de notas y fotocopias antiguas que, como muchos mortales guardo en el garaje por miedo a deshacerme de ellas, más que por la necesidad real de conservarlas. Allí estaba: humildemente oculta, esperando su momento. Casi me caigo de espaldas: la idea central que hacía funcionar la linterna no era tan nueva, después de todo; me pregunto hasta qué punto habrá sido su motor. Al día siguiente busqué al montador. Le entregué la fotocopia y se la llevó consigo. Solo Dios sabe en que oscuro rincón descansará ahora aquella fotocopia.

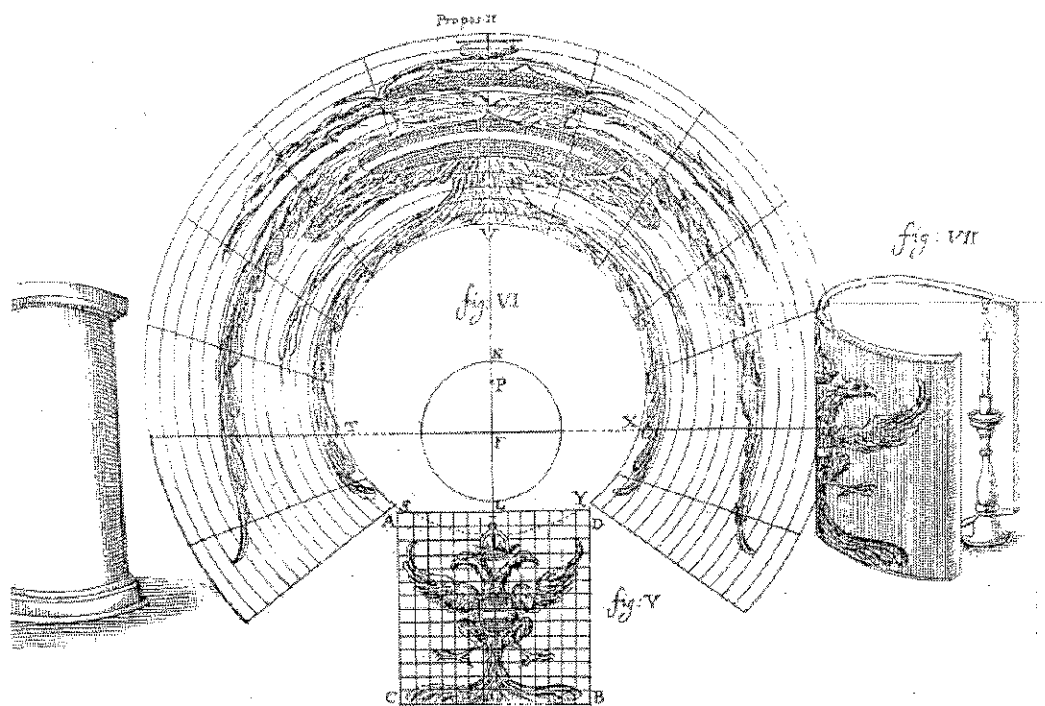


Fig. 7 Método utilizado por Athanasius Kircher para realizar anamórficos cilíndricos

En resumen: el procedimiento usado en el siglo XVII por Athanasius Kircher para dibujar anamórficos cilíndricos es básicamente el mismo que yo uso para dibujar relojes de sol. Solo es cuestión de tiempo que descubra que alguien lo ha utilizado antes que yo para este mismo propósito y no me extrañaría nada que hubiera sido el propio Athanasius.

La linterna aún no estaba totalmente concluida. Los siguientes encargos y convocatorias me sirvieron para pensar nuevamente en ella y añadirle un par de nuevos adminículos.

Para las Primeras Jornadas de Innovación e Investigación Educativa de Cantabria⁸ empecé a darle vueltas a la posibilidad de fotografiar los cuadrantes que proyectaba mi linterna. Quiero decir, no con una cámara de fotos, sino con papel fotosensible en una cámara oscura construida para ese propósito.

Mis conocimientos sobre fotografía son los justos, de modo que antes de disponerme a perder un tiempo que no tenía preferí preguntar a Isidoro Gallo, un compañero del instituto donde trabajo, catedrático de Física y Química y, por añadidura, fotógrafo consumado. Acerté a encontrarle en el bar del Instituto, tomando una café con Javier Botanz, del departamento de madera. Se encontraban inmersos en una conversación tranquila y les lancé la propuesta. Isidoro me habló de las dificultades para encontrar el papel adecuado y que no iba a poder evitar tener que hacer algunas pruebas. Javier, mucho más práctico, me quitó la idea de la cabeza y propuso que sujetase la linterna y dibujase yo mismo las líneas.

Este fue otro gran impulso que se dio a la linterna. La propuesta de sujetar la linterna me sugirió dotarla de dos círculos graduados, uno para ajustar la latitud del lugar y otro para la declinación del cuadrante en los relojes verticales. Esta mejora parecía evidente, pero yo nunca la había considerado necesaria hasta que quise reproducir los relojes de sol generados.

La linterna aún no estaba completa. Días antes de los 5^{os} Encuentros busqué el boletín nº14 de ApEA, para repasar algunas fechas y vi los artículos de A. Arribas y E. Esteban, sobre la ecuación de tiempo y la analema. Entonces caí en la cuenta de que mi linterna no disponía de una. Rápidamente imprimí a escala la que ofrecía el célebre programa Shadows y pegué una transparencia de ella en la tulipa. Observando la proyección anamórfica de la famosa analema comprendí, por fin porqué tenía las proporciones que tenía en los distintos tipos de relojes solares.

En las Jornadas de Apea en Zaragoza, Rosa M. Ros nos animó a participar en Física en Acción 3. Para mí fue la ocasión de introducir la siguiente mejora que ya me rondaba en la cabeza. Sin embargo durante el verano, con sus servidumbres, no pude llevarla a cabo, y tuvo que esperar a la convocatoria europea de Physics on Stage 2.

Se trataba de dar a la linterna otra posibilidad de giro, de modo que nos permitiera corregir la variación de la hora local debida a la longitud del lugar. Se trataba de una variación pequeña, pero de indudable valor didáctico.

Instalé la linterna en una casita para oscurecer el lugar de proyección, una pantalla cuadriculada a la que doté de un círculo graduado transparente para tomar algunas medidas. Creía que la linterna ya no podía sufrir más modificaciones. Pero me equivocaba.

En la propia feria de Physics on Stage 2, Adolf Cortel me propuso cambiar la tulipa, en ese momento de acetato, por otra más sólida de metacrilato. Ya de

⁸ Se celebraron en Junio del 2003

vuelta a casa, Adolf me envió por correo el cilindro con su base, torneada por él mismo. La cosa tenía ahora un aspecto más profesional.

Sin embargo, cuando Rosa M. Ros me encargó este trabajo fue clara; si quería que alguien más construyera la linterna, no podía proponer un objeto tan pulcro, porque no todo el mundo tiene vocación de "bricolagero".

Para satisfacer esa necesidad tomé el cilindro de cartón de un rollo de papel higiénico. Corté una ventana y pasé, con aguja y dedal, unos hilos que hacían la función de líneas horarias y de calendario. El portalámparas que coloqué en su interior quedaba, por suerte, a medida y el invento, aunque toscamente, funcionaba.

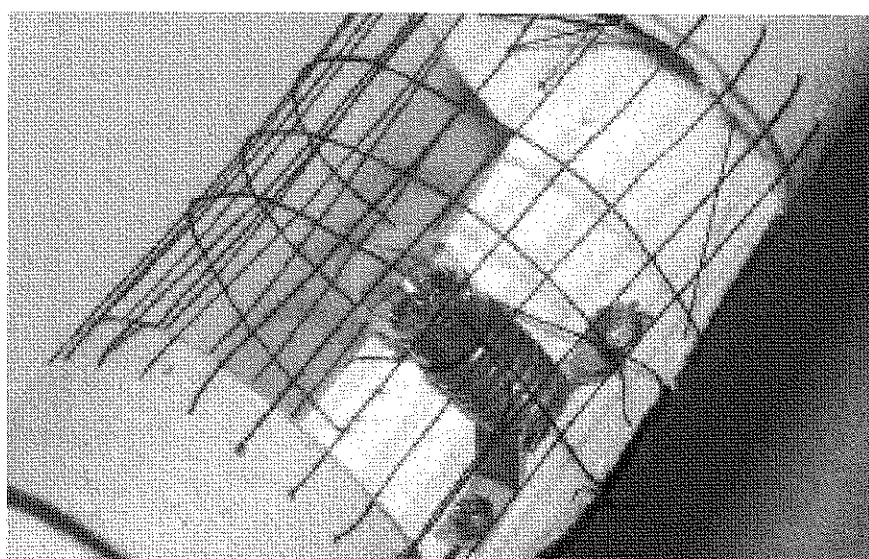


Fig. 8 Entramado de hilos para generar las líneas horarias y de calendario.

Cuando mostré mi pequeña maravilla en casa, Maria José, mi esposa, vio el objeto poco rígido y me dijo que me vendría mejor utilizar una botella de agua para ese propósito. En ese momento me acordé de Cortel, y creí tener el diseño definitivo: Evidentemente no serían hilos los que produjeran las sombras, sino un acetato en el que hubiera dibujado las líneas necesarias, pegado en una botella de plástico (algunas marcas sirven sus refrescos en envases perfectamente cilíndricos).

El invento parecía estar acabado. Ninguna modificación, ninguna mejora era posible ahora. De alguna manera esto constituye un alivio: matar a la bestia, para ponerse a pensar en otra cosa. Eso creía yo, pero en la primavera del 2004 conducía yo hacia el instituto pensando en el best-seller "El Conocimiento secreto", de David Hockney, según el cual es muy probable que los artistas del renacimiento utilizaran la cámara oscura para pintar cuadros hiperrealistas (quedará disculpada la anacronía). En realidad la Linterna tenía mucho que ver con ello. Recordé cómo en la escuela hacíamos cámaras oscuras con cajas de zapatos y papel cebolla y nos maravillábamos al observar las imágenes en la superficie traslúcida.

Aquello me llevó directamente a una nueva posibilidad para la linterna: proyectando su imagen sobre una pantalla de papel cebolla podría estudiarse el cuadrante por su reverso, de modo que la propia linterna no fuera un estorbo⁹.

Este es el final de la historia. De momento, porque es posible que la semana que viene, o dentro de cinco años, surja una nueva forma de ver este mismo objeto, una relación inesperada con otra idea, una mejora mecánica que aumente la precisión de los cuadrantes o, simplemente, alguna secuela de lo ya pensado. Y nadie sabe de qué cabeza saldrá. Si es de la mía, prometo daros razón. Si es de alguna de las vuestras, espero noticias.

⁹ Ver "JUGUETERÍA. La T.V. de los relojes de sol.

ANAMORFOSIS

Representar en una superficie plana la realidad visible no es algo trivial. En primer lugar hay que decidir si queremos representar "lo que vemos" o mas bien queremos plasmar "lo que es" y ambas cosas no son, ciertamente, lo mismo. Para convencernos de ello basta dibujar una caja de zapatos. Nuestras mentes tienen idealizada la caja de zapatos como un paralelepípedo y por eso tenderemos a trazar una suerte de líneas paralelas dos a dos, para lograr este propósito. Sin embargo cuando miramos una caja de zapatos nuestros ojos no ven, estrictamente, líneas paralelas, como puede comprobarse si se miden cuidadosamente las líneas de una fotografía.

Mediante la fotografía podemos registrar lo que se ve. Este fue el sueño de muchos pintores que con Caravaggio en el siglo XVI como precursor, comenzaron a producir trabajos hiper – realistas utilizando la cámara oscura como ayuda. La desventaja de estos procedimientos es que reducen al espectador a un punto matemático desde el que, en teoría, debe contemplarse la obra (todas las fotografías deberían ser observadas con un solo ojo desde la distancia correspondiente al llamado, precisamente, punto de distancia). Es por eso que solo durante una época de la historia del arte se utilizaron estos métodos.

Algunos siglos antes, en el Renacimiento, el gusto por los grandes murales obligó a los artistas a plantearse la siguiente disyuntiva: ¿Deberían pintar para reflejar "lo que es" o más bien representar imágenes para ser vistas de modo adecuado por el espectador que, finalmente percibiría "lo que se ve"?

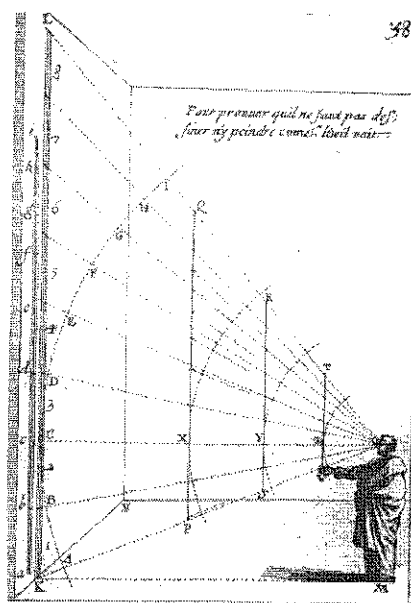


Fig. 9 Sólo es posible percibir proporcionada una pintura de gran formato si es anamórfica.

Bien es sabido la posición que el ser humano ocupaba en aquella época; no es extraño que todo estuviera dispuesto en función de él: las imágenes debían ser pintadas para ser vistas de forma correcta, no importa lo deformadas que tuvieran que dibujarse.

Dibujar un anamórfico plano es tarea sencilla. Basta con proyectar oblicuamente la imagen con la ayuda de un retro-proyector. Las siguientes imágenes muestran el techo pintado de un aula desde dos ángulos distintos. Para percibir la espiral en sus verdaderas dimensiones hay que situarse en el punto desde la que fue proyectada.

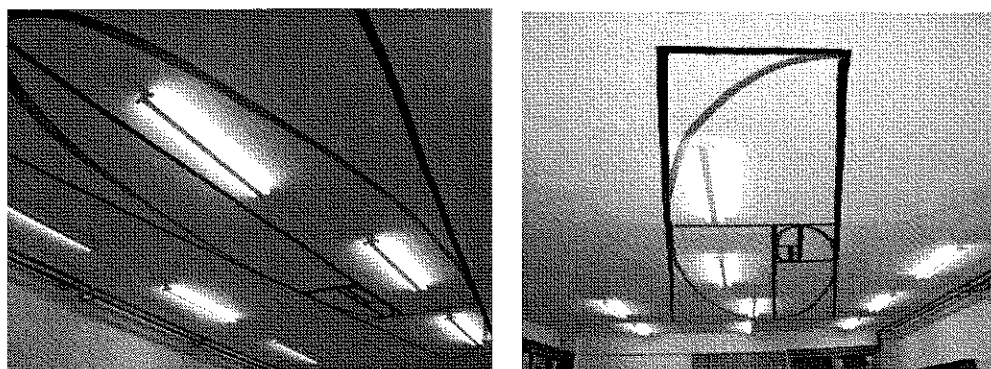


Fig. 10 Para dibujar este tipo de anamórficos tan solo es preciso proyectar la imagen hacia el techo con un retro-proyector

Esta idea es aprovechada en las señales de tráfico horizontales que aunque no sean exactamente anamórficas sí son especialmente alargadas para poderse leer cómodamente desde una posición oblicua.

Todo esto son anamórficos planos. Los relojes de sol son, como ya he dicho, anamórficos cilíndricos, pero también existen anamórficos no planos en el arte; por ejemplo, el David de Miguel Angel es tenido como paradigma de proporciones humanas, pero solo se percibe de este modo si la estatua se observa desde el suelo y a cierta distancia, es decir, la posición normal para contemplar una mole de cuatro metros de alto. Un réplica de 1.70 m de la famosa escultura nos revelaría un David demasiado cabezón como para ser bello...

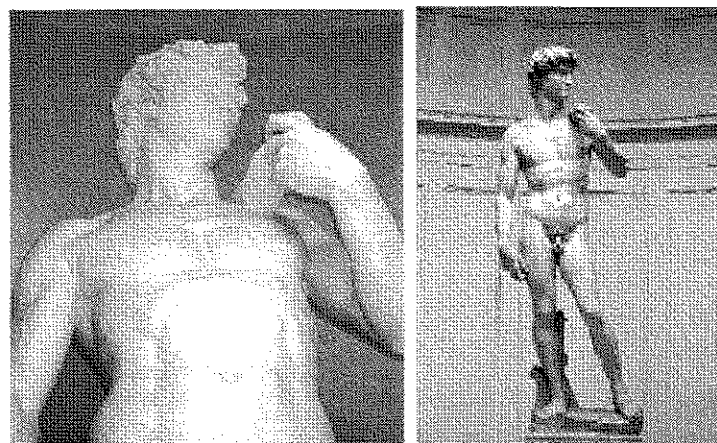


Fig. 11 El David, desde dos puntos de vista diferentes muestra diferentes proporciones.

NOTA INNECESARIA SOBRE RELOJES CILÍNDRICOS

Todo el mundo sabe lo que es un reloj ecuatorial y qué lo que la sombra proyectada en su faz mide. Como todo el mundo sabe, no es el tiempo sino la diferencia entre el ángulo de rotación y el de traslación terrestre, medidos ambos respecto a Dios sabe qué punto fijo. La relación que esta medida tiene con el tiempo es una cuestión más profunda que después de San Agustín, yo también eludiré¹⁰.

Después de que Esteban Esteban colocara en la Tierra Paralela de Nicoletta Lanciano sus pequeños relojes de Sol, todo el mundo sabe lo bien que este experimento ilustra lo que acabo de decir.

Si en lugar de relojitos ecuatoriales colocamos sobre esa esfera cilindros con el eje paralelo al eje de rotación, tendremos en funcionamiento relojes cilíndricos ecuatoriales, en los que las líneas horarias son 24 de las generatrices del cilindro, igualmente espaciadas, como todo el mundo sabe.

Aquellos son relojes cilíndricos ecuatoriales. No sé si todo el mundo sabe el aspecto que deben tener los relojes cilíndricos verticales: si un reloj de pastor es algo así como un reloj cilíndrico vertical, sólo Simón García puede aclararlo.

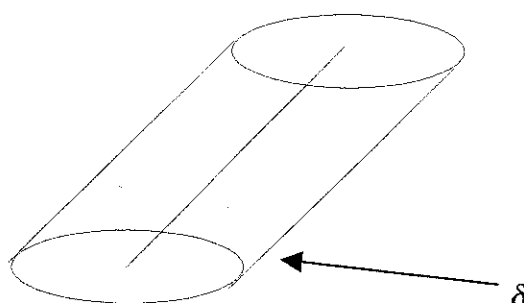


Fig. 12 Un cilindro cuyo eje esté orientado a la polar y cortado por dos planos horizontales, es un reloj cilíndrico ecuatorial si dibujamos 24 de sus generatrices en su interior. El gnomon es una varilla situada en el eje del cilindro.

El corte que habría que hacer en el cilindro, desarrollado en el plano, tiene el perfil dado por la función¹¹:

$$y = \frac{R \cos(x/R)}{\operatorname{tg} \delta}, \text{ donde } R \text{ es el radio del cilindro y } \delta \text{ la latitud del lugar}$$

¹⁰ "¿Qué es el tiempo? Si nadie me lo pregunta yo lo sé; pero si cualquier persona me pidiera que se lo diga, no puedo hacerlo". *Confesiones*, Alianza Editorial, 1990

¹¹ Del artículo "Construcción y utilización didáctica de un reloj solar cilíndrico Ecuatorial (E. Esteban)

DIBUJO DE LAS LÍNEAS DE LA TULIPA

La linterna mágica es un reloj cilíndrico ecuatorial en el que se ha sustituido el gnomon por una pequeña bombilla de linterna. Tenemos entonces una lámpara en cuya tulipa transparente podemos dibujar las líneas que más tarde se proyectarán como las de un reloj de sol.

LÍNEAS HORARIAS

La *tulipa* es, como hemos dicho, el elemento básico, el corazón de la linterna. Sobre ella dibujaremos dos grupos de líneas, las horarias por un lado y las de calendario, por otro.

Partimos de un rectángulo de acetato que dividiremos, a lo largo, en 24 partes iguales. Si formamos con él un cilindro en el que las líneas dibujadas anteriormente sean generatrices y colocamos una bombilla en algún lugar de su eje, ya tenemos un sencillo generador de las líneas horarias de un reloj de sol.

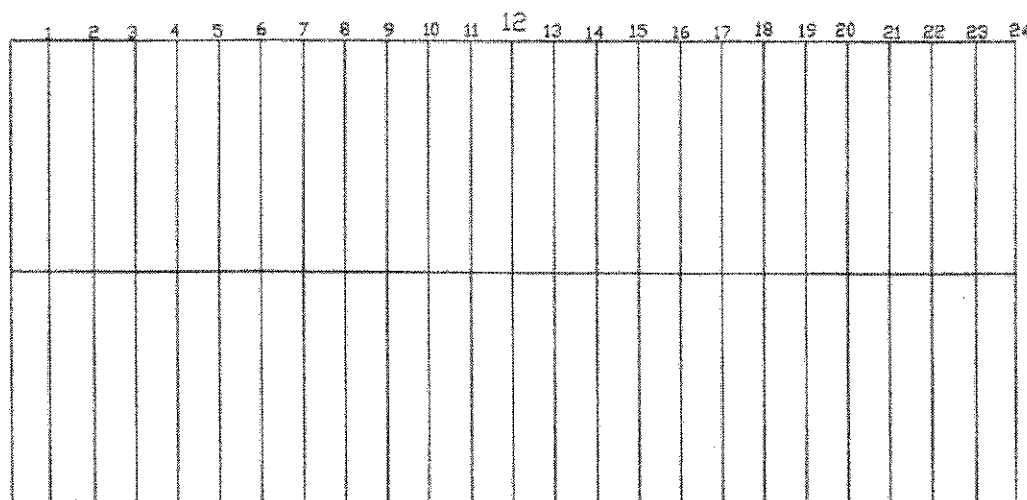


Fig. 13 Dibujo de la tulipa, con líneas horaria y círculo equinoccial.

Para construirla podemos fotocopiar la imagen anterior en un acetato y formar el cilindro, dándole la consistencia necesaria con dos tapas circulares de madera o de plástico. Sin embargo es mucho más práctico hacerse de un cilindro transparente sobre el que adaptar dicho acetato. Algunas botellas de refresco son cilíndricas y se pueden utilizar para este propósito.

ANALEMA:

La analema es un elemento que han incorporado los relojes de sol a raíz de la aparición de los relojes mecánicos. Es una curva con forma de lemniscata que indica la posición de la sombra del gnomon en relación con el tiempo medio, que es el que marcan los relojes mecánicos. Por ejemplo, si la analema está dibujada sobre la línea de las 12 (ver figura 2), cuando la sombra del extremo del gnomon llegue a la curva, son las 12 en los relojes mecánicos, una vez hecha la corrección debida a la longitud geográfica.

Para evitar la ambigüedad que se deriva del hecho de ser una curva simétrica, es conveniente tener claro cual es la posición del sol en los distintos días del año a lo largo de la analema. Por eso la posición del sol está señalada cada cinco días con un triángulo con el vértice hacia arriba si el sol está aumentando su declinación y con el vértice hacia abajo en caso contrario. Para mayor claridad se indican los meses correspondientes a los *cambios de signo zodiacal* a la derecha o a la izquierda de la analema según que la posición corresponda a una u otra parte de la figura.

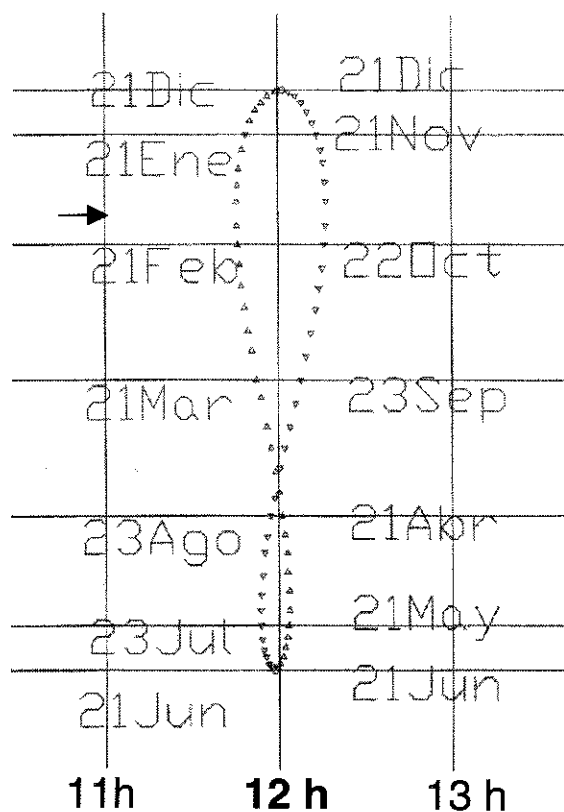


Fig. 14 Detalle de la analema, situada sobre la línea horaria de las 12 horas. La flecha indica que el sol, en esa fecha, adelanta su culminación alrededor de un cuarto de hora con respecto a los relojes mecánicos. La ecuación de tiempo sería, en este caso +15 minutos mientras que en febrero sería -15 minutos

CÁLCULO DE LA POSICIÓN DE LAS LÍNEAS DE CALENDARIO

Para dibujar los círculos que posteriormente se proyectarán como líneas de calendario hemos de tomar la decisión de qué días del año queremos señalar. Habitualmente se eligen los considerados como "cambios de signo zodiacal". Estos días varían ligeramente de unos años a otros, por la misma razón que varían las fechas de llegada de las estaciones. Como es sabido, esto es así porque la Tierra no completa un año solar en un número entero de días y, a pesar de las correcciones introducidas con los años bisiestos, esta variación existe.

Por este motivo los relojes de sol no pueden indicar con una precisión mayor que un día la fecha del calendario. Lo que indican, eso sí, es la posición diaria del sol en la eclíptica. Es algo parecido al hecho de, aunque debido a las variaciones introducidas por la ecuación de tiempo, ningún reloj de sol (podemos exceptuar el famoso cilíndrico con gnomon analemático) marque exactamente la hora oficial, sí nos indica dónde está el sol en la bóveda celeste.

Así, del mismo modo que un reloj de sol sirve para indicar en qué momento el sol está pasando por el meridiano local (o el de Greenwich si posee la corrección de longitud), puede servirnos para indicarnos qué día fecha entra, por ejemplo, la primavera.

Me pregunto si podrá introducirse una suerte de "analema de calendario" que nos sirva para, entre otras cosas, señalar la fecha oficial. Pero esto vamos a dejarlo como ejercicio para lectores avanzados.

Para calcular la posición en el cilindro de las líneas de calendario utilizaremos las coordenadas eclípticas, con permiso del movimiento de precesión. Cada aumento de la longitud eclíptica del sol en 30° nos dará una nueva línea de calendario, a partir de la del equinoccio de primavera. Necesitamos pues la declinación solar en cada uno de estos momentos.

Seguidamente se da la relación entre coordenadas eclípticas y declinación solar, para cada uno de los cambios de signo zodiacal.

Long. eclip. ($^\circ$)	Dec. ecuatorial. ($^\circ$)	Signo zodiacal	Fecha
0	0,00	Piscis	21 Marzo
30	11,47	Aries	21 Abril
60	20,15	Tauro	21 Mayo
90	23,44	Géminis	21 Junio
120	20,15	Cáncer	23 Julio
150	11,47	Leo	23 Agosto
180	0,00	Virgo	23 Septiembre
210	-11,47	Libra	22 Octubre
240	-20,15	Escorpio	21 Noviembre
270	-23,44	Sagitario	21 Diciembre
300	-20,15	Capricornio	21 Enero
330	-11,47	Acuario	21 Febrero

Tabla 1: Relación entre coordenadas eclípticas y declinación solar para los signos zodiacales

Lógicamente, las circunferencias que proyecten las líneas de calendario deben ser trazadas de modo que el ángulo desde el centro de la linterna sea el de las correspondientes declinaciones ecuatoriales reflejados en la tabla anterior.

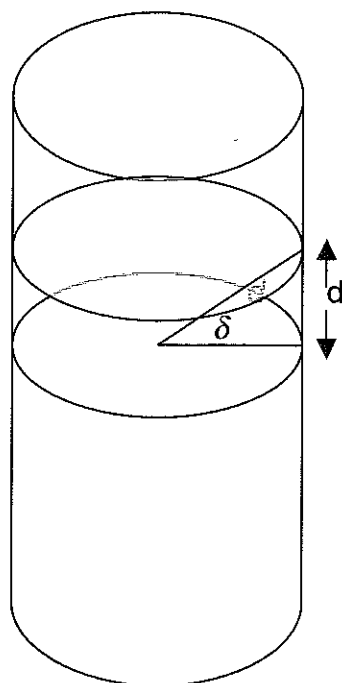


Fig. 15 Distancia entre el círculo equinoccial y el resto de las líneas de calendario.

Esta distancia angular implicará una separación de la línea que representa el círculo equinoccial que dependerá del radio de la tulipa:

$$d = r \cdot \operatorname{tg} \delta$$

MONTAJE DE LA LINTERNA

Si, finalmente, la tulipa es una botella cilíndrica de plástico, es muy fácil colocar la lámpara interior. Una simple bombilla de linterna montada sobre un casquillo que habremos de fijar con cinta aislante en el extremo de un listón de madera de un centímetro de diámetro.

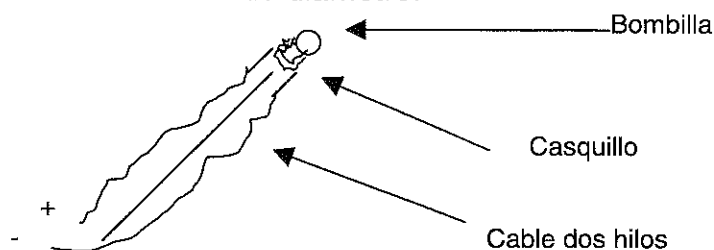


Fig. 16 Esquema de la parte eléctrica

Un momento crítico consiste en centrar la bombilla en el cilindro. De ello depende el buen funcionamiento de la linterna. La clave del reglaje consiste en controlar visualmente que el filamento de la bombilla esté alineado con la intersección de la línea equinoccial con las de las 12 y las 24 horas. Hemos de llevar, por lo tanto, dicho filamento al centro de lo que en este contexto podíamos llamar "círculo equinoccial".

Para conseguir que este alineamiento perdure, podemos fijar el acetato en tapas circulares para pegar el casquillo en su posición definitiva. Sin embargo esta operación llevará cierto tiempo y no nos permitirá un posterior reglaje. Si, por el contrario, preferimos la solución de la botella, podremos deslizar el listón porta lámparas sobre un agujero practicado en el tapón de la botella para llevarlo al plano equinoccial y servirnos de tres tornillos enroscados a 120° en el final del cuello de la botella para centrar definitivamente la lámpara.

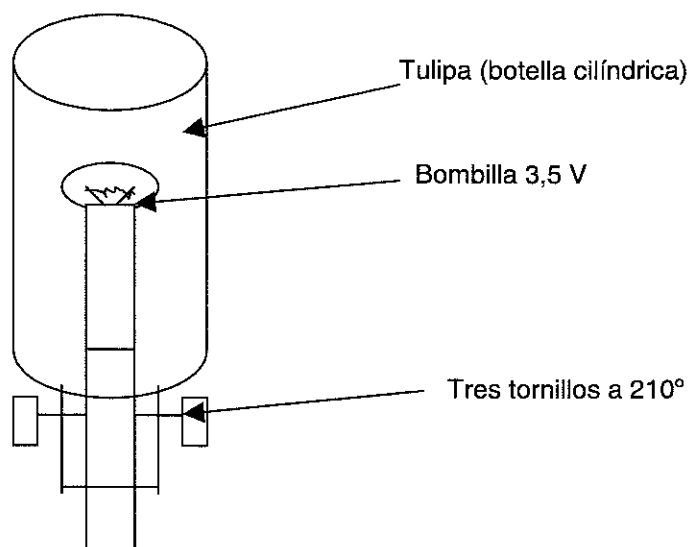


Fig. 17 Esquema de la colocación de los tornillos de reglaje

CÍRCULOS GRADUADOS

Estos círculos son útiles para quien quiera construir el modelo de la figura 22.

CÍRCULO DE AJUSTE DE LATITUD

Sirve para inclinar más o menos la linterna, dependiendo de la latitud geográfica. Para relojes del hemisferio sur sirve el mismo círculo aunque hay que modificar la linterna girando el acetato 180° para ponerlo, literalmente, "patas arriba"

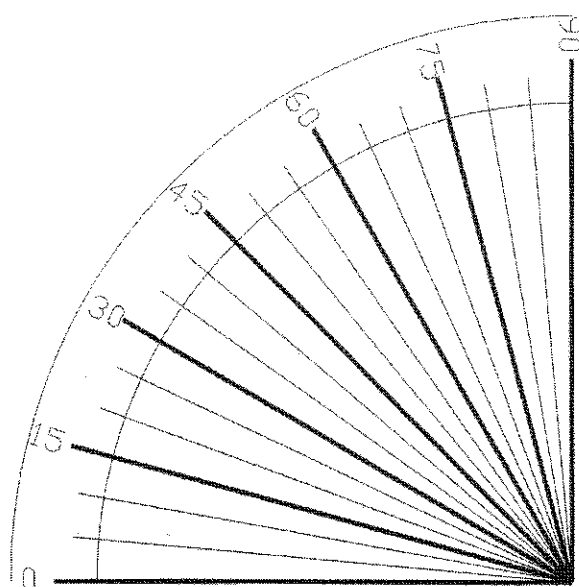


Fig. 18 Círculo de latitud

CÍRCULO DE DECLINACIÓN DE LA PARED

Cuando se quiera dibujar un reloj de sol sobre una pared orientada exactamente al sur (acimut 180°) se dispone la linterna como en la figura 22, es decir, enfrentada a la pared y con la marca 0° del círculo de declinación pegada a la pared. Si el muro está inclinado, por ejemplo, 20° al este, deberemos mantener fijo en el suelo el círculo de declinación y girar sobre este la linterna 20° en el sentido de las agujas del reloj, como sugiere la figura 22

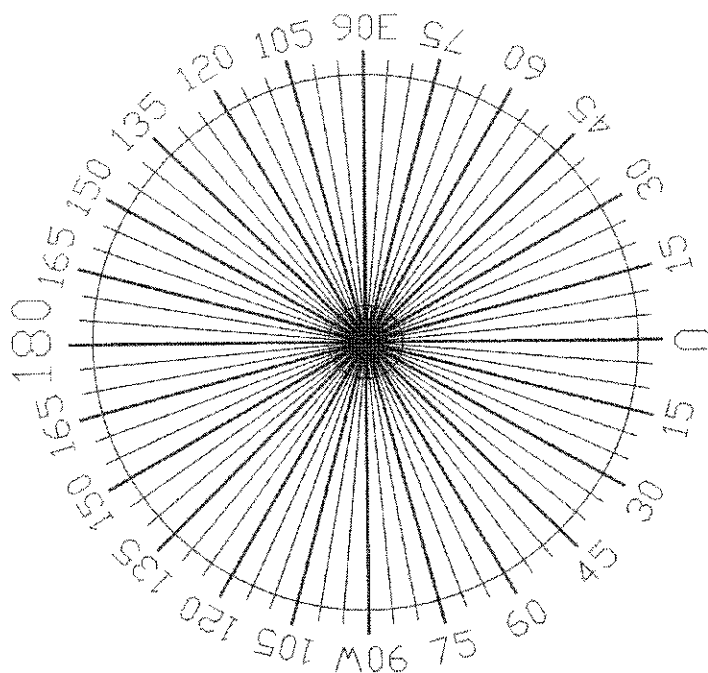


Fig. 19 Círculo de declinación de la pared.

CÍRCULO DE AJUSTE DE LONGITUD GEOGRÁFICA.

Si permitimos que la tulipa gire entorno de su eje y adaptamos esta escala de modo que abarque un arco de 30° , es decir, $1/12$ de su longitud, podemos corregir la longitud del lugar para que el reloj de la hora oficial. La variación es tan pequeña que en linternas de pequeñas dimensiones es difícil hacer que sea significativa. De todos modos su valor didáctico es indudable.



Fig. 20 Círculo de ajuste de longitud

PLANOS DE TRABAJO Y NUEVA VERSIÓN DE LA LINTERNA

Los círculos graduados vistos anteriormente han sido creados para la versión de la linterna de la figura 22.

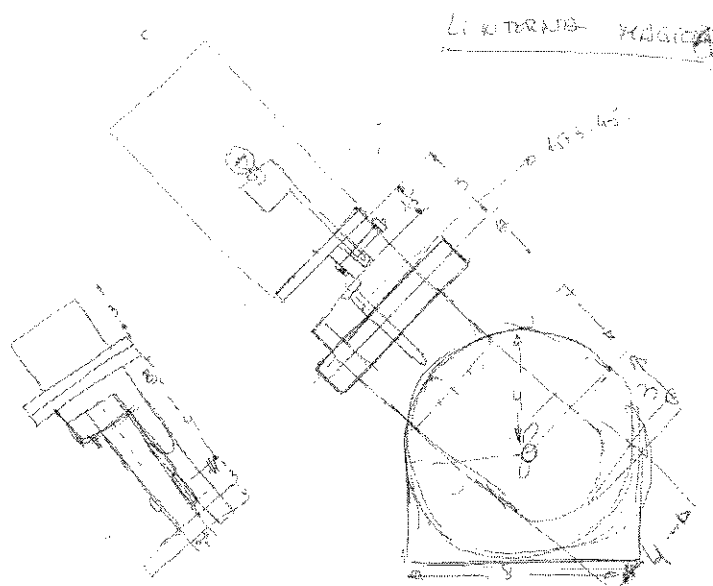
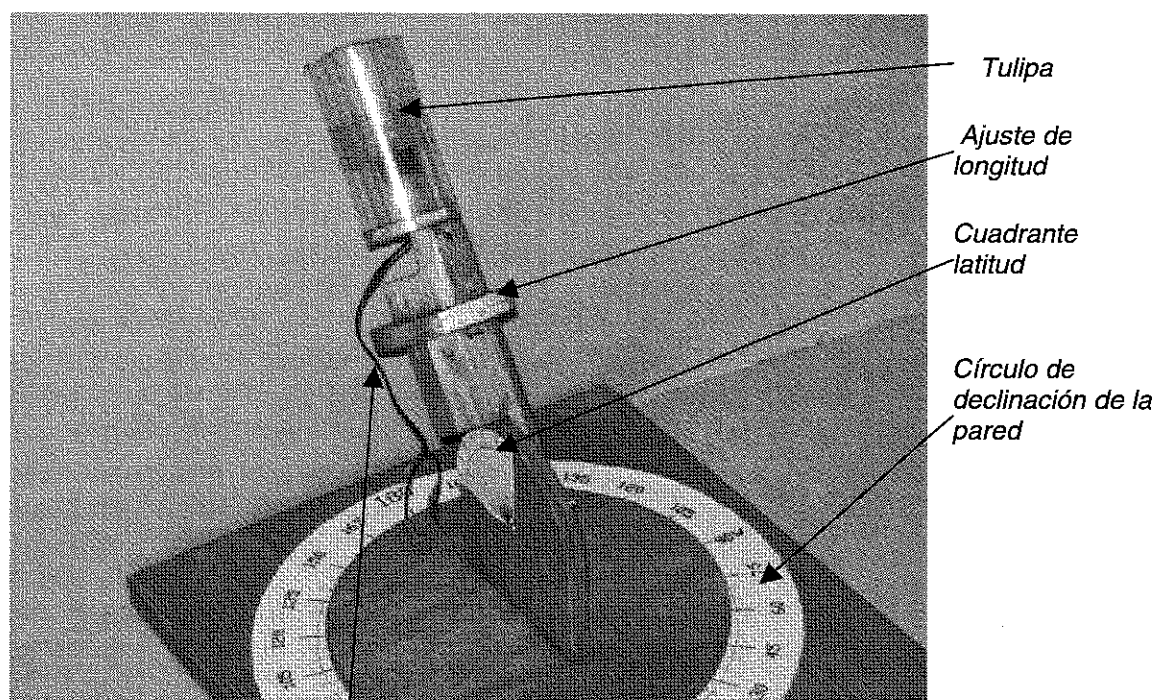


Fig. 21 Planos utilizados en el proceso de construcción



Conexión eléctrica

Fig. 22 El instrumento debe tener tres ejes de giro, de modo que se permita ajustar respectivamente la longitud, la latitud y la declinación de la pared

JUGUETERÍA

Cualquier objeto puede ser acompañado por todo un universo de cachivaches y adminículos. Con ellos se pueden explorar posibilidades como lo hace el niño que se adentra en una juguetería. He aquí algunos, supongo que no los únicos, que pueden complementar a la linterna.

EL ESPEJO QUE DEVUELVE RELOJES CILÍNDRICOS

Un espejo cilíndrico convenientemente orientado sobre las líneas de un cuadrante solar, nos devuelve la imagen inequívoca de un reloj cilíndrico ecuatorial, del que todos los relojes de sol son hijos.

La orientación *conveniente* es, cómo no, la del gnomon del reloj. De modo que tenemos un método para arreglar relojes "desnarigados": simplemente apoyando el eje del espejo cilíndrico en la marca dejada por el anclaje del gnomon se debe variar la inclinación del espejo hasta ver reflejadas las líneas horarias como rectas paralelas.

Este método nos permite averiguar la latitud para la que el reloj fue diseñado o su calidad de orientado o declinante.

EL RELOJ DE SOL CÓNCAVO, ROMANO

Tal vez, el reloj de superficie irregular más famoso sea el reloj cóncavo romano. Consiste en un casquete esférico de mayor o menor altura, en cuyo interior se proyecta bien una sombra producida por el gnomon, bien un punto de la luz que se filtra por un agujero practicado en un lugar conveniente de dicha estructura.

Para dibujar las líneas horarias basta hacer coincidir el filamento de la linterna con el punto que proyecta la sombra o la abertura que deja pasar la luz e inclinar el eje de la linterna según la latitud del lugar. A partir de este momento lo que más paciencia requiere es marcar las líneas en la superficie esférica.

FABRICACIÓN DE RELOJES DE CÁMARA OSCURA

Existen, frecuentemente en el interior de algunos templos, líneas meridianas que registran los cambios anuales en la altura del sol gracias a un rayo de luz que se deja filtrar por alguna abertura de la fachada. Como no se suele disponer de suficiente espacio no se puede dibujar un reloj completo en el interior del edificio y lo único posible es poner de manifiesto las variaciones en la ecuación de tiempo superponiendo una analema a dicha meridiana.

LA T.V. DE LOS RELOJES DE SOL

Si montamos la tulipa justamente al revés para que se produzca correctamente la imagen del reloj de sol por transparencia en un papel cebolla obtendremos un espectacular resultado. Abriendo una ventana en la caja para colocar el papel cebolla es posible visualizar el cuadrante sin problema. Es posible apañárselas para manipular la linterna desde el exterior mientras se ve la pantalla.

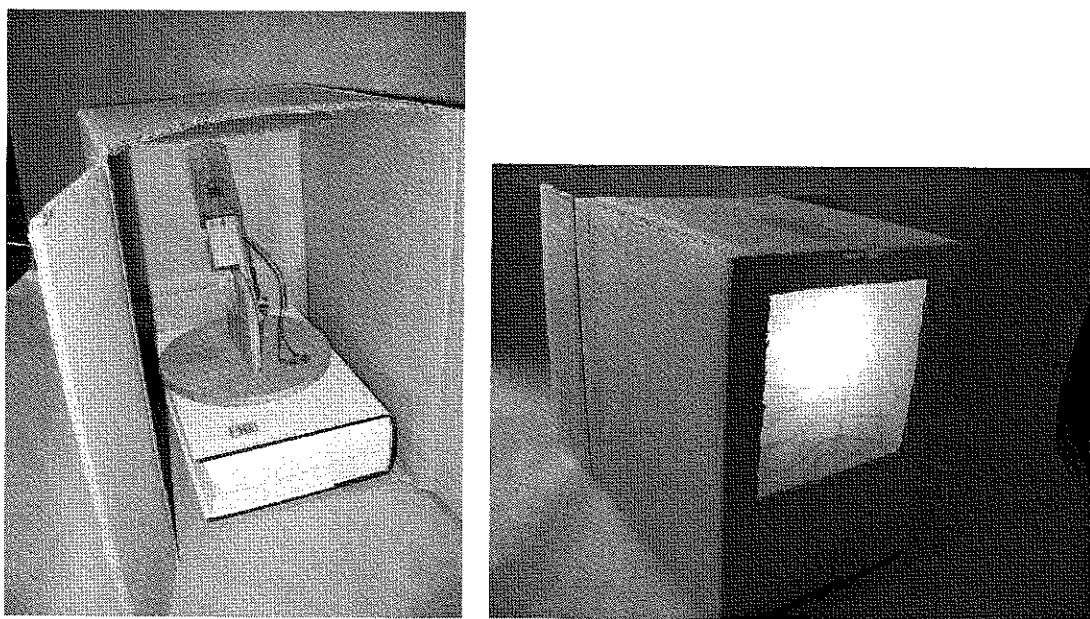


Fig. 23 Si introducimos la linterna en una caja, a la que previamente hemos hecho una ventana de papel cebolla, podemos ver el cuadrante y hacer medidas sin estorbos.

Con esta modificación no solo podremos mostrar más fácilmente los cuadrantes, sino también resolver pequeños problemas. Por ejemplo, para averiguar la declinación de una pared, podemos proceder del siguiente modo:

Colocamos un gnomon en la pared, no importa como, porque solo nos fijaremos en la línea que dibuje el extremo de su sombra. Si esa medida la hacemos en el equinoccio, la línea resultante será una recta. Si la pared no está orientada al sur esta línea formará un cierto ángulo con la horizontal. Medimos este ángulo y más tarde, en casa ponemos en funcionamiento la linterna. Debemos inclinarla según nuestra latitud y después girar hasta que la línea que representa equinoccio quede igual de inclinada que el resultado de nuestra observación.

En cualquier otra época del año esta determinación también es posible. Como quiera que las cónicas dibujadas por el extremo de la sombra son simétricas con respecto a la subestilar puede determinarse una paralela a la equinoccial y repetir el proceso anterior.

RELOJ DE SOL EN TU CARA

Si con la linterna pueden dibujarse relojes sobre cualquier superficie, ¿por qué no hacerlo sobre tu cara? En la figura 24 tenemos las líneas horarias que resultan de hacer esta operación sobre una máscara.

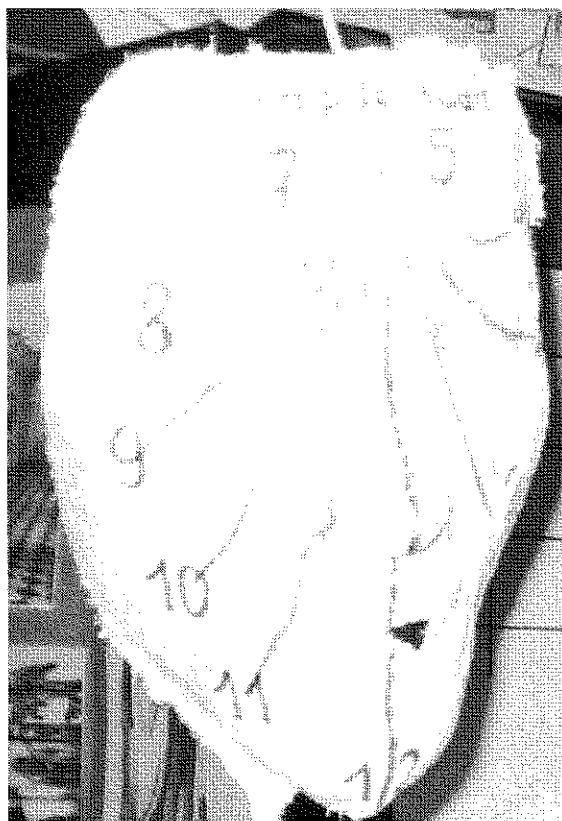


Fig. 24 Con la linterna mágica se pueden dibujar relojes de sol sobre cualquier superficie, incluso sobre la cara de una persona.

LAS OTRAS TULIPAS

Como posibilidad a explorar, podemos pensar en otras formas para fabricar tulipas. Por ejemplo, una tulipa esférica nos daría la ventaja de tener una representación más fiel de la esfera celeste, aunque dibujar las líneas en ella fuera más complicado.

Si la tulipa es cónica podríamos dibujar en su desarrollo plano y por este modo el dibujo sería más cómodo. Las líneas horarias serán también generatrices del cono, y las de calendario circunferencias cuyo espaciamiento dependerá además de (no recuerdo ahora la palabra técnica) la abertura del cono. La ventaja de esta construcción está en que nos permite anclar el gnomon a la superficie proyectante de forma más precisa, ganándose, tal vez, en exactitud.

BIBLIOGRAFÍA

- J. Baltrusaitis, *Anamorphic Art.*, Ed. Chadwyck, Cambridge, 1976
- E. Esteban, R.M. Ros, *Un ejemplo de cónicas (I)*, Universo, 16, 88, 91, Barcelona, 1996.
- E. Esteban, R.M. Ros, *Un ejemplo de cónicas (II)*, Universo, 17, 62, 65, Barcelona, 1996.
- E. Esteban, J. Sarasola, I. Fernández, *Taller de Astronomía*, Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria, 1998.
- G. C. Pavanello, A. Trinchero, *Reloj de Sol*, Ed. de Vecchi, Barcelona, 1998
- R. Soler Galla, *Diseño y construcción de relojes de sol*. Ed Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, demarcación de Baleares, Mallorca, 1989
- S. Garcia, *The Pyrenean shepherds' dials*, Proceedings of 7th EAAE International Summer School, UNIFF, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2003
- N. Lanciano, *Strumenti per i giardini del cielo*, Ed. Junior, Roma, 2002



ApEA, la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía, nació en 1995 para acoger a todas las personas que se dedican a la enseñanza de la Astronomía en centros educativos, planetarios, museos de la ciencia, agrupaciones de aficionados y clubes de estudiantes.

ApEA engloba a todos los interesados en la enseñanza de todos los niveles educativos reglados -desde la enseñanza primaria hasta la universitaria- así como los no reglados. También organiza reuniones de formación para sus socios y publica materiales de interés didáctico, como la presente colección.

Más información en www.apea.es

