

ANALEMA

BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN DE
AMIGOS DE LOS RELOJES DE SOL

SUMARIO

- 1 EDITORIAL ----- Editor
- 2 ABSTRACTS ----- Redacción
- 3 MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE CUADRANTES
DE REFRACCIÓN ORTOMERIDIANOS ----- R Soler
- 8 RELOJES DE PLANOS HORARIOS GENERALIZADOS---A. Pérez
- 12 REUNIÓN GNOMO-TURÍSTICA EN MURCIA -----A.J. Cañones
- 15 BRÚJULAS SOLARES. UN NUEVO CONCEPTO.
UN NUEVO DISEÑO ----- L. Hidalgo
- 21 NOTAS Y COMENTARIOS ----- Redacción
- 23 CORRECCIONES AL ARTÍCULO "APLICACIONES DEL
MÉTODO ANALÍTICO DE DISEÑO DE RELOJES DE SOL
BIFILARES Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN" ----- R.Soler

ASOCIACIÓN DE AMIGOS DE LOS RELOJES DE SOL

Isaac Peral 48. 28040 - MADRID. ESPAÑA

<http://www.relojesdesol.org>

JUNTA DIRECTIVA

Presidente: Luis Hidalgo Velayos
Vicepresidente: Jacinto del Buey Pérez
Secretario Gral: Manuel Lombardero Soto
Tesorero: Antonio de Vicente Candeira
Bibliotecario: Jesús de la Calle Montes

Consejo de Redacción: Vocales
Manuel María Valdés Carracedo
Javier Moreno Bores
Miguel Ángel Hacar Benítez

Vocales Asesores:
Antonio Angulo Álvarez
Baltasar Soteras Elía
José Esteban Esteban

Socios de Honor:
Rafael Soler Gayá
José Luis Basanta Campos

La Asociación de Amigos de los Relojos de Sol fue creada en 1988. Está legalmente reconocida y figura en el registro nacional de Asociaciones con la referencia N-18685. Constituye una entidad no lucrativa cuyos fines son el desarrollo y fomento de las investigaciones y estudios sobre temas históricos, matemáticos geográficos, arquitectónicos y literarios relacionados con la difusión de los conocimientos relativos al cálculo, trazado, construcción, emplazamiento y revisión de los Relojos de Sol y otros instrumentos análogos. Para el cumplimiento de estos fines celebra reuniones periódicas, mantiene contacto con otras Asociaciones o Entidades semejantes y publica cuatrimestralmente el Boletín Informativo "Analema", abierto a la colaboración de todos sus lectores.

La Asociación de Amigos de los Relojos de Sol ofrece a sus asociados los siguientes servicios:

- Comprobación y datación de cuadrantes y relojes antiguos.
- Información Bibliográfica referente a temas relacionados con la Gnomónica
- Traducción o revisión de artículos de revistas, boletines y publicaciones.
- Asesoramiento para la construcción o reparación de relojes solares.

Estos servicios son prestados a sus Socios a título gratuito, o a coste estricto a las entidades o personas que así lo soliciten y sean presentadas por algún Socio. Los servicios de asesoramiento serán totalmente gratuitos para las entidades o asociaciones de carácter cultural.

Para obtener la condición de Asociado es necesario la presentación por un Socio de la persona o entidad interesada, y su admisión por la Junta de Gobierno. La cuantía de su aportación económica como cuota anual es fijada libremente por el propio asociado, pudiendo ser nula si así lo desea. No obstante, para recibir con seguridad el presente Boletín y otras publicaciones deberá aportar como mínimo el equivalente a los gastos de confección y envío postal del de las mismas.

En general y salvo indicación expresa, los artículos publicados en este Boletín podrán ser reproducidos o utilizados, citando su procedencia y previa comunicación a esta Asociación. Se exceptúan los casos en los que se indique la existencia de derechos de propiedad del autor, o cualquier otro tipo de impedimento legal.

La Asociación no se hace, en ningún caso, responsable del contenido o interpretación de los escritos, gráficos, fórmulas, tablas, o cualquier otra clase de información contenida en los Boletines o en sus publicaciones colectivas. Agradece todo tipo de crítica, comentario, discusión o reseña de los mismos, que será transmitida a su autor y publicada en el Boletín si su interés y generalidad lo hiciese conveniente a juicio de la Junta, que se reserva el derecho de adaptar, resumir, comentar o editar con el previo conocimiento de su autor los originales recibidos para su publicación. Su extensión no deberá exceder de seis folios, incluyendo ilustraciones, salvo que su contenido aconseje publicarlos en varios números sucesivos o en forma de separata del Boletín.

EDITORIAL

La misión real de un reloj solar ha sido y continúa siendo motivo de numerosas y tenaces discusiones, aunque siempre amistosas como corresponde a los miembros de la Venerable Fraternidad del Gnomon.

No nos referimos a los antiguos relojes trazados con anterioridad al siglo XX, que frecuentemente constituyen verdaderos monumentos por la ingeniosidad de su trazado o por sus características históricas o artísticas y que deben, o deberían, formar parte del patrimonio cultural de cada País, sino a los relojes solares que se construyen en la actualidad con profusión creciente, y podríamos decir, casi desbordante.

Evidentemente el reloj de sol no es un artilugio utilitario, ya que a muy pocas personas les interesa conocer la hora local solar verdadera del lugar donde está instalado. Y para conocer la hora legal existen los relojes mecánicos, electrónicos, eléctricos... que dan una precisión y comodidad no alcanzables por los relojes solares.

Es posible considerarlo como una demostración visual o vulgarización gráfica y educativa de algunos conocimientos elementales de Cosmografía, por lo que en ciertos casos suelen estar acompañados de cuadros, curvas, tablas y otras admirables explicaciones que, nos tememos, frecuentemente no son entendidas y más frecuentemente no leídas.

Pero parece deducirse de las descripciones, fotografías y explicaciones que aparecen en nuestras queridos Boletines, Revistas y página Web que muchos de los relojes que actualmente se construyen o erigen, generalmente de grandes dimensiones, están pensados como Obras Monumentales para formar parte del amueblamiento urbano de nuestras ciudades y parques, aeropuertos, escuelas, autovías, cruces de caminos y otros lugares, muchas veces inverosímiles.

No quiere esto decir que el estemos en contra de la construcción de estos Crono-Monumentos, antes al contrario, *"La Gnomónica ante todo"*, sean bienvenidas, alabadas y contempladas como se merecen estas muestras del bien calcular, diseñar y construir, que además de su misión decorativa obligan por un momento a pensar en el Tiempo a los paseantes o viandantes que los contemplan. Incluso los jóvenes que los llenan de *"graffiti"* es posible que lean los gráficos y tablas, antes de emborronarlos con pintura e intentar torcer o destruir el gnomon y arrancar los numerales.

Sin embargo, muchos de los autores de los relojes actualmente diseñados intentan por todos los medios, casi desesperadamente, señalar la hora legal, incluyendo en sus complicadas curvas o mecanismos de ajuste las correcciones de Longitud geográfica, cambio de Huso horario, Ecuación del Tiempo e incluso Refracción atmosférica (!). Nos da la impresión que el principal objeto de estos dispositivos es que las personas que lo contemplan no crean que el reloj está mal calculado. Asimismo, se ha abandonado la costumbre de señalar las horas con números romanos; actualmente se emplean numerales arábigos, e incluso la numeración es de 0 a 24 horas.

Opinamos (queremos aclarar que es el Editor quien esto opina) que un Reloj Solar debe señalar exclusiva o preferentemente la hora local solar, como su nombre indica y como corresponde al lugar donde está instalado, con toda la sencillez y grandeza que el inmutable paso del Tiempo manifiesta en las revoluciones orbitales de nuestro planeta Tierra. Y que para distinguir estas horas variables en tiempo, pero no tanto en ritmo biológico, deberían señalarse con números romanos. Y que bastaría una somera indicación para aclarar que el reloj marca el llamado, no con mucha propiedad, "tiempo verdadero", o una referencia a una tabla donde figure la corrección a aplicar a efectos de que pueda comprobarse que el reloj solar no marca mal la hora, sino que marca otro tipo de horas.

Naturalmente esta opinión está sujeta a controversia. Esperamos numerosas cartas y emails explicando las considerables y evidentes ventajas que presenta un reloj solar que marque la hora legal, y tachando al Editor de poco innovador, inmovilista y poco sensible a las maravillas artísticas de los Monumentos Relojeriles actuales, llenos de expresividad gráfica y admirable conjunción de volúmenes y proporciones. O al contrario, alabando la sencillez de los antiguos trazados y diciendo que donde esté un reloj solar ecuatorial, que se quiten todos los otros relojes, pues, como decían los antiguos gnomonistas, el Ecuatorial tiene más "virtud".

EDITOR

□

ABSTRACTS

3. ORTHOMERIDIAN REFRACTION SUNDIALS. GENERAL METHOD OF CALCULUS

The design of refraction sundials has been considered as it were a "proficiency degree in dialing" by most of the top dialists, because the almost inextricable formulae found in the design of time lines. In this article, the well known gnomonist R. Soler Gayà, present us a general system of calculus in order to obtain the appropriate equations that could be read, interpreted and designed by a computer. Because the length and "density" of the article, we will publish it in two successive issues of "Analema", 38 and 39.

8. ON GENERALIZED HOUR-PLANES SUNDIALS

A. Pérez Serrada exposes in this article that it is not enough known that for any straight line in space there is an hour when its shadow falls on the same place for all the days of the year. This idea can be fruitfully applied to design a great variety of gnomonical display and can be generalized as well to other kind of hours (italian, babilonian or sidereal). The development of these dials goes back again to the basic concepts of gnomonics and spherical trigonometry.

12. GNOMO.-TURIST MEETING AT MURCIA (Spain)

A.J. Cañones sent us a little chronicle of this Gnomonic Encounter, organised by L. López Asensio and himself the days 3, 4 and 5 of May 2003. This is the second encounter of gnomonists in Spain, the first was celebrated at Majorca (Balearic Islands) in April 1999. Follow a brief extract of his chronicle:

-The first day we visited the "Museo de la Ciencia y del Agua", where a very interesting exposition of dials was previously set up by A.Majó, J.Salichs., A. Clará and others gnomonists of the group. An amiable dinner, (also plenty of horror-tales about dials and dialling activities) closed the day.

-The morning of the second day was usefully wasted seeing almost all dials of Murcia-city --a five hours walk-- .At noon (solar time, of course) a typical Murcian lunch was served. (we ate even "papañotes", fried lemon leaves with a sweet coating). Afterward, in order to ease the digestion of such tasty aliments, we visited an old Moresque artefact: the Noria, a huge water-wheel and some more dials; and in the evening the city of Pliego, where lies the oldest dial yet found in the Murcian Community. This dial was used to establish, jointly with a very complicated set of rules and prescriptions, the turn and time when each "huertano" could irrigate his land.

-The third day begins with an early visit to some beautiful dials made by our hosts, afterwards a short bus trip carried on the merry retinue of gnomonists to the "Campo de Cartagena", with more dials, old or not so old, to see. and in due solar time we have a seafood lunch at Cabo de Palos. The day ended with a last visit to Cartagena, the ancient Phoenician Carthago-Nova, and finally we came back to the Hotel, for a well earned resting night.

Most of the 26 assistants to the meeting came from the Catalanian Provinces, Madrid and the Central provinces, also from Malaga, Grenade, Majorca, Others lived at Murcia evidently, and even a young lady travelled from Mexico.

Summing up: a very pleasant, dialistic, turistic, and also gastronomic meeting. "*Ad Majorem Gloria Gnomonica*"

15. SOLAR COMPASSES. A NEW CONCEPT. A NEW DESIGN

JL.Hidalgo remind us of the solar compass used in 1942 by American troops in Africa in the II World War, in spite of the advanced technology already existing. He notes that the first practical sun- compass was based in the 1701 Parent quadrant developed by Bagnol in 1929 and was used in the Lybian desert.

An specimen of the compasses used in 1942 by the Allied forces stands in the Alcázar Museum, at Toledo. The author describes minutely such device, quoting some notes of Col. Velilla Moros, and proposes the construction of a new instrument based in the Foster Dial, with evident advantages of design (no ellipses, are need in his design but a graduated circle, universality of latitude and a more easy working operation).

21. NOTES AND COMMENTS

--1. El "Centre Excursionista de Banyoles" and the solar rays. --2- Some comments on the preceding note. --3. A short course about Cosmography. and Gnomonic, for children. --4. New images in our Web. --5. Notices about the Association web page

23. CORRIGENDA TO AN ARTICLE PUBLISHED IN ANALEMA 32

In the issue 32 of "Analema" an article of R. Soler about Bifilar Sundials was published. The author has found some minor errors that are conveniently rectified in this Bulletin 38.

En este artículo R. Soler Gayá expone un original sistema de cálculo para el diseño de relojes de refracción. Creemos que es la primera vez que se presenta un método de cálculo sistemático y general, que permite determinar las líneas y parámetros que definen el trazado de este tipo de relojes, no muy conocido y del que existe un escaso número de ejemplares. Lamentamos que la extensión y profundidad del tema nos haya obligado a publicarlo en dos números sucesivos del Boletín "Analema". ML

MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE CUADRANTES DE REFRACCIÓN ORTOMERIDIANOS (I)

RAFAEL SOLER GAYÁ

- Consideraciones previas.-

Los cuadrantes de refracción, contruidos en vidrio o en metacrilato, constituyen excelentes soluciones de portátiles al eliminar físicamente, de facto, el gnomon de los tradicionales que siempre complica su transporte; por otra parte resultan muy curiosos para la generalidad de sus observadores y se prestan a servir como objeto de regalo de entidades o instituciones.

El autor del presente trabajo ha diseñado varios: dos de caras horizontales, uno de caras verticales y dos de caras vertical-oblicua (ver ANALEMA nº 33. Septiembre-Diciembre de 2001). En todos estos tipos se halló la fórmula propia de cada caso particular; ahora se trata de un método general aplicable a cualquier caso -siempre que el cuadrante sea ortomeridiano- y tanto si la superficie del cuadrante se encuentra matizada o no; en el primer caso no ha lugar a comprobar si se produce reflexión total en la segunda incidencia de la luz solar dentro de la pieza (el prisma podría devenir catadióptrico lo cual no permitiría sin matizado materializar la sombra del punto proyectado del gnomon virtual al producirse su reflexión) por cuanto la rugosidad del matizado "rompe" el plano de la cara del cuadrante y permite apreciar la incidencia; en el segundo caso si es preciso comprobar la producción de tal reflexión eliminando los puntos en que ocurra pues, aún cuando pudieran dibujarse en el papel las líneas de declinación y horarias no se apreciaría en su campo el punto refractado.

El dibujo del cuadrante es directo sobre la pieza en los casos de matizado (serigrafía) mientras que en los casos de caras pulidas se ha impreso sobre papel adherido luego a la cara. Salvo en el caso de caras paralelas en que nunca se producen reflexiones totales -y por ello puede disponerse siempre la solución de caras pulidas- a poco que se produzca un ángulo entre ambas caras aparecen puntos de reflexión total en partes del cuadrante. Puede concluirse, pues, que la solución de cuadrante en cara pulida exigirá en la práctica cara paralela a la de incidencia exterior mientras que el cuadrante en cara matizada podrá adoptarse cualesquiera sean los ángulos de las caras.

- Deducción de las fórmulas generales.-

Como bien puede intuirse desde ya el cálculo de este tipo de cuadrantes -en definitiva la formulación de expresiones que definan las coordenadas cartesianas de las líneas horarias y de declinación- realizado personalmente sería tan enojoso que devendría en impracticable; por ello, admitiendo desde el principio la procedencia del cálculo mecanizado, se han dispuesto una serie de cálculos parciales, secuencialmente ordenados, que permitan su tratamiento en ordenador (en lenguaje Pascal); las fórmulas de Gnomónica aplicadas y la simbología son las contenidas en el libro del autor "Diseño y Construcción de Relojes de Sol y de Luna"; se exceptúan aquellos parámetros o valores angulares o lineales no específicamente tratados en el libro que son objeto de definición y notación particular. Las citas de páginas se refieren a este libro.

- Explicación de la figura 1 y objeto pretendido.-

Sea (ver figura 1) ODEF el plano de la cara sobre la que se encuentra el punto o cruz que materializa el gnomon y O el punto donde se encuentra este punto en el que incide el rayo solar OA; este plano forma con el horizontal ODGH el ángulo FOH que se denominará α_1 . En el punto O se consideran las rectas OB perpendicular al plano ODEF, OC que es la vertical y OA que corresponde al rayo solar; en consecuencia el ángulo formado por los planos OCB y OCA es el azimut β , cuya expresión se encuentra en la página 41, el ángulo COA es el complementario de la altura solar α , cuya expresión se encuentra en la página 218, y el ángulo BOA es el de incidencia sobre la cara pulida de la pieza.

En el interior de la pieza OB se prolonga en OB' sin refractarse; OC, línea de referencia, se prolonga en OC' y OA se refracta en OP. Los puntos B', C' y P están situados en un plano horizontal C'KLM situado convencionalmente a una distancia OC' unidad de O sobre la vertical CC'. Antes de considerar el plano inclinado CTJV que contiene el cuadrante, siendo J el punto cuyas coordenadas referidos a los ejes C'T (eje X) y C'V (eje Y) interesan en definitiva, se calcularán las coordenadas del punto P para lo cual se seguirán los siguientes pasos.

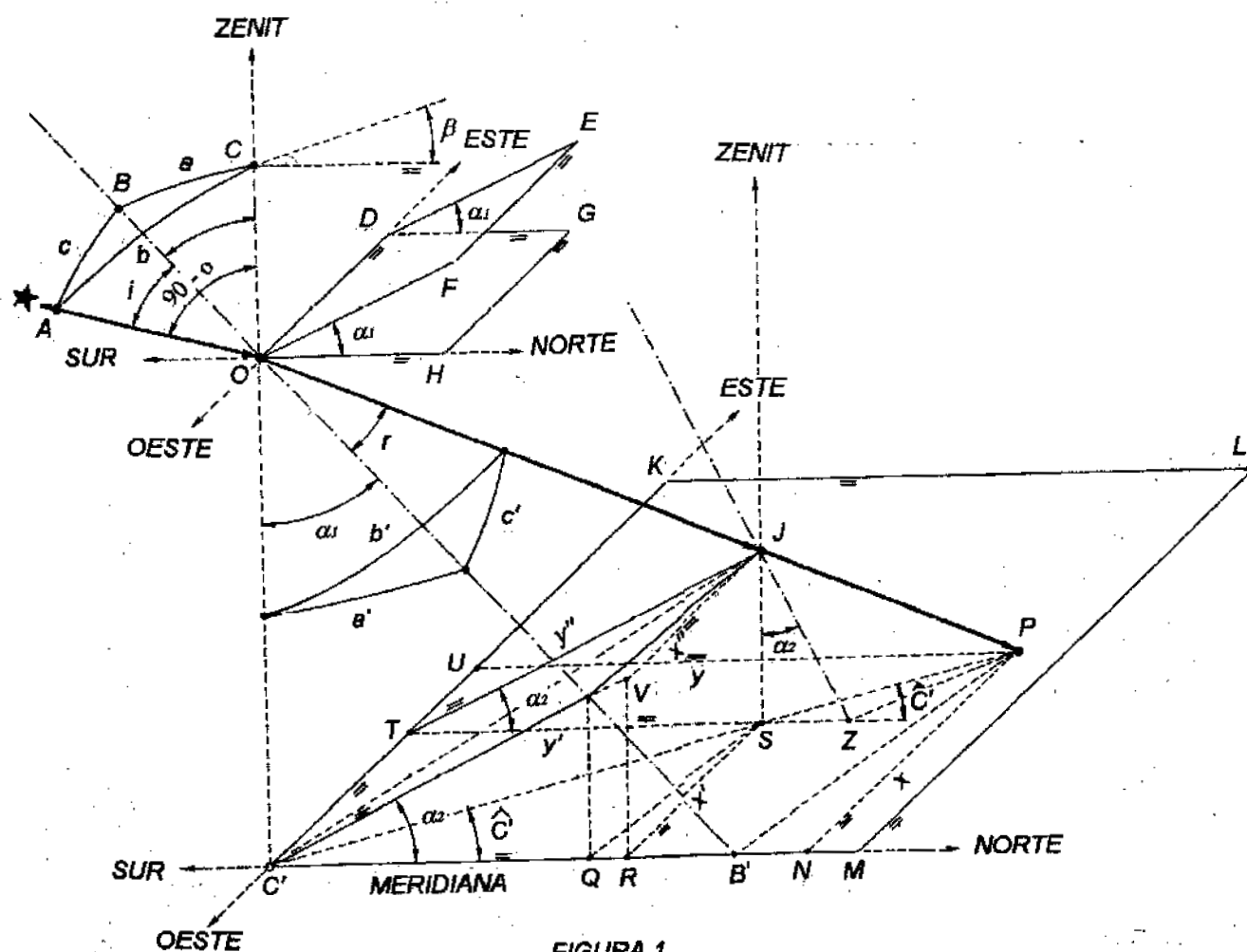


FIGURA 1

- Determinación del ángulo $\hat{B}$ entre planos meridiano y de incidencia.-

En el triángulo esférico definido por las rectas OA, OB y OC son conocidos el ángulo en B igual al azimut β , el lado b complementario de la altura solar o y el lado a igual al de inclinación α_1 del plano ODEF; aplicando la pertinente fórmula de resolución del triángulo resulta pues:

$$\hat{A} + \hat{B} = 2 \arctg \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}}{2} \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}} \right] \quad \hat{A} - \hat{B} = 2 \arctg \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}}{2} \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{a+b}{2}} \right]$$

y como OB es perpendicular al plano ODGH, que es ortomeridiano, estará en el plano meridiano OCB; por otra parte siendo vertical el plano OAC el ángulo formado por ambos planos en C será igual al azimut β ; se tiene así pues, teniendo en cuenta que $b = \hat{AOC} = 90^\circ - o$ y sustituyendo, que:

$$\hat{B} = \arctg \left[\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \frac{\cos \frac{\alpha_1 + o - 90}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 - o - 90}{2}} \right] - \arctg \left[\operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \frac{\sin \frac{\alpha_1 + o - 90}{2}}{\sin \frac{\alpha_1 - o - 90}{2}} \right] \quad (1)$$

- Determinación de los ángulos i y r de incidencia y de refracción.-

El ángulo $B'OP$ que forma el rayo refractado con la normal BB' al plano ODEF en O resulta de las leyes de refracción con el índice n del material de la pieza respecto al aire; en el triángulo esférico ya tratado ABC se cumple:

$$\frac{\sin b}{\sin \hat{B}} = \frac{\sin c}{\sin \hat{C}} \quad \text{y como:} \quad b = i, \quad c = 90^\circ - o$$

$$i = \arcsen \left[\sen \beta \frac{\cos o}{\sen B} \right] \quad (2)$$

$$c' = r = \arcsen \left[\frac{\sen i}{n} \right] \quad (3)$$

donde $n = 1,49$ si es metacrilato y $n = 1,53$ si se trata de vidrio (tipo Saint Gobain).

- Determinación del ángulo C' del plano vertical del rayo refractado con el del meridiano.-

Se pasa ahora a calcular el ángulo PCB' formado por el plano vertical que pasa por el rayo refractado OP y el plano meridiano OCB' ; en el triángulo esférico definido por las rectas OC , OB' y OP se conoce el lado $a' = \alpha_1$, el lado $c' = r$ y el ángulo formado en el vértice de OB' donde $\hat{B}' = \hat{B}$ por cuanto, en virtud de las leyes de la refracción los planos OBC y $OB'C$ son coincidentes y los OAB y OPB' también al ser BB' la normal al plano $ODGH$. Aplicando las fórmulas de resolución de este triángulo esférico -que es el mismo caso del anterior- se puede conocer el ángulo en $\hat{C}' = PC'B'$:

$$\hat{C}' = \arctg \left[\ctg \frac{\hat{B}'}{2} \frac{\cos \frac{a'-c'}{2}}{\cos \frac{a'+c'}{2}} \right] - \arctg \left[\ctg \frac{\hat{B}'}{2} \frac{\sen \frac{a'-c'}{2}}{\sen \frac{a'+c'}{2}} \right] \quad \text{o sea:}$$

$$\hat{C}' = \arctg \left[\ctg \frac{\hat{B}}{2} \frac{\cos \frac{\alpha_1 - r}{2}}{\cos \frac{\alpha_1 + r}{2}} \right] - \arctg \left[\ctg \frac{\hat{B}}{2} \frac{\sen \frac{\alpha_1 - r}{2}}{\sen \frac{\alpha_1 + r}{2}} \right] \quad (4)$$

- Determinación del ángulo b' del rayo refractado con la vertical.-

Conocido $\hat{C}'$ en el mismo triángulo resulta:

$$\frac{\sen b'}{\sen \hat{B}'} = \frac{\sen c'}{\sen \hat{C}'} \quad b' = \arcsen \left[\sen \hat{B}' \frac{\sen r}{\sen \hat{C}'} \right]$$

$$\text{o sea, con } \hat{B} = \hat{B}' : \quad b' = \arcsen \left[\sen \hat{B} \frac{\sen i}{\sen \hat{C}'} \right] \quad (5)$$

- Determinación de las coordenadas x e y del punto de sombra sobre el plano horizontal.-

Podrán conocerse así las coordenadas de P sobre un plano horizontal $C'KLM$, donde $C'M$ es la meridiana, distante la unidad OC' del punto O , como eje de ordenadas y la línea $C'K$, perpendicular a esta por C' , como eje de abscisas:

$$x = \overline{UC'} = \overline{C'P} \cos \hat{UC}'P \quad y = \overline{NC'} = \overline{C'P} \cos \hat{PC}'N \quad \text{o sea:}$$

$$x = \tg b' \sen \hat{C}' \quad y = \tg b' \cos \hat{C}' \quad (6)$$

- Determinación de las coordenadas x'' e y'' del punto de sombra sobre el plano del cuadrante (inclinado).-

Pero lo que realmente interesa son las coordenadas del punto J , intersección del rayo refractado OP con el plano $CTJV$ inclinado el ángulo $\hat{VC}'_R = \alpha_2$ sobre el horizontal pasando por el eje de abscisas $C'K$; para calcularlos se considera el triángulo $C'JP$ en el que son conocidos el ángulo en P complementario de b' y el ángulo en C' deducible de α_2 y C' pues siendo S la proyección de J sobre el plano $C'KLM$:

$$\tg \hat{JC}'S = \frac{\overline{JS}}{\overline{C'S}} = \frac{\overline{VR} \cos \hat{C}'}{\overline{C'R}} = \tg \alpha_2 \cos \hat{C}' \quad (7)$$

Ello permite hallar la relación de $\overline{C'S}$ a $\overline{C'P}$ y así la de las coordenadas de $S (x',y')$ sobre el plano horizontal con las de $P (x,y)$:

$$\overline{JS} = \overline{C'S} \tg \hat{JC}'S \quad \overline{JS} = \overline{SP} \ctg b'$$

$$\overline{C'S} + \overline{SP} = \overline{C'P}$$

$$\overline{JS} (\operatorname{ctg} \hat{J}\hat{C}'S + \operatorname{tg} b') = \overline{C'P}$$

$$\frac{\overline{C'S}}{\overline{C'P}} = 1 - \frac{\overline{SP}}{\overline{C'P}} = 1 - \frac{\operatorname{tg} b'}{\operatorname{ctg} \hat{J}\hat{C}'S + \operatorname{tg} b'} \quad \text{o sea:}$$

$$\frac{\overline{C'S}}{\overline{C'P}} = 1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'} \quad (8) \quad x' = \frac{\overline{C'S}}{\overline{C'P}} x \quad y' = \frac{\overline{C'S}}{\overline{C'P}} y \quad (9)$$

y si (x'', y'') son las coordenadas de J sobre el plano inclinado $C'TJV$ con el mismo eje de abscisas CK anterior y el de ordenadas $C'V$ intersección del plano meridiano $OC'M$ con el inclinado $C'TJV$, se tendrá:

$$x'' = x' \quad y'' = \frac{y'}{\cos \alpha_2} \quad \text{y en suma:}$$

$$\left. \begin{aligned} x'' &= \operatorname{tg} b' \operatorname{sen} \hat{C}' \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'} \right) \\ y'' &= \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}' \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'}{1 + \operatorname{tg} \alpha_2 \operatorname{tg} b' \cos \hat{C}'} \right) / \cos \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

que nos permite resolver la cuestión planteada con el cálculo secuencial de las diferentes expresiones de (1) a (10), en el orden expuesto, para la serie de líneas de declinación elegidas (líneas α) y de líneas horarias adoptadas (líneas ϵ).

- Determinación de las pérdidas de puntos por reflexión.-

Si se adopta cara sin matizar en el cuadrante y los ángulos α_1 y α_2 no son iguales hay que comprobar si los puntos que se pierden por reflexión total -un gran número a poco que diverjan α_1 y α_2 - son aceptables; para ello se calculará el ángulo de incidencia del rayo refractado sobre la cara del cuadrante por si supera al límite, en cuyo caso la pieza actúa como un catadioptrio.

Sea JZ la normal en J al plano del cuadrante $C'TJV$ que se hallará en el plano TJS de tal suerte que su punto de intersección Z con el plano horizontal $CKLM$ estará alineado con TS ; en el triángulo esférico definido por las rectas JS , JZ y JP son conocidos:

$$\text{ángulo de planos} \quad JSZ \text{ y } JSP: \quad \hat{ZSP} = \hat{C}'$$

$$\text{lado de } SZ: \quad \hat{SJZ} = \alpha_2$$

$$\text{lado de } SP: \quad \hat{SJP} = b'$$

luego se puede conocer el ángulo $\hat{ZJP}$ que forma el rayo refractado OJ con la normal JZ al plano del cuadrante $C'TJV$; aplicando nuevamente la misma fórmula de resolución:

$$\begin{aligned} \hat{Z} + \hat{P} &= \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}'}{2} \frac{\cos \frac{b' - \alpha_2}{2}}{\cos \frac{b' + \alpha_2}{2}} \right] & \hat{Z} - \hat{P} &= \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}'}{2} \frac{\operatorname{sen} \frac{b' - \alpha_2}{2}}{\operatorname{sen} \frac{b' + \alpha_2}{2}} \right] \\ \hat{P} &= \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}'}{2} \frac{\cos \frac{b' - \alpha_2}{2}}{\cos \frac{b' + \alpha_2}{2}} \right] - \operatorname{arctg} \left[\operatorname{ctg} \frac{\hat{C}'}{2} \frac{\operatorname{sen} \frac{b' - \alpha_2}{2}}{\operatorname{sen} \frac{b' + \alpha_2}{2}} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

y si $i' = \hat{ZJP}$, en el mismo triángulo esférico se tiene:

$$\frac{\operatorname{sen} \alpha_2}{\operatorname{sen} \hat{P}} = \frac{\operatorname{sen} i'}{\operatorname{sen} \hat{C}'} \quad \operatorname{sen} i' = \frac{\operatorname{sen} \hat{C}'}{\operatorname{sen} \hat{P}} \operatorname{sen} \alpha_2$$

debiendo ser i' inferior al ángulo de reflexión total; por ello, según el material, en cara pulida el límite será:

$$\text{vidrio:} \quad n = 1,53 \quad \text{sen } i' < \frac{1}{1,53} = 0,6356$$

$$\text{metacrílico:} \quad n = 1,49 \quad \text{sen } i' < \frac{1}{1,49} = 0,6711$$

$$\text{agua:} \quad n = 1,33 \quad \text{sen } i' < \frac{1}{1,33} = 0,7519$$

- Eliminación de horas diurnas sin iluminación de la cara.-

Sólo en los cuadrantes cuya cara receptora del Sol sea horizontal ($\alpha_1 = 0^\circ$) se podrán obtener las líneas horarias de todo el día; al igual que sucede con los cuadrantes ordinarios conviene no introducir en los cálculos las horas en que el Sol se halla bajo el plano de dicha cara al objeto de no producir líneas ficticias que, además se entrecruzan con las de interés a excepción de los cuadrantes "polares" con $\alpha_1 = \varphi$ en que se superponen.

Para determinar esta limitación, obviamente función del ángulo α_1 , se calculará la altura solar en el momento en que el Sol se encuentra sobre el plano de la cara receptora. Sea (figura 2) O el punto en que incide el rayo solar OB, ACOD el plano horizontal, ABC el ángulo α_1 del plano de la cara receptora BCDF con el horizontal, OG la meridiana, OA la proyección del rayo solar OB sobre el plano horizontal y GOA el azimut β del sol en este instante.

En el triángulo esférico definido por las líneas OA, OB y OC, rectángulo en la OA se tiene:

$$\text{tg } \widehat{BOA} = \text{sen } \widehat{AOC} \text{ tg } \widehat{C} = -\cos \beta \text{ tg } \alpha_1$$

y como el ángulo $\square$ de altura solar habrá de ser superior al BOA para que se ilumine la cara deberán eliminarse los puntos de las líneas horarias en los cuales:

$$\text{tg } o < -\cos \beta \text{ tg } \alpha_1 \quad (12)$$

con las fórmulas de altura solar y azimut que se exponen en las pág. 41 y 218 respectivamente, o bien las tablas de la página 219.

- Eliminación de las horas nocturnas.-

Al igual que en los cuadrantes ordinarios se produce otra limitación de las líneas horarias y de declinación durante el tiempo comprendido entre ocasos y ortos, que es función de la latitud φ y declinación solar α ; para tenerla en cuenta hay que establecer para cada línea α la hora ε en que debe finalizar la línea calculada; para ello se aplica la siguiente fórmula (altura solar nula) para determinar el ángulo μ (pág. 47), suplementario del horario ε de ortos y ocasos, resultando así para cada α

$$\cos \varepsilon = -\text{tg } \alpha \text{ tg } \varphi \quad (13)$$

Si se adoptan, como de ordinario, los meses zodiacales la hora límite de cada línea ε se corresponderá con:

$$\alpha = \pm 23,45^\circ; \quad \pm 20,17^\circ; \quad \pm 11,33 \quad (14)$$

R. SOLER GAYÁ
Junio 2003

ESTE ARTÍCULO CONTINUARÁ EN EL PRÓXIMO NÚMERO DE "ANALEMA" CON UN EPÍGRAFE DEDICADO A LAS APLICACIONES DEL MÉTODO, QUE CONTENDRÁ 16 FIGURAS DE RELOJES REALIZADOS MEDIANTE UN PROGRAMA DE CÁLCULO EN LENGUAJE PASCAL, Y DOS FOTOGRAFÍAS DE RELOJES YA REALIZADOS.

RELOJES DE PLANOS HORARIOS GENERALIZADOS

ANSELMO PÉREZ SERRADA

§ 1. Introducción. Para un lugar cualquiera sobre la superficie de la Tierra se llaman *planos polares* a todos aquellos que sean paralelos al eje de rotación terrestre. Al representarlos en la esfera celeste todos los planos polares se cruzan en los polos celestes y son perpendiculares al plano ecuatorial; entonces se les llama *planos de hora solar* o, abreviadamente, *planos horarios* y los círculos que definen al intersecar la esfera celeste *círculos horarios*. El motivo de este nombre estriba en que es precisamente la posición del Sol en uno u otro de ellos lo que determina la hora solar H_0 . De esta manera, a cierta hora H_0 el sol estará siempre en el mismo círculo horario sea cual sea la fecha del año (esto es, la declinación solar).

De igual modo, al cortar el haz de planos horarios con el plano de un cuadrante solar se obtiene un haz de rectas, llamadas líneas horarias, que sirven para determinar la hora solar local. Concretamente, para un lugar sobre la superficie terrestre el haz de planos horarios se despliega en torno al eje polar (ver figura 1) y su intersección con el suelo define las líneas de horas solares locales de un reloj de sol horizontal.

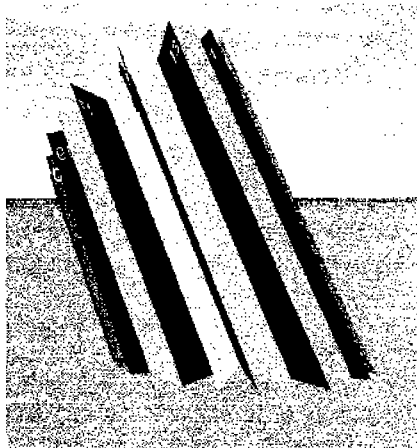


Fig 1. Haz de planos horarios. La proyección de cualquier objeto contenido en ellos marca la correspondiente hora solar local.

Aunque estos son conceptos elementales en gnomónica, sólo recientemente se ha comenzado a explorar sus posibilidades (ver [VOM99]).

§ 2. Proyección sobre un plano. Los relojes que vamos a describir aprovechan una propiedad básica de la proyección ortogonal:

« Cuando el Sol atraviesa un plano cualquiera, la sombra de dicho plano sobre otro coincide con la recta intersección de ambos (traza). En particular, la sombra de cualquier línea o figura contenida en el primer plano se proyectará sobre un segmento de la traza »

De esta manera si Q es un plano arbitrario con el que se define el cuadrante de un reloj de sol y H_T el plano horario en que se encuentra el Sol en cierto instante T , entonces cualquier línea o conjunto de ellas contenidas en H_T se proyectarán sobre la línea horaria H'_T , intersección de H_T con Q . Si el tiempo se mide en hora solar local, eso ocurrirá siempre a la hora T en cualquier día del año.

§ 3. El reloj de estaca. Supongamos una estaca o mástil de longitud L perpendicular al suelo, que se supone horizontal y sea r la recta paralela al eje de la Tierra que pasa por el extremo superior de la estaca. Dicha recta corta al plano suelo en un punto P que se halla a una distancia $L/\tan(\phi)$ al sur del pie de la estaca.

Si se considera el haz de planos horarios definidos por r , su intersección con el plano del suelo define, por construcción, las líneas de horas solares locales para un cuadrante horizontal. En virtud de la

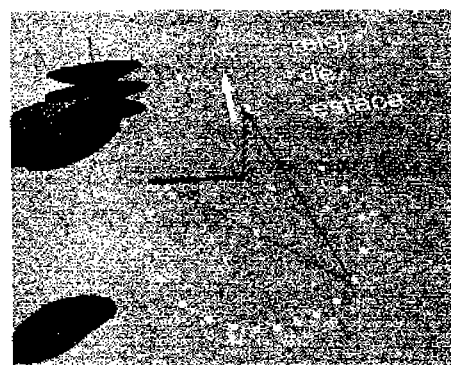


Fig 2. Reloj de estaca marcando las 8 h. A su lado hay dos relojes cónicos que muestran horas sidéreas e itálicas.

propiedad anterior, si se tiende una cuerda desde el extremo de la estaca hasta un punto cualquiera de la línea H'_T , cuando el sol cruce el plano H_T (esto es, a la hora solar T) la sombra de la cuerda coincidirá con la línea H'_T . Así pues, para averiguar la hora solar local se podría ir moviendo la cuerda por cada línea horaria H'_T hasta que su sombra coincidiera con una de ellas.

No obstante, como todas las líneas horarias se cruzan en el punto P no es necesario dibujarlas completas sino que basta con marcar un punto o un segmento cualquiera de cada una de ellas, preferiblemente en su prolongación meridional: cuando al situar la cuerda sobre el punto correspondiente a H' su sombra pase por P entonces será la hora H (figura 2).

§ 4. Relojes de planos horarios. Aprovechando las propiedades de los planos horarios se puede diseñar una gran variedad de relojes de sol que genéricamente se denominan *relojes de planos horarios*. Algunos de ellos se pueden ver en [VOM99]

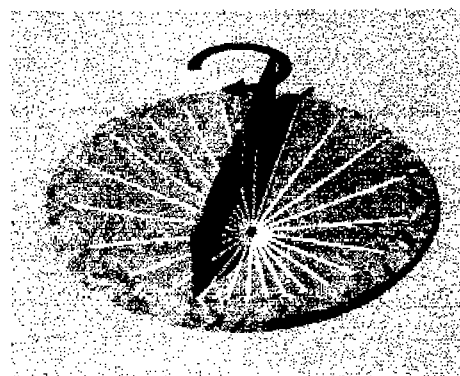


Fig 3. Reloj de gnomon giratorio marcando las 14 horas

El reloj de gnomon giratorio que se muestra en la figura 3 es otro ejemplo de las posibilidades que ofrece

la idea y sirve además como introducción para el siguiente tipo de relojes de sol.

§ 5. Relojes de placas. Un *reloj de placas* (*block sundial* en [VOM99]) consiste en un conjunto de placas rectangulares de grosor arbitrario clavadas verticalmente en el suelo con distintas orientaciones. Al pie de cada placa se ha trazado una línea paralela a su borde inferior que indica cierta hora cuando la sombra del borde superior de la placa se superpone con ella.



Fig 4. En un reloj de placas los bordes superiores de los gnomones marcan las horas sobre las líneas en el suelo

Efectivamente, para una placa cualquiera con declinación gnomónica D existe una hora H en que la longitud d de su sombra es la misma en cualquier día del año. Esa hora es la asociada al plano horario que pasa por el borde superior de la placa y, como se demostrará más adelante, viene dada por:

$$\cotg(H) = -\sin(\phi) \cdot \tan(D) \quad [1]$$

Además, puede comprobarse también que la inclinación de tal plano se puede calcular a través de:

$$\tan(i) = \tan(\phi) / \cos(D) \quad [2]$$

de manera que la longitud de la sombra a esa hora resulta ser

$$d = L / \tan(i) = \cos(D) / \tan(\phi) \quad [3]$$

cualquiera que sea el día del año.

De esta manera si se traza finalmente una línea paralela a la base de la placa a una distancia d , cada vez que la sombra de la placa alcance dicha línea será la hora H . Por construcción esa línea es paralela a la línea H' que marca la hora H de un reloj horizontal emplazado en el mismo lugar (figura 4).

§ 6. Ejemplo. En un lugar de coordenadas $\phi = 42.483^\circ$ N y $\lambda = 3.384^\circ$ W (Castil de Peones, Burgos) se desea situar una placa de un metro de altura que marque en cualquier día del año las 9^h en hora solar local ($H = +135^\circ$). Según las fórmulas [1] y [2] la declinación deberá ser $D = -124.034^\circ$ y la inclinación del plano horario $i = 121.431^\circ$. La inclinación superior a 90° indica que se debe tomar la otra cara del plano, es decir, la que tiene $D = +55.966^\circ$ e $i = 58.569^\circ$. Así, de acuerdo con [3], la línea se trazará a una distancia $d = +61.1$ cm de su base.

§7. Implantación de relojes de placas. En la segunda parte de [VOM99] se muestran varios ejemplos de relojes de este tipo. Se hace notar que la robustez, flexibilidad y sencillez de su diseño los hace ideales para colocarlos en parques y espacios públicos: cada hora o fracción de ellas requiere solamente una arista horizontal (no tiene por qué pertenecer a una placa: serviría igual el borde de un banco, por ejemplo) y una línea trazada al pie de ella; mientras respete los valores de la orientación D y la distancia d , el diseñador tiene completa libertad para elegir el emplazamiento y la altura de las placas. El principal inconveniente de estos relojes estriba en la dificultad para interpolar las horas intermedias y en su imposibilidad para mostrar con sencillez la hora media.

El concepto de haz de planos horarios se puede generalizar con sencillez para otros tipos de horas como las itálico-babilónicas y las sidéreas. Para hacerlo conviene definir previamente unos conceptos muy simples.

§ 8. Vector normal y coordenadas de un plano. Para un plano Q se define su vector normal o vector característico q como un vector unitario que pasa por el origen y es perpendicular a dicho plano. Así cabe definir por extensión las *coordenadas de un plano* como las coordenadas de su correspondiente vector normal, ya estén expresadas en forma altacimutal, ecuatorial, eclíptica, etc (figura 5).

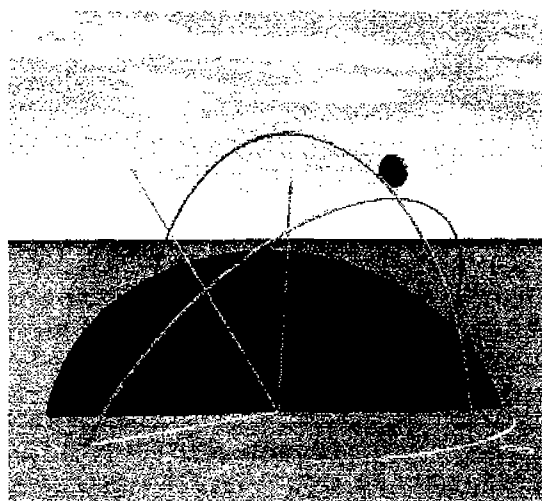


Fig 5. Representación sobre la esfera celeste del vector característico para un plano con $D = 40^\circ$ e $i = 35^\circ$

En particular las coordenadas ecuatoriales de un plano coinciden con sus coordenadas equivalentes, esto es, con la latitud y longitud del lugar donde es paralelo al horizonte.

§ 9. Coordenadas ecuatoriales y horizontales de los planos de horas solares locales. Partiendo de las definiciones anteriores es inmediato comprobar que las coordenadas ecuatoriales locales del plano de hora solar local H_0 vienen dadas por

$$\delta = 0^\circ \quad y \quad H = H_0 - 90^\circ \quad [4]$$

Las ecuaciones clásicas de cambio de coordenadas

$$\sin(h) = \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(H) \quad [5]$$

$$\tan(A) = \frac{\sin(H)}{\sin(\phi) \cos(H) \cos(\phi \tan(\delta))} \quad [6]$$

proporcionan fácilmente las coordenadas horizontales locales de dicho plano:

$$\sin(h_0) = \cos(\phi) \cdot \sin(H_0) \quad [7]$$

$$\tan(A_0) = \frac{-\cos(H_0)}{\sin(\phi) \cdot \sin(H_0)} \quad [8]$$

Ahora bien, conocidas las coordenadas horizontales de un plano es inmediato calcular su inclinación y declinación gnomónicas:

$$i_0 = 90^\circ - h_0 \quad D_0 = A_0$$

y, en definitiva, los parámetros primarios (inclinación y declinación gnomónica) del plano horario asociado a la hora H_0 valen:

$$\cos(i_0) = \cos(\phi) \cdot \sin(H_0) \quad [9]$$

$$\tan(D_0) = \frac{-\cos(H_0)}{\sin(\phi) \cdot \sin(H_0)} \quad [10]$$

Recordando que $\cos(\delta) \cdot \sin(H) = \sin(A) \cdot \cos(h)$ y realizando algunos desarrollos trigonométricos se puede demostrar que estas dos ecuaciones son equivalentes a las [1] y [2].

§ 10. Coordenadas ecuatoriales y horizontales de los planos de horas itálicas y sidéreas.

Con muy poco esfuerzo adicional se pueden calcular los parámetros primarios de los planos itálico-babilónicos y los sidéreos. Para ello el lector habrá de recordar que los planos itálico-babilónicos se obtienen rotando el plano del horizonte del lugar alrededor del eje polar y que los planos sidéreos rotando igualmente la eclíptica (véase [JVM91] y [FSA03]).

Teniendo eso en cuenta es fácil ver que el haz de planos itálico-babilónicos H_{IB} está caracterizado por

$$\delta = \phi \quad y \quad H = H_{IB} \quad [11]$$

(recuérdense las propiedades del cono circumpolar en [JMB96]) y que, análogamente, el haz de planos sidéreos H_S corresponde a (ver [JMB98])

$$\delta = \epsilon \quad y \quad H = H_S - 90^\circ \quad [12]$$

siendo ϵ la inclinación de la eclíptica sobre el ecuador (aprox. 23.44°).

Comenzando por los planos itálico-babilónicos, sus coordenadas horizontales son:

$$\cos(i_{IB}) = \sin(h_{IB}) = 1 - \cos^2(\phi) \cdot [1 - \cos(H_{IB})] \quad [13]$$

$$\tan(D_{IB}) = \tan(A_{IB}) = \frac{1}{-\sin(\phi) \cdot \tan(\frac{1}{2}H_{IB})} \quad [14]$$

En cuanto a los planos sidéreos no cabe hacer simplificaciones, obteniéndose directamente:

$$\cos(i_S) = \sin(h_S) = \sin(\phi) \cdot \sin(\epsilon) + \cos(\phi) \cdot \cos(\epsilon) \cdot \sin(H_S) \quad [15]$$

$$\tan(D_S) = \tan(A_S) = \frac{\cos(H)}{\sin(\phi \cdot \sin(H) - \cos(\phi) \cdot \tan(\epsilon))} \quad [16]$$

§11. Sobre la inclinación de los planos itálico-babilónicos Realizando unos cuantos desarrollos trigonométricos o, mejor aún, replanteando la ecuación de los cosenos en el triángulo esférico Zenit-Polo-Vector normal:

$$\sin(\delta) = \cos(i) \cdot \sin(\phi) - \sin(i) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(D) \quad [17]$$

se puede expresar la inclinación de un plano itálico-babilónico en función de su declinación gnomónica así:

$$\tan\left(\frac{i_{IB}}{2}\right) = \frac{\sin(\phi)}{\cos(D_{IB}) \cdot \cos(\phi)} \quad [18]$$

Este es un resultado notable, puesto que si se recuerdan las expresiones de los parámetros primarios de los planos de horas locales se concluye que para una misma hora H su plano itálico-babilónico tiene doble inclinación y declinación que el correspondiente plano de horas locales.

§ 12. Construcción de relojes de placas con horas itálico-babilónicas o sidéreas. Conocidos los parámetros primarios de los planos de horas itálico-babilónicas o sidéreas y aplicando el principio de los planos horarios explicado en el párrafo §2 es muy fácil construir relojes de placas que marquen unas u otras horas: para cada hora H se le da la declinación indicada por las fórmulas [13] o [15] y a una distancia

$$d = L / \tan(i) \quad [19]$$

de su traza se marca la correspondiente línea horaria.

En el caso de las horas itálicas (o sea, desde el atardecer) conviene numerarlas en forma complementaria, esto es, restándolas de 24 pues así se indican las horas que quedan hasta la puesta del Sol, más fáciles de entender para los observadores ocasionales.

En cuanto al número de placas a utilizar, para latitudes medias no son necesarias más de catorce placas (desde $T_1 = 9^h$ hasta $T_1 = 24^h$), aunque sería suficiente con tomar desde $T_1 = 15^h$ hasta $T_1 = 23^h$.

Para las horas sidéreas tal vez fuera interesante poner sólo tres o cuatro placas, una para cada una de las horas sidéreas de tránsito de las estrellas más brillantes (por ejemplo, Sirio pasa a las 6^h45^m sidéreas) e indicar al observador que si en ese momento mira hacia el Sur podrá ver la estrella aun siendo de día (!).

§ 13. Ejemplo. En la misma localidad del ejemplo anterior ($\phi = 42.483^\circ$ N y $\square = 3.384^\circ$ W) se desea situar otra placa de un metro de altura que indique que quedan cuatro horas ($T_1 = 20^h$, $H_1 = 300^\circ$) para la puesta del sol. Según la fórmula [13] su declinación deberá ser $D_1 = -111.302^\circ$ y según [14] la línea se debe colocar a una distancia $d = 106.2$ cm de su pie.

Naturalmente, la traza de la placa y la línea obtenida serán paralelas a la línea de las 20^h de un reloj de horas itálicas trazado en el lugar (vale igual un reloj de gnomon cónico como el descrito en [JMB96]).

§ 14. Ejercicio propuesto. Se invita al lector a que modifique el cuadrante del reloj de torno para que indique las horas itálicas. Ahora las sombras de la arista superior no deben pasar por un único punto sino ser tangentes a cierta curva llamada *cónica circumpolar*. La aplicación a un reloj de estaca es inmediata.

§ 15. Comentarios finales. La extensa fecundidad de los conceptos aquí expuestos permite obtener nuevos diseños prácticos y resultados teóricos sin gran esfuerzo. Valgan pues como propuestas o sugerencias los siguientes comentarios.

* Para las horas babilónicas (o sea, desde el amanecer) basta recordar que sus planos horarios coinciden con los de las correspondientes horas itálicas. Por eso una placa calculada para una hora itálica también marcará la misma hora babilónica: si la sombra cae hacia el Este la hora que indica es la babilónica, si es al Oeste la itálica. Algo parecido ocurre con las horas solares de mañana y tarde: la misma placa marca ambas, sólo hay que tener en cuenta de qué lado cae la sombra (al Este por la tarde, al Oeste por la mañana).

* El problema de calcular las longitudes mínimas de las líneas horarias no admite un tratamiento general. La opción más sencilla es, pues, sobredimensionarlas, aunque tampoco es difícil aprovechar la fuerza bruta de los instrumentos automáticos de cálculo y calcular la sombras solsticiales de cada una de las aristas a su correspondiente hora.

* Si se calcula la latitud equivalente de una pared y se hacen los cálculos con ese valor, las líneas que se obtengan marcarán las horas que faltan para que el sol se ponga (o salga) tras dicha pared.

* Nada impide agrupar dos o más placas en un prisma horario, siempre que no de lugar a que se confundan las respectivas líneas en el suelo.

* Se puede generalizar completamente la idea de los relojes de placas para cualquier arista no horizontal. Si el reloj es de horas solares basta con sustituir ϕ en [9] y [10] por la latitud equivalente de la arista. Para otros tipos de horas habrá que resolver un sencillo triángulo esférico, en el que se tendrá en cuenta que el vector normal de cualquier plano que la contenga (y en particular los planos horarios) tiene que ser perpendicular al vector director de dicha arista.

§ 16. Referencias. La idea fundamental de los relojes de planos horarios se describe con profusión de ejemplos en el artículo

[VOM99] *Shadow Plane Sundials*. Fer de Vries, Mac Oglesby y William S. Maddux. *The Compendium*, vol. 6 nr. 3 y 4 (1999).

Las propiedades de los círculos de horas itálico-babilónicas y sidéreas así como otros conceptos relacionados se describen con claridad en

[JVM91] *Horas babilónicas e itálicas*. J. Velilla Moros. *Analema*, núm. 2 (1991).

[JMB96] *Un nuevo reloj de horas itálicas y babilónicas con gnomon cónico*. J. Moreno Bores. *Analema*, núm. 19 (1996) & *The Compendium*, vol 5 nr 2 (1998).

[JMB98] *Relojes de tiempo sidéreo con gnomon cónico*. J. Moreno Bores. *Analema*, núm. 23 (1998).

Finalmente, el artículo

[FSA03] *Le linee orarie italiche con lo gnomone conico*. Fabio Savian. *Gnomonica Italiana*, núm. 4 (2003).

trata algunas ideas afines a las que se describen en el presente artículo. Aunque el enfoque conceptual es diferente y menos general, las bellísimas ilustraciones son realmente inmejorables.

§ 17. Convenio de símbolos. En este artículo se ha tomado el siguiente convenio de símbolos:

- δ Declinación de un punto sobre la esfera celeste. Se mide en grados desde el ecuador y en sentido positivo hacia el Norte.
- α Ascensión recta de un punto sobre la esfera celeste. Se mide en horas desde el Punto Vernal y en sentido positivo hacia el Este.
- H Ángulo horario de un punto sobre la esfera celeste. Se mide en horas desde un meridiano predeterminado y en sentido positivo hacia el Oeste.
- H' Ángulo tabular, esto es, proyección de un ángulo horario sobre un plano. Se mide en grados desde el lado Sur de la línea de mediodía en sentido SWNE.
- T Hora medida por un reloj mecánico o astronómico. Es necesario especificar el tipo de hora que se está midiendo y el lugar que se toma como referencia.
- ϕ Latitud de un lugar sobre la esfera terrestre. Se mide en grados desde el ecuador y en sentido positivo hacia el Norte.
- λ Longitud de un lugar sobre la esfera terrestre. Se mide en grados desde el Primer Meridiano y en sentido positivo hacia el Oeste.
- h Elevación de un punto en la esfera celeste. Se mide en grados desde el plano del horizonte y en sentido positivo hacia el cenit.
- A Acimut (meridional) de un punto en la esfera celeste. Se mide en grados desde el Sur de la línea meridiana y en sentido SWNE.
- ε Inclinación del eje de la Tierra sobre el plano de su órbita. Actualmente vale alrededor de 23.44° .
- D Declinación gnomónica de un plano sobre el horizonte. Se mide en grados desde el Sur de la línea meridiana en sentido SWNE.
- i Inclinación gnomónica de un plano sobre el horizonte. Se mide en grados desde el plano horizontal hasta el envés del plano.



Anselmo. Pérez Serrada
Abril 2003



En la Ciudad de Murcia se ha celebrado con considerable éxito el II Encuentro Gnomónico, organizado por los gnomonistas de la región, y muy especialmente por Antonio Cañones y Lorenzo López. La variedad de los recorridos efectuados y ejemplares de relojes examinados, la admirable exposición de relojes organizada en el Museo de la Ciencia y el Agua, la excelente organización de las excursiones y la calidad humana de los gnomonistas asistentes nos permiten calificar el resultado de la Reunión como EXCELENTE.ML

REUNIÓN GNOMÓNICO-TURÍSTICA EN MURCIA

A.J. CAÑONES

Día 1 de mayo

Y llegó el tan esperado día en que la ciudad de Murcia se convirtió en capital nacional de la gnomónica gracias a la presencia de catalanes, madrileños, mallorquines, andaluces, valencianos, navarros, castellanos, murcianos y una bella y experta representante de México que dió carácter Internacional al evento. Los primeros encuentros y presentaciones se produjeron en el Hotel Casa Emilio donde cada uno había ya comprobado su reserva, subido a la habitación e instalado

El hall del Hotel estaba a rebosar. Todos eufóricos. Besos, abrazos, apretones de manos por todos lados. Alegres porque comenzaba un fin de semana dedicado por completo nuestra afición favorita, LA GNOMÓNICA. Sobre las 17 horas nos fuimos hacia el Museo de la Ciencia y el Agua, a escasos 500 m del Hotel, donde pudimos contemplar la estupenda Exposición montada por nuestros amigos Andreu Majó, Jaume Salichs y Francesc Clará

Después pasamos al salón de conferencias donde D^a. Maribel Parra, la Directora del Museo, nos dirigió unas cariñosas palabras de bienvenida y luego fuimos subiendo al estrado de uno en uno para conocernos y recoger una carpeta con unos primeros obsequios consistentes en varios



Relojes de Sol recortables y un ejemplar impreso de la revista digital sobre gnomónica "CARPE DIEM"

Seguidamente procedimos a la proyección de unas

140 diapositivas de algunos de los Relojes de Sol de la Región de Murcia, varios de los cuales íbamos a visitar durante esos días.

Martha Vilegas, la representante mexicana, también hizo una breve e interesante proyección comentada de



fotografías de los ejemplares localizados por ella en su extenso país, como el que figura la foto de la izquierda

Salimos a las afueras del Museo, para visitar

los dos relojes Ecuatoriales y el horizontal Analemático que hay en la Plaza de la Ciencia donde comenzó una interesante polémica sobre la lemniscata de corrección horaria de este tipo de relojes.

Terminamos los "actos oficiales" en un restaurante cercano donde al final de la cena se entregaron otros obsequios facilitados por el Ayuntamiento de la Ciudad.

Día 2 de mayo

Con puntualidad prusiana nos encaminamos a las 9'30 h. hacia el Instituto de El Carmen a visitar un Reloj Vertical muy declinante a Levante, le siguió un Ecuatorial Armilar en la Glorieta del Ayuntamiento y el Vertical de la torre de la Catedral que apenas era visible por las obras.

Este fue el lugar elegido para hacer la primera foto del grupo.



Continuando camino por la calle Trapería, entramos a visitar las bellas instalaciones del Casino que también cuenta con un espléndido salón de baile en el que algunos no pudieron reprimir sus impulsos y se lanzaron a dar frenéticas vueltas al son de un Vals

Una vez las aguas en su cauce llegamos al Jardín de la Pólvora donde está el conjunto Polar-Ecuatorial



obra de Lorenzo López. Desde allí y ya en autocar visitamos el Analemático del Colegio de Santa M^a de Gracia, el Vertical de 1832 de la Ermita Puche, el Vertical restaurado por nosotros en 2001 de la Iglesia N^a. Sra. de la Antigua en Mon-

teagudo y los dos verticales de la Avenida Almirante Loaysa.

Tras cinco horas viendo Relojes recalamos en la Peña Huertana "La Tinaja" donde dimos buena cuenta de aperitivos, embutidos huertánicos, arroz con verduras, ensalada murciana, frutas al natural o en almíbar, café de puchero y "paparajotes" que son hojas de limonero cubiertas de masa dulce y fritas



Aquí se entregaron a todos recetas de los platos que íbamos a degustar durante los tres días, nuestra amiga mexicana nos obsequió con botellitas de tequila y botes de salsas picantes, y la Asociación de Amigos de los Relojes de Sol nos entregó un CD con la recopilación digital de todos los ejemplares de la revista "Analema" publicados hasta la fecha.

Bien descansados y con la tripita llena visitamos el Reloj Vertical de 1865 del Carril de los Alarcones y el Vertical de 1794 de La Albatalía. Allí cerca paramos a ver la Rueda de la Nora, antigua noria que todavía hoy se usa para elevar las aguas de una acequia hasta un acueducto para seguir repartiendo ese agua por los distintos bancales de la huerta. Continuamos hasta el Monasterio de Los Jerónimos actualmente utilizado como Campus por la Universidad Católica San Antonio y en cuyo claustro hay dos Relojes Verticales declinantes uno al Sureste y otro al Suroeste.

Como último objetivo del día fuimos hasta la Villa de Pliego donde está el Reloj de Sol más antiguo de todos los que tengo censados en la Región.



Allí nos esperaban el Alcalde D. Juan Guillén, D^a María, concejala de Cultura y D. Alfonso Aliaga, Presidente

de la Comunidad de Regantes propietaria de la balsa de riego donde se encuentra el Reloj.



D. Alfonso Aliaga dió una amplia explicación de cómo funcionaban la "tandas" de riego que regulaba el reloj y que variaban según la época del año y la duración del día

A continuación, el Alcalde y su Concejala de Cultura nos hicieron de Cicerones en un paseo por todo Pliego que terminó en un restaurante donde fuimos invitados a una generosa copa de vino con gran variedad de aperitivos.

Día 3 de mayo

Pasando primero por el Instituto José Planes a visitar el Analemático hecho por los alumnos de Lorenzo, llegamos a la Biblioteca General del Campus de Espinardo donde está el Reloj Polar en forma de Libro.



Quiero agradecer a todos los elogios hechos a este Reloj que me llenaron de orgullo, sobre todo considerando quienes eran las personas que los decían.

Este fue el lugar elegido para entregar, por parte de los organizadores, una réplica en miniatura del Reloj que estábamos viendo. También decidimos hacernos la segunda foto del grupo.

Y salimos hacia el Campo de Cartagena donde visitamos el Vertical Declinante de 1796 de la Casa Los Pedreños, el Vertical doble cúbico de Lo Ferro, el Ecuatorial metálico (R-4) hecho por el Capitán de Artillería D. Pedro Hermansaenz De Dios y el Vertical Meridional de 1795 de la Finca El Jeringal, estos dos últimos propiedad del oftalmólogo D. José Alberto González Costea que amablemente nos abrió sus

Rápidamente fuimos a comer a un restaurante junto al Mar Mediterráneo donde quién no quiso pescado pudo deleitar el famoso "caldero" de la zona

La Societat Catalana de Gnomónica, que fue la que mas representantes tuvo, nos obsequió con una bella miniatura en cerámica de Reloj de Sol Vertical firmada por Jaume Salichs y con el logotipo de la Asociación mientras íbamos al faro del Cabo de Palos, a un extremo de La Manga del Mar Menor, enclave eminentemente turístico de la costa murciana y punto mas oriental de la Región.

Para terminar con broche de Oro estas tres jornadas nos dirigimos a la ciudad de Cartagena, históricamente,

una de las principales puertas de entrada de la Cultura en la Península Ibérica

Por falta de tiempo, solo pudimos hacer una breve visita a las excavaciones del Teatro Romano y a los restos de la antigua Catedral.

Y con el regreso a Murcia dimos por terminado este Encuentro en el que pasamos unos días de convivencia en los que nos hemos conocido algunos, hemos aprendido casi todos, y hemos disfrutado de lo lindo. Yo el que mas.

A.J. CAÑONES

Al terminar este artículo no puedo dejar de agradecer su ayuda a las personas y Entidades que han colaborado para el buen desenlace del Encuentro. A la Consejería de Turismo de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia que nos proporcionó el autocar los dos días, al Ilustrísimo Ayuntamiento de Pliego por su amabilidad y generosidad, al Museo de la Ciencia y el Agua de Murcia por el despliegue de medios y personal puesto a nuestra disposición, al Excelentísimo Ayuntamiento de Murcia por los obsequios entregados, a la Presidencia de la Universidad Católica San Antonio por abrirnos sus puertas y a todas las personas que de alguna manera nos han ayudado,

MUCHAS GRACIAS



FOTOGRAFÍA DEL GRUPO DE ASISTENTES AL ENCUENTRO,

NOTA: Las fotografías son de : Andreu Majó, Conxita Bou, Santi Moret, Javier Martín-Artajo, Albert Vidal, Joan Olivares y alguna mía

A.J.C



TALLER

BRÚJULAS SOLARES

Un nuevo concepto, un nuevo diseño.

LUIS HIDALGO

INTRODUCCIÓN

Actualmente resulta un tanto anacrónico el escribir algunas notas sobre las brújulas solares, cuando estamos en una época en la que gracias a la informática (GPS), sabemos con la precisión de solo unos metros la posición casi exacta del lugar que ocupamos dentro de nuestro planeta, ofreciéndonos las coordenadas geográficas de posición como es la latitud, la longitud y la altura en la que nos encontramos y no solamente estos preciosos datos, sino que somos capaces de trazar todo tipo de rutas alternativas en todos los sentidos. Sabiendo aprovechar sus posibilidades se puede afirmar que es un instrumento de enorme utilidad y que ofrece un gran futuro para muchas profesiones y que incidirá en gran parte de la economía de un país. Para darnos una idea del punto de difusión que está teniendo este sistema, algunos eventos deportivos, como las carreras ciclistas, se retransmiten apoyándose en los datos proporcionados por el GPS ofreciendo las distancias que separan un grupo de corredores con respecto a otro o incluso las cotas de altura y el porcentaje de pendientes de los puertos. El sistema de posicionamiento global conocido con las siglas de (GPS) está basado actualmente en el posicionamiento de 24 satélites elevados a unos 20.000 Km. y por medio de una triangulación es capaz de apreciar la diferencia de distancias entre el punto en el que nos encontramos y los tres satélites, por la diferencia de tiempos en llegar la señal hasta nuestro receptor a través de relojes de extraordinaria precisión de (cesio o rubidio) que están cronometrados al unísono. En resumen, el funcionamiento se reduce a reconocer la distancia o pseudodistancia como los técnicos así lo denominan, por tener pequeñas diferencias con la real, por la diferencia de tiempo en llegar la señal de cada uno de ellos y posteriormente el receptor computariza las diferencias de tiempo en llegar las señales de radio de los tres satélites y establece la triangulación. El error de los GPS convencionales es de unos 10-100 m. pero para el uso militar el error que se comete usando un cuarto punto GPS diferencial es de 2-3 m. como máximo y si se utiliza como medio de medida con fines topográficos no supera 2 cm o incluso 3-4 mm. Según estoy escribiendo estas líneas me entero de que los soldados aliados combatientes en la guerra de Irak, van provistos de un GPS. En nuestro país las fábricas de automóviles incentivan a la compra de un vehículo con el reclamo de GPS incorporado de serie, cuando en Florida hace ya tiempo casi todos los taxistas llevan en su vehículo uno incorporado.

Pero por anacrónico que resulte no puedo menos de sustraerme a los tiempos de la segunda contienda mundial durante desembarco de las tropas norteamericanas en el norte de África en 1942, en cuyo frente tuvieron que enfrentarse al Africa Korps alemán. Ambos ejércitos estaban compuestos fundamentalmente por fuerzas acorazadas, carros de combate, camiones con blindajes y transporte en general con chapa resistente. Esto entrañaba un grave inconveniente pues engendraba la inutilidad de la brújula magnética. Es sabido que la brújula magnética ante la presencia de campos eléctricos, existencia de terrenos ricos en minerales de naturaleza férrea y ante la vecindad de vehículos acorazados la hacen totalmente inoperante. Incluso en ausencia de estos factores adversos, la declinación magnética sufre una variación anual diferente para cada latitud y existen momentos en los días de gran actividad del viento solar, durante las tormentas magnéticas, más acusadas en los Polos, en las que hay grandes oscilaciones y siempre el norte que señalan es el Norte magnético, pero el que interesa en topográfica o en las tácticas estratégicas de un ejército, es el Norte geográfico. Así pues, al grave inconveniente de no poder utilizar la brújula, había de sumarse la carencia de levantamientos topográficos y de mapas fiables en una zona desértica que no había tenido, ni militarmente, interés alguno. Esto creaba unas dificultades especialmente para tropas norteamericanas, no así para el Africa Korps establecidas con anterioridad y que circulaban por rutas paralelas a la costa, la cual disponía de rutas previamente establecidas, de ahí la falta de necesidad de utilización de brújulas solares. Además de la dificultad de utilizar las brújulas convencionales y de la carencia de levantamientos topográficos en zona desértica, el problema era grave, pues el Alto Mando debía establecer criterios de marcha, localización de objetivos, situación enemiga, establecimiento de dirección de tiro, ubicación y transporte de elementos de intendencia y puestos sanitarios de campaña, depósitos de agua u oasis etc, en fin, toda la complejidad que representa una operación militar de este tipo.

Cabe preguntarse si la gnomónica ha tenido un papel relevante en el último siglo o ha quedado reducido a un papel puramente decorativo. Se puede afirmar que a parte del descubrimiento de Michnick de los cuadrantes bifilares en el año 1921, la presencia de los cuadrantes ha jugado un papel muy importante en la navegación aérea, terrestre y marítima. Su utilidad se ha puesto de relieve cuando las circunstancias impedi-

an la utilización de las brújulas magnéticas, e incluso hasta nuestros días se han desarrollado brújulas simples o sofisticadas (A.M. Astro Compass MK II, Cruiserfix) en la que nuestra estrella sigue siendo la protagonista.

ANTECEDENTES HISTORICOS

La historia de su empleo para cumplir con el cometido de la orientación comienza en el desierto de Libia en el año 1929 por Ragnold con brújulas muy simples que proporcionaban el posicionamiento de tropas pero que tenían que tener un apoyo de las brújulas convencionales. Estas brújulas como la de Howard (Tipo Marck II) se basaban en el cálculo del acimut que para una determinada latitud corresponde a una hora específica y en una fecha concreta. Así pues tenían la servidumbre de trazar las horas mediante lapiceros que se derretían con el calor del desierto y de utilizar unas tablas de acimutes para esas horas y para una latitud definida y para un crítico día.

Un gran salto tecnológico hacia la perfección nace en el desembarco de las tropas Norteamericanas en el año 1942. Alguien se le ocurrió desempolvar el primer proyecto de reloj analemático universal de Antoine Parent que presentó en los primeros meses del año 1701 en la Academia de Ciencias de París, un trabajo que había permanecido en el olvido durante casi dos siglos y medio. Ese alguien desconocía que en ese mismo año, Parent presentó otro proyecto, también en la misma Academia, mucho más evolucionado y ventajoso, siendo conceptualmente diferente. Parent lo concibió como un reloj analemático de uso universal en el que las horas iban grabadas sobre una serie de elipses que correspondían a diferentes latitudes y en el que la hora venía determinada por la sombra de un gnomon perpendicular a la faz del cuadrante y que se desplazaba por una escala correspondiente a unas fechas previamente establecidas, una vez que el cuadrante estaba orientado y nivelado. El concepto de orientado indicaba que el eje menor de las elipses o la hora de las XII solares apuntaba al Norte geográfico.

Basado en el funcionamiento de este cuadrante era lógico pensar que si se podía determinar la hora solar y se orientaba girando el cuadrante sobre un plano horizontal hasta que la sombra del gnomon perpendicular, fijado en la fecha en la que se hace la determinación, cayese en la hora y elipse elegida, entonces la hora de las XII tenía que apuntar al Norte geográfico. Como se advierte el proceso es el inverso de la obtención de la hora. El razonamiento no puede ser mas simplista y de esta manera nace la brújula Universal tipo Cole y variantes, que son esencialmente el cuadrante de Parent que ha sufrido modificaciones referentes fundamentalmente a las pínulas para la orientación estacionaria, un círculo acimutal dividido en grados para establecer el rumbo para la orientación cinética del orden de marcha y en las variantes, de la longitud de la escala datal.

Su uso lleva implícito el conocimiento de la hora solar y para hallar esa supone el conocimiento de la hora oficial mediante un buen reloj de pulsera (no existían los de cuarzo), el precisar la longitud en un paraje desértico y poco conocido, la ecuación del tiempo y el huso horario. Seguramente el problema más difícil de resolver sería carencia de mapas de esas regiones en las que los levantamientos topográficos serían muy pobres o inexistentes por lo que la determinación de la latitud y longitud tenían que ser calculados previamente sobre el terreno cuestión no dificultosa teniendo en cuenta los medios de los que se disponía.

Por otra parte aunque esos cálculos fueran aceptables la brújula universal puede ser exacta, pero no precisa. El paso de las elipses de las latitudes es de dos grados y medio o tres grados y el de las líneas horarias es de quince minutos por lo que muchas veces la hora debe ser interpolada entre dos elipses y entre dos divisiones horarias. Se realiza de este modo porque si el paso fuera de un grado el dibujo sería tan abigarrado que la lectura sería confusa y muy incómoda.

DESCRIPCION.

- Cálculo de la brújula simple.- Se basa en un círculo graduado en grados con paso de un grado y otro concéntrico en cuyo centro hay un gnomon vertical. Ayudándose de unas tablas de acimut que correspondan a una latitud de posicionamiento y a una fecha determinada, se trazan desde el centro hacia la periferia las líneas horarias que correspondan al acimut que dan las tablas para cada hora. Sabiendo la hora solar en un momento determinado se hace coincidir la sombra del gnomon con la hora cuya línea horaria hemos dibujado conforme a las tablas de acimut, entonces, el 0° apuntará al Norte geográfico. Es obvio que en otra fecha o en otra latitud diferente a la anterior, se tiene que dibujar unas nuevas líneas horarias conforme a la tabla de acimutes. Se observa que tenemos que depender, en todas estas circunstancias, de las tablas de acimutes o de calcular éste con la consabida fórmula de

$$\operatorname{tg} Az = \operatorname{sent} t / (\cos t \operatorname{sen} \phi - \cos \phi \operatorname{tg} \delta);$$

siendo t el ángulo horario (hora), ϕ la latitud, y δ la declinación del sol (fecha) y Az el acimut instantáneo para cada hora. Hubiera sido más aconsejable utilizar el reloj analemático de Vaulezard en el que para una sola latitud las horas van señaladas sobre una elipse estando siempre fijas sobre ella y los acimutes se consiguen desplazando el gnomon por la escala de las fechas obviando el trabajo de dibujar los acimutes de cada una de las fechas y cada una de las horas. En ambos casos se ha de calcular la hora verdadera o local la cual se obtiene con la formulita: Hora solar verdadera = hora oficial - 1 ó 2 horas según sea invierno o verano - longitud (W) ó - Longitud (E) ± Ecuación de tiempo (E.T.)¹.

Aún así, la brújula simple no es universal y solo nos sería de utilidad para una sola latitud, lo mismo pen-

1. Para la Península - En Canarias una hora menos que la hora peninsular

só Antoine Parent para desarrollar el cuadrante analemático universal. Una posible solución sería trazar una serie de elipses correspondientes a diferentes latitudes en las que el eje mayor fuera igual para todas y el menor en función del seno de ϕ , y en el que las horas tuviesen como coordenadas cartesianas: a abscisa en función del $\sin t$ y la ordenada $\cos t \cdot \sin \phi$.

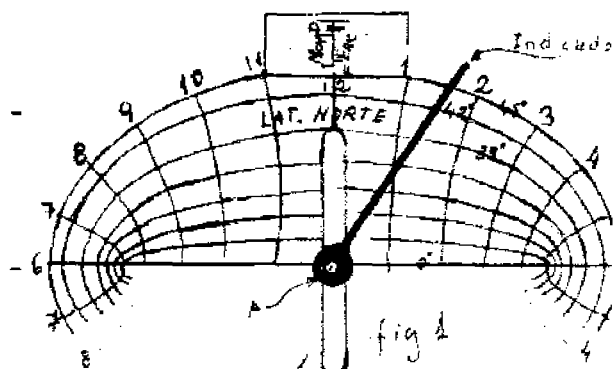
La ordenada para una hora en particular sería paralela al eje menor y las horas estarían sobre una misma ordenada pero en las diferentes elipses. El gran problema radica en la escala de las fechas porque a cada latitud le corresponde una escala diferente. Es fácil ver que la longitud de la escala de fechas viene calculada por $R \tan \delta \max \cos \phi$ y como ϕ tiene un valor diferente, las escalas también serían diferentes, luego es inviable la utilización de una única escala. La solución es la de usar una sola escala de fechas que sirva para todas las latitudes y para que eso suceda solo se ha de calcular el radio o eje mayor de cada una de las elipses representativas de las diferentes latitudes originándose una serie de elipses cuyos ejes mayores y menores, son cada vez más pequeños conforme a la latitud menor, es decir, interiores, poseyendo la propiedad de tener común la escala y los focos, circunstancia que les convierte en elipses homofocales. De este modo, se obtienen una serie de elipses envolventes en sentido creciente en dependencia del aumento de las latitudes. Las líneas isohorarias no discurren como en el caso anterior paralelas al eje menor de las elipses, sino que lo hacen por ramas de hipérbolas.

Descripción.-

Nos remitiremos a la descripción de una brújula universal cuyo ejemplar se encontró en el museo del Alcázar de Toledo y de procedencia de la segunda guerra mundial -

Consta de tres piezas fundamentales: Placa elíptica, regleta de fechas y círculo graduado.

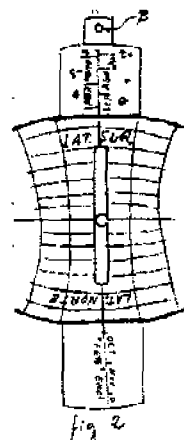
Placa Elíptica.-Tiene grabada en su interior varias elipses homofocales, cada una con un número que corresponde a la latitud geográfica de los posibles lugares en los que se puede operar. Están numeradas de 3° en 3° siendo la más exterior la correspondiente a 45° y la más interna a 0° (Ecuador) transformada la elipse en una recta. (Fig. 1).



Estas elipses están cortadas por ramas hiperbólicas, homofocales con las elipses, que son indicativas de

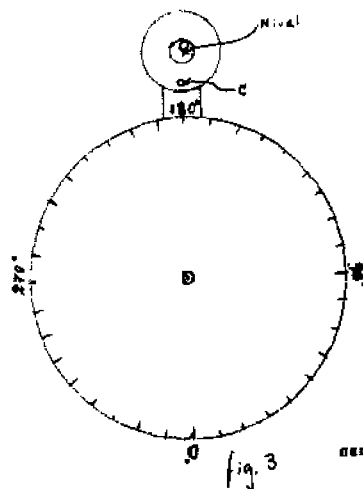
las horas del día y cuyos números figuran en sus bordes. A esta placa elíptica que puede desplazarse sobre la regleta de fechas, le han sido cortados en ambos extremos del eje menor dos segmentos elípticos de modo que su parte rectilínea sirva de índice para las graduaciones de la regleta de fechas. Esta pieza tiene a lo largo del eje menor una acanaladura para dar paso a un eje al que se atornilla una varilla vertical o gnomon, A.

Regleta de fechas.- Es una regla, sobre la que se desliza la placa elíptica, tiene en su centro un eje que le permite girar solidariamente con la elipses. Sobre este eje se atornilla el gnomon A y también sobre él puede girar un indicador - a modo de saeta de reloj- que habrá de situarse indicando la hora de la operación.



Esta regleta, colocada bajo la placa elíptica a lo largo de su eje menor y de mayor longitud que él, contiene las marcas de los meses del año: Enero, Febrero, Marzo, etc...; y estos en graduaciones más pequeñas. Junto a ellos figuran unos números, indicativos de los valores de la Ecuación del Tiempo, correspondientes a la fecha. En uno de los extremos de la regleta se puede atornillar una varilla vertical B que con el gnomon materializará una dirección: La del Norte- Sur geográfico cuando la sombra del gnomon de la brújula señale la hora solar del momento (Fig. 2).

Círculo graduado.-Este círculo graduado de 0° a 360° en sentido contrario a las agujas del reloj, tiene un apéndice en el que hay un nivel de burbuja para conseguir su nivelación. En este apéndice va atornillada otra varilla vertical, C, que con el gnomon A indicará la dirección de marcha. El origen de la graduación está precisamente en el radio de esta alineación.



Este círculo graduado va unido rígidamente al vehículo mediante una articulación tipo cardan, que permite su nivelación. El centro está perforado para dar paso al eje de la regleta, que puede girar libremente mientras no se inmovilice en la posición que interese, mediante una tuerca de fijación que atornilla a dicho eje por debajo del círculo graduado (Fig 3).

Funcionamiento

Una vez conocida la hora solar se procederá como sigue:

Nivelación del conjunto.

Desplazaremos la placa elíptica a lo largo de la regleta hasta que la parte recta del segmento que le falta a la elipse indique la fecha de la operación. Allí encontraremos el valor de la Ecuación del Tiempo E.T. con su signo, que es un dato para la determinación de la hora solar.

Situaremos el indicador – interpolando si fuese necesario – sobre el punto donde se corta la hipérbola horaria del momento con la elipse que indica la latitud del lugar.

A continuación se girará el conjunto regleta – elipse hasta que el índice de graduaciones marque sobre el círculo el valor del ACIMUT a seguir. Se fijará el conjunto con la tuerca que atornilla al eje.

El conductor del vehículo deberá desplazarlo en dirección y sentido conveniente para que la sombra del gnomon coincida con el indicador. En esta posición la alineación definida por la varilla del gnomon y la colocada sobre el extremo de la regleta coincidirá con la meridiana del lugar y por tanto con la dirección Norte – Sur. La dirección definida por el gnomon y la varilla colocada junto al nivel coincidirá con la dirección a seguir que formará con la dirección del Norte un ángulo cuyo valor es el acimut de marcha.

El conductor emprenderá la marcha cuidando, por el mismo o por las indicaciones del ayudante, que la sombra del gnomon caiga siempre sobre el indicador. Si encontrase alguna referencia lejana que coincidiera con la dirección de marcha, hará uso de ella.

Periódicamente – cada hora o cada media hora – será necesario detenerse para ajustar la posición del indicador horario en la hora correcta del nuevo momento con objeto de seguir el acimut requerido, sin grandes errores

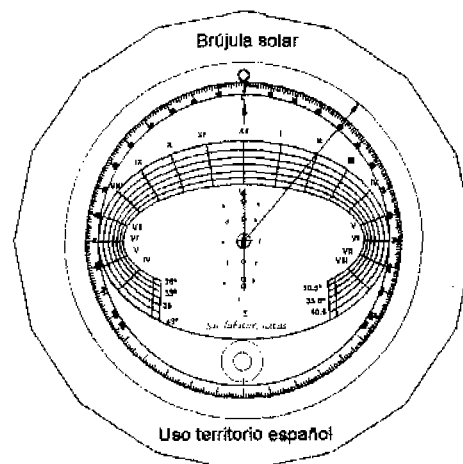
Texto y dibujos de la brújula de "El Alcázar de Toledo" Jaime Velilla Moros.†

CONSTRUCCIÓN

En el ejemplo nos hemos limitado a la construcción de una brújula que nos sirva para usar dentro del territorio español es decir desde la latitud de Santander 43° N, por ejemplo, hasta las Canarias con latitud de 28° N.

Elipses. Se puede comenzar con la elipse que corresponde a la de mayor latitud que en este caso es la de 43°. El semieje mayor es igual $R = a = 6$ cm y el menor $b = 6 \sin 43^\circ = 4.09$ cm y la distancia focal $c = R \cos 43^\circ = 4.38$ cm. La escala estacional $L = R$

$\text{tg } \delta_{\max} \cos \varphi = 1.90$ cm. Para las siguientes elipses, que serán interiores a la envolvente, tienen que servirnos la misma escala estacional y habremos de deducir, para cada una de ellas, el diámetro $2R'$, $2R''$, $2R'''$... por lo que $R' = L / \text{tg } \delta_{\max} \cos \varphi'$ y las nuevas coordenadas de un punto horario serán $X = R' \sin t$ e $Y = R' \cos t \sin \varphi'$ y la elipse correspondiente a esta nueva latitud $a' = r'$; $b' = r' \sin \varphi'$ y $c' = \text{constante} = c$, lo cual indica que la distancia focal para el conjunto de elipses es constante y por lo tanto todas ellas son homofocales.



La consecuencia es que para cada φ habrá un R diferente, los ejes serán también diferentes, pero siempre con los mismos focos y la misma escala estacional.

JUSTIFICACIÓN

Se desea demostrar que los puntos horarios obtenidos mediante el cálculo de las coordenadas pertenecen a una elipse y a una hipérbola justamente a la intersección de ambas. Se parte de la base de las coordenadas de la elipse en la que:

$$a = R; \quad b = R \sin \varphi; \quad c = R \cos \varphi$$

La ecuación de la elipse es: $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$

Sustituyendo los valores anteriores:

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2 \sin^2 \varphi} = 1$$

Multiplicando por R^2 : $x^2 + \frac{y^2}{\sin^2 \varphi} = \frac{c^2}{\cos^2 \varphi}$

Despejando R de la fórmula de "c" tenemos:

$$c = R \cos \varphi; \quad R = \frac{c}{\cos \varphi}; \quad R^2 = \frac{c^2}{\cos^2 \varphi}$$

Sustituyendo en la fórmula anterior:

$$x^2 + \frac{y^2}{\sin^2 \varphi} = R^2$$

Que cumple la ecuación de una elipse.

El "acimut" de un punto de la elipse será:

$$\operatorname{tg}(Az) = \frac{x}{y} = \frac{R \operatorname{sen} t}{R \cos t \operatorname{sen} \varphi} = \frac{\operatorname{tg} t}{\operatorname{sen} \varphi}$$

Despejando:

$$\operatorname{sen} \varphi = \frac{y \operatorname{tg} t}{x}$$

Se quiere demostrar que ese punto horario de la elipse también pertenece a una rama de hipérbola. Partiendo de la fórmula de la elipse, la ponemos en función del seno:

$$x^2 + \frac{y^2}{\operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{c^2}{\cos^2 \varphi} \quad ; \quad x^2 + \frac{y^2}{\operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{c^2}{1 - \operatorname{sen}^2 \varphi}$$

$$\frac{x^2 \operatorname{sen}^2 \varphi + y^2}{\operatorname{sen}^2 \varphi} = \frac{c^2}{1 - \operatorname{sen}^2 \varphi}$$

$$(x^2 \operatorname{sen}^2 \varphi + y^2)(1 - \operatorname{sen}^2 \varphi) = c^2 \operatorname{sen}^2 \varphi;$$

$$x^2 \operatorname{sen}^2 \varphi + y^2 - x^2 \operatorname{sen}^2 \varphi \operatorname{sen}^2 \varphi - y^2 \operatorname{sen}^2 \varphi = c^2 \operatorname{sen}^2 \varphi$$

Dividimos por $\operatorname{sen}^2 \varphi$:

$$x^2 + \frac{y^2}{\operatorname{sen}^2 \varphi} - x^2 \operatorname{sen}^2 \varphi - y^2 = c^2$$

Sustituyendo el valor de $\operatorname{sen} \varphi$:

$$x^2 + \frac{y^2}{\frac{y^2 \operatorname{tg}^2 t}{x^2}} - x^2 \frac{y^2 \operatorname{tg}^2 t}{x^2} - y^2 = c^2$$

$$x^2 + \frac{x^2}{\operatorname{tg}^2 t} - y^2 \operatorname{tg}^2 t - y^2 = c^2$$

$$x^2 + \frac{x^2 \cos^2 t}{\operatorname{sen}^2 t} - \frac{y^2 \operatorname{sen}^2 t}{\cos^2 t} - y^2 = c^2$$

$$\frac{x^2 \operatorname{sen}^2 t + x^2 \cos^2 t}{\operatorname{sen}^2 t} - \frac{y^2 \operatorname{sen}^2 t + y^2 \cos^2 t}{\cos^2 t} = c^2$$

$$\frac{x^2 (\operatorname{sen}^2 t + \cos^2 t)}{\operatorname{sen}^2 t} - \frac{y^2 (\operatorname{sen}^2 t + \cos^2 t)}{\cos^2 t} = c^2$$

$$\frac{x^2}{\operatorname{sen}^2 t} - \frac{y^2}{\cos^2 t} = c^2 \quad \text{Ecuación que demuestra que es una hipérbola.}$$

NUEVO CONCEPTO

Después de haber examinado la brújula universal se advierte que hay muchos aspectos que pueden mejorarse si en vez de emplear un analemático de Vauzeard en un plano horizontal se emplease un Foster-Lambert en un plano meridiano combinado con un polar oriental -occidental. Los fundamentos teóricos-prácticos están referidos en un boletín de Analema n° 8 con el título "Una interesante Combinación". Para una correcta comprensión se remite al lector a dicho artículo. En éste solo se mostrará las ventajas sobre la brújula universal. En dicho trabajo se exponía sumariamente, que se comportaba como brújula solar, pero solamente con carácter estacionario, o lo que es lo mismo, nos orienta dando la referencia de los puntos cardinales.

Sus principales ventajas son:

- Sencillez de ejecución: El Foster-Lambert se traza sobre un círculo y las horas van sobre ese círculo equidistantemente dispuestas cada 15° y las líneas horarias del oriental - occidental son rectas. Se aprecia que ese mismo círculo va a servir para todas las latitudes, desde los 0° hasta los 90°, cosa que es imposible en el universal ya que la elipse de los 90° se va al infinito, y nos ahorramos el trazado incómodo y difícil de las elipses.
- Las horas son homogéneas lo que supone una ventaja para la corrección a la hora oficial, pero sobre todo nos evita el cálculo de las ramas de las hipérbolas averiguando las coordenadas de cada punto isohorario sobre cada una de las elipses. Por ejemplo si hay 9 elipses diferentes por 2 coordenadas (X,Y) por 6 horas hacen un total de 108 sin contar los puntos simétricos. Aditivamente, el paso es de 15 minutos fácilmente interpolables, con lo que se gana en precisión sobre todo durante la marcha siendo el zigzag del rumbo muy pequeño y en las distancias cortas inapreciable, además no es necesario la interrupción en la ruta para corregir la hora.
- Las latitudes van impresas sobre el círculo en una cuarta parte del mismo con un paso de 1 grado con lo que se evita la interpolación visual que puede ser causa de error o simplemente de confusión de una elipse con la contigua.
- El hecho de estar combinado con otro cuadrante a estilo polar oriental y occidental le confiere la propiedad de ser autorientable o lo que es lo mismo, cuando se gira el conjunto en un sentido axial y perpendicular a la base horizontal y la sombra de los dos estilos (el Foster y el oriental - occidental) marcan la misma hora solar, el reloj está automáticamente orientado al Norte geográfico y la traza del plano meridiano es la meridiana local. Circunstancia ésta de enorme valor porque elude hacer el cálculo de la

hora solar lo que supone ignorar la longitud, la ecuación del tiempo, el huso horario y la utilización de un reloj mecánico o de calcular los acimutes, cosa a la que había de recurrirse en las otras brújulas. En el uso de esta brújula solo es necesario saber la latitud.

- e) Durante la marcha al ser las horas homogéneas el copiloto si se ayuda con un reloj mecánico o mejor un cronómetro, si se dispone de éste, puede ir corrigiendo la marcha desplazando el indicador a intervalos pequeños de tiempo que coinciden perfectamente con los del reloj mecánico, es decir se podrá corregir 15 minutos del reloj mecánico con los 15 minutos del indicador, con lo que se conseguirá un acimut de marcha más exacto.

No habrá limitación ninguna en la captación de las horas durante cualquier época del año y en cualquier latitud teniendo el carácter de universal en su sentido más amplio. No se tendrá ninguna dificultad en aplicarlo desde el Polo Norte al Ecuador. También se puede utilizar en los equinoccios y en las horas centrales del día cosa que es imposible en la segunda versión de Parent.

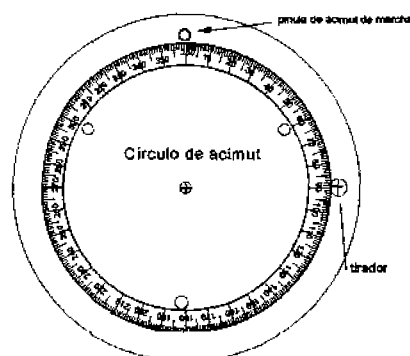
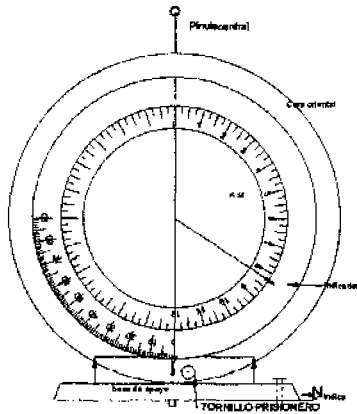
UTILIZACION

Al ir montada la brújula sobre un sistema cardán no es necesario el nivel por lo que se puede proceder a los posteriores reglajes para la marcha. Ya se ha mencionado que como en cualquier cuadrante que tenga dos medidas diferentes de proporcionar la misma hora, es autoorientable y por lo tanto el plano meridiano coincide con la meridiana del lugar como sucede con otros tipos de cuadrantes autorientables comportándose como una brújula estacionaria, es decir, señala el Norte geográfico. Pero se pretende que sirva para el desplazamiento, por eso se le dota del círculo acimutal y de las pínulas.

La primera operación consistirá en girar el cuadrante conforme a la latitud de utilización, en la base de apoyo y se fija con el tornillo prisionero. A continuación debe procederse a la movilización del estilo o skioteron según la fecha. El

centro del círculo acimutal posee un orificio donde encastra un pivote que posee la parte inferior de la base de apoyo. Estando la pínula de acimut y la pínula central alineadas con el eje longitudinal del vehículo (morro-trasera), se girará mediante el tirador, el círculo acimutal al rumbo elegido, de tal modo que la pínula de acimut confronte con el acimut de marcha requerido. La parte N (índice) de la base de apoyo debe confrontar con la indicación 0° y se fija con el tornillo de presión.

Ahora el conductor debe girar el vehículo muy despacio en la dirección conveniente hasta que la sombra de los dos estilos, el Foster y el polar señalen la misma hora, instante en el cual, la traza del plano meridiano señala al Norte. Se le debe ordenar al conductor que ahora camine recto según la pínula de acimut. En el momento que tenemos el Norte la alineación de pínula central con la de acimut marca el rumbo elegido. Si el conductor tiene alguna referencia debe seguirla y si no es así debe estar pendiente de las órdenes del copiloto. Este adelantará el indicador por ejemplo un cuarto de hora sobre la marcada con anterioridad y pondrá el cronómetro a 0. A partir de ahora la sombra del estilo debe recaer sobre el indicador. Cuando haya pasado los quince minutos deberá dejar el indicador en la posición anterior durante otros quince minutos, y cuando hayan transcurrido éstos, se vuelve a correr el indicador otros quince minutos repitiendo de la misma manera tantas veces como sea necesario. Operando de este modo se va trazando un rumbo en zigzag que se aproxima sin muchos errores al deseado.



BIBLIOGRAFÍA

- | | |
|---------------------|--|
| Jaime Velilla Moros | Nota Personal 1987 |
| Jaime Velilla Moros | Descripción de una brújula de El Alcázar de Toledo. 1993 |
| Maurice. J. Kenn | Sundials used for navigation B.S.S Febrero 1992 |
| René J. Rohr | Lambert's Circles B.S.S Julio 1989 |
| Michael Hickman | Sun Compasses B.S.S Junio 1994 |
| Luis Hidalgo | Una interesante combinación Analema nº8 Mayo - Agosto |

L. HIDALGO
Julio 2003



NOTAS Y COMENTARIOS

1. EL CENTRO EXCURSIONISTA DE BANYOLES Y LOS RAYOS SOLARES

Nuestro amigo y asociado Francesc Clará i Fradera nos comunica el resultado de una notable "demostración solar" que ha sido efectuada por el *Centre excursionista de Banyoles* con motivo del cincuentenario de su creación, con el lema: "50 AÑOS, 50 CUMBRES, 50 ESPEJOS, 50 PIEDRAS, 50 HISTORIAS".

La "demostración solar" consistía en instalar simultáneamente en cincuenta cimas situadas alrededor de Puig de Santa Martíà sendos espejos que reflejasen los rayos solares el día 1 de Junio del presente año, a las 12 horas, orientados en forma tal que desde el punto central antes citado se viesen las cincuenta luminarias creadas por la reflexión del Sol en los espejos.

Para ello se determinaron las coordenadas GPS de todas las cimas y se calcularon los ángulos de orientación e inclinación de cada uno de los espejos para las 12 horas y las 12 horas treinta minutos solares.

A cada cima subió un equipo de montañeros (la ascensión a alguna de ellas dura más de cinco horas) que en el momento oportuno orientó sus espejos en la dirección adecuada, haciéndolos oscilar ligeramente para que emitiesen destellos.

A la hora indicada se reunieron en la colina de S. Martíà más de doscientas personas dispuestas a observar el espectáculo. Se habían colocado unos paneles con fotografías ampliadas con los nombres de las montañas, y en la parte más elevada de la colina un poste con un cilindro de metal pulido en su parte superior, para que sirviese de referencia a los que manejaban los espejos. Durante la media hora fijada se vieron los parpadeantes reflejos procedentes de todas las montañas circundantes, excepto las cimas de la zona de los Pirineos, que estuvieron cubiertas de nubes todo el tiempo.

Algunas de las montañas distaban más de 20 kilómetros, y su señal se percibió claramente.

Este acontecimiento fue ampliamente difundido por la Prensa provincial y por la Televisión Autonómica.

Hemos de hacer notar que los 50 equipos se trajeron 50 piedras, una de cada montaña, con las que se piensa construir una escultura conmemorativa, y además escribieron 50 historias cortas narrando su experiencia, que serán editadas por el Centro.

-----F.C.F.

2. COMENTARIOS SOBRE LA NOTA ANTERIOR:

No podemos menos de comentar, encomiásticamente por supuesto, la interesante y original iniciativa antes reseñada del Centro Excursionista de Banyoles para conmemorar su cincuentenario.

El éxito obtenido es indudablemente el resultado de las aficiones y conocimientos gnomónicos y de las (envidiables) condiciones atléticas de muchos de sus Socios. Felicitamos a todos los Asociados del Centro. Y muy especialmente a su Junta Directiva, y a los Srs. Clará, Oliver y Lagares por la originalidad y éxito de esta conmemoración de "Luz y Piedra".

-----M.L.S.

3. CURSILLO DE COSMOGRAFÍA (Y GNOMÓNICA)

En el recién inaugurado Museo de la Ciencia de Valladolid nuestro asociado Anselmo Pérez Serrada impartió los días 11, 12 y 13 de julio de 2003 un "Taller Básico de Astronomía" para niños de 6 a 10 años. Con una participación inesperada (asistieron treinta niños y otros treinta quedaron en lista de espera), e incluso reseñas en la prensa y televisión regional, los niños recibieron unas nociones básicas de cosmografía, astronomía y, por supuesto, de gnomónica. Estos son algunos epígrafes extraídos del programa de contenidos:

- *Si la Tierra fuera un guisante y un siglo durara un segundo... la escala del Universo desde el patio del museo.*
- *Capitán, ¿Dónde estamos? Cómo determinar los puntos cardinales y la posición geográfica: de las brújulas y sextantes al GPS de los autobuses sin desorientarse por el camino.*
- *¿Por qué en verano hace calor y en invierno frío? El movimiento del Sol en el cielo y cómo verlo sin mirar a él.*
- *¿Por qué la Luna es mentirosa? Las fases lunares te dicen cuándo tienes que cortarte el pelo y transplantar los tiestos.*
- *¿Qué es eso de ahí arriba? Sencilla guía para identificar los planetas y las constelaciones desde el balcón de tu casa (Además te contaremos la historia de la joven Andrómeda, su madre Casiopea, la malvada ballena y el apuesto Perseo, que pasaba por allí).*
- *¿Qué hora es, señor Sol? Tú mismo podrás construir un reloj que funciona con ayuda del Sol... y que no gasta pilas.*

Docente y discentes recorrieron, bajo un sol de justicia, las instalaciones del museo, representaron las órbitas planetarias en el patio, vieron las manchas solares, aprendieron a manejar un sextante, reasignaron "por votación democrática" nombres más razonables a las constelaciones y construyeron dos relojes de Sol (uno ecuatorial y otro horizontal de horas itálicas). El tercer reloj de sol, uno analemático, se quedó a medio trazar en el rincón meridional del patio a causa de una inoportuna tormenta de verano, que no obstante refrescar a la concurrencia echó a perder el trabajo.

Las personas interesadas pueden consultar el reportaje gráfico del evento en la web de nuestra asociación

-----A.P.S.

4- NUEVAS IMÁGENES INCLUIDAS EN NUESTRA WEB

Nos comunica el administrador de nuestra web que ya está a disposición de los internautas la página sobre los "Relojes de Sol de Rafael Soler" en la dirección:

<http://www.relojesdesol.org>

Agradecemos una vez más la amable y desinteresada colaboración del Dr. Soler y aprovechamos para recordar que cualquier comentario, crítica o colaboración será bienvenida.

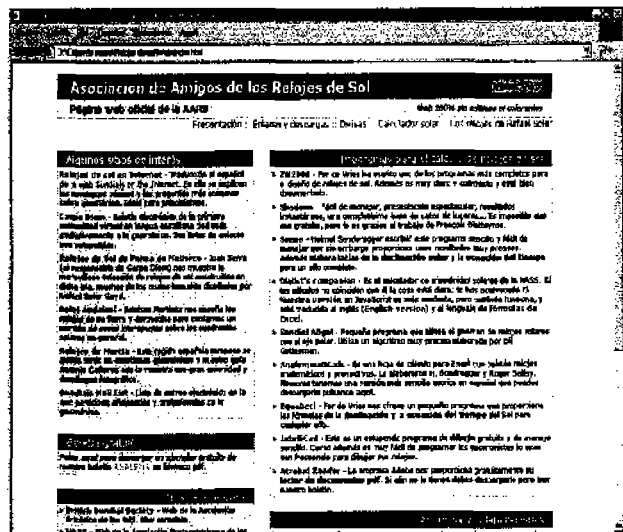
-----A.P.S.

6. LA WEB DE LA ASOCIACIÓN

Desde febrero de 2003 se encuentra a disposición de los internautas en la dirección:

<http://www.relojesdesol.org>

la web de nuestra Asociación. Hemos procurado hacerla lo más clara y fácil de manejar posible, dando importancia a la utilidad sobre la espectacularidad e intentando no repetir lo que ya está escrito en otros sitios de la red.



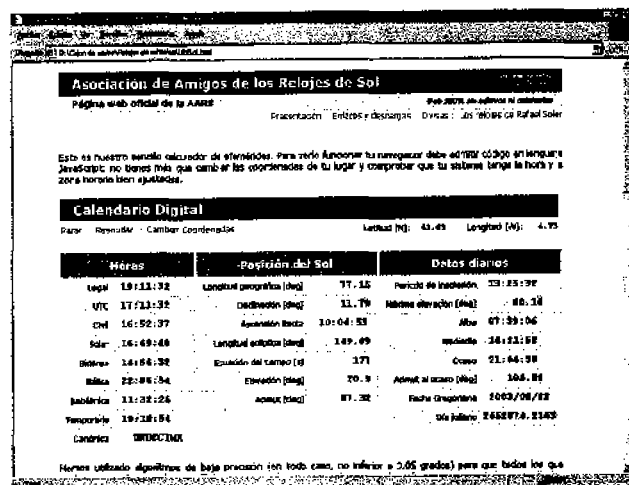
Nuestra web está en un proceso continuo de ampliación y mejora, mas en agosto de 2003 ya ofrecía los siguientes contenidos:

- Enlaces a las webs más importantes sobre gnomónica en lengua castellana y a las sedes oficiales de otras asociaciones gnomónicas mundiales.
- Enlaces a los mejores programas gratuitos para el cálculo y construcción de relojes de sol.
- Tablón de anuncios con las últimas noticias gnomónicas
- Un ejemplar gratuito de nuestro boletín "ANALEMA".
- Normas de estilo para los autores de colaboraciones.
- Servicio de transferencia de archivos (FTP).
- Listado de divisas gnomónicas recopiladas por J. de la Calle, J. Moreno y F. Muñoz-Box.
- Calculador de relojes de sol analématicos en formato de hoja de cálculo Excel.
- Calculador de efemérides solares en lenguaje JavaScript y Excel en castellano y en inglés.
- Álbum fotográfico sobre los relojes de sol de R. Soler con breves comentarios gnomónico-biográficos.

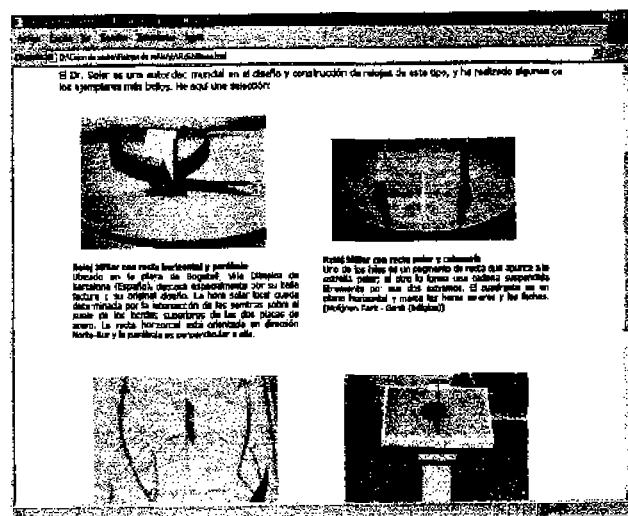
En principio las paginas deberían cargarse (casi) sin problemas con (casi) cualquier navegador en (casi) cualquier ordenador, por sencillos que estos sean. No obstante, en ordenadores antiguos puede ocurrir que el código JavaScript del calculador de efemérides no funcione y que las páginas gráficas se carguen muy lentamente. Con resoluciones de pantalla bajas conviene reducir lo más posible el tamaño del texto pues así se ve más claramente (opción |ver|tamaño del texto| del navegador).

En sus siete primeros meses de vida (de febrero a agosto de 2003) la web ha recibido más de 4700 visitas que han descargado más de 620 Mby de información, lo que equivale en promedio a unas 25 visitas/día y 3Mby/día, respectivamente. Nuestros visitantes llegan a ella principalmente desde otras webs de gnomónica y también a través de los buscadores.

Aunque no es fácil determinar con certeza su nacionalidad parece ser que los más numerosos son los estadounidenses, chilenos y mexicanos. La página más descargada es la del boletín gratuito, seguida muy de cerca por la lista de divisas: al parecer el público está muy interesado por el significado de las inscripciones latinas que encuentran en los relojes.



Esperamos con impaciencia cualquier sugerencia, crítica o colaboración de los socios y simpatizantes, bien sea a la dirección habitual de correo postal o directamente al administrador de la web, a saber, webmaster@relojesdesol.org.



El creador y Administrador de esta página Web es nuestro asociado A. Pérez Serrada, cuya dirección es

Anselmo Pérez Serrada
CL Joaquín Mª Jalón, 11. 1ºB
47008 VALLADOLID
correo-e: aperezse@nexo.es

CORRECCIONES AL ARTÍCULO "APLICACIONES DEL MÉTODO ANALÍTICO DE DISEÑO DE RELOJES DE SOL BIFILARES" Y EJEMPLO DE APLICACIÓN

(PUBLICADO EN EL Nº 32 DE ANALEMA, MAYO-AGOSTO DE 2001)

POR

RAFAEL SOLER GAYÁ

En el artículo mencionado procede introducir cuatro correcciones, apreciadas por el autor como consecuencia de observaciones propias o de sus lectores; en una de ellas, la correspondiente al denominado "Caso 7", incluso es conveniente la exposición de todo el cálculo.

He de expresar mi agradecimiento, por las indicaciones recibidas, a quienes han recalculado los mismos casos, o intervenido en otros similares, lo cual me ha permitido detectarlas.

Fórmula (9) de pá. 4.-

El denominador debe ser: $-Ax_0 - By_0 - Cz_0$ en vez de $Cz_0 - Ax_0 - By_0$.

Esta corrección no ha influido en ninguno de los resultados de los casos expuestos, sea por haberse calculado antes específicamente, sea por corresponder los casos a $C = 0$.

Ejes de figuras de los casos 1 y 7.-

La denominación Y-Y' del eje vertical ha de ser Z-Z', como el buen sentido del lector habrá seguramente apreciado.

Caso 4.-

La ecuación de la directriz 2 debe ser:

en lugar de $x = m \quad y = 0 \quad z = 1,5 \operatorname{ch}(m/1,5) - 0,5$
 $x = m \quad y = 0 \quad z = 0,5 + 0,5 \operatorname{ch} m$

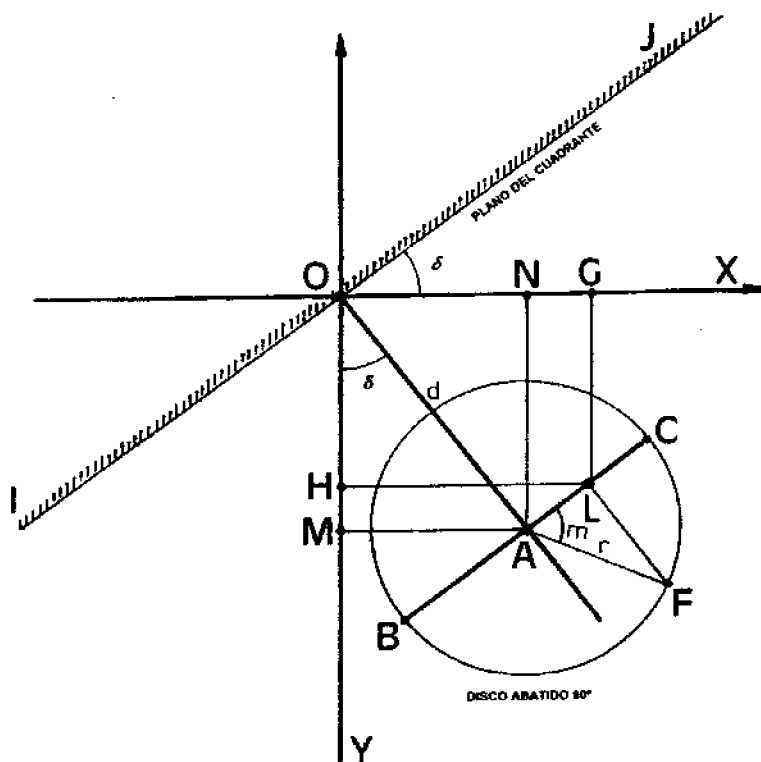
Esta corrección no trasciende apreciablemente en el resultado por cuanto solo se deja sentir en puntos alejados fuera de los límites del dibujo.

La figura presentada es, pues, válida.

Cálculos y nuevo dibujo del Caso 7 (vertical declinante con disco de plano paralelo y recta horizontal coincidente con su eje) .-

Tanto para que sirva de corrección, como de ejemplo de aplicación del método, se exponen los cálculos detallados comentados.

Las referencias de llamadas corresponden a las del artículo de ANALEMA; la notación utilizada, al igual que la del artículo, se detalla en el libro del autor : "Diseño y Construcción de Relojes de Sol y de Luna".*



* Editado por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos en su Colección de "Ciencias, Humanidades e Ingeniería" (nº 29). Servicio de Documentación y Biblioteca. C/ Almagro, 42 . 28010 MADRID. Tel: 34 91 3081988 Fax: 34 91 3199556 E-mail: "libreria_cicopp.es".

En la figura anterior se observa la proyección de los gnomones sobre un plano horizontal, siendo I-J la pared del cuadrante, OA el gnomon horizontal recto que declina δ (hacia el Este en este caso), BC la proyección del disco con centro en A, OX el eje Este - Oeste, OY el eje Norte - Sur, la vertical de O el eje OZ, A el centro del disco, abatido 90° dextrorsum sobre el gnomon recto, F un punto cualquiera del disco definido por el ángulo m con el plano horizontal de A, L su proyección sobre el diámetro horizontal, r el radio del disco, d la distancia de A al origen O de coordenadas y l un parámetro de la recta OA, la ordenada del punto considerado. Se tiene así:

$$\begin{aligned} \text{Directriz 1:} \quad & x = l \operatorname{tg} \delta \quad y = l \quad z = 0 \\ \text{Directriz 2:} \quad & x = OG = HL = MA + AL \cos \delta = d \operatorname{sen} \delta + r \cos \delta \cos m \\ & y = OH = GL = OM - AL \operatorname{sen} \delta = d \cos \delta + r \operatorname{sen} \delta \cos m \\ & z = LF = r \operatorname{sen} m \end{aligned}$$

El sistema de ecuaciones (10) del artículo de ANALEMA, con las definiciones de directrices, que corresponden a (1) y (2), adopta la forma:

$$\begin{aligned} z_0(l \operatorname{tg} \delta - d \operatorname{sen} \delta - r \cos \delta \cos m) &= -x_0 r \operatorname{sen} m \\ z_0(l - d \cos \delta + r \operatorname{sen} \delta \cos m) &= -y_0 r \operatorname{sen} m \end{aligned}$$

Eliminando l se obtiene:

$$\operatorname{tg} m = z_0(x_0 \cos \delta - y_0 \operatorname{sen} \delta)$$

valor independiente de d y de r , como podía esperarse, pues, cualquiera que sea el diámetro del disco y su distancia al origen, para una determinada dirección del rayo solar, definida por x_0, y_0, z_0 , que se apoye en recta y disco, la figura que se forma es semejante y no varía el ángulo m .

Siendo la ecuación del plano de proyección de traza IOJ:

$$x \operatorname{tg} \delta + y = 0 \quad \text{serán} \quad A = \operatorname{tg} \delta \quad B = 1 \quad C = 0$$

y hallando el valor de z según la expresión (9), pero utilizando los valores de la directriz 2 (parámetro m) y no de la 1 (parámetro l), que es igualmente válida, y operando, resulta:

$$z = -[z_0 d - r(x_0 \operatorname{sen} \delta + y_0 \cos \delta) \operatorname{sen} m] / (x_0 \operatorname{sen} \delta + y_0 \cos \delta)$$

y aplicando los valores (8):

$$\begin{aligned} x &= x_0(z - r \operatorname{sen} m) / z_0 + d \operatorname{sen} \delta + r \cos \delta \cos m \\ y &= y_0(z - r \operatorname{sen} m) / z_0 + d \cos \delta - r \operatorname{sen} \delta \cos m \end{aligned}$$

si bien este valor de y es ocioso, por cuanto, obviamente, es $y = -x \operatorname{tg} \delta$;

si se procede a la transformación de coordenadas, que señala el artículo de ANALEMA para pasar al plano del cuadrante, se tendrá:

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \delta + y \operatorname{sen} \delta = x(\cos \delta - \operatorname{sen} \delta \operatorname{tg} \delta) = x / \cos \delta \\ z' &= z \end{aligned}$$

El cálculo queda preparado para entrar en el programa en lenguaje Pascal y plotear las líneas horarias y de declinación habituales con valores:

$$\begin{aligned} (+ -)\alpha \text{ (meses zodiacales)} &= 23,44^\circ \quad 20,17^\circ \quad 11,33^\circ \quad 00,00^\circ \\ (+ -)\epsilon \text{ (medias horas)} &= 00,0^\circ \quad 07,5^\circ \quad 15,0^\circ \quad 22,5^\circ \quad \dots \end{aligned}$$

adoptando la precaución de eliminar los valores positivos de z (se produce un bucle para el diseño con sombra superior del disco dada la relación de r a d , o bien se refieren a horas nocturnas). En el diseño inferior el orto corresponde al extremo Oeste del diámetro horizontal del disco; en el superior al extremo Este. Como a cada uno de los valores de la $\operatorname{tg} m$ hallada corresponden dos valores del ángulo m que difieren en 180° , para la debida operación con ordenador se ha procedido formando cada cuadrante en dos partes con variación de m entre 0 y $(+,-)90^\circ$ con $\operatorname{tg} m$ negativa y tomando:

$$\begin{aligned} \text{diseño superior.-} \quad & \begin{array}{ll} x \text{ positivas} & m \text{ negativas} + 180^\circ \\ x \text{ negativas} & m \text{ positivas} \end{array} \\ \text{diseño inferior.-} \quad & \begin{array}{ll} x \text{ positivas} & m \text{ negativas} \\ x \text{ negativas} & m \text{ positivas} + 180^\circ \end{array} \end{aligned}$$

A continuación se insertan las dos nuevas figuras, corregidas, que sustituyen a las Fig. 15 y Fig 16

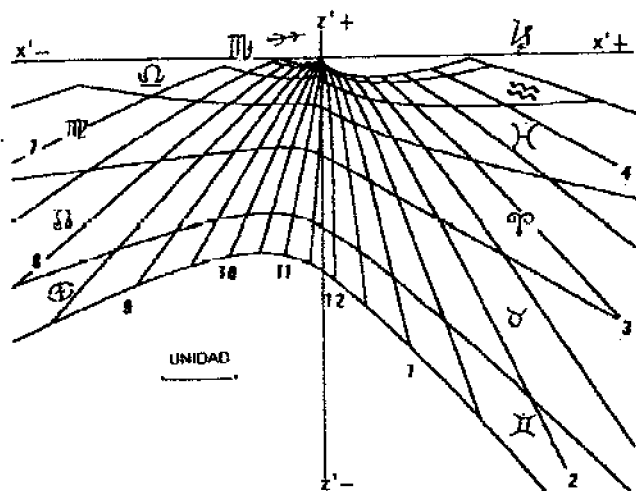


Figura 16.-CASO 7.- VERTICAL (diseño sup.)

Líneas horarias ½ hora
Línea recta perpendicular por su centro
Seleccionado pero no construido

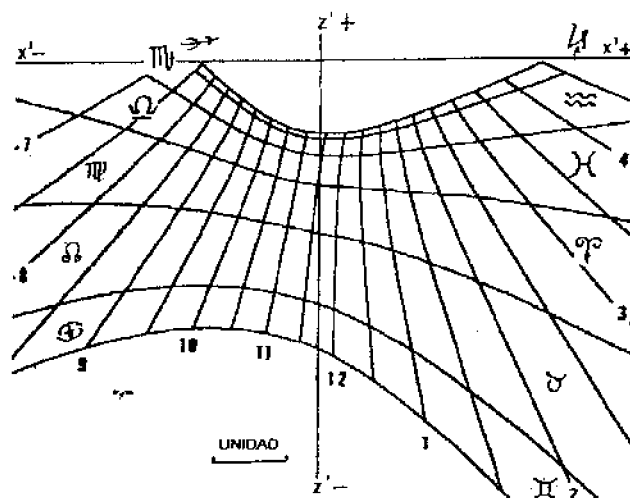


Figura 15.-CASO 7.- VERTICAL (diseño inf.)

Disco circular vertical declinando 10 E
Línea recta perpendicular por su centro
No seleccionado

Agosto 2003
R.S.G.

NOTA DEL EDITOR: Por considerar que no ha perdido actualidad resumimos aquí la Nota que acompañaba al anteriormente mencionado artículo de R. Soler y que reseña brevemente la historia del desarrollo del reloj bifilar:

H. Michnik publicó en 1914 su *BEITRÄGE ZUR THEORIE DES SONNENHUREN*, iniciando así sus publicaciones sobre Gnomónica. En 1922 publicó en la revista alemana *Astronomische Nachrichten* un artículo muy interesante sobre un nuevo tipo de reloj solar *THEORIE EINER BIFILAR SONNENUHR*. Este artículo ha sido traducido al español y publicado 70 años después, en el Boletín *Analema* Nº15

Anteriormente ya se había traducido y también publicado en *Analema*,1 otro interesante artículo del mismo autor: *KONSTRUKTION EINER SIDERISCHEN SONNENUHR* en el que se analiza la construcción de un extraordinario reloj solar que indica el tiempo sidéreo.

La teoría del reloj solar bifilar, fue presentada por Michnik exclusivamente como el lugar geométrico de la intersección de las sombras originadas por la luz solar, sobre un plano horizontal, de dos hilos o líneas rectas también horizontales, uno de ellos situado en la dirección E-W y el otro en dirección N-S. Dio lugar en su día a algunas, no muy numerosas, construcciones de relojes de este nuevo tipo. Actualmente los relojes bifilares se aplican sobre cualquier plano, con los hilos orientados de acuerdo con la posición del mismo

M.A. Hacar generalizó esta teoría (ver artículo publicado en *Analema* 2) con una formulación casi exclusivamente matemática, ampliando y generalizando el concepto de "hilo" a cualquier tipo de línea definible analíticamente

J. Moreno Bores expuso en *Analema* 16 un reloj bifilar en el que uno de los "hilos" es en realidad una circunferencia y el otro una línea recta.. Posteriormente amplió este concepto al de "Relojes bisuperficiales"

El cálculo y diseño de algunos de los prototipos antes reseñados no es sencillo, ni aún acudiendo al auxilio del ordenador. Digamos que es más bien laborioso y, en ciertos casos, frustrante. (No recomendado, e incluso vivamente desaconsejado, para gnomonistas novicios) Ha sido paulatinamente desarrollado por varios autores.

R. Soler Gayá que no es un novicio en estos temas, antes al contrario Gran Maestre de la Venerable Orden Gnomónica, ha desarrollado y utilizado las teorías y cálculos que definen estos relojes mal llamados "bifilares" pues sus gnomones ya no están constituidos por dos hilos. Como bien queda expuesto en el artículo de *Analema* 32 ha calculado, diseñado y construido numerosos relojes "bilineales" de una admirable originalidad, algunos de los cuales han conseguido menciones o premios en concursos internacionales.

La notable exposición de lo que él llama "Casos" representa una valiosa y original aportación al panorama actual de estos casi desconocidos, sorprendentes y, en algunos casos, bellos relojes solares.

ML.



