

# EL ASTROLABIO





# EL ASTROLABIO

## UN POCO DE HISTORIA

El nombre del astrolabio proviene de la palabra griega 'astro', que significa estrella, y de 'labio', "el que busca". Podríamos traducirlo por "el buscador de estrellas". Sin embargo, este complejo instrumento tiene muchas otras aplicaciones.

La primera expresión del astrolabio fue la de un simple grafómetro vertical, con la única misión de medir alturas (del sol o astros, cálculo horario y de posición). Más tarde se convirtió en una representación de la esfera celeste, destinada a responder interrogantes más complejos y empezó su carrera triunfal cuando, tomando la forma plana o planisférica, pudo resolver sobre su superficie con facilidad los problemas relativos a los ortos, ocasos y temas relacionados al horizonte en un determinado lugar.

Se llegó a una complicación de ábacos, más o menos superpuestos, cuyo número sólo era limitado por la necesidad de evitar una confusión excesiva en las láminas astrolábicas. En síntesis, el aparato fue comprendiendo en el limitado espacio de sus láminas los misterios de la astronomía, de la mecánica celeste, de las efemérides cronológicas y de la trigonometría,

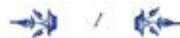
Textos, asesoría científica y desarrollo técnico:

D. Luis Hidalgo Velayos (L. H. V.)

Hemisferium®. Instrumentos Científicos Antiguos, S. L.

[www.hemisferium.es](http://www.hemisferium.es)

Madrid, 2006





incluyendo –como correspondía– curvas relativas a la Cábala y a la Astrología, llegando a constituir una máquina de calcular y un verdadero vademécum donde el astrónomo y el marino encontraban la información que actualmente les suministran las efemérides náuticas, las tablas de logaritmos y el sextante.

Las primeras notas que encontramos del desarrollo del astrolabio se refieren al Centro de Investigaciones de Alejandría. Hiparco (150 a. C.) el astrónomo diseñó, mediante la teoría de la proyección estereográfica, el primer astrolabio planisférico.

Claudio Ptolomeo, en el 140 d. C., en su libro *Almagesto*, desarrolló un instrumento denominado *astrolabon organon*, muy parecido a una esfera armilar o buscador de estrellas en términos de coordenadas eclípticas. Otros textos importantes sobre el astrolabio son los realizados por Juan (530 d. C), de la Escuela de Alejandría y por Severus (650 d. C). Destaca la obra del erudito árabe Masha-Alla Albatagnius (850 d. C.) por la influencia que tuvo sobre los científicos europeos de siglos posteriores.

A partir de la reconquista de Toledo por los Reyes Católicos se abrió camino a la nueva ciencia en Europa. Durante el siglo XIII, Alfonso X el Sabio de Castilla creó la Escuela de Traductores de Toledo, donde numerosas obras islámicas fueron traducidas, sentándose las bases para la realización de nuevas tablas astronómicas.

En Europa el astrolabio llegó a ser instrumento de uso imprescindible para astrónomos, astrólogos y agrimensores, hasta finales del siglo XVIII cuando fue reemplazado por instrumentos más exactos. En el mundo árabe su uso se prolongó hasta el siglo XIX.



## PARTES DEL ASTROLABIO

1. La madre: ahuecada para la colocación del tímpano y la araña.
2. Tímpano o lámina: placa grabada con las coordenadas de la esfera celeste (almucántaras); incluye el cenit, el horizonte, líneas de altitud, acimut, ecuador y los círculos de Cáncer y Capricornio. Corresponde a 50,5° de latitud (fig. 1).
3. La araña o red: es un mapa astral donde el eje central marca la posición de la estrella Polar; la trayectoria del sol se muestra sobre el círculo eclíptico, el cual está dividido en doce signos zodiacales (fig. 2).
4. La regla: situada sobre la araña, se usa para alinear la fecha sobre el círculo eclíptico con la hora correcta sobre el círculo horario.
5. La alidada: se usa para enfilear mediante las pínulas con las graduaciones en el dorso del astrolabio o dorso de la madre (fig. 3).
6. Dorso de la madre: todas las observaciones y medidas se realizan en el dorso de la madre; el círculo graduado que le rodea se denomina limbo (fig. 4).

## USOS DEL ASTROLABIO

Las posibilidades de cálculo del astrolabio, según Clavio supera el centenar. Aquí daremos las esenciales que interesan al aficionado a estos instrumentos. Demostraremos su precisión y observaremos con qué simplicidad y elegancia resuelve los problemas astronómicos basados en la trigonometría esférica.

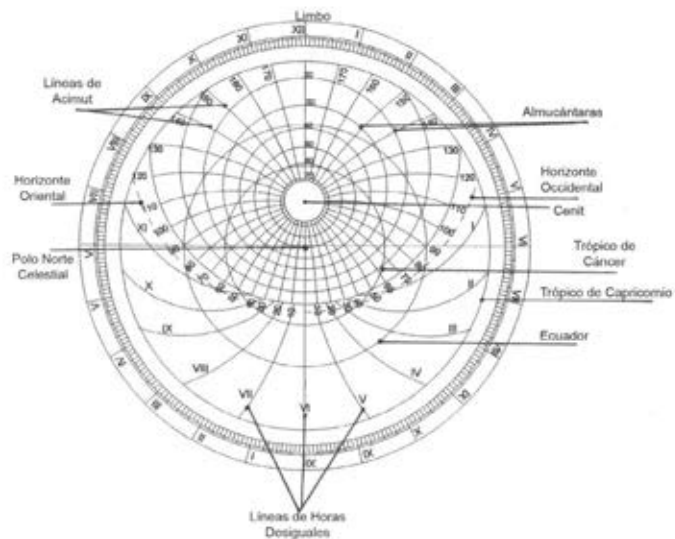


Fig. 1: Timpano o lámina



Fig. 3: Pinulas de la alidada

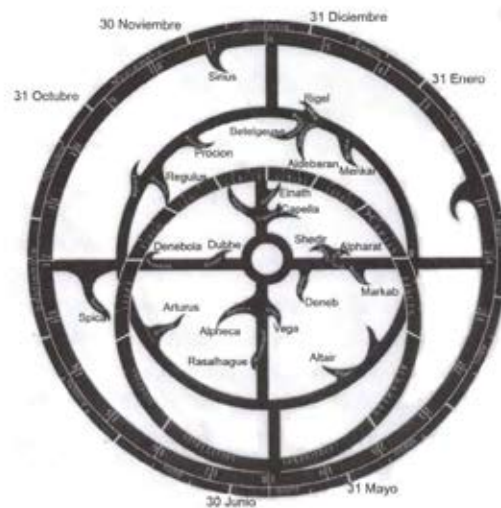


Fig. 2: Araña o red



Fig. 4: Dorso de la madre



## GENERALIDADES

La Lámina representa las coordenadas locales de altura  $h$  y acimut  $Az$  para el lugar del observador, por lo que habrá tantas láminas diferentes como latitudes aunque es admisible, sin gran error, utilizar láminas con una diferencia de medio grado por exceso o por defecto de la latitud de empleo, mientras que la araña nos indica las coordenadas celestes, representando a los astros en su posición en la bóveda celeste (ascensión recta -AR- y declinación  $\delta$ ) mediante las puntas o los garfios usados en los instrumentos antiguos. Al suponer como fijas (al menos durante un período de tiempo muy largo) a las estrellas, su AR y  $\delta$  las consideramos constantes, por lo que dicha red es adaptable a todas las latitudes, es lo mismo, que decir, que se puede utilizar en cualquier astrolabio plano, cualquiera que sea el trazado de su lámina, por lo que es universal. Como la Tierra gira de oeste a este, vemos girar a los astros de este a oeste en el sentido de las agujas de reloj. Este movimiento aparente es el que realiza la red o araña del astrolabio, desplazando el Sol, las estrellas y los demás astros, desde el horizonte Este hacia el Sur, efectuando el ocaso por el horizonte oeste.

Para tener una representación intuitiva de la proyección de la esfera celeste con respecto al horizonte, es conveniente orientar el astrolabio de modo que el colgadero esté mirando hacia el Sur. De esta forma el oriente quedará a mano izquierda del observador, el oeste a la derecha y el meridiano (línea de las XII) en el centro.

En el dorso del astrolabio, según muestra la *figura 4*, está el calendario que, mediante la alidada, convierte los meses y días del año en grados de un signo del Zodíaco, dando así la situación exacta del Sol en la eclíptica.

Si la regla se coloca encima del punto en que se encuentra el Sol en la eclíptica, el astrolabio contestará todas sus preguntas durante el día o la



noche y la regla hará las veces de manilla horaria de un reloj convencional en que las horas están dispuestas en el limbo periférico de la madre, siendo la marca de las XII cercanas al colgadero, correspondiente a las 12 horas solares y las XII opuestas a las 24 horas o las 0 horas.

La red lleva impresa las marcas de la ascensión recta AR y la regla la escala de declinación  $\delta$ . En los ejemplos que se ofrecen a continuación se utilizan los valores de  $\varphi = 51,5^\circ$ ,  $\lambda = 0 \text{ min } 20 \text{ s}$  y el día de observación, salvo otra indicación, será el 17 de agosto. Evidentemente, se puede utilizar para cualquier día del año y en cualquier momento (día o noche). Aporta la ventaja de obtener numerosos datos astronómicos sin tener la necesidad de salir al exterior.

## EL ASTROLABIO EN POSICIÓN DE TRABAJO

Pondremos el astrolabio en posición de trabajo para la noche del 17 de agosto. Para ello enfilaremos a la estrella Arturo con la alidada de pínulas del dorso del astrolabio. Si se obtiene una altura de  $20^\circ$  en el lado occidental debemos llevar la punta o garfio de la estrella que representa a Arturo ( $\alpha$  de Boyero) sobre la almucántara  $20^\circ$  en la parte derecha de la lámina y se colocará la regla sobre la marca  $24^\circ$  (Leo) de la eclíptica que corresponde a la posición del Sol ese día.

En estas condiciones el astrolabio estará dispuesto a contestar sus preguntas de forma inmediata: bajo estas circunstancias la bóveda celeste estará exactamente representada por la conjunción de la red y la lámina del astrolabio. Los primeros datos que podemos apreciar son:

- La declinación del Sol. La regla, que está sobre el punto  $24^\circ$  Leo de la eclíptica, indicará:  $\delta = 13^\circ 20'$



- La declinación de una estrella. Poniendo la regla sobre el garfio de Arturo indicará:  $\delta = 19^\circ$ .
- La ascensión recta del Sol. La regla indicará 9h 49min para ese día.
- La ascensión recta de una estrella. Con la regla sobre la punta que representa a Arturo, su extremo indicará las 14h 14min en la escala de AR de la red.
- El ángulo horario de una estrella. Como Arturo está en la almicantrada  $20^\circ$ , situando la regla sobre él, indicará las 5h 20min en el limbo periférico de la madre, teniendo el origen en las XII horas.
- El ángulo horario del Sol, hora solar. El extremo de la regla situada en 24 Leo, indicará las IX h 50min ó las 21h 50min de hora civil.
- Tiempo sidéreo en ese momento. Como éste es igual a la suma de la ascensión recta del Sol y su ángulo horario,  $t Hs = 9h 50min + 9h 49min = 19h 40min$ . El tiempo sidéreo se empieza a contar desde el meridiano o desde las XII horas del astrolabio. La señal del punto gamma  $\gamma$  ( $0^\circ$  de Aries) indicará en el limbo periférico de la corona el número de horas y minutos contados en sentido retrógrado, esto es, en el sentido de las agujas del reloj, desde las XII.
- Hora desigual del Sol. Veremos que acaba de pasar la III hora desigual nocturna.
- Algunas posiciones de las estrellas. De forma inmediata veremos que Spica ha realizado su ocaso y está a una altura de  $-11^\circ$  finalizando el crepúsculo náutico. Que Capella ( $\alpha$  del Auriga) es circumpolar, es decir, no tiene orto ni ocaso. Observaremos que Vega ( $\alpha$  de la Lira) ya culminó, ya transitó sobre el meridiano superior y se encuentra a  $71^\circ$  de altura y  $40^\circ$  de acimut S.W. Que Altair ( $\alpha$  del Águila) tiene una altura  $h = 48^\circ$  y un acimut de  $5^\circ$  SE muy próxima a culminar. Que Deneb ( $\alpha$  del Cisne) está a una altura  $h=79^\circ$  y un acimut de  $Az = 70^\circ$  SE. Hemos seleccionado estas tres estrellas



porque constituyen el “triángulo de verano”, como ejemplo más representativo del cielo de esos meses para el hemisferio Norte.

## A. Ejemplos de utilización del Sol

El tiempo al que se refiere el astrolabio es el **solar verdadero** sin ningún tipo de corrección ni por longitud, ni por la ecuación del tiempo E.T., ni por la hora de ahorro energético.

### Nomenclatura

**Hs**, ángulo horario del Sol o **He** el de una estrella fija; **t**, tiempo en horas;  **$\delta$** , declinación del Sol o de una estrella fija; **A**,  $180 - Az$ ; **Az**, acimut desde el Sur; **l** (SE Sureste, SW Suroeste);  **$\lambda$** , Longitud eclíptica o terrestre;  **$\phi$** , Latitud del lugar de empleo; **A.Rs**, Ascensión Recta del Sol; **A.Re**, A.R de una estrella;  **$\epsilon$** , ángulo de la eclíptica con el ecuador celeste  $23,44^\circ$ ;  **$\omega$** , ángulo auxiliar; **h**, altura solar o de una estrella fija;  **$\gamma$** , Punto Aries (punto de cruce de la eclíptica con el Ecuador celeste (origen de la A.R y el que señala el tiempo sidéreo);  **$\alpha$** ,  $1^\text{a}$  magnitud de una estrella dentro de su constelación y  **$\beta$** ,  $2^\text{a}$  magnitud; **E.T.**, Ecuación del Tiempo; **A.M** Antemeridiam y **P.M** postmeridiam; **T.U**, Tiempo Universal y **t Hs**, tiempo sidéreo.

### A.1. Calcular la hora del orto u hora de la salida del sol

El día elegido para la determinación es el 17 de agosto. En el calendario zodiacal del dorso, ese día corresponde a  $24^\circ$  de Leo. Marquemos con la regla el  $24^\circ$  de Leo sobre el círculo de la eclíptica y giremos el conjunto hasta que ese punto toque el borde oriental del horizonte. El extremo de la regla señalará las 4h 50mim solares.



La hora oficial para ese lugar cuya longitud  $0^{\circ} 05'$  al oeste es equivalente a 20sg, se tiene que: Hora oficial = hora solar verdadera +  $\lambda$  diferencia de longitud (oeste) + Ecuación de Tiempo + 1h (adelanto de verano). El valor de ET es 4min 05s para esa hora (5 de la mañana). Luego la hora oficial es: 5h 54min 25s.

### A.2. Horas de luz del día (desde el comienzo de la aurora hasta la noche cerrada)

Se procede como en el ejemplo del orto, pero en este caso empleando las horas de los crepúsculos; 2h 35min – 2h 25min = 19h 10min. El doble de Hs ya calculado dará:  $2 \times 9h 35m = 19h 10min$ .

### A.3. Obtención de la hora cuando conocemos la altura del Sol

La altura se puede conocer por el dorso del astrolabio, suspendiendo éste de su colgadero y hacer que el rayo solar penetre entre las dos pínulas. Observar esto indirectamente, esto es, se deja pasar el rayo de Sol por el agujerito de la pínula anterior de la alidada, hasta que el rayo se proyecte sobre el segundo agujerito de la pínula posterior, pero **nunca mirar al Sol a través de las pínulas**, pues se expone a daño ocular. La alidada señalará en el limbo periférico la altura del Sol, en grados.

Supongamos que la altura solar, obtenida el día 17 de agosto por la tarde, ha sido de  $30^{\circ}$  y queremos saber la hora solar. Actuaremos como siempre, con el astrolabio en posición de trabajo con el Sol en el  $24^{\circ}$  Leo de la eclíptica y sobre ese punto la regla en su borde fiducial. Giraremos el conjunto regla-red hasta que el punto caiga sobre la almicantarada de  $30^{\circ}$  en la zona derecha u occidental del astrolabio. La regla indicará en el limbo periférico las III h y 50m. PM o las 15h 50m.



Este es el ejemplo clásico expuesto en casi todos los libros y el más usado en la antigüedad. Se cuenta que, durante la invasión, conquista y dominio musulmán en la península ibérica, los caudillos árabes, se hacían acompañar de sus astrolabistas en sus incursiones, como ayudantes inestimables en sus fines estratégicos.

## B. Cronometría nocturna

El astrolabio es capaz de facilitarnos la hora, no sólo durante el día utilizando nuestra estrella, el Sol, sino que asume el papel de **Nocturlabio**, y permite conocer la hora solar por medio de las estrellas, aunque no sean circumpolares (aventajando al otro), aunque su aplicación es solamente local, a diferencia del Nocturlabio, que es universal.

### B.1. ¿Qué hora será cuando Arturo ( $\alpha$ del Boyero) tiene una altura $h = 20^{\circ}$ en el oeste?

Puede mirarse directamente con la alidada pues no hay peligro de ceguera. Para el día 17 de agosto la AR del Sol para esa hora es de 9h 49m. La determinación es sencilla, consiste en llevar la punta de la estrella Arturo sobre el almicantarat a  $20^{\circ}$  en la parte derecha u occidental del astrolabio. Estando la red fija sobre ese punto, se hace deslizar la regla hasta llevarla a la posición  $24^{\circ}$  Leo. Su extremo indicará en el limbo horario las IX h 50min de la tarde (21h 50min).

Podemos pregunta además: ¿es visible Arturo para esa hora? El astrolabio contesta inmediatamente, puesto que el Sol en  $24^{\circ}$  Leo a esa hora, ya determinada, está por debajo de la línea crepuscular. Sabemos que el crepúsculo astronómico vespertino en ese día termina a las 21h 35m, in luego hace 15 minutos que es visible.



## C. Problemas relacionados con el acimut

Nota: el origen de acimut y su numeración es objeto de controversia. Los astrónomos, navegantes y gnomonistas fijan un origen determinado y un sentido de numeración. En estas notas, el acimut tiene su origen en el sur y se cuenta en ambos sentidos de modo ascendente tanto hacia el este como hacia el oeste, hasta los  $180^\circ$ . Si la notación es  $Az = 15^\circ E$ , quiere indicar que la meridiana forma con la vertical del astro un ángulo de  $15^\circ$  hacia el Este y que el origen está en el punto sur. Cuando en las fórmulas se designe con A, se refiere al suplemento del acimut, es decir:  $A = 180^\circ - Az$ .

### C.1. Para conocer el acimut que tiene el Sol cuando se toma su altura en la mañana del día 17 de agosto

Se girará la red hasta que el punto  $24^\circ$  Leo esté encima del almicantarát  $20^\circ$ , si es ésta la altura tomada, en la parte oriental. El punto de encuentro coincide con el acimut  $85,5^\circ$  SE.

### C.2. Orientación con el astrolabio, conociendo el acimut

Aunque el método sea poco exacto, a efecto práctico es suficiente. Supongamos que el acimut observado era de  $86^\circ$  SE. Pongamos sobre el dorso;  $90^\circ - 86^\circ = 4^\circ$  sobre la línea de  $0^\circ - 0^\circ$  que hará las veces de línea este-oeste y apliquemos la alidada sobre  $4^\circ$ . En estas condiciones se inclina el astrolabio para que los rayos de sol pasen a través de las pínulas. Una vez conseguido, se debe descender cuidadosamente el astrolabio a la horizontal, la línea  $90^\circ - 90^\circ$  estará apuntado al Sur (meridiana). Si giramos la alidada hasta los  $90^\circ$  y miramos —ahora sí podemos enfilar a través de las pínulas, pero **nunca mirar al Sol**—, habremos materializado un punto sobre el horizonte: el Sur.



## D. Problemas relativos a la obtención de la altura

Nota: El origen del acimut y su numeración es objeto de controversia. Los astrónomos, navegantes y gnomonistas fijan un origen determinado y un sentido de numeración. En estas notas, el acimut tiene su origen en el sur y se cuenta en ambos sentidos de modo ascendente, tanto hacia el este como hacia el oeste, hasta los  $180^\circ$ . Si la notación es  $Az = 15^\circ E$  quiere indicar que la meridiana forma con la vertical del astro un ángulo de  $15^\circ$  hacia el este y que el origen está en el punto sur. Cuando en las fórmulas se designe con A, se refiere al suplemento del acimut, es decir:  $A = 180^\circ - Az$ .

### D.1. ¿Qué altura tendrá el Sol el día 17 de agosto a las 7h de la mañana?

Llévese la regla hasta indicar las VII horas de la mañana en la parte izquierda u oriental del limbo. Gírese la red hasta que la marca de  $24^\circ$  Leo coincida con el borde de la regla. El punto de encuentro determinará la altura de  $19^\circ$ .

### D.2. Conocido el acimut del Sol, calcular su altura.

Gírese la red hasta que el  $24^\circ$  Leo caiga encima del acimut;  $Az = 90^\circ$ ,  $A = 90^\circ$ . El punto de cruce cae encima del almicantarát  $18^\circ$ .

### D.3. ¿Cuál es la altura máxima del Sol en ese día?

Llevar la marca  $24^\circ$  Leo al meridiano y observar que corta a la almicantarát  $51,7^\circ$ .

## E. Ejemplos de uso topográfico

En el dorso, junto al ábaco de la conversión de las horas desiguales en iguales, figura lo que se denomina "escala altimétrica" que se utilizó para fines topográficos. Esta constituida por dos cuadrados unidos entre sí, y





cuyos lados están divididos en 10 partes iguales. La parte horizontal se llama *sombra recta* y los lados laterales *sombra versa*. En realidad es una escala de tangentes y cotangentes.

### E.1. Calcular la altura de un árbol conociendo la longitud de su sombra

El día 17 de agosto a las 10 horas solares, la sombra de un árbol es de 20 metros. Se ha visto en ejemplos anteriores cómo obtener la altura del Sol a esa hora y día, que es de  $45^\circ$ . Al poner la alidada del dorso en  $45^\circ$ , su borde cortará a la *umbra recta* en la 10ª división de su escala decimal.

Basado en la semejanza de los triángulos real y de la escala, se puede escribir; altura / 20 = 10 / 10, luego; altura = 20m = 20min. Cálculo: Se puede calcular utilizando la tangente del ángulo medido. Altura = 20 tg  $45^\circ$  = 20min.

## ➤ USO DEL ASTROLABIO: HORAS TEMPORARIAS

Es clásico incluir en el trazado de la lámina el trazado de las horas temporarias o desiguales. Sin embargo, en el dorso figura un ábaco —como también es tradicional— de conversión de las horas iguales en temporarias, de uso universal. En la antigüedad la duración del día se dividía en 12 partes iguales y cada una representaba una hora temporaria. Lógicamente la duración variaba según la estación, siendo más largas cuando la duración del período de la insolación es más largo (verano) y más corta cuando nos acercaba al solsticio de invierno, de ahí la denominación de desiguales. Esta distribución horaria era muy práctica para el desarrollo de las actividades humanas cotidianas.



Realizado este breve prólogo, vemos que en la parte inferior del astrolabio por debajo del horizonte figuran las denominadas horas temporarias y cifradas con números romanos I, II, III,...

El ingenio de los astrolabistas se pone de manifiesto al hecho de abstenerse de su trazado por la parte visible, por encima del horizonte, porque eso enmarañaría el trazado de los círculos de la altura (almuncantaradas) y los círculos de acimutes. Se dieron cuenta que el período de insolación durante un día cualquiera era exactamente igual al nocturno del opuesto al Sol en la eclíptica, o lo que equivale en términos más modernos, a un día en el que la declinación tenga el mismo valor absoluto pero con distinto signo, es decir si el día en consideración tiene  $+\delta = +\delta 13^\circ 30'$ , cómo es el caso de los ejemplos anteriores, 17 de agosto,  $24^\circ$  Leo, su opuesto en la eclíptica (véase el dorso) es el 13 de febrero  $-\delta = -13^\circ 30'$ ,  $24^\circ$  Acuario.

Basados en la anterior premisa es fácil la doble conversión de las horas iguales en desiguales o viceversa. Por ejemplo queremos saber ese día, qué hora desigual es a las 9h 30min (hora oficial) o las 8h 25min hora solar verdadera. Pondremos el conjunto regla y  $24^\circ$  Leo (lugar del Sol el día 17 de agosto) y llevaremos la regla hasta la graduación 8h 25min en estas condiciones el otro extremo de la regla apunta en la eclíptica al  $24^\circ$  de Acuario (13 de febrero) **punto antisolar** y está justo en la hora III temporaria. Inversamente si queremos saber qué hora igual es, a las IV temporaria debemos llevar el punto antisolar  $14^\circ$  Acuario (13 de febrero) sobre las IV y encima colocar la regla. El extremo opuesto de la regla señala en el limbo las 9h 35min.



## ÁBACO DE CONVERSIÓN

En el dorso figura el ábaco para la conversión de horas iguales en desiguales con carácter universal basado en la altura máxima del Sol.

¿Cómo se utilizaba y con qué fines se utilizaba este ábaco? Según las reglas promulgadas por San Benito para las horas de oración (horas canónicas) en la hora III era costumbre decir la misa. Para conocer por el Sol la hora que corresponde a la hora III (tercia) lo que hacía el monje con el astrolabio era poner la marca efectuada en la alidada en el ejemplo anterior, sobre la hora III y la alidada quedaba sobre el limbo periférico marcando  $34^\circ$ . Suspendía el astrolabio y cuando el rayo de Sol entraba por la primera pínula y coincidía con el segundo agujerito de la segunda pínula, entonces era la hora III y tocaría la campana para avisar a los feligreses de que comenzaba el acto religioso.

En resumen, esta maravillosa máquina de cálculo del medioevo, simulador prodigioso de la mecánica celeste, que en un plano representa toda una bóveda, nos admira y cautiva por su armonía y elegancia. Es un claro exponente de ingenio y rigor matemático que merece el título muy acertado de Leybourn que la calificó como "La joya matemática".

Nota: Para una mayor información, consulte *Documentación en [www.hemisferium.es](http://www.hemisferium.es)*.