

BÚSQUEDA POR COORDENADAS CELESTE

El objetivo de este pequeño manual es que podamos encontrar cualquier objeto celeste partiendo de sus coordenadas ecuatoriales celestes. Para ello hay que hacer uso de un pequeño programa que he hecho en BASIC para la calculadora Casio FX-880P (ver **ANEXO II**). Dado que esta calculadora está algo desfasada y no rentabilizaríamos su compra, pretendo con tiempo y la ayuda de los compañeros del Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife, pasar el programa a un lenguaje que permita usarlo con una PDA o mediante un ordenador.

Pero antes se hace obligado, para comprender el proceso, explicar ciertas ideas que hay que decir he extraído de la siguiente dirección de Internet:

<http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/extension/preguntas/coordenadasytelescopios.html>

La esfera celeste

Supongamos que nos encontramos en el medio del espacio interestelar y miramos con detenimiento el firmamento. Podemos darnos cuenta que casi en cualquier zona del cielo a la que miremos encontraremos estrellas u otros astros.

Podríamos claramente imaginar que el observador está ubicado en el centro de una gran esfera en la cual se encuentran todas y cada una de las estrellas que podemos ver y cada una con su respectivo brillo.

Por supuesto no existe tal esfera, pero a los fines de representar el firmamento es un modelo válido y los astrónomos la denominan **esfera celeste**.

El sistema horizontal

Si regresamos al planeta Tierra podemos hacer una representación similar del firmamento, sólo que ya no podremos ver la mitad de dicha esfera pues la misma Tierra nos lo impedirá. El límite entre la región visible de la esfera celeste y la no visible es lo que denominamos el círculo del **horizonte**. El plano que contiene a este círculo, y por supuesto al observador, constituye el plano del horizonte. Para determinar la ubicación de una estrella en el cielo simplemente deberíamos indicar en qué dirección del horizonte debemos mirar, por ejemplo utilizando los puntos cardinales, y a qué altura en grados sobre el horizonte se encuentra la misma. De esta simple manera, hemos construido un sistema de coordenadas tomando como referencia al plano del horizonte y por ello se lo denomina sistema horizontal.

Los observadores del hemisferio Norte definen a las coordenadas de este sistema como:

Altura: distancia angular desde el horizonte hasta el astro.

Azimut: ángulo medido desde el punto cardinal Norte, creciendo hacia el Este, hasta la dirección en el horizonte hacia la que debe orientarse el observador.

El movimiento aparente de los astros

Consideremos ahora el movimiento de rotación terrestre. Un observador ubicado en la superficie de la Tierra, rotará al igual que ella alrededor del eje terrestre.

Como ocurre con un viajero en un coche al cual le parece que son los postes de luz los que se desplazan en sentido contrario y no él, la esfera celeste o las estrellas presentarán al observador terrestre un movimiento contrario al suyo (movimiento diurno).

Es decir la esfera celeste parece moverse alrededor del eje de la Tierra aunque en sentido contrario. Como consecuencia de ello, el Sol y casi todos los astros presentan un movimiento en sentido de este a oeste y dos veces al día cruzan el horizonte saliendo y poniéndose. Cada uno de ellos sigue

-- 1 --

Autor: José Luis Duranza González
(Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife)



trayectorias circulares paralelas a las demás. Este movimiento se denomina **movimiento diurno** y la trayectoria que describen se denomina **círculo diurno**.

Proyectemos ahora el eje de rotación de la Tierra sobre la esfera celeste. Esto determinará dos puntos sobre la misma denominados **polos celestes**, de manera similar que su intersección sobre la superficie terrestre determina los polos terrestres. Como la esfera celeste rota entonces alrededor del eje de la Tierra o **eje del mundo**, los polos celestes no presentarán ningún movimiento aparente. Haciendo una proyección similar pero ahora del ecuador de la Tierra sobre la esfera celeste, determinamos el **ecuador celeste**. Es fácil entender, que las estrellas ubicadas sobre el ecuador celeste presentarán el máximo movimiento posible comparado con las demás estrellas. Así, a medida que los astros se encuentren más cerca de los polos celestes su desplazamiento aparente será menor hasta ser nulo sobre ellos.

Todo lo descrito es válido para cualquier observador en la superficie de la Tierra, puesto que no hemos hecho ninguna suposición sobre su posible ubicación.

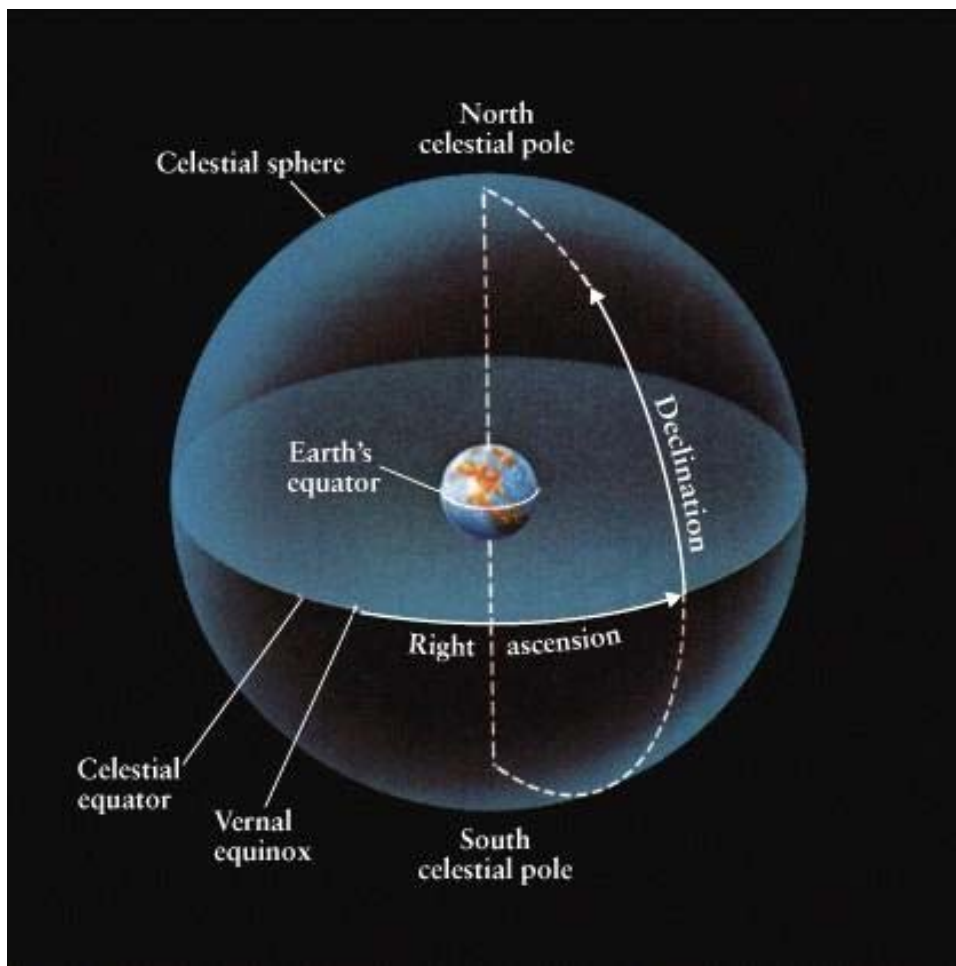
El sistema ecuatorial local

Si quisiéramos especificar de manera permanente la ubicación de un astro en el cielo, es claro que el sistema horizontal de coordenadas no es el más indicado, puesto que ni bien indiquemos su altura y azimut, al instante habrán cambiado como consecuencia del movimiento diurno. Por ello los astrónomos han ideado un sistema más apropiado para ello que es el **sistema ecuatorial**. Vimos que en el sistema horizontal, las coordenadas se miden sobre el horizonte (azimut) y respecto del horizonte (altura).

El sistema ecuatorial, utiliza en su lugar al plano ecuatorial que es el plano que contiene a los ecuadores terrestre y celeste y por supuesto al observador. De esta manera, al igual que hicimos con la altura en el sistema horizontal, podemos definir la coordenada que especifica la distancia angular de un astro al ecuador celeste. Esta coordenada se denomina **declinación** y puede valer entre 0 y 90 grados (al igual que la altura) desde el ecuador celeste hacia los polos celestes. Las declinaciones de objetos ubicados hacia el lado del polo sur del ecuador celeste (hemisferio sur celeste) toman por convención valores negativos es decir entre 0 y -90 grados. La declinación suele indicársela con la letra griega $\delta\epsilon\lambda\tau\alpha$. Debido a esta definición de la declinación debe quedar claro que la declinación de un astro no varía a lo largo del tiempo (excepto por los movimientos propios de los astros).

La otra coordenada, equivalente al azimut (del sistema horizontal) en el sistema ecuatorial se denomina **ángulo horario (t)**. El ángulo horario se mide a lo largo del ecuador celeste desde el meridiano del lugar (el punto más alto que puede alcanzar el astro en su movimiento diurno) hasta el astro, en dirección al Oeste. El meridiano del lugar no es ni más ni menos que la proyección sobre la esfera celeste del meridiano terrestre al cual pertenece el observador. Por supuesto el meridiano del lugar pasará por los puntos cardinales Norte y Sur y por el punto que está exactamente sobre nuestra cabeza (zenit) y por aquel punto que se encuentra en dirección exacta a nuestros pies (nadir). El ángulo horario se mide entre 0 y 360 grados aunque los astrónomos prefieren indicarlo en horas (1 hora = 15 grados) por su vinculación con la medición del tiempo. Entonces el ángulo horario toma valores entre 0 y 24 horas.





Representación esquemática de algunos elementos de la esfera celeste y de las coordenadas ecuatoriales. (Gráfico extraídos del libro "Discovering the Universe" 5th. edition, N.F.Comins; W.J.KaufmannIII)

Con estas coordenadas queda definido el denominado **sistema ecuatorial local** y es el que utilizan la mayoría de los telescopios modernos para el apuntamiento de los astros. (Muchos otros, incluyendo los de última tecnología utilizan el sistema horizontal).

Ya vimos que la declinación de un astro no cambia con el tiempo, pero no podemos decir lo mismo del ángulo horario. Dado que para nosotros el meridiano del lugar está fijo, pues siempre pasa por el N el S el zenit y el nadir, el movimiento diurno hace que los astros se acerquen a él luego de asomarse por el horizonte, que lo crucen (culminación o tránsito) en algún instante del día (o noche) y luego que se alejen de él. Así, cualquier astro tarda en pasar dos veces consecutivas por el meridiano del lugar 23hs con 56 minutos, pues este es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta sobre su propio eje.

El sistema ecuatorial celeste

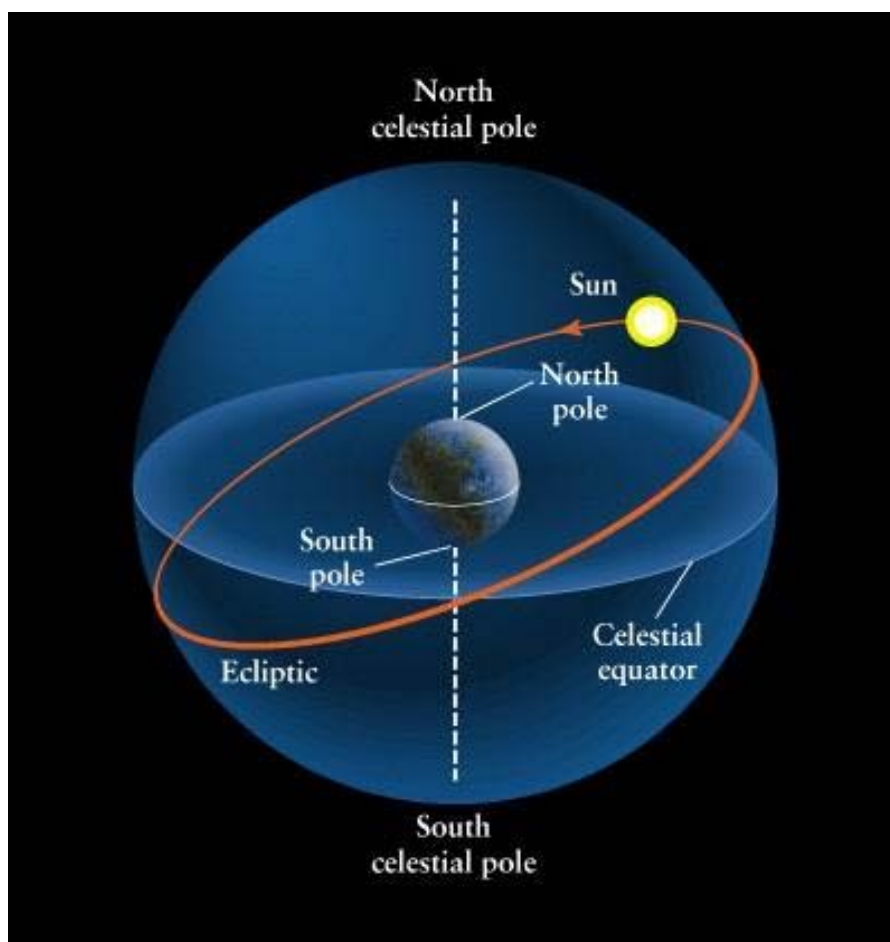
Cuando los astrónomos quieren establecer las coordenadas de un objeto de manera tal que estas no dependan de la posición del observador y del momento de la observación, como vimos en los sistemas definidos anteriormente, utilizan el **sistema ecuatorial celeste**. Este sistema adopta una de las coordenadas del sistema ecuatorial local: la declinación. Como ya dijimos, la declinación no depende del observador ni del instante de observación. Sin embargo, el ángulo horario debe ser



reemplazado por otra coordenada que también se mida sobre el ecuador celeste. El meridiano del lugar ya no sirve como punto de referencia pues vimos que éste acompaña al observador y por ello los astros en su movimiento diurno varían su posición respecto de él. Es necesario tomar algún punto de referencia cuyo movimiento aparente sea igual al de las estrellas.

Para ello los astrónomos adoptaron al punto denominado **equinoccio vernal**, también llamado **punto vernal** o **punto gamma**. Este punto está determinado por la intersección del ecuador celeste con el plano de la eclíptica (trayectoria aparente que sigue el Sol en el cielo a lo largo del año como consecuencia de la traslación terrestre). Dado que la intersección de estos dos planos define "dos" puntos en el cielo, por uno de ellos el Sol alrededor del 21 de marzo (comienzo de la primavera para los habitantes del hemisferio Norte y del otoño para los del hemisferio Sur) y por el otro el Sol pasa alrededor del 21 de septiembre (comienzo del otoño en el hemisferio Norte y de la primavera en el Sur). El punto vernal corresponde pues a aquel punto en el cual se encuentra el Sol en la primavera del hemisferio Norte (alrededor del 21/3). Si pudiésemos observar a este punto se vería que acompaña el movimiento de cualquier estrella.

Así, si medimos una nueva coordenada sobre el ecuador celeste, tomando como origen al equinoccio vernal, esta coordenada no sería dependiente de la posición del observador terrestre ni del instante de la observación. Esta coordenada se denomina **Ascensión Recta (AR)** y se mide, al igual que el ángulo horario, entre 0 y 24 hs, sólo que en sentido contrario, es decir desde el punto vernal en sentido de Oeste a Este.



Representación esquemática de algunos elementos de la esfera celeste y de las coordenadas ecuatoriales celestes. (Gráfico extraídos del libro "Discovering the Universe" 5th. edition, N.F.Comins; W.J.KaufmannIII)

-- 4 --

Autor: José Luis Duranza González
(Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife)



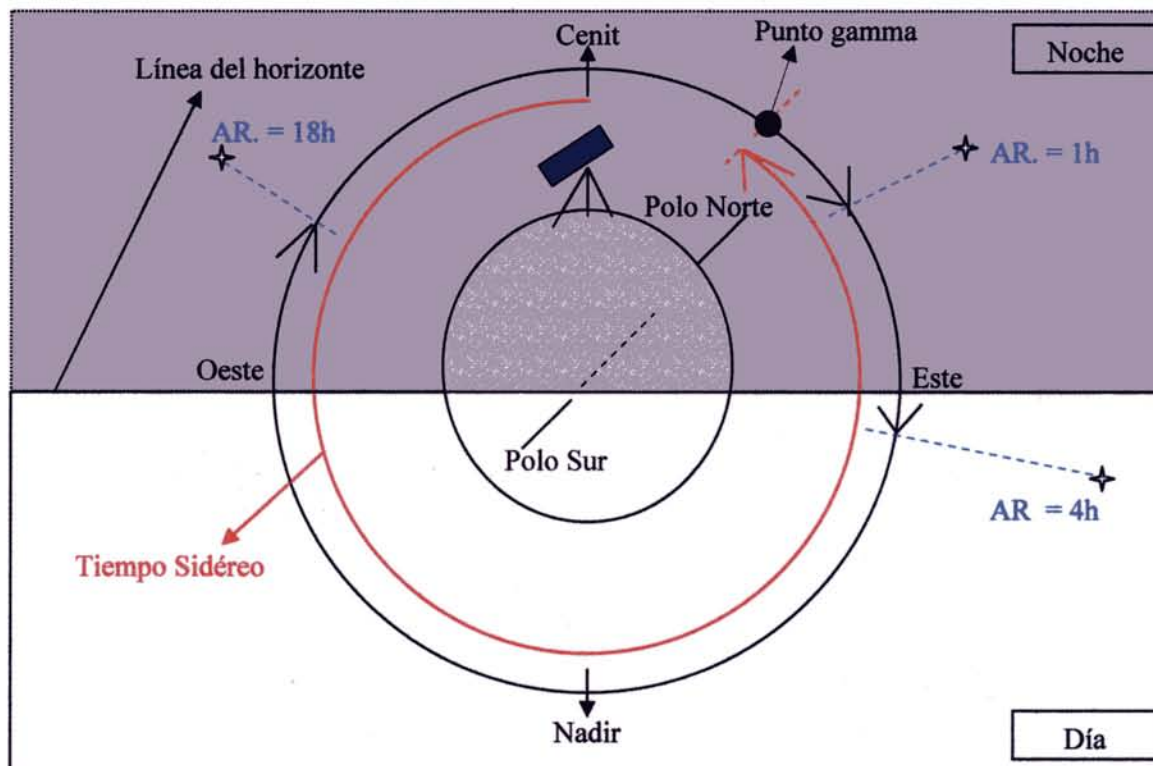


Gráfico 1 (Autor del gráfico: José Luis Duranza González)

El tiempo sidéreo

Dado que el equinoccio vernal es sólo un punto matemático en el cielo, no es posible determinar de manera inmediata mediante la observación, su ubicación precisa. Pero como cualquier astro, podemos determinar la declinación y al ángulo horario del punto vernal. Por supuesto su declinación es 0 grados pues se encuentra sobre el ecuador celeste. El ángulo horario del punto vernal será 0 horas cuando éste se encuentre pasando exactamente por el meridiano superior del lugar. Con el paso del tiempo irá aumentando hasta alcanzar las 6 horas en el instante en que éste cruza el horizonte poniéndose por el punto cardinal Oeste. Seis horas más tarde el punto vernal cruzará el meridiano inferior del lugar momento en que su ángulo horario es igual a 12 horas. Al salir nuevamente por el horizonte Este tendrá un ángulo horario de 18 hs y finalmente alcanzará el meridiano superior del lugar completando una rotación de 24 hs. Esta es la base del **tiempo sidéreo (TS)** que se define entonces como el ángulo horario del punto vernal. Debemos notar que el recorrido completo descrito transcurrió según cualquier reloj en 23 hs. con 56 min. que es el tiempo en que la Tierra completa un giro alrededor de su propio eje. Es decir que cuando transcurrieron 24 hs. sidéreas, en realidad han transcurrido 23 hs. 56 min. de tiempo según un reloj.

Esto se debe a que nuestros relojes miden el tiempo en relación al Sol, es decir el tiempo solar. Un reloj común marca que han transcurrido 24 hs. cuando el Sol (y no cualquier otro astro) ha transitado dos veces consecutivas, por ejemplo, por el meridiano superior del lugar. Pero dado que la Tierra se desplaza en su órbita alrededor del Sol, el observador terrestre percibe un movimiento aparente del Sol en sentido contrario. Así, de un día al otro el Sol se desplaza en el cielo aproximadamente 1 grado que equivale a 4 minutos medido en escala de tiempo. Estos cuatro minutos constituyen la diferencia señalada entre el tiempo sidéreo y el tiempo solar que registran nuestros relojes.

-- 5 --

Autor: José Luis Duranza González
(Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife)



Debido a esto, los astrónomos se han visto en la necesidad de construir relojes sidéreos, que permitan conocer el ángulo horario del punto vernal para cualquier instante.

En principio, una vez que se conoce el ángulo horario del punto vernal o tiempo sidéreo, es fácil determinar el ángulo horario t de cualquier astro si se conoce su AR, puesto que ésta última se mide desde dicho punto. Para ello se usa una relación muy simple de determinar a partir de las definiciones dadas por la cual

$TS = AR + t$ Es decir que el tiempo sidéreo en un determinado instante es igual a la AR de un astro más su ángulo horario en ese mismo instante. Para los fines prácticos podemos decir que para cualquier instante el ángulo horario de un astro es igual al TS menos su AR. Así, obteniendo la AR de un objeto a partir de un catálogo astronómico y leyendo el TS de un reloj sidéreo ubicado en el observatorio (en nuestro caso de un pequeño programa informático ver ANEXO II), puede conocerse su ángulo horario. Junto con la declinación del astro que también se especifica en el catálogo, se procede a ubicar estas dos coordenadas locales en el telescopio para su observación.

Lic. Eduardo Fernández Lajús

Supongamos que son las 20h 11 minutos en T.U. del 9 de febrero de 2005 y queremos saber el A.H. de la estrella Sirio cuya A.R. es 6h 45.368 minutos.

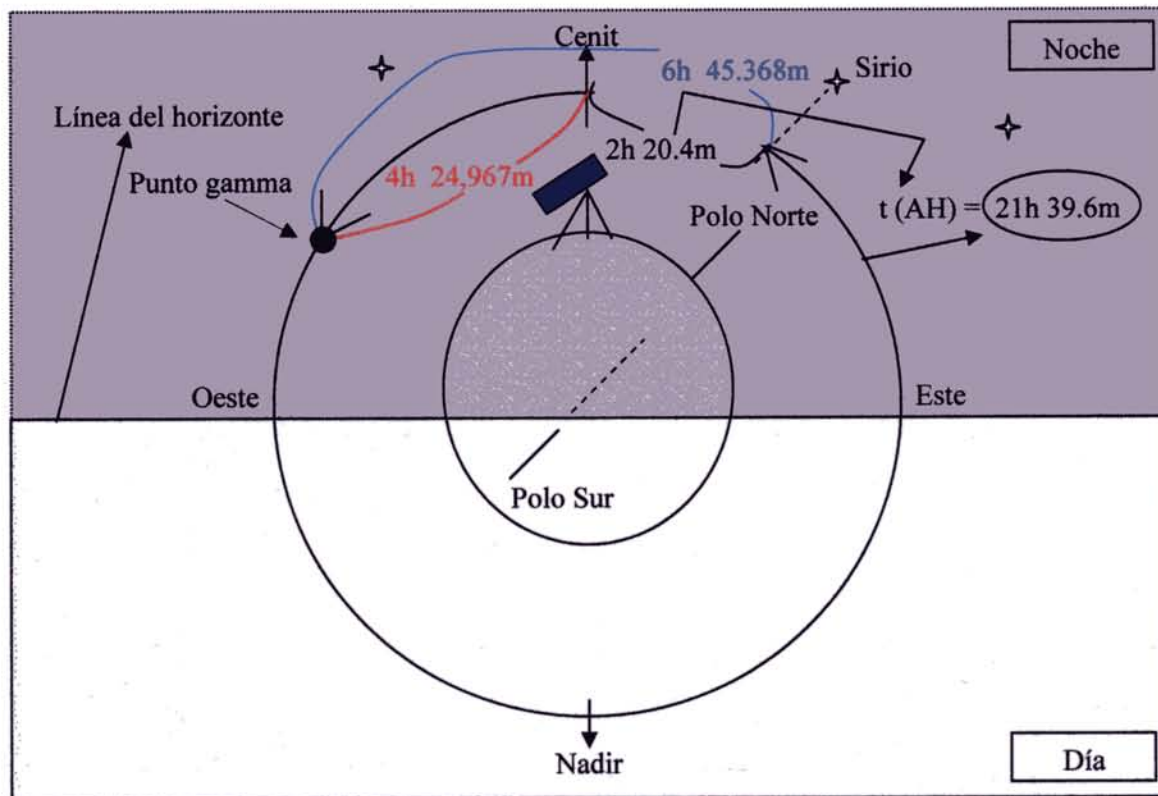


Gráfico 2 (Autor del gráfico: José Luis Duranza González)

TS = 4h 24.967m

AR = 6h 45.368m

$t(AH) = TS - AR = -2.34h$ (2h 20.4m) El ángulo horario para todos los astros que no han llegado el cenit nos dará negativo, y como hemos dicho en párrafos anteriores, el AH tiene los valores entre 0h y 24hs por tanto: $24h - 2.34h = 21.66h = 21h 39.6m$



Hay que decir que tanto el valor -2.34h (el valor negativo nos indica que la orientación que tenemos que dar al telescopio es hacia el Este) **como el valor 21h 39.6m** (este valor es el que en realidad nos daría el programa informático y no el valor negativo) **se pueden aplicar ya directamente en el círculo horario del telescopio.**

¿Cómo se aplica todo lo dicho hasta ahora en el telescopio?

La montura ecuatorial

De su nombre se desprende que uno de sus ejes permite que el telescopio gire alrededor de un eje paralelo al de rotación terrestre variando su ángulo horario o su AR. El otro eje hace que el telescopio se mueva perpendicular al ecuador terrestre, de modo de poder cambiar la declinación a la que apunta. El primer eje se denomina eje polar y el segundo eje de declinación.

La montura ecuatorial exige que el eje polar este perfectamente paralelo al eje de la Tierra (ver manual de título “Alineación del Eje Polar”).

El apuntamiento o calaje de un astro

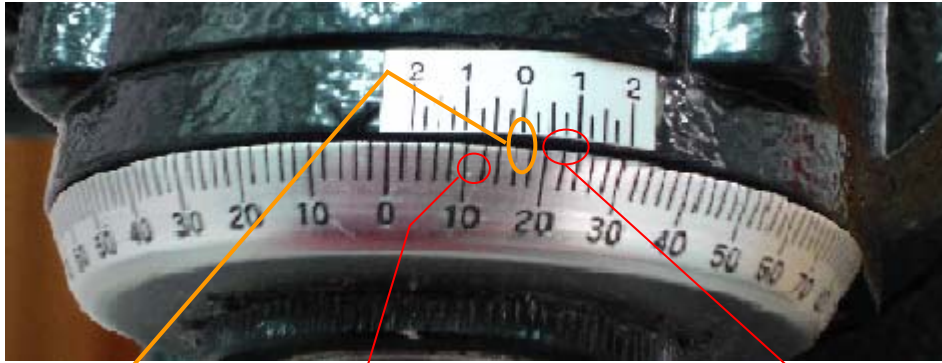
En el momento del apuntamiento de un astro del cual se tienen sus coordenadas celestes (AR y δ) es conveniente (aunque no necesario) mover el telescopio hacia la declinación del astro. Para ello simplemente se mueve el telescopio alrededor del eje de declinación hasta que un círculo graduado perpendicular a este eje llamado círculo de declinación, indica la declinación del objeto. Luego se procede a mover el telescopio alrededor del eje polar, leyendo en el correspondiente círculo graduado llamado círculo horario (perpendicular al eje polar) que señala el ángulo horario. Previamente debemos obtener como dijimos el ángulo horario a partir de la AR del catalogo y del TS (tiempo sidéreo) del reloj. Actualmente la hora sidérea se obtiene de simples programas en la computadora (programa en BASIC que se encuentran en el anexo de este documento), aunque hay formas aun más caseras de obtenerla a partir de tablas o estimaciones.

A continuación vamos a aplicar todo lo dicho hasta ahora al telescopio siguiendo el ejemplo que utilizamos con la estrella Sirio. Pero en primer lugar vamos a ver en las fotos siguientes y en una montura ecuatorial EQ5 los círculos de declinación y de ascensión recta. Hay que decir que ambos círculos graduados, tanto el de declinación como el círculo de AR ó círculo horario son escalas con una pieza auxiliar que se superpone a la escala graduada y permite aumentar la precisión de su medida en una cifra decimal (dicho de otra forma: para medir fracciones de las divisiones menores de la graduación) esta pieza auxiliar se llama Nonius, ver **ANEXO I**.

Comenzaremos por la declinación, sabemos tras consultar las tablas, que la declinación de Sirio es la siguiente: - **16° 43'** (como ya dijimos en la página 2 de este pequeño manual, la declinación puede valer entre 0 y 90 desde el ecuador celeste hacia los polos celestes. Las declinaciones de objetos ubicados hacia el lado del polo sur del ecuador celeste, hemisferio sur celeste, toman por convención valores negativos es decir entre 0 y -90 grados.



En el caso de la declinación el traslado de los datos a la escala de la montura es directa, y el dato de nuestro ejemplo se traduce en dicha escala de la forma que se ve en la imagen:



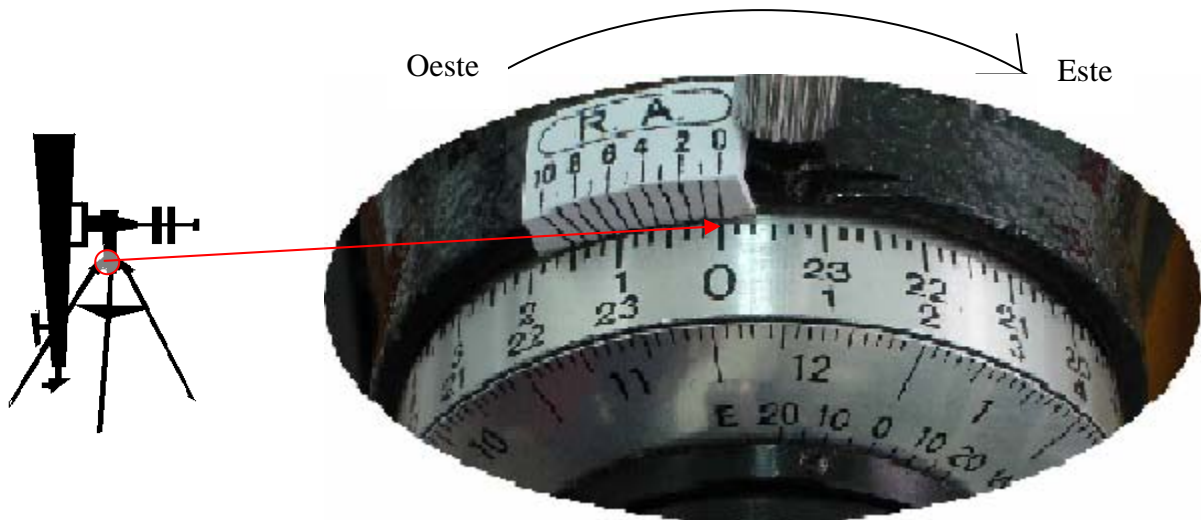
Posición correspondiente a los 16° 43'

Son 43' y esto representa aproximadamente 3/4 de grado

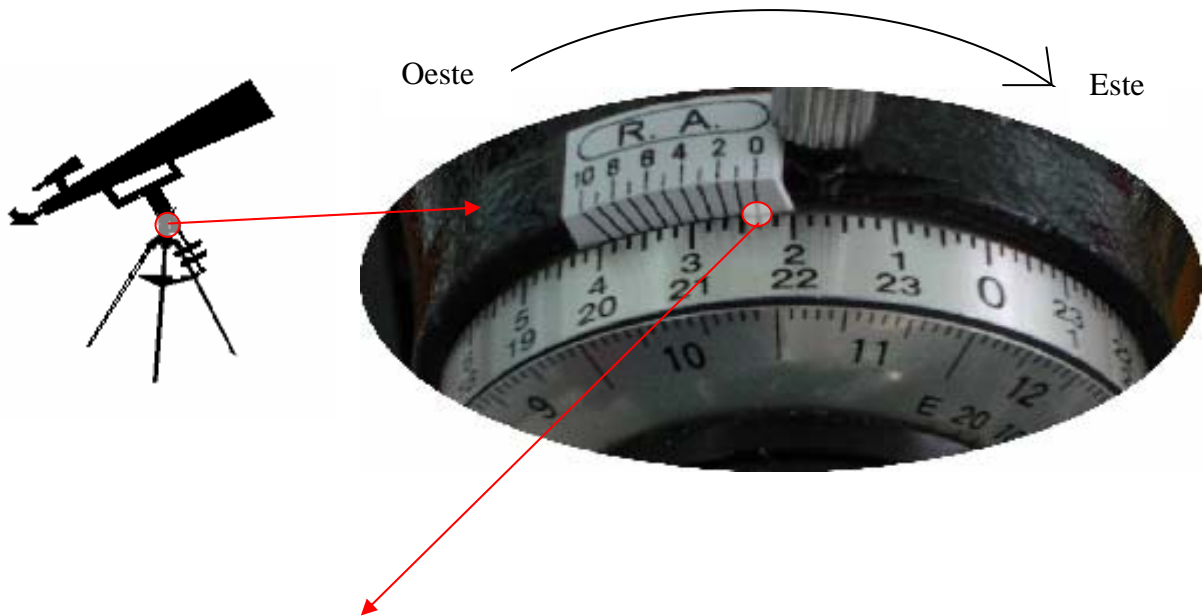
Cada línea representa 2° y la escala superior (Nonius), nos da mayor precisión a la lectura, observen que dicha escala superior nos da 2° con sus fracciones. Por lo que en la imagen vemos la declinación que está dando: 10° mas 3 rayitas, y como cada rayita representa 2° será 16° más la fracción correspondiente a los 43'

Ahora vamos a traducir el AH en el círculo de AR o círculo horario: En primer lugar una posición de partida para saber cómo funciona el círculo horario respecto a la posición del telescopio podría ser cuando el AH es de 0h, en este caso el telescopio apunta al Cenit. Gráficamente lo veremos así:

Sentido de giro en el caso de que el astro, como en el caso de nuestro ejemplo, se encuentre hacia el Este, o dicho de otra forma, antes de llegar al Cenit.



En el caso del ejemplo que hemos utilizado hasta ahora lo podemos ver gráficamente de la siguiente manera:



Posición correspondiente al ángulo horario calculado: **21h 39.6m o también 2h 20.4m**

Como recomendación con este tipo de monturas EQ5, se debe calibrar los círculos graduados con un objeto celeste conocido y partiendo de esa posición calcular el AH del objeto que pretendemos encontrar, no debiendo encadenar más de dos búsquedas seguidas, ya que en cada búsqueda se va acumulando un error del movimiento del círculo horario.

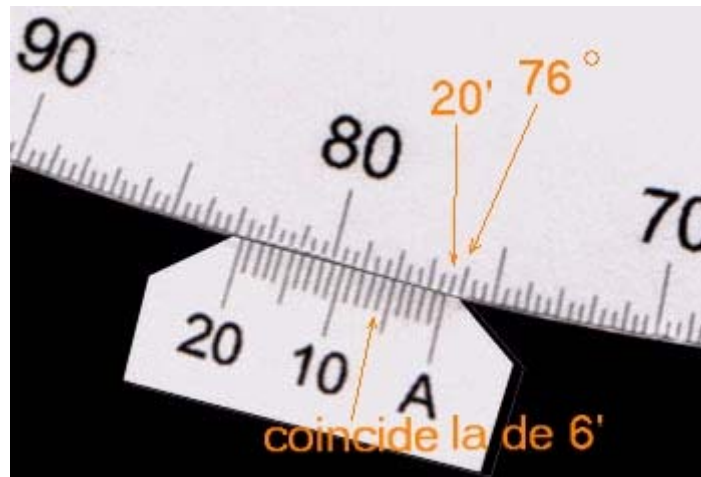
Como se dijo en páginas anteriores para el cálculo del ángulo horario se requiere el uso de un programa informático como el que se presenta en el **ANEXO II**, pero para que éste funcione correctamente debemos tener en cuenta que cada vez que vayamos a hacer uso del mismo debemos cambiar la sentencia número 1 del programa, informándola con la fecha del día siguiente a la noche de observación, es decir, si vamos a observar la noche del 9 de febrero, en la sentencia 1 del programa debemos escribir el día 10. También es importante conocer la longitud del lugar en el vamos a observar expresada en horas; yo siempre mantengo el mismo dato, ya que dentro de la isla de Tenerife las diferencias no van a ser muy grandes, este dato se informa en la sentencia 3 del programa y es la variable "B" a la que le he dado el valor 1.1011

El programa nos devuelve dos datos, uno es la hora del tránsito para ese objeto (o si está en ese momento en tránsito) y el otro dato es el AH (ángulo horario) expresado en horas y minutos y que será el dato a trasladar al círculo horario de la montura.



ANEXO I

Explicación del Nonius



Nonius: Pieza auxiliar que se superpone a una escala graduada y permite aumentar la precisión de su medida en una cifra decimal (dicho de otra forma: para medir fracciones de las divisiones menores de la escala).

La lectura de la escala del vernier es fácil, una vez que te acostumbras a ello. En la escala de la izquierda, el índice marca 76° y un poco más, con minutos entre $20'$ y $40'$ (marca **A**). En el vernier, puede apreciarse que su 6ª raya, a partir de la **A**, coincide con una raya del índice, así pues, la lectura es $76^\circ 26'$ ($76^\circ 20' + 6'$).

Ilustración y texto extraídos de la Web:

<http://www.qarlos.free.fr/sextante.htm>

-- 10 --

Autor: José Luis Duranza González
(Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife)



ANEXO II
PROGRAMA PARA LA CALCULADORA CASIO FX- 880P

```
1 DY = 10: MN = 2: YR = 2005
2 HR = 0: MI = 0: SG = 0
3 B = 1.1011#
10 INPUT "TU(h)=", C
11 INPUT "TU(m)=", D
12 INPUT "AR(h)=", E
13 INPUT "AR(m)=", F
30 DD = DY + HR / 24 + MI / 1440 + SG / 86400
40 DY = INT(DD)
50 IF MN = 1 OR MN = 2 THEN YR = YR - 1: MN = MN + 12
60 IF YR + MN / 100 + DY / 10000 >= 1582.1015# THEN GR = 2 - INT(YR / 100) + INT(INT(YR
/ 100) / 4) ELSE GR = 0
70 JD = INT(365.25 * YR) + INT(30.6001 * (MN + 1)) + DY + 1720994.5# + GR
80 T = (JD - 2415020) / 36525
90 SS = 6.6460656# + 2400.051 * T + .00002581# * T * T
100 ST = (SS / 24 - INT(SS / 24)) * 24
190 G = C + D / 60
191 GOSUB 1250
192 GOTO 200
1250 H = ST - B + G * 1.00273779027#
1360 M = E + F / 60
1370 N = (H - M) - 24
1380 IF N < 0 THEN 1390
1381 IF N > 0 THEN 1420
1390 TR = G + ABS(N)
1391 IF TR > 24 THEN 1442
1400 GOTO 1440
1420 TR = G - ABS(N)
1430 IF TR > 24 THEN 1442
(En la sentencia siguiente el redondeo en la calculadora se hace con la sentencia: ROUND y no
CINT)
1440 PRINT "TRANSITO="; INT(TR); "h"; CINT((ABS(TR) - INT(TR)) * 60); "m"
1441 GOTO 1445
1442 TR = TR - 24
1444 PRINT "TRANSITO="; INT(TR); "h"; CINT((ABS(TR) - INT(TR)) * 60); "m"
1445 IF (ABS(G - TR) <= .233) THEN 1672
1450 IF (ABS(G - TR) < 12) THEN 1550
1460 IF (ABS(G - TR) > 12) THEN 1570
1550 IF G < TR THEN 1650
1560 IF G > TR THEN 1670
1570 IF G < TR THEN 1670
1580 IF G > TR THEN 1650
1650 Z = 1
1660 GOTO 1700
1670 Z = 0
```

-- 11 --

Autor: José Luis Duranza González
(Grupo de Observadores Astronómicos de Tenerife)



```
1671 GOTO 1700
1672 PRINT "Objeto celeste en transito:"
1700 RETURN
200 IF G < 12 THEN 250
210 IF G > 12 THEN 230
230 H = ST - B + (G - 24) * 1.00273779027#
240 GOTO 360
250 H = ST - B + G * 1.00273779027#
360 M = E + F / 60
370 N = M - H
373 IF N > 10 THEN 375
374 IF N < 10 THEN 380
375 N = 24 - N
380 N = ABS(N)
390 P = INT(N)
400 R = CINT((N - P) * 60)
```

(Respecto a la sentencia anterior, en la calculadora el redondeo es con la sentencia: ROUND y no CINT)

```
403 IF Z = 0 THEN 410
404 IF Z = 1 THEN 412
410 PRINT "AH="; P; "h"; R; "m"
411 GOTO 420
412 Y = 24 - (P + R / 60)
413 W = INT(Y)
414 L = CINT((Y - W) * 60)
415 PRINT "AH="; W; "h"; L; "m"
420 SYSTEM
```

(Respecto a la sentencia anterior, en la calculadora en lugar de SYSTEM deberá ponerse END)

