



2

El movimiento diurno

- 2.1 El sol y sus sombras
- 2.2 Coordenadas horizontales
- 2.3 Primeros instrumentos
- 2.4 Semicírculos de visibilidad
- 2.5 Las apariencias
- 2.6 El planisferio
- 2.7 Trabajos escolares

Imagínese a usted mismo en el mar hace unos pocos miles de años. Con una buena carga de pescado a bordo, su esquife se desliza lentamente hacia la orilla que comienza a ser invadida por las tinieblas; ¡un raro momento en la lucha por la vida! Es la hora de contemplar los titilantes cielos. Aunque sin mucho tiempo para reflexionar sobre ellas, las estrellas habrían constituido para usted un importante hecho natural. La aurora, el arco circular del vuelo del Sol a mediodía y, luego, su inmersión de fuego en el mar occidental serían algo familiar, así como el giro nocturno de las estrellas. Estas serían las seguras experiencias de su vida. Este es, pues, el primer gran hecho de los cielos. Todos los observadores antiguos se sentían justamente impresionados con la observación del Sol, las estrellas y la Luna moviéndose sobre la tierra en sus círculos perfectos.

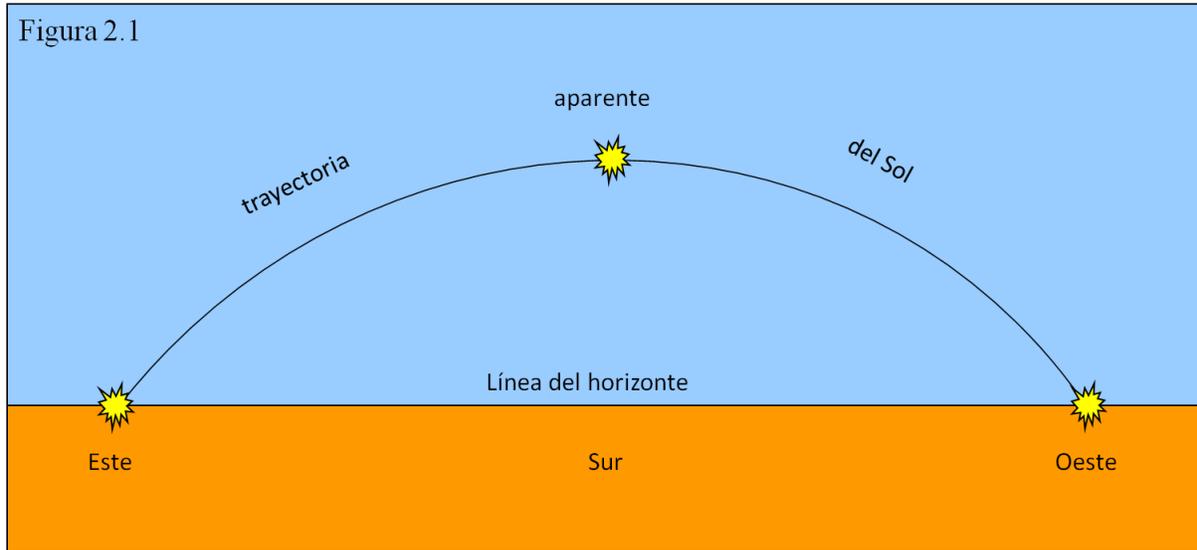
Norwood R. Hanson, *Constelaciones y conjeturas*

Ya nos hemos familiarizado con las figuras que forman las luces celestes. Es el primer paso para conocer el firmamento y todos los pueblos antiguos agruparon las estrellas según les dictaba su imaginación, bautizando estos grupos con los nombres de sus animales destacados, de sus dioses o héroes. Pero el cielo no está quieto, sino en un movimiento perpetuo, ordenado y preciso. Las primeras civilizaciones, que no vivían en grandes urbes iluminadas, pudieron contemplarlo pausadamente y quedaron maravilladas de la armonía y perfección de estos movimientos. Para comprenderlos adecuadamente hace falta observar con atención el cielo, noche tras noche, a lo largo de muchos meses, anotando de forma continua las posiciones de las estrellas hasta revelar sus lentos pero inexorables movimientos.

Nosotros no tenemos esta experiencia acumulada. Apenas vemos nada en los cielos contaminados de nuestras ciudades. Tenemos que conseguir la misma información que cosechó la especie humana en la Antigüedad, repetir su mismo camino, pero más deprisa y con una bóveda celeste mucho menos oscura. Afortunadamente disponemos de numerosas ayudas para reproducir todos esos movimientos aparentes. Una de las clásicas es el planisferio, pero desde hace pocos años contamos con magníficos programas informáticos gracias a los cuales podemos realizar cuantas observaciones queramos, como si todas las noches estuvieran despejadas de nubes y dedicáramos algunas horas a su tranquila contemplación. De cualquier manera no dejan de ser simuladores de lo que pasa en el firmamento, todo lo fieles y cómodos que se quiera, pero nunca podrán reemplazar a la observación directa. Mira hacia las estrellas siempre que puedas. Es un espectáculo que nunca decepciona.

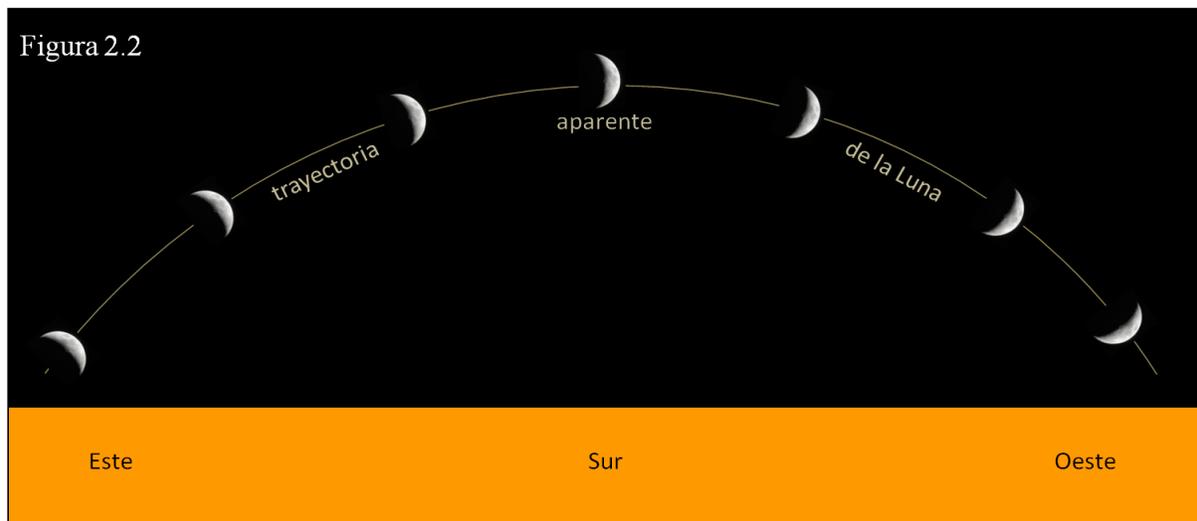
2.1 EL SOL Y SUS SOMBRAS

Todos conocemos el movimiento aparente del Sol a lo largo de un día: sale por la zona este, va ganando altura hasta el mediodía y luego desciende hasta que se pone por el horizonte oeste.



El camino, la trayectoria que parece describir el Sol desde que sale hasta que se pone, es una línea curva, un arco desde el este hasta el oeste. El Sol es el más llamativo de los objetos celestes, pero sabemos que todos los demás (la Luna, las estrellas, los planetas) también salen y se ponen y que se van moviendo respecto a nuestro horizonte; a veces están más bajos, otras más altos; en ocasiones se los ve hacia el Este, en otras hacia el Sur o hacia el Oeste, cuando se ponen.

Este es un recorrido aparente típico de la Luna similar al del Sol. También sale por la zona Este, pero no siempre exactamente igual: a veces sale algo hacia la izquierda (hacia el Norte) y otras un poco a la derecha (al Sur); otro tanto ocurre con sus puntos de puesta.

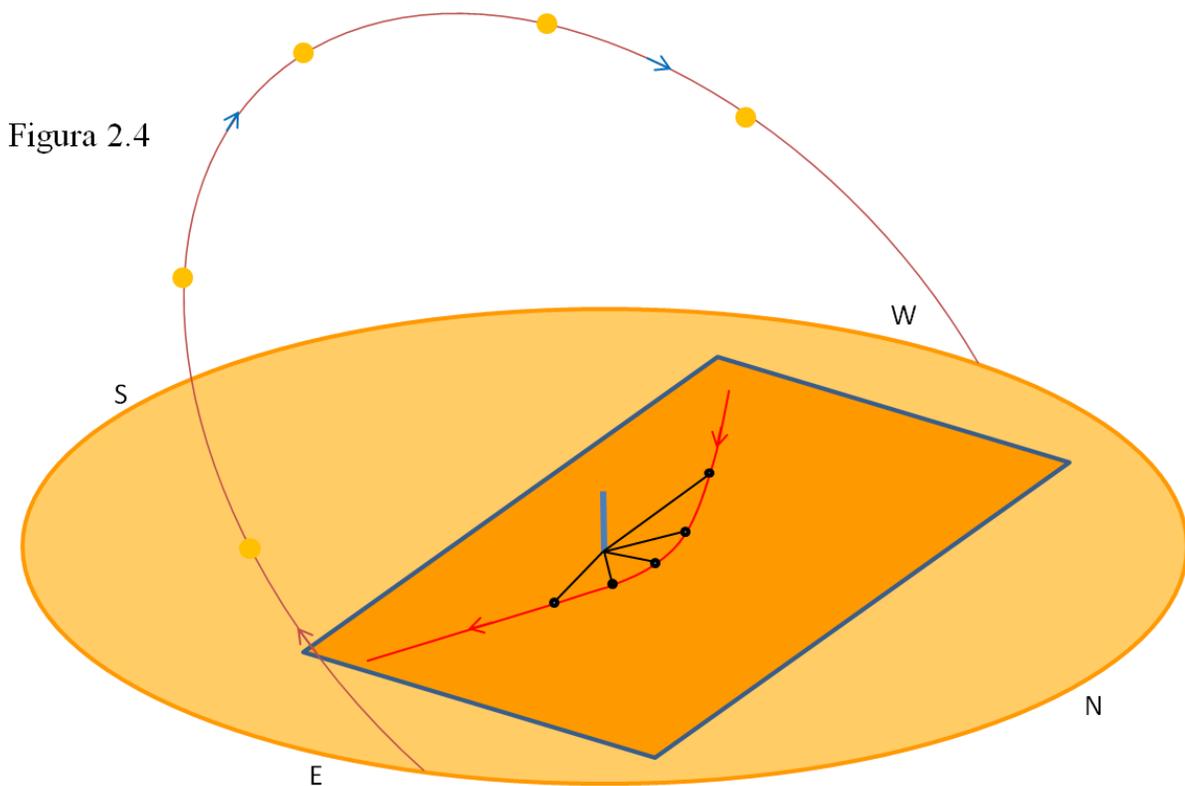


Igualmente las estrellas se van desplazando a lo largo de la noche. En la figura 2.3 se muestran las posiciones del cielo de invierno a primera hora de la noche (a la izquierda, con Orión casi horizontal) y hacia la madrugada (a la derecha, con el eje Rigel-Betelgeuse ahora prácticamente vertical). Fíjate que las posiciones relativas no han variado; parece como si todo ese conjunto celeste hubiera basculado hacia la derecha a la vez que ha ido girando como un bloque.



Éstos son los recorridos que todos hemos apreciado alguna vez sin más que mirar al cielo. Si queremos precisar un poco, averiguar con mayor exactitud cómo es esta trayectoria, tendremos que medir las posiciones del Sol utilizando algunos instrumentos sencillos. Uno de los más antiguos es el **gnomon**, que consiste en una varilla vertical colocada sobre una tabla horizontal. Se orienta como se indica en la figura 2.4.

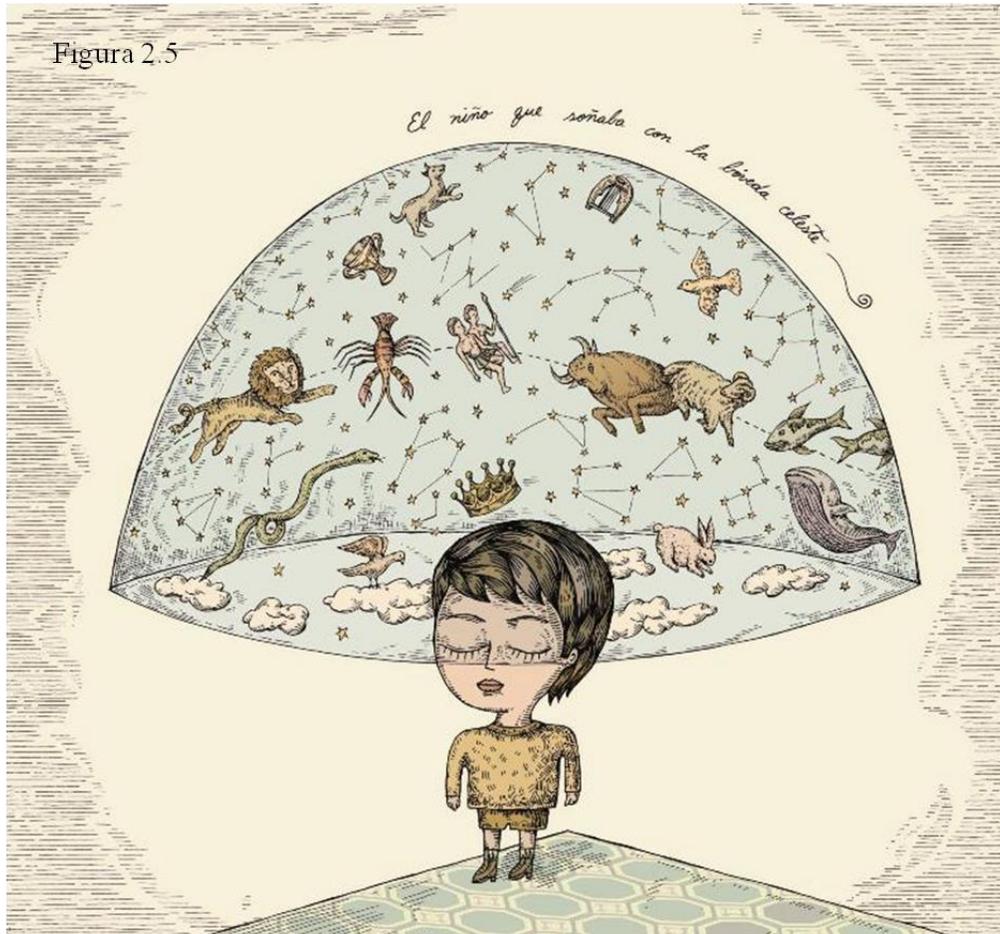
La sombra de la varilla cambia de dirección y de longitud a medida que el Sol va recorriendo su camino sobre el horizonte. Si marcamos la posición del extremo de la sombra sobre la tabla (por ejemplo una vez cada hora) y unimos esos puntos se obtiene una línea curva que resulta ser simétrica, con un punto central en el que la sombra se dirige hacia el Norte y es la más corta de todas: justo al mediodía. Las sombras de la mañana van hacia el oeste y las de la tarde son casi iguales pero dirigidas al este. Al final del tema tienes detalles para su construcción y uso ([enlace](#)).



También es conocido que el recorrido aparente del Sol durante el día no es siempre el mismo: en verano esa trayectoria es más larga y más alta y en invierno se encoge de forma que sale por el sureste y se pone por el suroeste.

2.2 COORDENADAS HORIZONTALES

Para cuantificar esas posiciones variables se idearon algunos instrumentos simples y un sistema de coordenadas que surge de forma bastante natural tomando como referencia nuestro horizonte. La apariencia del cielo, sobre todo por la noche, es la de una gran bóveda que nos rodea por encima del horizonte; parece una semiesfera.



<https://i.pinimg.com/474x/40/2a/59/402a59f6b44951725d25d9037d886898.jpg>

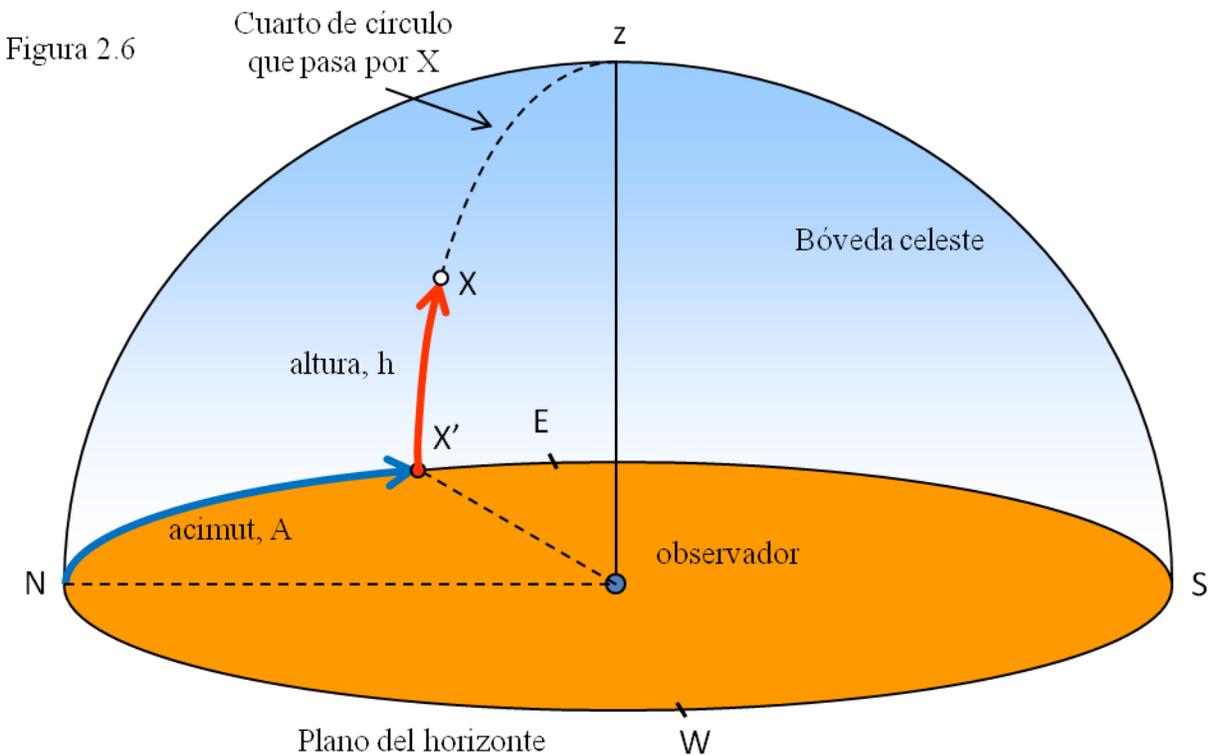
En el horizonte podemos situar los puntos cardinales: N, S, E y W. Y el punto más alto del cielo, el que está justo encima de nuestras cabezas, sobre nuestra vertical, es el **cenit** (z).

Para situar un astro X en el cielo, para comunicar claramente hacia dónde hay que mirar para localizarlo, es preciso indicar dos direcciones, una a lo largo del horizonte señalando el punto cardinal hacia el que debemos dirigir la mirada y otra que indique cuánto hay que levantarla del horizonte. Esas dos direcciones se miden como ángulos, con lo que podemos precisarlas con todo detalle.

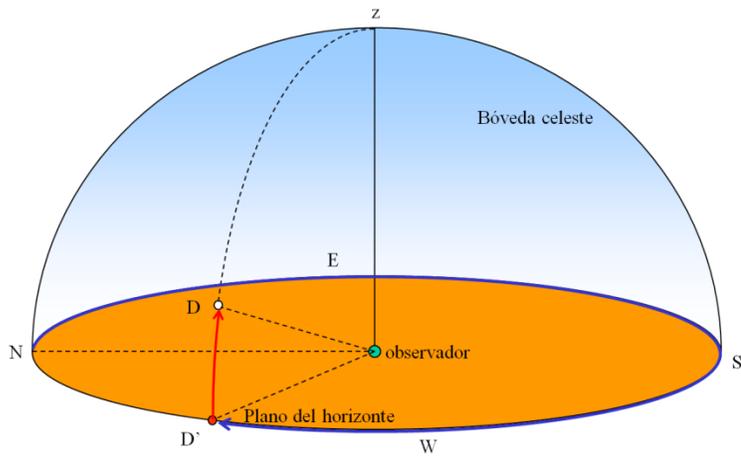
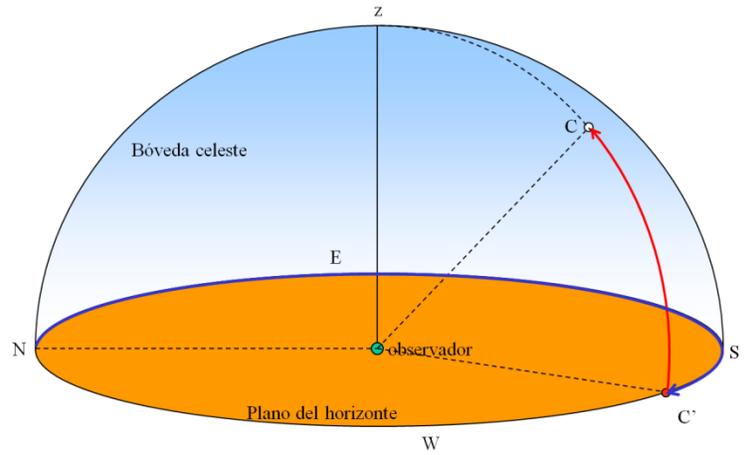
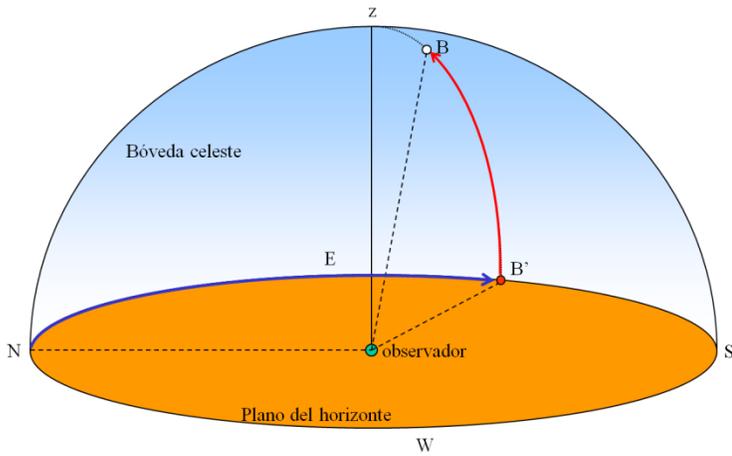
Para hacerlo imaginamos un cuarto de círculo vertical que vaya desde el cenit z hasta X y que acabará en el horizonte en X' y situamos el astro X mediante dos ángulos:

- El **acimut** $A = \widehat{NX'}$, que nos dice hacia qué punto del horizonte hay que mirar (N, SE, WNW, etc.); en el caso de la figura X está hacia el ENE; con algo más de precisión, $A \approx 70^\circ$ (el arco \widehat{NE} sería de 90°).
- La **altura** $h = \widehat{X'X}$, es decir, la distancia angular entre el plano del horizonte y la visual hacia ese astro; aquí la altura de X sería $h \approx 35^\circ$ (puesto que $\widehat{X'z} = 90^\circ$)

El acimut se mide en grados a lo largo del horizonte, con el 0 en el punto cardinal N, los 90 en el Este, 180 al Sur, 270 al Oeste y 360 otra vez en el Norte. Y la altura desde 0° (en el horizonte) hasta 90° (que es la máxima altura posible) en el cenit.



Ejemplos:

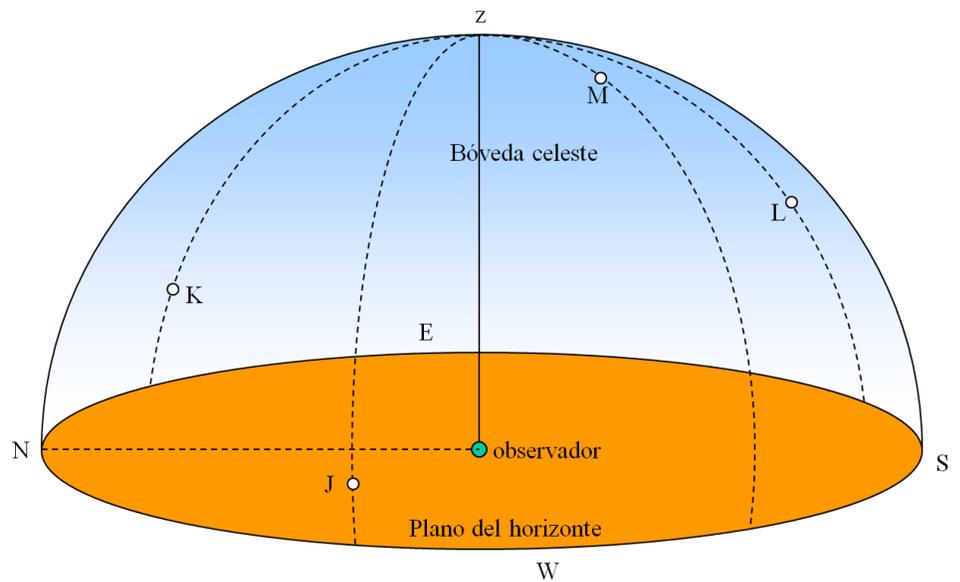


| | Acimut A | Punto cardinal | Altura h |
|---|----------|----------------|----------|
| B | 130° | SE | 75° |
| C | 210° | SSW | 50° |
| D | 315° | NW | 25° |

Ejercicio 2.1

Estima las coordenadas horizontales acimut y altura de Las estrellas J, K, L y M que aparecen en esta figura:

Haz clic [aquí](#) para ver la solución



2.3 PRIMEROS INSTRUMENTOS



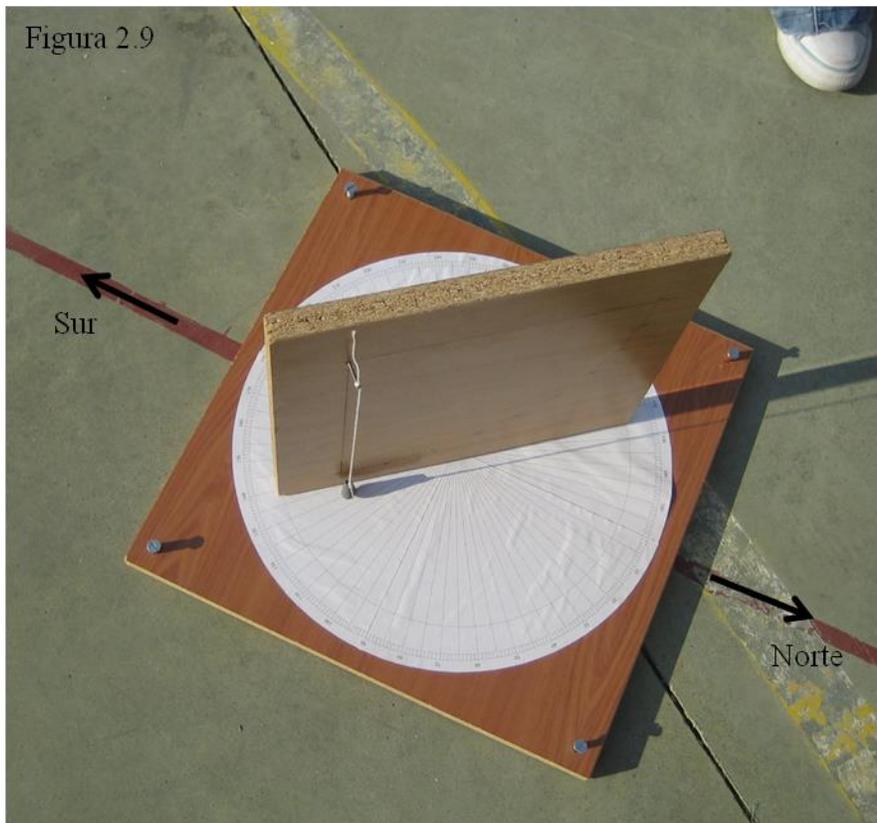
Las coordenadas horizontales son relativamente fáciles de medir utilizando algunos aparatos perfectamente realizables por cualquiera. El primero y más sencillo de todos va a ser el **cuadrante**: un cuarto de círculo graduado, con un sistema para hacer puntería en uno de sus bordes y una plomada sujeta como se ve en la fotografía. Se puede hacer de muchas maneras; por ejemplo sobre un cuadrado de madera fina. Apuntando hacia un astro, la plomada nos mide exactamente su altura h , que es el único ángulo que podemos medir con el cuadrante. Al final del tema tienes más detalles ([enlace](#)).

Si queremos medir también el acimut tenemos que fabricar algún dispositivo algo más elaborado; al final lo que interesa es medir los ángulos que forma la visual dirigida hacia un astro; podemos materializar esa visual como un tubo; bien pues necesitamos que ese tubo pueda girar tanto en horizontal como en vertical; a estos aparatos se les llama **teodolitos**. Con un mínimo de ingenio y observando esta imagen y otras que encontrarás en los apéndices seguro que podrías construirte uno ([enlace](#)).



<https://i.ytimg.com/vi/P7FM5FLYnl4/maxresdefault.jpg>

Tanto el cuadrante como el teodolito están pensados para observar directamente un astro y esto no puede hacerse con el Sol, hacia el que nunca debemos mirar pues podría causarnos daños severos en la retina. Para averiguar las coordenadas horizontales del Sol se utiliza una variante conocida como **zócalo de Ptolomeo**, pues fue este científico griego (Claudio Ptolomeo) quien lo diseñó en el siglo II de nuestra era: no hay que mirar al Sol, sino sencillamente girar la plancha vertical hasta que no proyecte sombra por ninguno de sus lados, señal de que está apuntando exactamente a nuestra estrella.



No pretendemos que construyas estos aparatos y los utilices, simplemente queremos mostrarte que es fácil hacerlo; en los apéndices encontrarás algunas indicaciones más detalladas si te interesa ([enlace](#)).

Aquí tienes una tabla con las coordenadas del Sol a lo largo de un día, obtenidas con un zócalo de Ptolomeo, claro:

| Sol, 9 noviembre 2010 | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Hora | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Acimut | 113 | 123 | 135 | 148 | 164 | 180 | 197 | 213 | 226 | 238 | 248 |
| Altura | 0 | 10 | 19 | 26 | 31 | 33 | 31 | 26 | 19 | 10 | 0 |

Nos parece importante que comprendas que estas tablas, que van a aparecer con alguna frecuencia, no son inventadas ni obtenidas artificialmente, sino que pueden ser medidas directamente, quizá con tosquedad y sin mucha precisión, pero que esos datos proceden directamente de nuestra experiencia, que somos nosotros mismos quienes los hemos obtenido por observación directa.

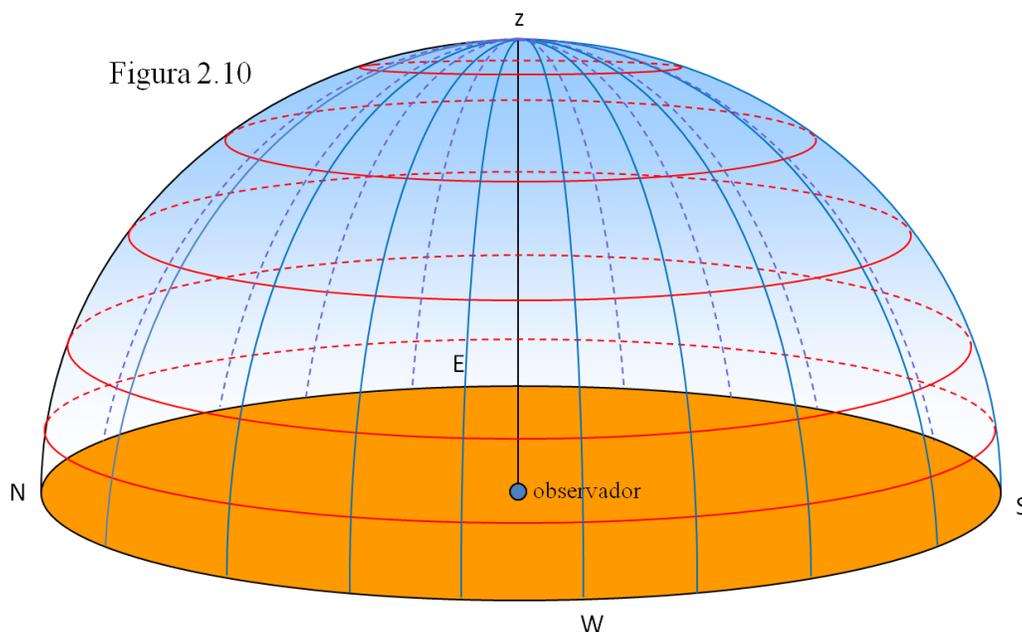
2.4 LOS SEMICÍRCULOS DE VISIBILIDAD

El primer paso para comprender los movimientos celestes ya lo hemos dado: utilizar algunos de esos burdos instrumentos para observar y anotar tablas como la anterior; está claro que también lo podemos hacer con la Luna, los planetas o las estrellas. Ahora hay que escudriñar esas tablas, analizarlas, reconociendo aquellas características que sean destacables, buscando en ellas pautas, regularidades.

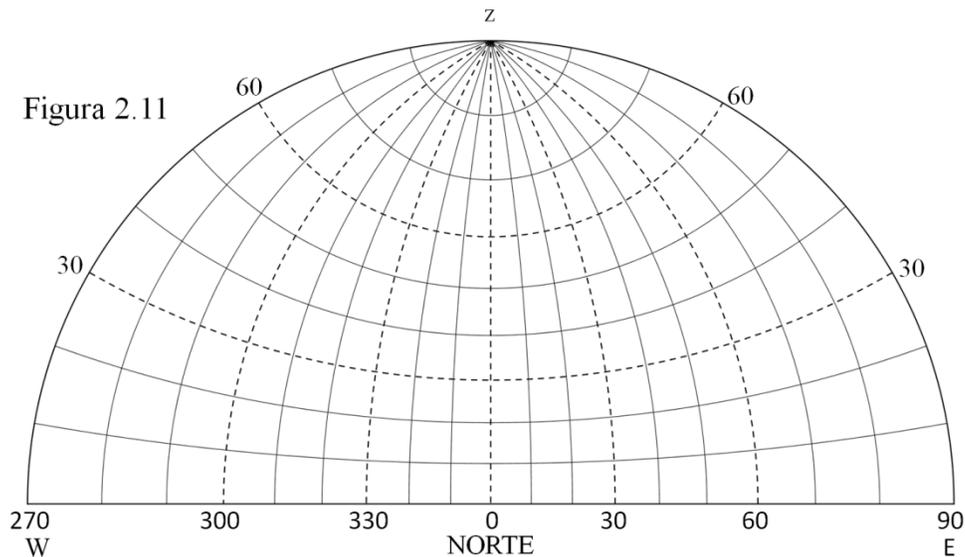
En la tabla anterior, así de entrada destaca la perfecta simetría de las alturas del Sol, de hora en hora, con respecto al mediodía (13 horas, máxima altura de 33°). El acimut en ese momento es de 180° : el Sol está justo hacia el Sur. Pero poco más podemos deducir de este primer análisis. Generalmente un gráfico suele ayudar a la hora de descubrir esas pautas, esas leyes que intentamos localizar. Para visualizar esas tablas (con las coordenadas horizontales de un astro a lo largo de varias horas) vamos a utilizar unas plantillas llamadas “semicírculos de visibilidad”.

Podemos y debemos imaginar que todo el cielo parece una semiesfera cristalina, transparente, que nos rodea por todas partes por encima del horizonte. Esta cúpula, esta campana, está fija y sobre ella, como si fuera una pantalla de cine, todos los astros van circulando describiendo unas trayectorias que son las que queremos investigar.

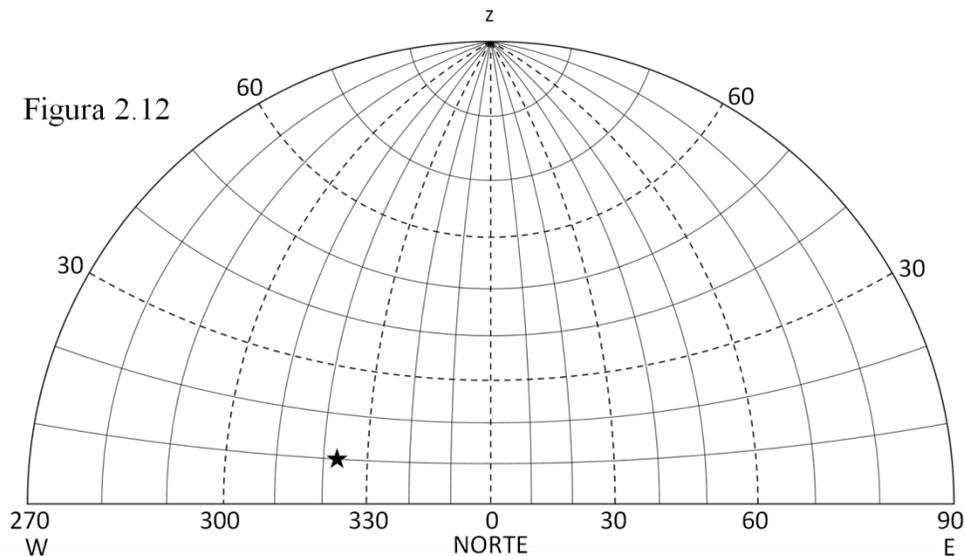
En la semiesfera celeste visible el círculo NESW es el horizonte de un observador O, cuyo cenit es el punto z. Podemos trazar una serie de “paralelos” y “meridianos”; los “paralelos” lo son al horizonte y se llaman **almicantarats** (en rojo en la figura 2.10) y los “meridianos” son perpendiculares al horizonte, pasan por el cenit z y se llaman **verticales** (en azul). Al semicírculo WzE se le llama primer vertical. Esta red de líneas corresponde a las coordenadas horizontales: todos los puntos de un almicantarats tienen la misma altura, mientras que todos los puntos de un vertical tienen igual acimut.



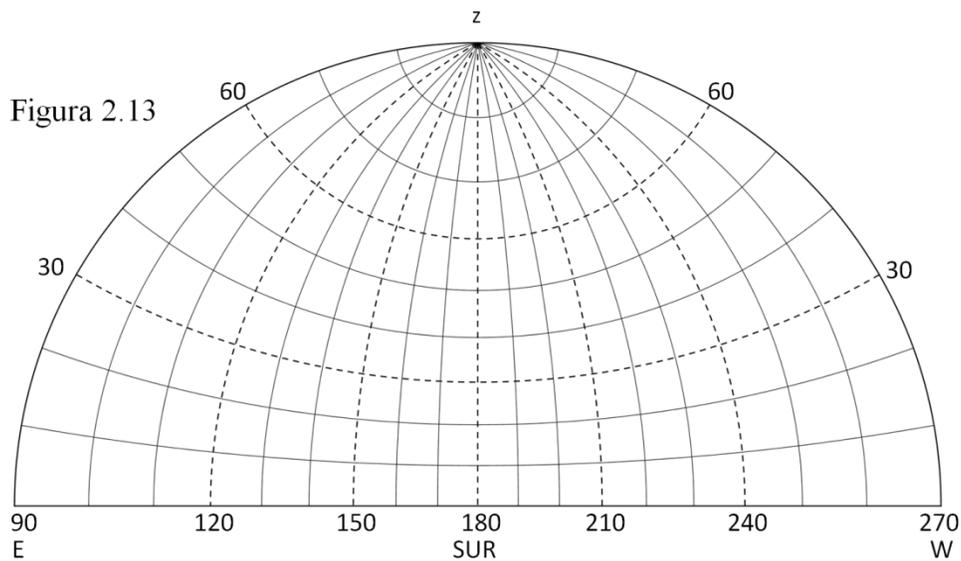
Si nos ponemos mirando hacia el Norte veremos a nuestra derecha el punto cardinal Este, a la izquierda el W y arriba del todo, encima de nosotros, el cenit z. Podemos representar lo que vemos mediante esta plantilla, el semicírculo de visibilidad Norte. Las líneas que parten del cenit z y llegan hasta el horizonte son los verticales y nos indican el acimut (cuya graduación aparece bajo la línea del horizonte); las otras líneas son los almicanarats que empiezan casi paralelos al horizonte y se van curvando a medida que suben y se acercan al cenit; se muestra la graduación de dos de ellos, los de 30° y 60° de altura.



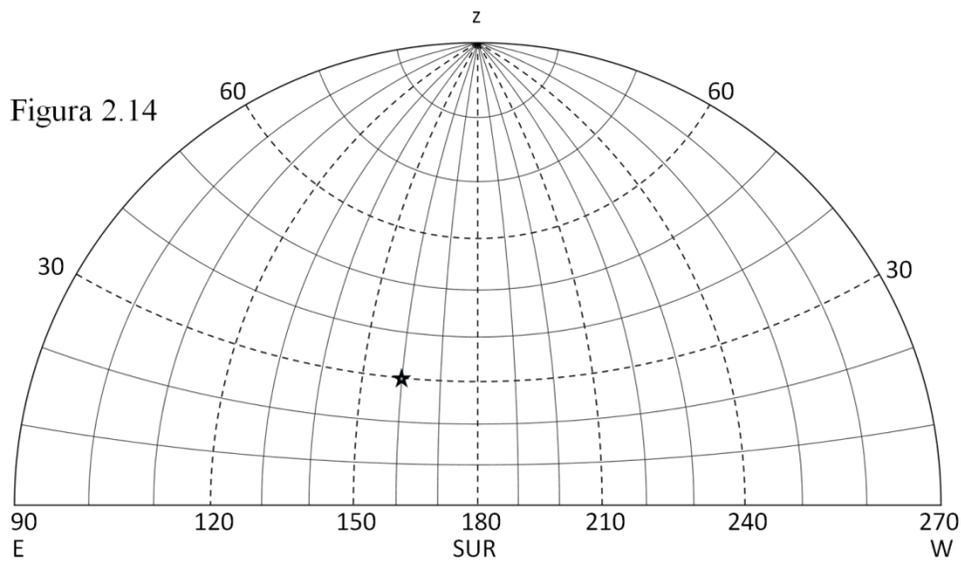
Supongamos que, con nuestro teodolito, hemos medido las coordenadas horizontales de Capella a las 10 de la noche y que han resultado ser: acimut 323°; altura 10°. Entonces podemos situar a Capella en su posición gracias a la red de líneas del semicírculo:



De forma simétrica se construye el semicírculo de visibilidad Sur: si nos situamos mirando al mediodía, entonces el Este quedará a la izquierda y el W a nuestra derecha.



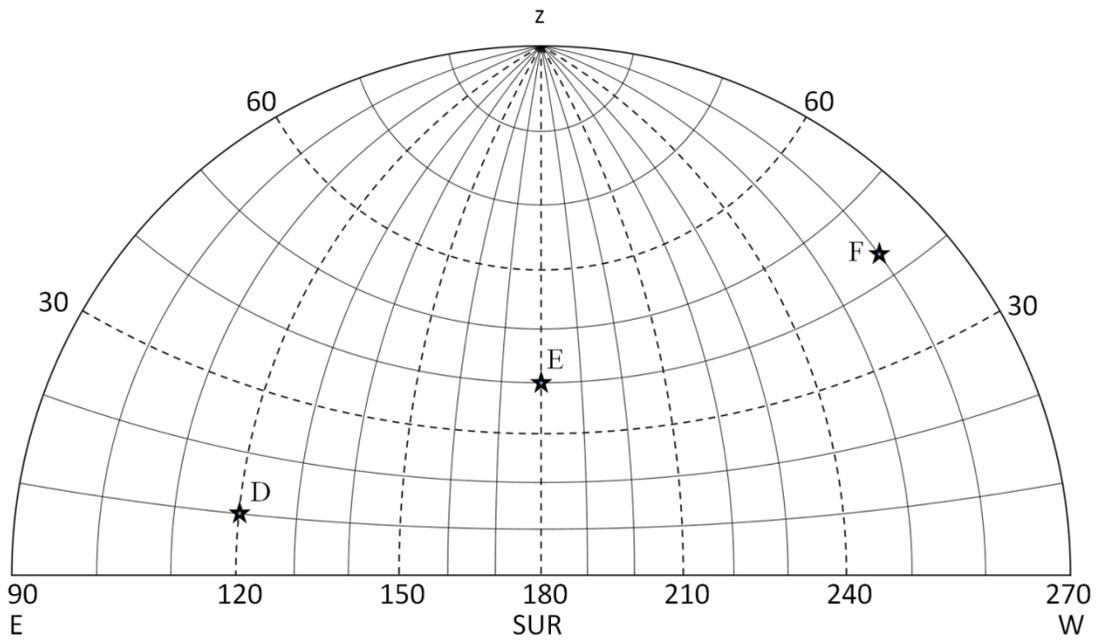
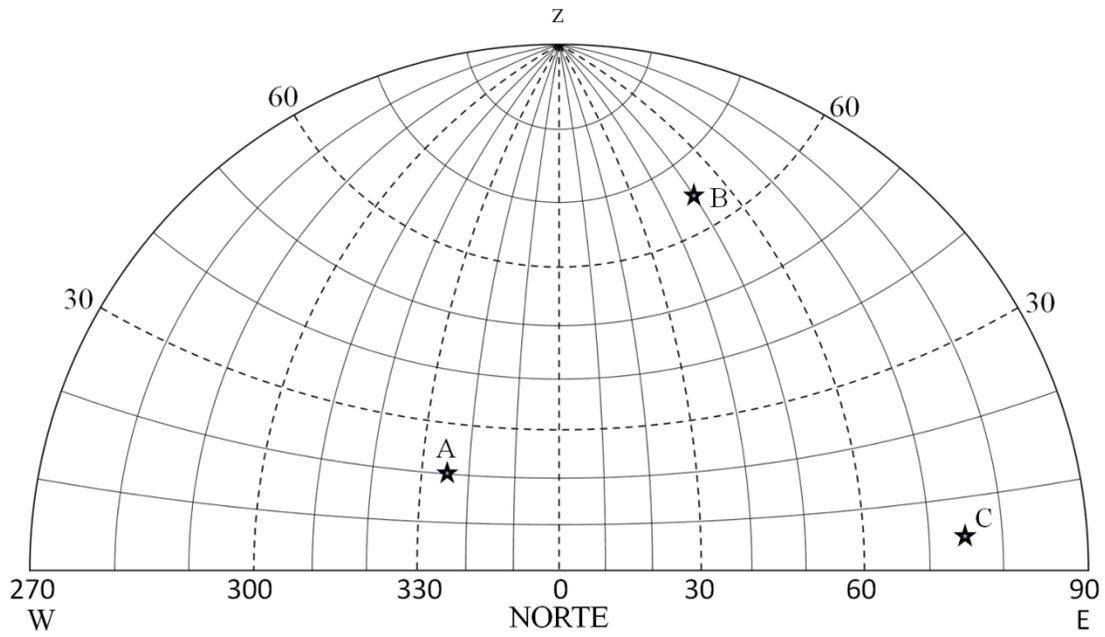
Otro ejemplo: medimos las coordenadas de Sirio en un momento dado y son 160° de acimut y 30° de altura. No hay más que situarla en su posición:



Así, ahora disponemos de unas plantillas a las que podemos trasladar las posiciones del Sol, Luna, estrellas o planetas con facilidad si conocemos sus coordenadas horizontales acimut y altura a lo largo de varias horas para ver cuál es su trayectoria aparente por encima del horizonte.

Ejercicio 2.2

Determina las coordenadas horizontales de los puntos que aparecen en estos dibujos:



Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

Ejercicio 2.3

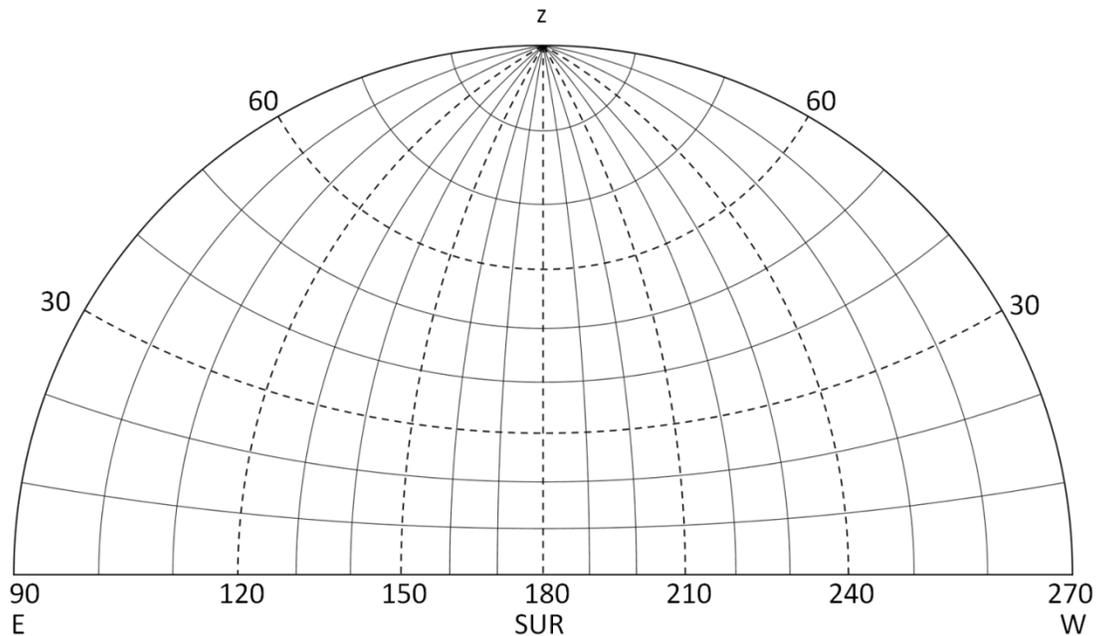
En esta tabla se muestran las coordenadas horizontales de Venus el 22 de enero de 1985, durante las pocas horas que fue visible después de la puesta del Sol:

| | | | | |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| <i>Hora</i> | 19 | 20 | 21 | 22 |
| <i>Acimut</i> | 227 | 241 | 252 | 262 |
| <i>altura</i> | 34 | 25 | 14 | 3 |

Y en esta otra aparecen las posiciones de Júpiter la noche del 8/9 de marzo de 2016:

| | | | | | | | | | | |
|---------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>hora</i> | 20 | 21 | 22 | 23 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>Acimut</i> | 91 | 101 | 112 | 127 | 145 | 169 | 195 | 218 | 236 | 249 |
| <i>Altura</i> | 10 | 22 | 33 | 43 | 51 | 55 | 55 | 50 | 41 | 31 |

Traslada todos estos datos al siguiente semicírculo



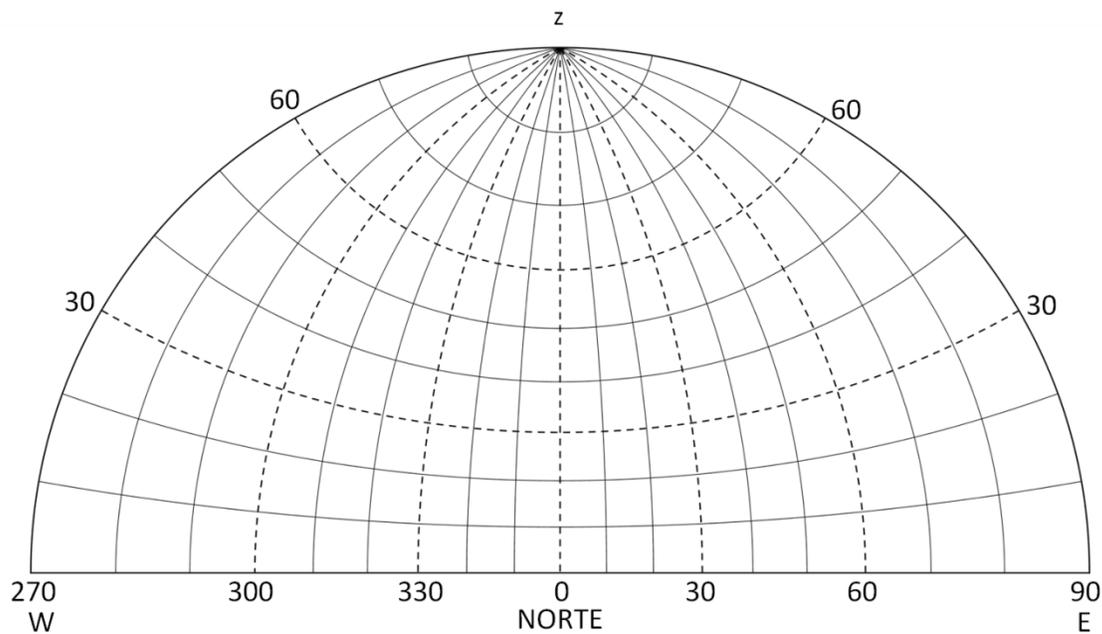
Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

Ejercicio 2.4

Esa misma noche del 8/9 de marzo apuntamos el acimut y la altura de Shedar (α Cas):

| | | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|----|----|
| hora | 20 | 21 | 22 | 23 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Acimut | 316 | 320 | 325 | 331 | 338 | 345 | 353 | 2 | 10 | 18 |
| Altura | 39 | 31 | 24 | 18 | 13 | 10 | 8 | 7 | 8 | 11 |

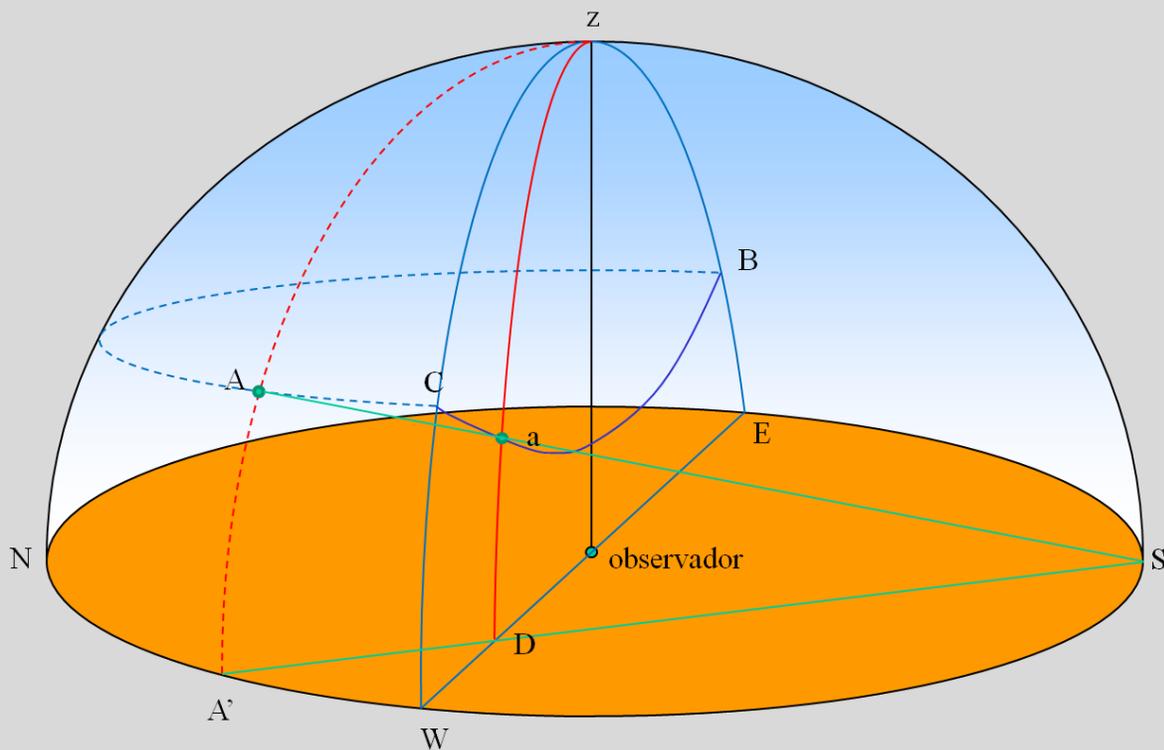
Ahora necesitamos el semicírculo Norte. Dibuja en él la trayectoria de Shedar.



Haz clic [aquí](#) para ver la solución.

Ampliación: la proyección estereográfica

Para el diseño de los semicírculos de visibilidad hemos utilizado una proyección estereográfica de centro el punto cardinal Sur (S) y plano de proyección en el primer vertical (EBzCW): el astro **A** de la esfera celeste se proyectará en el punto **a** del plano de proyección. El vertical de A (el cuarto de círculo zAA') se convierte en el zaD y el almicántarat de A (BAC) en el arco BaC. Esta proyección tiene la enorme ventaja de que todas las circunferencias de la semiesfera celeste visible se convierten también en circunferencias, con lo que su trazado resulta relativamente sencillo.

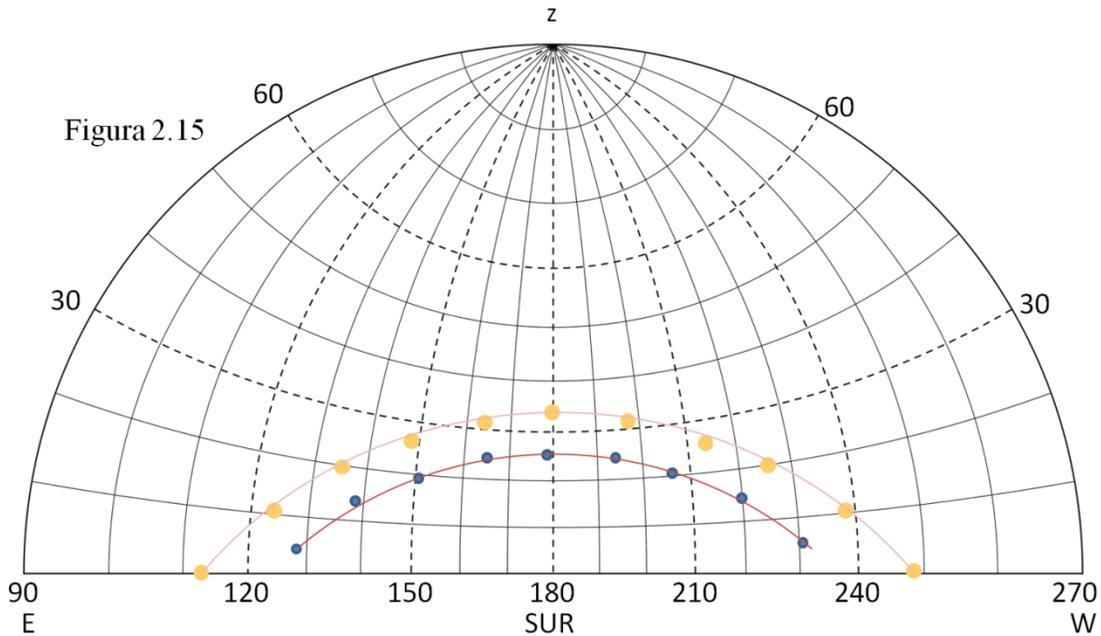


2.5 LAS APARIENCIAS

Trasladamos al semicírculo sur los datos obtenidos para el Sol (página 10) y estos de la Luna, obtenidos con un teodolito.

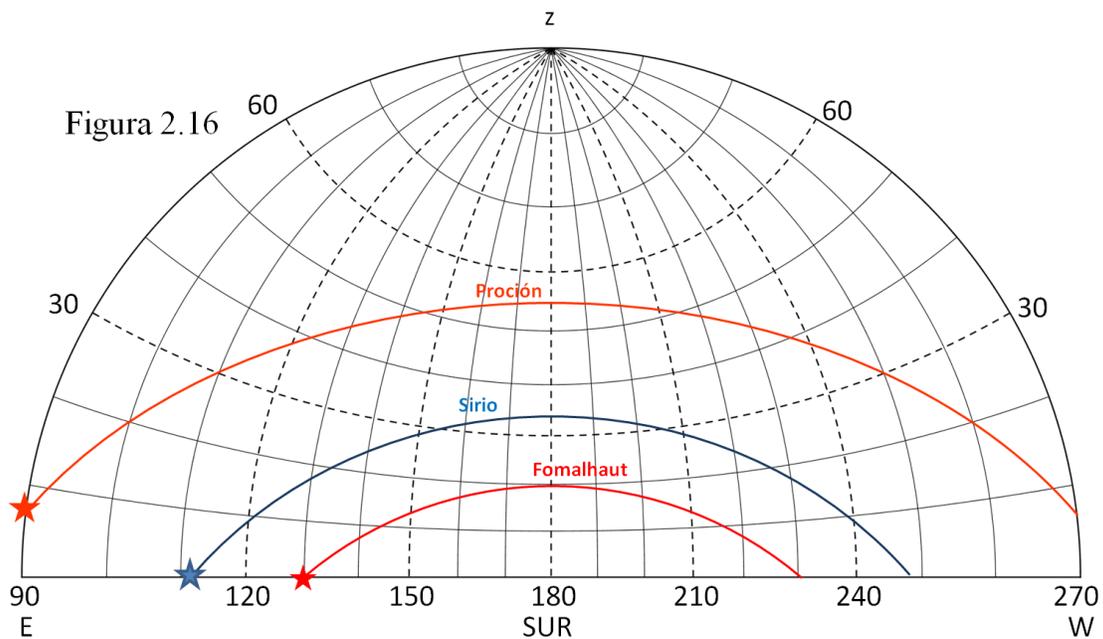
| Sol, 9 noviembre 2010 | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Hora | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Acimut | 113 | 123 | 135 | 148 | 164 | 180 | 197 | 213 | 226 | 238 | 248 |
| Altura | 0 | 10 | 19 | 26 | 31 | 33 | 31 | 26 | 19 | 10 | 0 |

| Luna, 9 noviembre 2010 | | | | | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Hora | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Acimut | 128 | 139 | 151 | 165 | 179 | 194 | 207 | 220 | 231 |
| Altura | 5 | 13 | 19 | 23 | 25 | 24 | 20 | 14 | 6 |

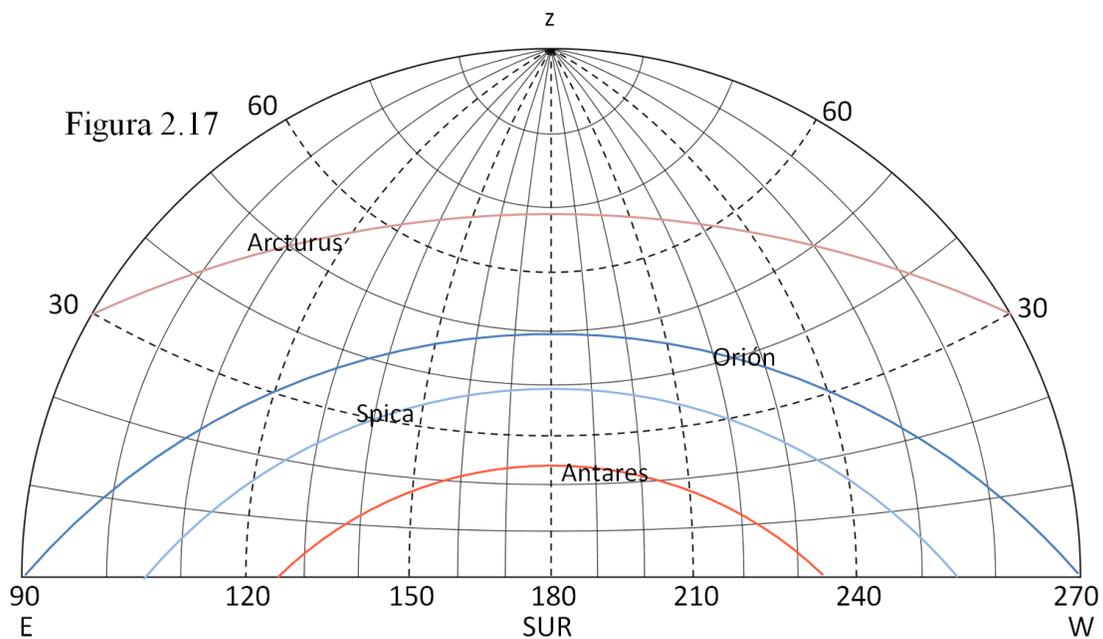


El recorrido solar es el esperado y el de la Luna muy parecido; parece paralelo al del Sol pero un poco por debajo y a otras horas; la Luna ese día iba por detrás.

Siempre mirando hacia el sur buscamos las trayectorias aparentes de algunas estrellas que sean visibles en esa zona del cielo.



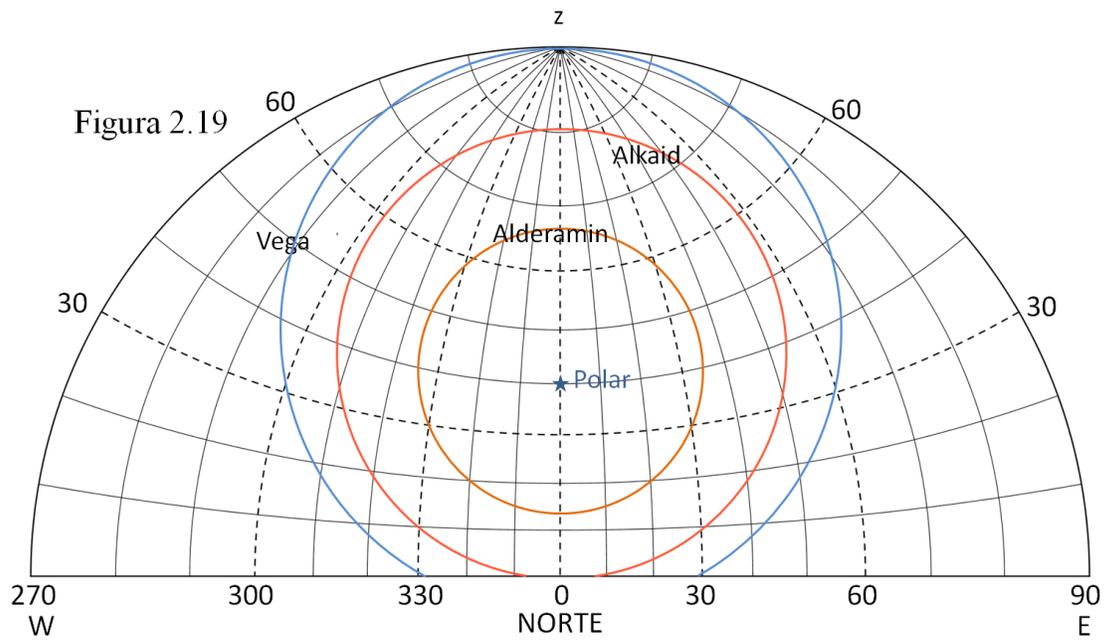
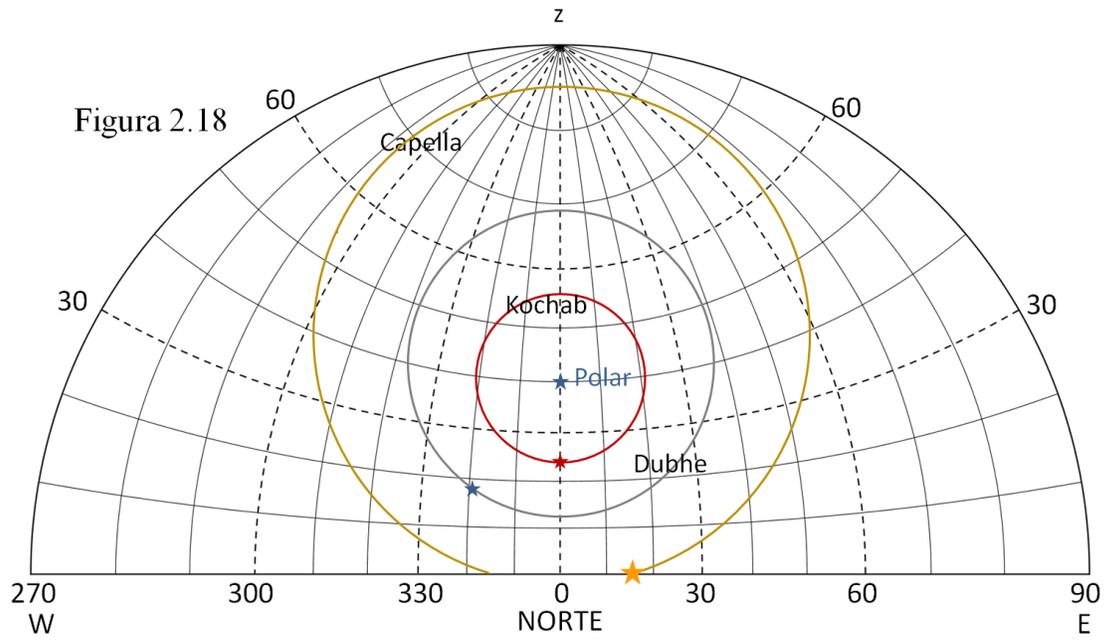
Otros movimientos aparentes en el semicírculo de visibilidad Sur:



Como puedes ver son todos muy parecidos. Podemos establecer algunas conclusiones:

- Cada estrella siempre sale por el mismo punto del horizonte. El acimut de salida es fijo. El Sol, la Luna y los planetas no: su arco varía, a veces más alto, otras menos.
- Todos describen, en sentido horario (de izquierda a derecha, de E a W), lo que parece ser un arco de circunferencia, más largo o más corto en función de la altura que alcancen, simétrico respecto al punto central.
- El punto central siempre es el de máxima altura que coincide con el momento en que la estrella sobrevuela el punto cardinal Sur y cruza el meridiano (el vertical Sz).
- La puesta de cada estrella se produce por un punto del horizonte simétrico respecto al de salida: la separación angular Orto-Sur es la misma que la Sur-Ocaso. Por ejemplo Fomalhaut sale 50° al este del Sur (acimut = $180^\circ - 50^\circ = 130^\circ$) y se pone 50° hacia el oeste desde el punto cardinal Sur (acimut = $180^\circ + 50^\circ = 230^\circ$).
- Algunas estrellas (como el cinturón de Orión) salen justo por el Este y se ponen por el Oeste.
- Ciertos astros (por ejemplo Arcturus, figura 2.17) tienen una trayectoria más alta de forma que sus puntos de orto y ocaso quedan fuera del semicírculo sur.

Veamos ahora lo que sucede si nos ponemos mirando hacia el Norte; observa los gráficos siguientes:



Son merecidamente famosas ciertas fotografías tomadas en la dirección del polo norte celeste con largos tiempos de exposición, de forma que las estrellas vayan dejando el rastro de su movimiento aparente:



Conclusiones:

- Hacia el Norte las estrellas parecen describir, ahora en sentido antihorario (pero sigue siendo de E a W), circunferencias centradas en la estrella Polar, la única que permanece fija.
- Algunas se mantienen siempre por encima del horizonte (no salen ni se ponen) y cruzan dos veces el meridiano (la vertical desde el punto cardinal Norte al cenit z), una por encima de la Polar (cuando alcanza su máxima altura) y otra por debajo, en su posición inferior.
- Las estrellas que salen lo hacen por el Noreste y se ponen por el Noroeste.
- Los puntos de salida y puesta de cada estrella siguen teniendo la misma simetría que las visibles hacia el Sur. El arco Norte-Orto es siempre igual al arco Ocaso-Norte. Vega, por ejemplo, sale 30° al este del Norte (acimut 30°) y se pone 30° al oeste del Norte (acimut = $360^\circ - 30^\circ = 330^\circ$).
- Alguna, como Vega, alcanzan el cenit.

Estas fotografías de una maqueta (realizada en el Instituto Rey Pastor, Moratalaz, Madrid) de la semiesfera visible recogen buena parte de las conclusiones alcanzadas:

Figura 2.21

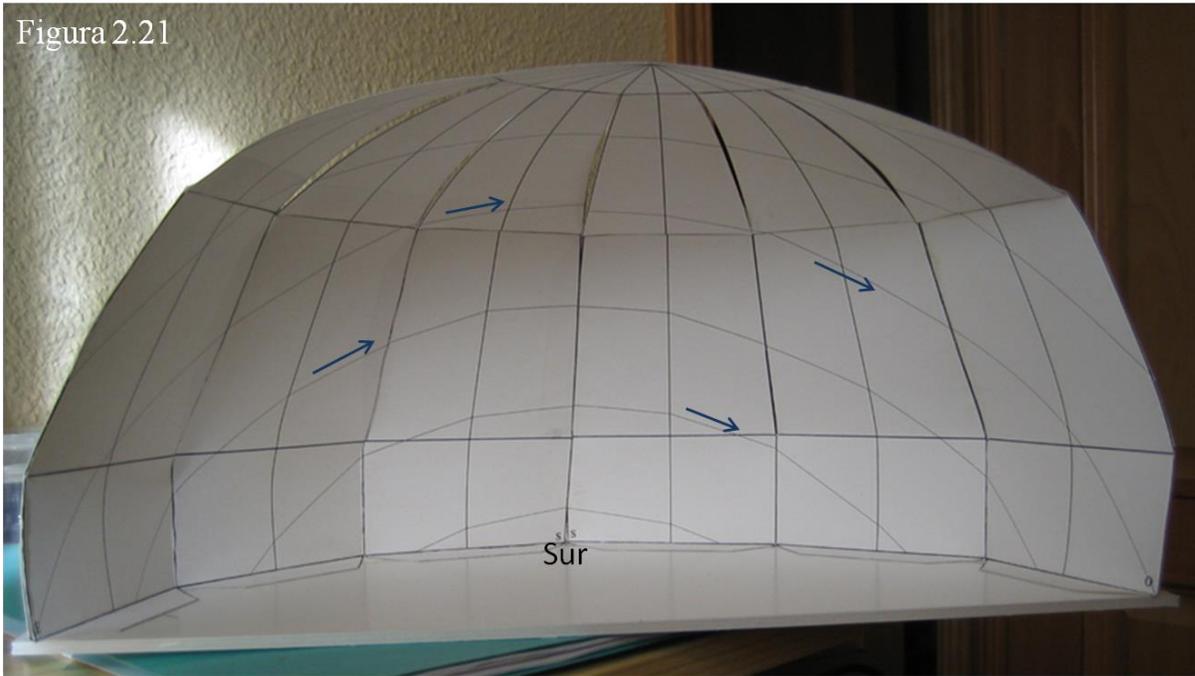
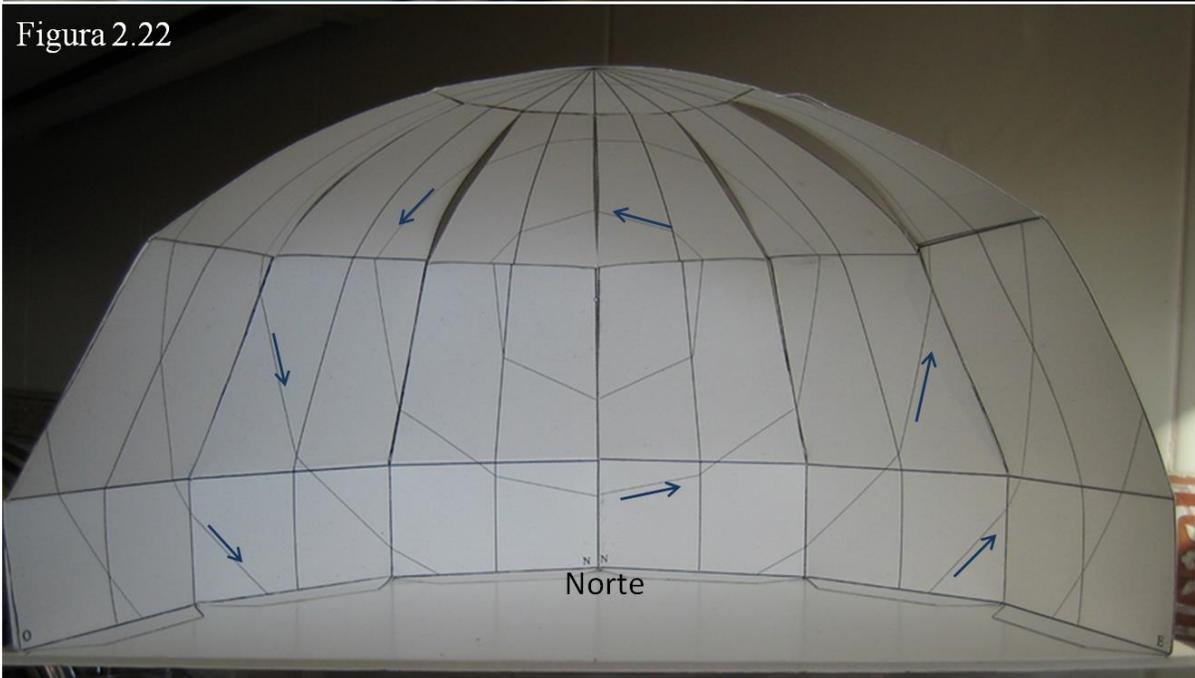


Figura 2.22

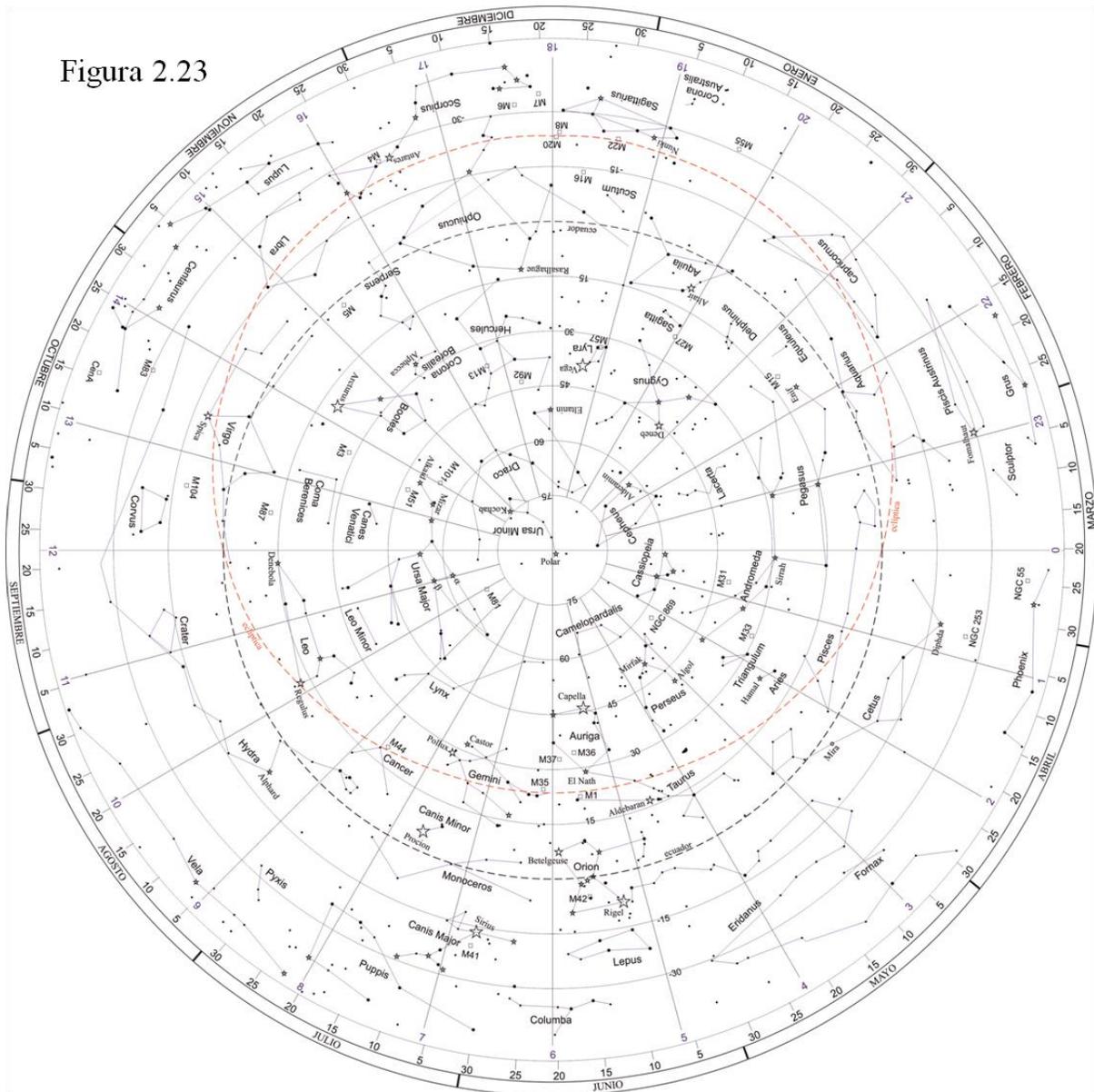


2.6 EL PLANISFERIO

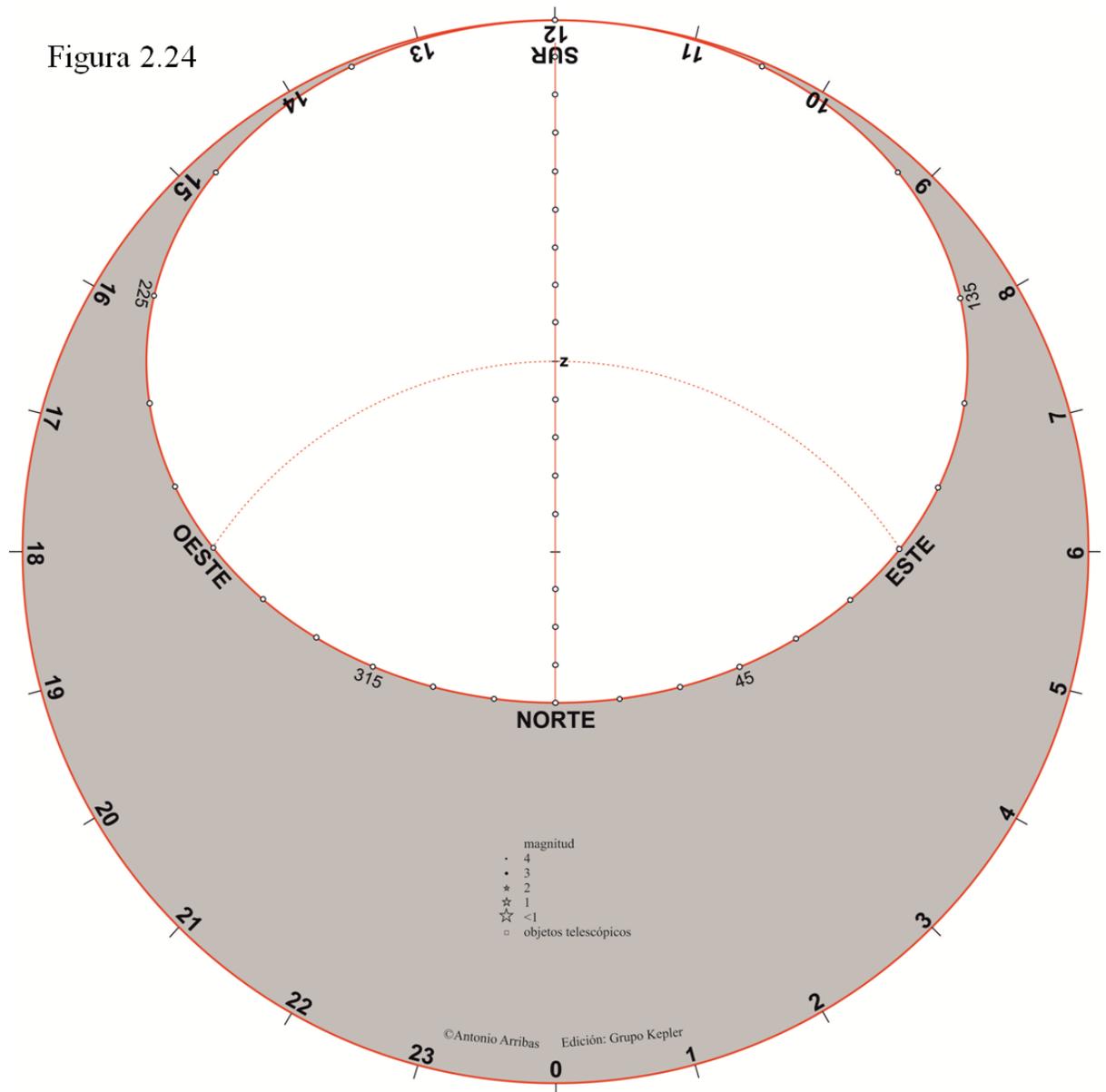
Aunque en la actualidad los programas informáticos, apps y demás van arrinconándolo nos parece oportuno que conozcas y manejes el planisferio, que ha sido (y sigue siendo) una herramienta muy útil para muchos trabajos astronómicos. Consta de dos piezas:

- La parte **fija** o lámina universal que es un mapa de todo el cielo visible desde nuestras latitudes (como el que utilizaste en la lección anterior) al que se han añadido bastantes nuevas líneas. Por el momento solo nos interesa que te fijes en la circunferencia externa graduada con las fechas del año que avanzan en sentido horario de 5 en 5 días. Justo encima del nombre de un mes la señal indica el día 15 de ese mes.

Figura 2.23



b) La parte **móvil** o lámina local en la que hay dibujadas los siguientes elementos:

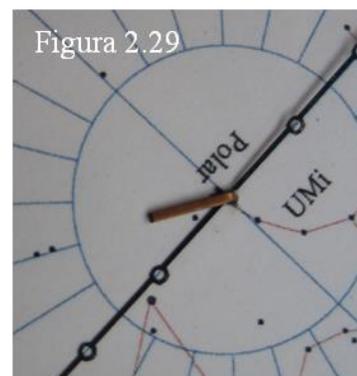
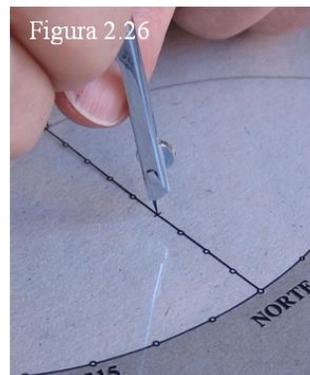


- a) Una circunferencia límite, graduada de 0 a 24 horas en sentido antihorario.
- b) Una elipse, el **horizonte**, con los puntos cardinales y con puntos marcados en ella cada 15° de *acimut*.
- c) Una línea recta (continua) que va del punto cardinal Norte al Sur, que es el **meridiano**, con señales de 10 en 10° para poder medir la *altura*.
- d) Una línea curva (de trazo discontinuo) que va del punto cardinal Este al Oeste, que es el **primer vertical**.
- e) El punto donde se cortan el meridiano y el primer vertical está marcado con una z y es el **cenit**.
- f) Sobre el meridiano, a medio camino entre el Norte y el cenit, hay una pequeña marca que señala el centro de la circunferencia exterior graduada de 0 a 24 horas.

Lo primero que necesitas hacer es imprimir ambas partes. La móvil (la lámina local) debe ir sobre un acetato **transparente**. Esto lo puedes intentar hacer directamente con tu impresora o, quizá más seguro, en una copistería.

Montaje del planisferio

Lo primero es pegar la parte fija sobre un cartón, para darle consistencia y que se pueda manejar con comodidad. Una vez hecho esto, sitúa la parte móvil sobre la fija de manera que las circunferencias externas de ambas coincidan. La marca que señala el centro de la parte transparente del planisferio tiene que coincidir casi con la estrella Polar; exactamente debe situarse en el punto donde se cruzan los dos diámetros de la lámina universal. Tienes que unir ambas piezas mediante un encuadernador o cualquier otro dispositivo colocado justamente en el centro, de manera que la parte móvil pueda girar a su alrededor. Puedes, primero, con un punzón fino o con la punta de un compás perforar las dos láminas del planisferio en el punto en el que van a unirse (figuras 2.25 y 2.26) y enlazarlos mediante el encuadernador o una grapa. Antes endereza una de las patas de la grapa hasta que quede como en la figura 2.27, luego insértala a través de las perforaciones centrales (figura 2.28) y, por último, dóblala sobre sí misma para que presione y mantenga unidas las dos partes del planisferio (figura 2.29). Suele dar muy buen resultado.



Manejo del planisferio

Gira la parte móvil hasta que su graduación 20 horas coincida con la fecha 15 de noviembre marcada en la parte fija.

Todas las estrellas y constelaciones que están dentro de la elipse (horizonte) son las que se pueden ver el día 15 de noviembre a las 20 horas (las 8 de la tarde). Las que quedan fuera de la elipse no se pueden ver (estarían debajo del horizonte). Por ejemplo, la Osa Mayor sí que se ve, cerca del horizonte Norte. Casiopea y Pegasus también son visibles y están cerca del cenit. En cambio Orión apenas es visible. Solo Bellatrix (γ Ori) está por encima del horizonte, Betelgeuse a punto de verse, pero Rigel queda un poco más baja. El triángulo estival se ve hacia el oeste.

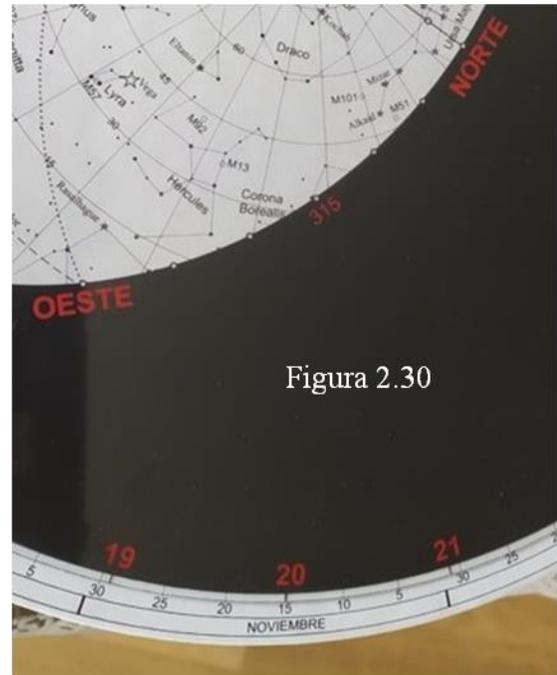


Figura 2.30

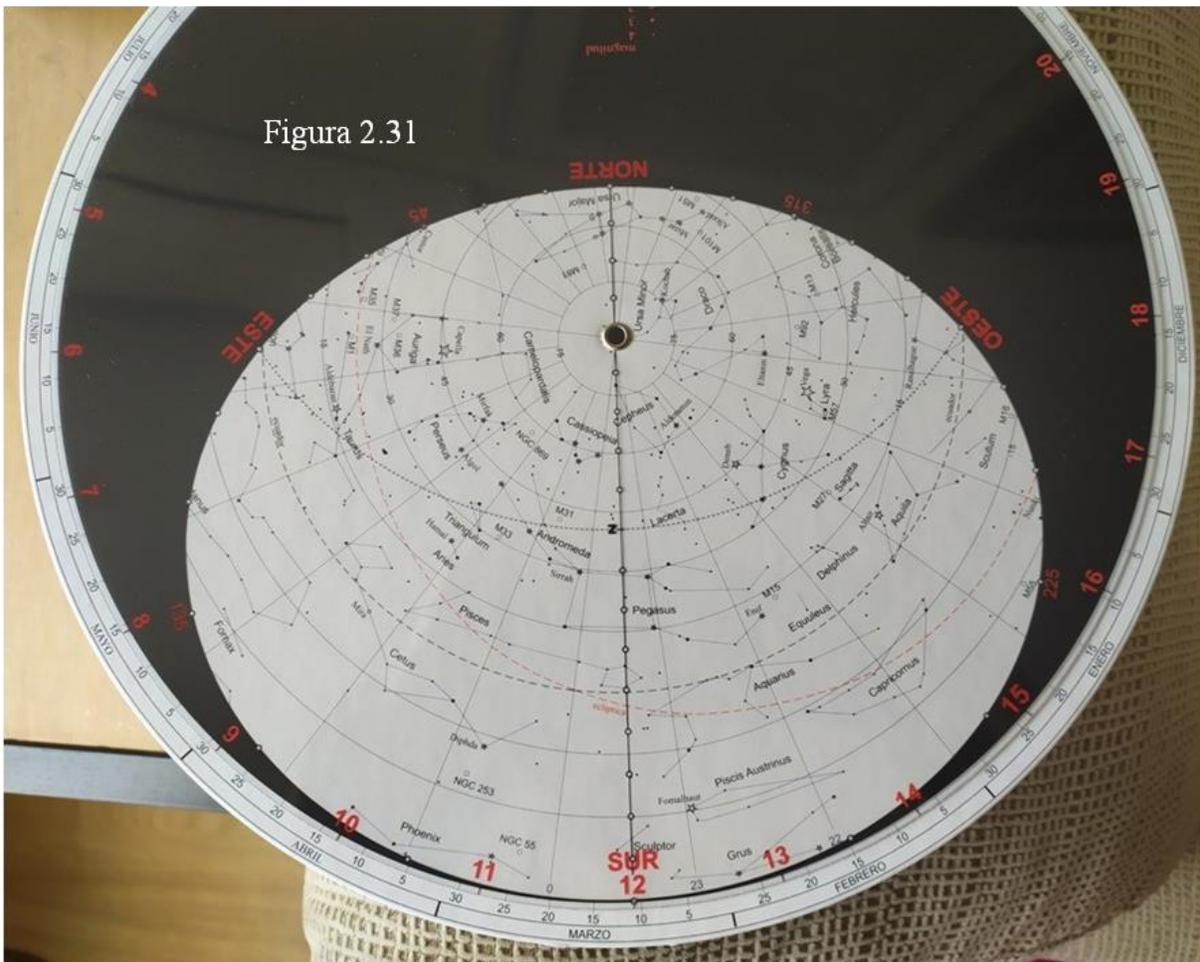


Figura 2.31

Las horas indicadas en la parte móvil son horas solares. Hay que tener en cuenta el adelanto oficial (1 hora en invierno, 2 en verano). Tal y como está colocado el planisferio representa lo que se vería el 15 de noviembre a las 20 horas del Sol, que son las 21 horas oficiales (las 9 de la noche del reloj).

Ejemplo: describir las estrellas y constelaciones visibles hacia el Norte el día 2 de diciembre a las 21 horas (hora oficial = 20 h solar).

Gira la parte móvil hasta hacer coincidir la señal de las 20 horas con la fecha del 2 de diciembre; no hay una marca para el 2 de diciembre, tendrás que hacerlo aproximadamente. Ahora mueve todo el planisferio en bloque hasta que la palabra Norte quede abajo y la palabra Sur arriba (y boca abajo). Vamos a ir nombrando las principales estrellas visibles utilizando siempre como referencias para situarlas el horizonte, el meridiano, la Polar y el primer vertical.

- La Osa Mayor está muy cerca del horizonte Norte, la “cola” a la izquierda (oeste) del meridiano y el “carro” a la derecha (este).
- Casiopea está muy arriba, entre la Polar y el cenit (z), más cerca del cenit y casi toda ella queda a la derecha del meridiano.
- Capella está a la derecha, a medio camino entre la Polar y el Este.
- Castor y Póllux, justo encima del horizonte, en el Noreste.
- Deneb, cerca del primer vertical, a medio camino entre el cenit y el Oeste.
- Vega, aproximadamente en posición simétrica de Capella respecto a la Polar, es decir algo más baja que la Polar, pero hacia la izquierda, más cerca del Oeste que de la Polar.

Aunque en el planisferio parece que los puntos cardinales Este y Oeste están más altos que el Norte, esto se debe a la deformación de aquél. Nosotros, naturalmente, vemos el horizonte horizontal.

Ejemplo: describir el cielo visible hacia el Sur el 2 de diciembre a las 21 horas (oficial).

Coloca la fecha y la hora (las 20) en el planisferio; muévelo ahora todo junto hasta que te quede con la palabra Sur legible abajo y el Norte arriba y al revés. Cuando nos ponemos mirando hacia el Sur el Este quedará a la izquierda y el Oeste a la derecha. Podemos utilizar ahora como referencia el ecuador, que es la circunferencia gruesa, azul y con trazo discontinuo de la parte fija del planisferio; siempre pasa por los puntos cardinales Este y Oeste. Sólo nos interesa la zona del planisferio comprendida entre el horizonte (Sur) y el primer vertical.

- El cuadrado de Pegaso está entre el ecuador y el primer vertical, a la derecha (oeste) del meridiano. Sirrah está bastante cerca del cenit.
- Altair está entre el ecuador y el primer vertical, cerca del Oeste.
- Fomalhaut, bastante cerca del horizonte, a la derecha del meridiano.
- Diphda, un poco más cerca del ecuador que del horizonte y ligeramente a la izquierda del meridiano.
- Orión, ya se ve completo justo sobre el horizonte Este.
- Aldebarán, muy cerca del primer vertical, a la derecha de Orion.
- Aries y el Triángulo, entre el ecuador y el primer vertical, más cerca del cenit que del Este.

Ejercicio 2.5

Sitúa el planisferio para el día de hoy a las 20 horas (oficial).

- a) Haz una lista de las principales estrellas y constelaciones visibles hoy a las 20 horas (hora oficial).*
- b) Haz una lista de las constelaciones por las que pasa el meridiano.*
- c) Haz otra lista con las constelaciones que atraviesa el primer vertical.*
- d) Indica qué estrella u objeto está más cerca del cenit.*
- e) Escribe los nombres de las constelaciones que son visibles sólo a medias (que tienen una parte visible y otra invisible).*

El movimiento aparente de las estrellas con el planisferio

Gira la parte móvil y transparente del planisferio hasta que la marca de las 18 h se sitúe sobre la fecha 15 de enero. Observa que la estrella Sirio acaba de salir por el horizonte este, no exactamente por el punto cardinal Este sino algo hacia el sur (unos 22° , cada tramo entre punto y punto son 15°). Su acimut será por tanto de $90 + 22 = 112^\circ$.

Si avanzamos hasta que Sirio cruce el meridiano veremos que esto ocurre muy aproximadamente a las 23 h (hora del planisferio, es decir, solar) ese mismo día 15 de enero y que en ese momento la altura de Sirio, la distancia angular desde el punto cardinal Sur hasta la estrella es de unos 33° (figura 2.33).

El acimut de puesta lo podemos predecir; por simetría tiene que desviarse del Oeste los mismos 22° hacia el Sur, es decir ha de ser $270 - 22 = 248^\circ$. Si movemos la lámina local y transparente hasta que Sirio se sitúe justo sobre el horizonte y cerca del Oeste, veremos que el ocaso de Sirio sucede a eso de las 4 de la madrugada y, efectivamente, está desviado un tramo y medio desde el Oeste hacia el Sur; como cada tramo es de 15° , el acimut es el que podíamos esperar.

Resumiendo, el 15 de enero:

| Estrella | Orto | | Paso meridiano | | Ocaso | |
|----------|------|--------|----------------|--------|-------|--------|
| | hora | acimut | hora | altura | hora | Acimut |
| Sirio | 18 | 112 | 23 | 33 | 4 | 248 |

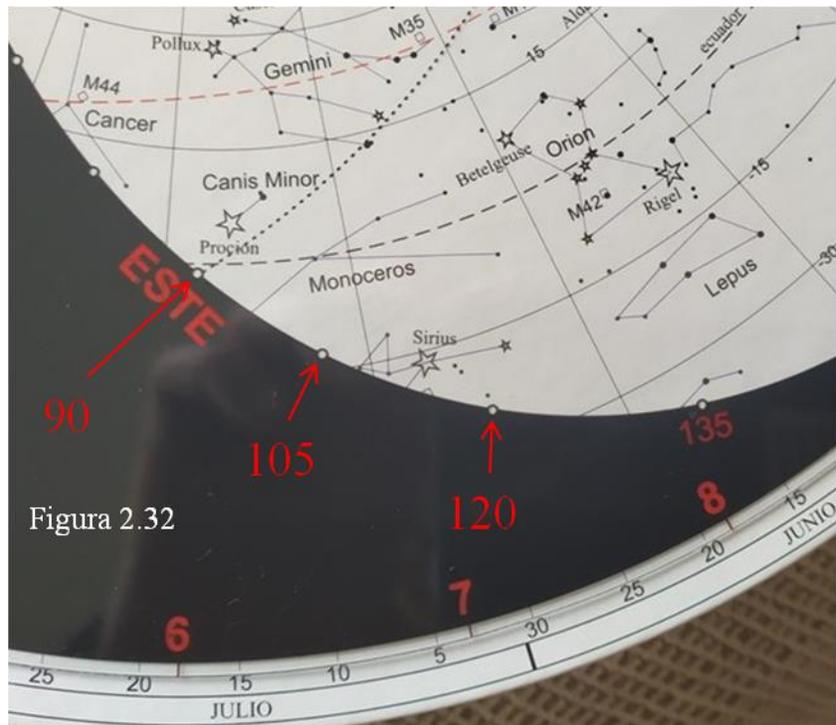


Figura 2.32



Figura 2.33

Buscamos los mismos datos (el mismo día 15 de enero) para Fomalhaut:

| Estrella | Orto | | Paso meridiano | | Ocaso | |
|-----------|-------|--------|----------------|--------|-------|--------|
| | hora | acimut | hora | altura | hora | Acimut |
| Fomalhaut | 11:05 | 130 | 15:15 | 20 | 19:25 | 230 |

Compara estos datos con las trayectorias de estas estrellas dibujadas en el semicírculo de visibilidad Sur (figura 2.16).

De forma similar, para algunas estrellas que salen y se ponen por la zona Norte podemos encontrar esos parámetros; la máxima altura meridiana ahora será desde el punto cardinal Norte:

| Estrella | Orto | | Paso meridiano | | Ocaso | |
|----------|-------|--------|----------------|--------|-------|--------|
| | hora | acimut | hora | altura | hora | Acimut |
| Capella | 11:30 | 20 | 21:30 | 84 | 7:30 | 340 |

Para las que no salen ni se ponen (las circumpolares) no hay acimut de orto ni de ocaso, pero sí dos pasos meridianos:

| Estrella | Paso meridiano inferior | | Paso meridiano superior | |
|----------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| | hora | altura | hora | altura |
| Kochab | 19 | 24 | 7 | 64 |

Compara también estos parámetros con las figuras del semicírculo de visibilidad Norte de la figura 2.18.

Ejercicio 2.6

Coloca el planisferio a las 23 h (hora solar) del 20 de marzo.

- ¿Qué constelaciones atraviesa el meridiano (la línea recta que va del Norte al Sur)?
- ¿Qué constelaciones cruza el primer vertical (la línea curva discontinua que va del Este al Oeste)?
- ¿Qué constelaciones están poniéndose por el horizonte Oeste?

Haz clic [aquí](#) para ver la solución

Ejercicio 2.7

Completa la siguiente tabla, para Spica, la α de Virgo, en la fecha anterior (20 de marzo):

| Salida | | Paso meridiano | | Puesta | |
|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| hora | acimut | hora | altura | hora | acimut |
| | | | | | |

Haz clic [aquí](#) para ver la solución

Ejercicio 2.8

Shedar (α Cas) es la estrella de magnitud 2 de Casiopea que está más lejos de la Polar. Rellena esta tabla para esa estrella en la misma fecha (20 marzo):

| Paso meridiano superior | | Paso meridiano inferior | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| hora | altura | hora | altura |
| | | | |

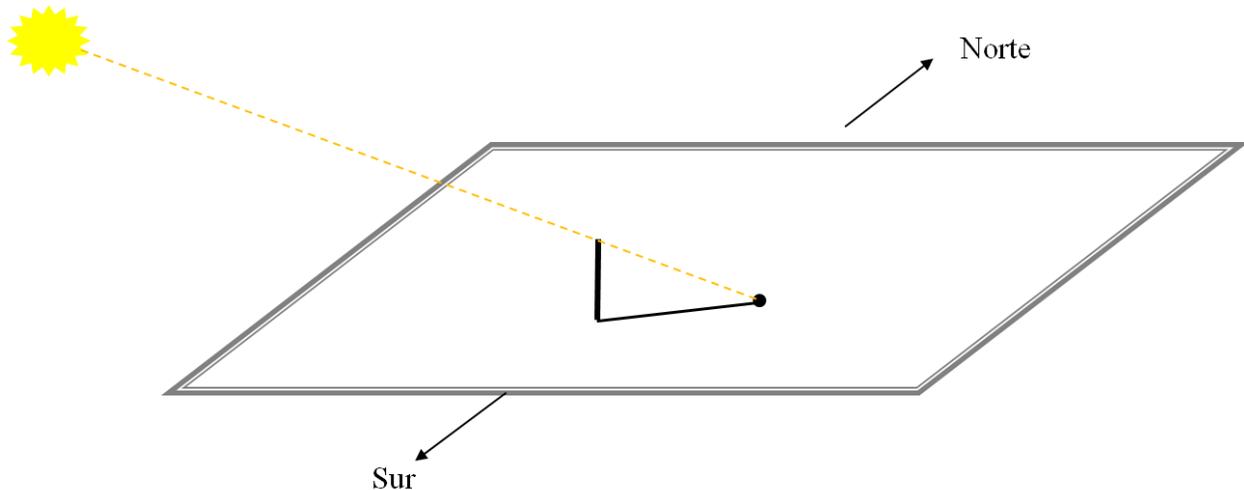
Haz clic [aquí](#) para ver la solución



2.7 TRABAJOS ESCOLARES

Gnomon

Consiste en un tablero rectangular de unos 70 x 50 cm que se va a colocar en el suelo horizontal de forma que sus lados largos queden paralelos a la línea Este-Oeste. En el eje central Norte-Sur, a unos 10 cm del borde Sur, se coloca un clavo (u otro objeto similar) de unos 10 cm de altura; es interesante que acabe en punta para que el extremo de su sombra esté bien definido.



La superficie del tablero debe permitir dibujar en ella; una solución simple es que el tablero sea de madera y sobre él se sujete (por ejemplo con chinchetas) una cartulina.

Sin mover para nada el gnomon se va señalando en él el extremo de la sombra del clavo a lo largo de todo un día, digamos de hora en hora.

Es interesante repetir la experiencia en diferentes fechas del año, especialmente en las más señaladas desde el punto de vista astronómico (solsticios y equinoccios); para que todo resulte bien es muy importante que el gnomon esté siempre en la misma posición; para conseguirlo lo más seguro es marcar en el suelo (en el patio de recreo) los bordes del tablero.

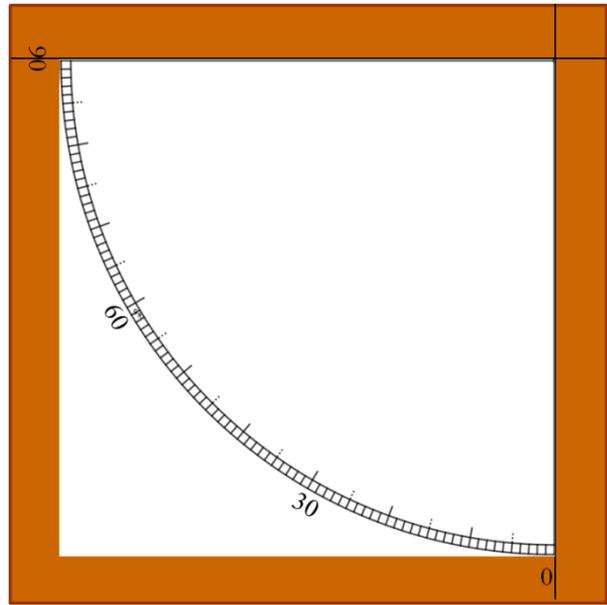
Otra actividad interesante consiste en anotar la hora y la longitud de la sombra, elaborar una gráfica con esos datos y analizarla.

O también, conociendo la altura del clavo y la longitud de la sombra en un momento dado averiguar el ángulo de elevación (la altura) del Sol sobre el horizonte, completar una tabla con horas y alturas, hacer una gráfica con esos datos y estudiarla.

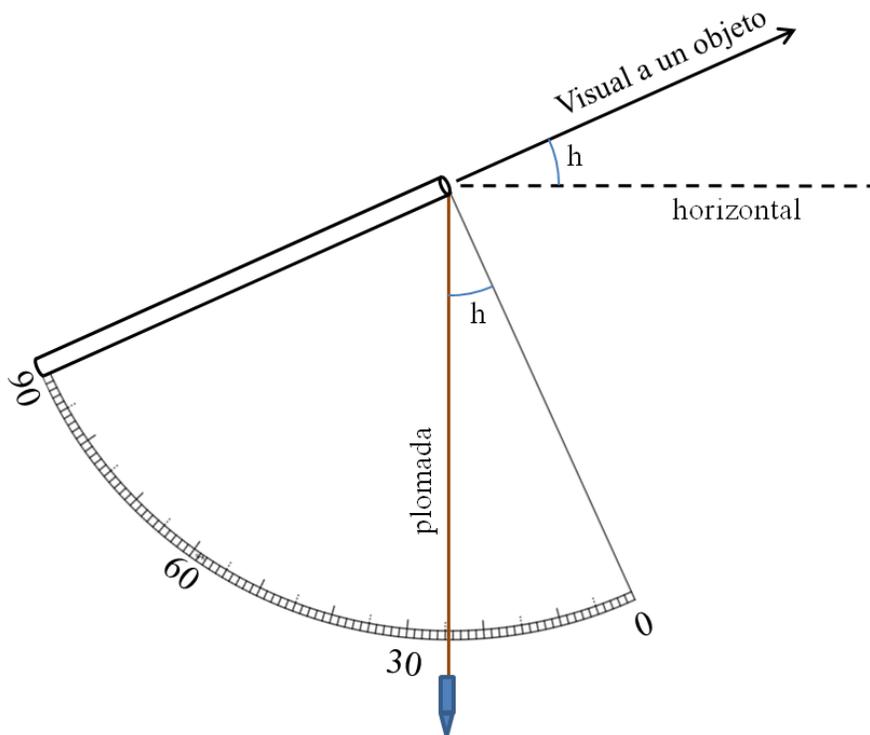
Cuadrante

En un tablero de madera fina pero rígida (es útil el DM, de 5 mm de grosor por ejemplo) de unos 25x25 cm se dibujan dos rectas paralelas a los bordes, a unos 2 cm, como se muestra en el dibujo. Luego se dibuja o se pega un cuarto de círculo graduado (haz clic [aquí](#) para ver o imprimir uno) ajustado a las dos líneas antes dibujadas y graduado como se indica: 0° abajo y 90° en el extremo superior.

En el borde superior del tablero hay que situar algún sistema para hacer puntería. Pueden ser un par de hembrillas (como la de la foto), el tubo de un bolígrafo pegado a lo largo del borde, o lo que se te ocurra.



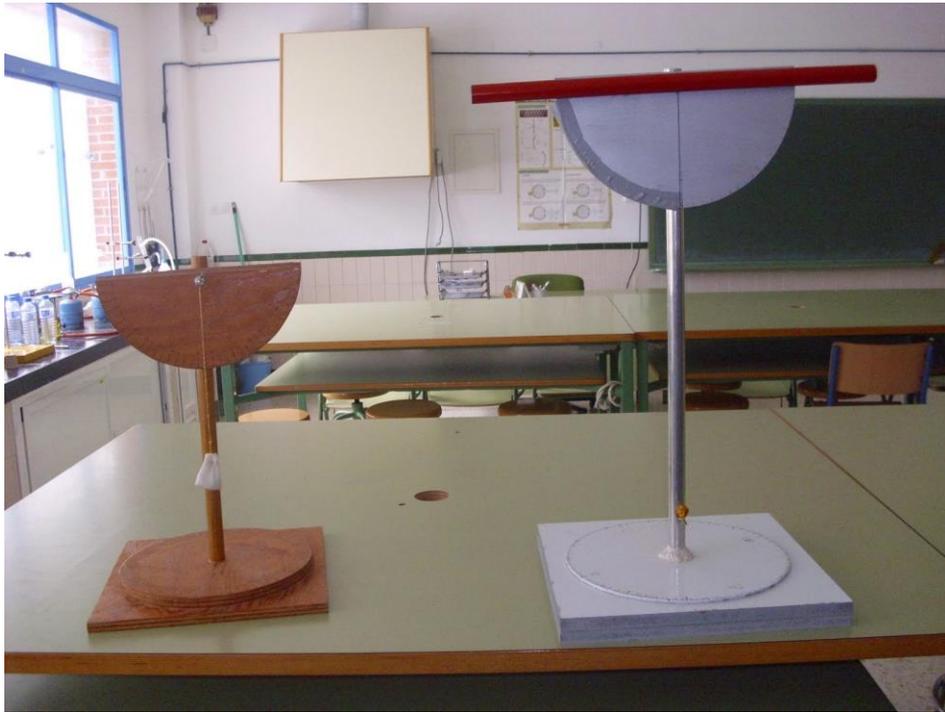
Luego tienes que hacer un agujero fino (con un clavo, por ejemplo, no hace falta emplear el taladro) justo en el vértice, pasar por ese agujero una cuerda fina que va a ser nuestra plomada, utilizando como peso lo que tengamos a mano: una tuerca, un tornillo algo pesado.



Ya tenemos armado nuestro cuadrante. Para utilizarlo se inclina lo que haga falta hasta que apuntemos a un objeto celeste (o terrestre). La plomada indicará en el cuarto de círculo graduado precisamente la altura h de ese objeto, porque los dos ángulos indicados como h en la figura tienen que ser iguales.

Teodolito

Aquí tienes otras imágenes de teodolitos “caseros” que pueden servirte de orientación si te decides a construir uno. Los círculos o semicírculos graduados y transparentes que puedes encontrar en una papelería suelen ser muy útiles.



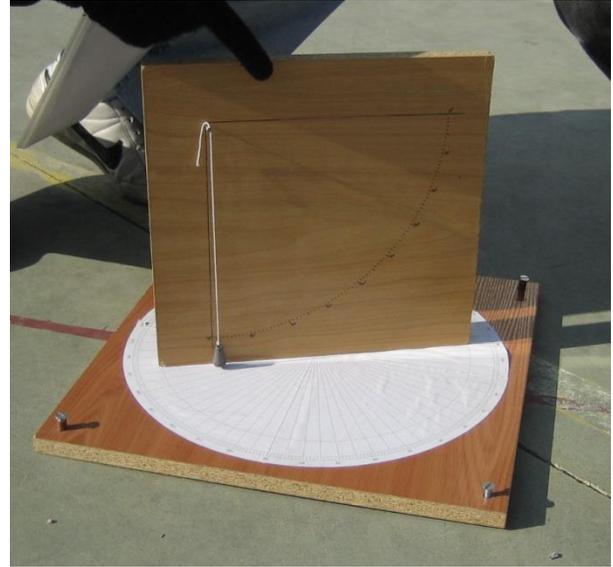
Instituto de secundaria Las Viñas de Manilva, en Málaga.



<http://4.bp.blogspot.com/-ts8CE0AnEho/TZZCJu55THI/AAAAAAAAA3A/ZY36zTwzEEU/s1600/DSCI0013.JPG>

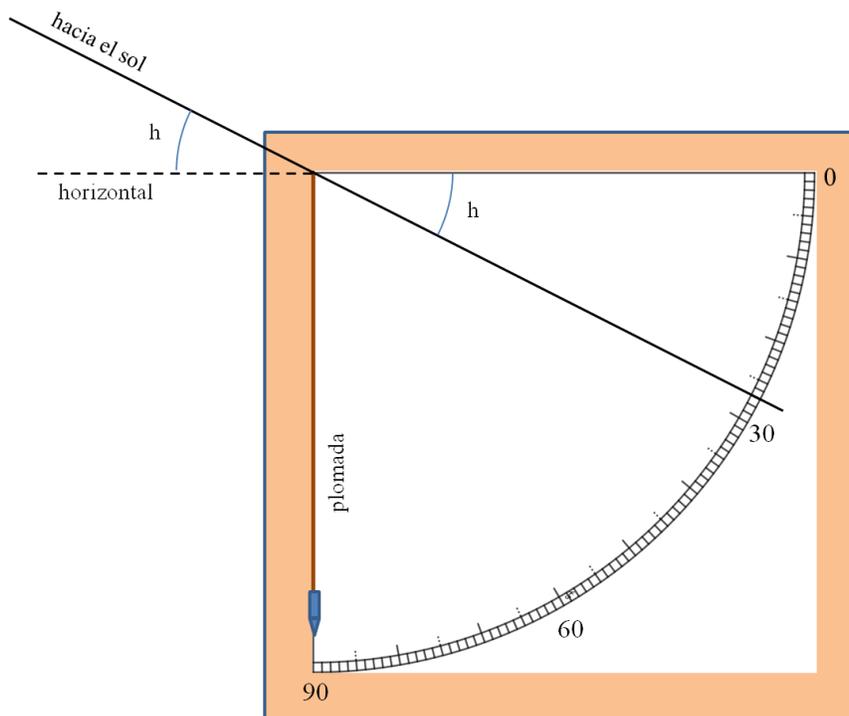
El zócalo de Ptolomeo.

Es un instrumento especialmente diseñado para medir las coordenadas horizontales del Sol. Consiste en un tablero cuadrado, pequeño (20x20 cm por ejemplo) pero grueso (podría ser aglomerado de 19 mm), de manera que se mantenga vertical sin dificultad. Sobre una de las caras del tablero se dibuja un cuadrante, graduado desde 0° hasta 90° , y se coloca en su vértice un pequeño clavo que sobresalga. Haz clic [aquí](#) si quieres ver o imprimir un cuarto de círculo graduado.



Este tablero debe poder girar sobre una base en la que se pega un círculo completo graduado de 0 a 360° . Haz clic [aquí](#) si quieres ver o imprimir un círculo completo graduado. Hay que colocar la base de forma que quede perfectamente orientada, con la graduación 0° en dirección N y la 180° hacia el S. Un clavo situado en el centro de la base puede servir de eje de giro del tablero vertical.

Se mueve el tablero vertical (girándolo sobre su eje) hasta que apunte exactamente hacia el Sol, lo que se consigue cuando las dos caras del tablero están en sombra. En esa posición se puede leer el acimut en la graduación del círculo dibujado en la base.



También sirve para medir la altura del Sol, es decir el ángulo que forman sus rayos con la horizontal. Para ello se mueve el tablero vertical, hasta que la luz del Sol entre ligeramente en la cara con el cuadrante dibujado y la sombra del clavo sea muy larga y alcance la graduación (fotografía). El valor señalado por la sombra del clavo es precisamente la altura del Sol. La plomada solo sirve para verificar que el cuarto de círculo esté bien nivelado, con un borde vertical.

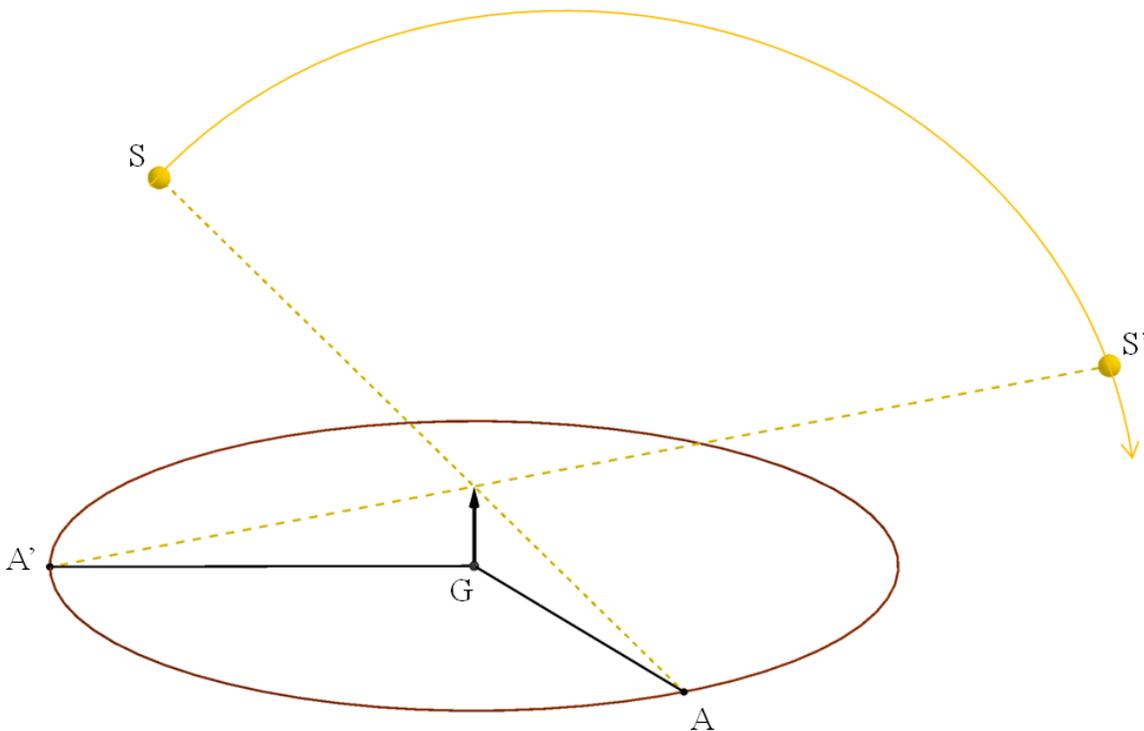
Trazado de la meridiana

➤ Procedimiento clásico

Se coloca un palo vertical en un punto central G del suelo donde se va a realizar esta práctica, generalmente un patio del centro escolar. Conviene que este “gnomon” sea bastante alto, como por ejemplo de 1 m, que termine en forma de punta fina (para que el extremo de su sombra pueda precisarse lo mejor posible) y que esté bien vertical comprobándolo con una plomada.

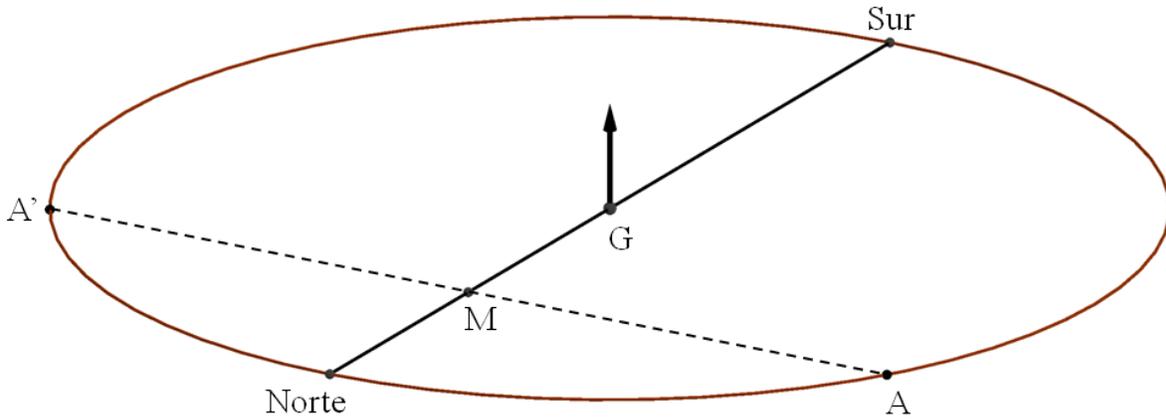
Se dibuja una circunferencia de centro G y un radio de por lo menos 3 m. Cuanto mayor sea el radio más preciso será el procedimiento, pero hay que asegurarse de que la sombra del gnomon alcance esa circunferencia en todo momento. Puede haber edificios próximos que constituyan un obstáculo.

Se espera hasta que, por la mañana, la sombra del gnomon alcance a la circunferencia y se marca el punto (A). Luego hay que repetir la operación por la tarde, señalando en el suelo el punto (A') en el que la sombra vuelve a tocar la circunferencia.

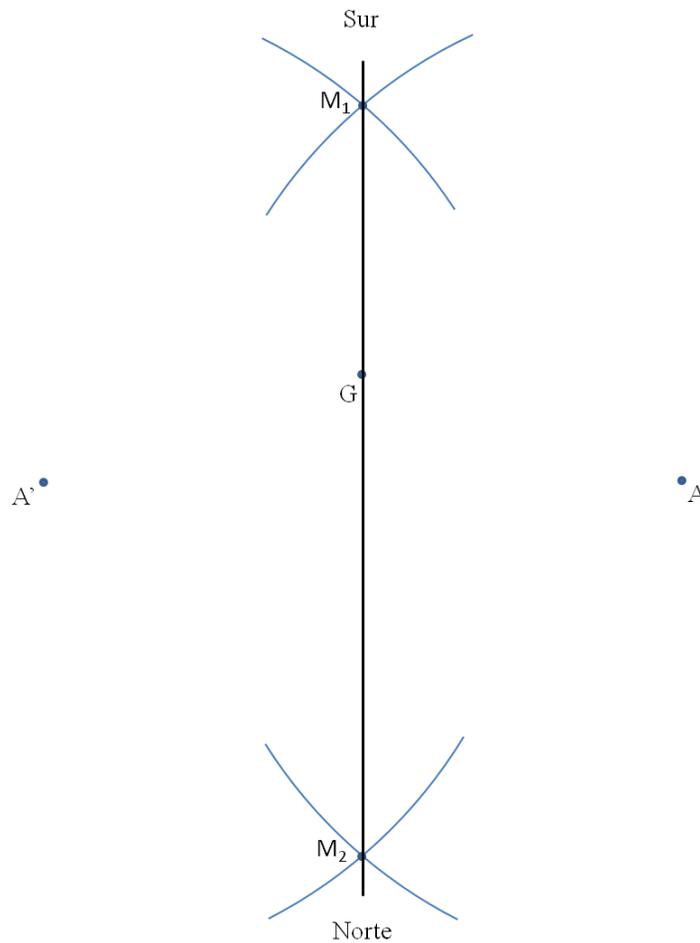


Puesto que las sombras GA y GA' miden lo mismo, las dos posiciones del Sol (S y S') tienen la misma altura sobre el horizonte y son simétricas con respecto al punto central de su trayectoria (la culminación, cuando se sitúa exactamente sobre el punto cardinal Sur).

Por lo tanto la mediatriz del segmento AA' será la línea meridiana Norte – Sur. Basta con marcar el punto medio (M) del segmento AA' y unirlo con G. Esa recta MG será la meridiana.



El trazado de la mediatriz puede mejorarse mediante el procedimiento clásico en dibujo. Con centro en A y en A' y con el mismo radio (lo mayor posible) se trazan pequeños arcos de circunferencia en la zona previsible donde vaya a situarse la mediatriz. Se obtienen así dos puntos M_1 y M_2 más distanciados y que marcarán la posición de la meridiana con mejor precisión que los excesivamente próximos G y M.



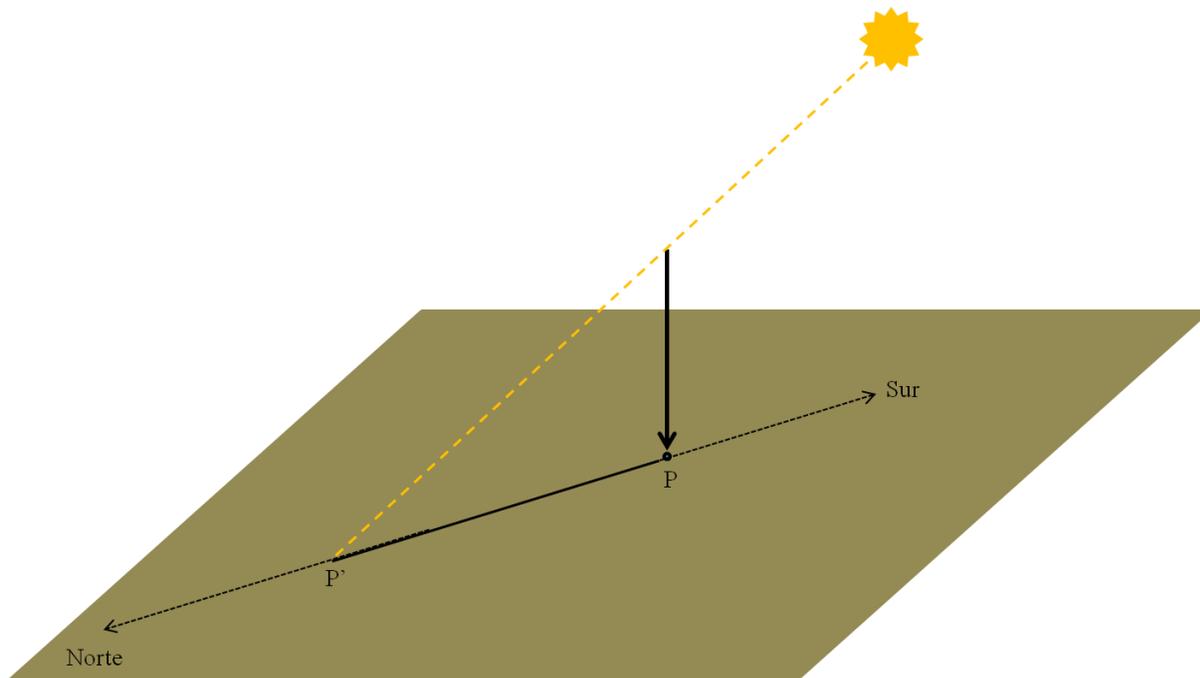
➤ Procedimiento práctico

Para este segundo método es preciso conocer con la máxima exactitud posible la longitud geográfica del lugar de observación. Puede obtenerse de algún mapa muy detallado (escala 1:25.000 o aún menor) o mediante algún programa informático como el Google maps.

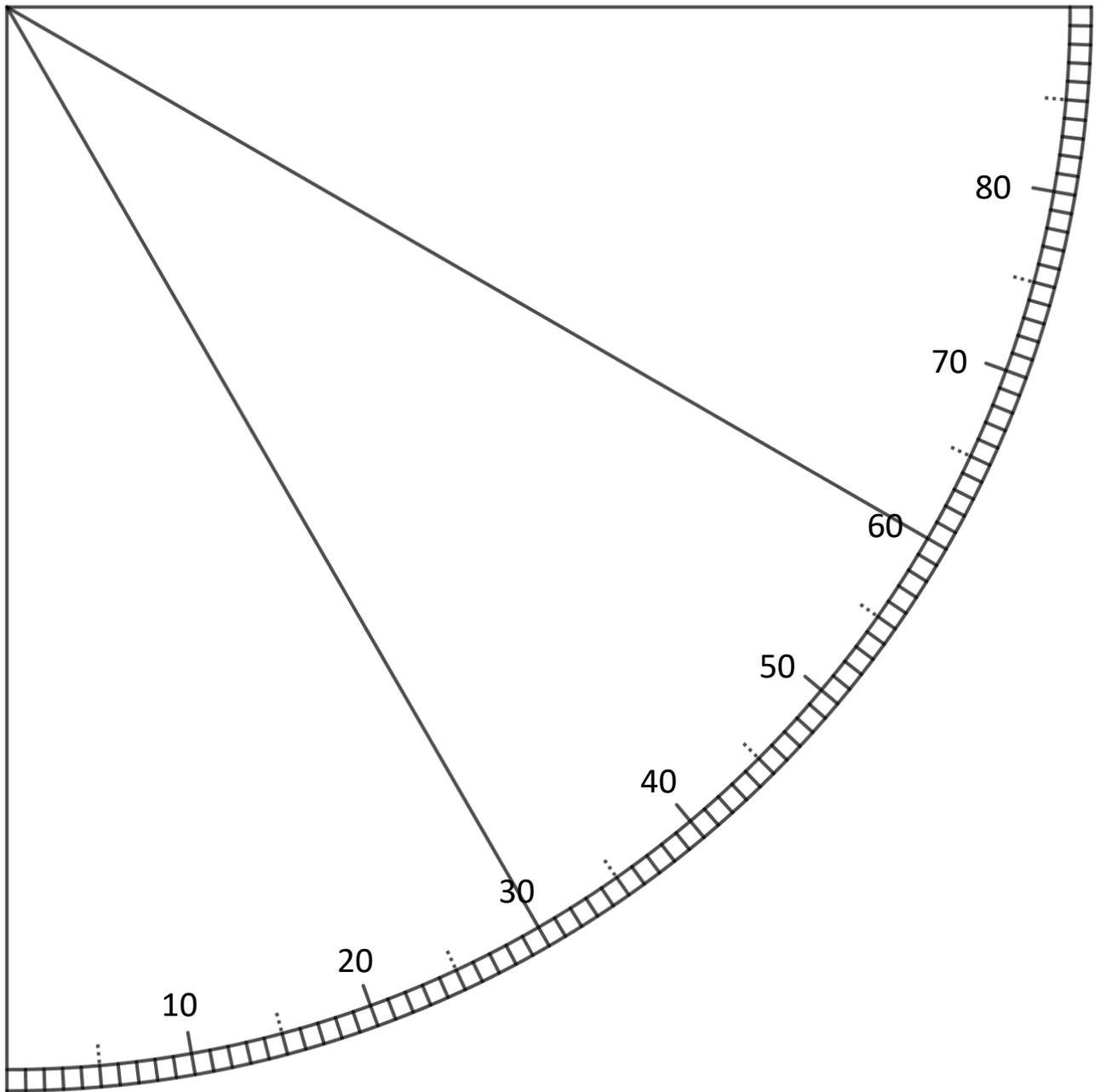
Una vez conocida la longitud geográfica es necesario obtener la hora exacta del mediodía solar verdadero (cuando el acimut del Sol es justamente de 180°) en ese lugar y para la fecha elegida. Se puede conseguir también mediante algún software que simule los movimientos celestes, como el Stellarium. Es recomendable hacerlo en fechas próximas al solsticio de invierno, en diciembre o enero, cuando la altura del Sol a mediodía sea muy baja y, por tanto, las sombras se proyecten con mayor longitud. Y poner en hora nuestros relojes (con las señales horarias de la radio, por ejemplo) el día elegido por la mañana.

Hay que conseguir una plomada de bastante longitud, digamos unos 2 m. Se puede sujetar mediante una escalera, suspenderla en alguna canasta de baloncesto que tengamos a mano o como nos parezca.

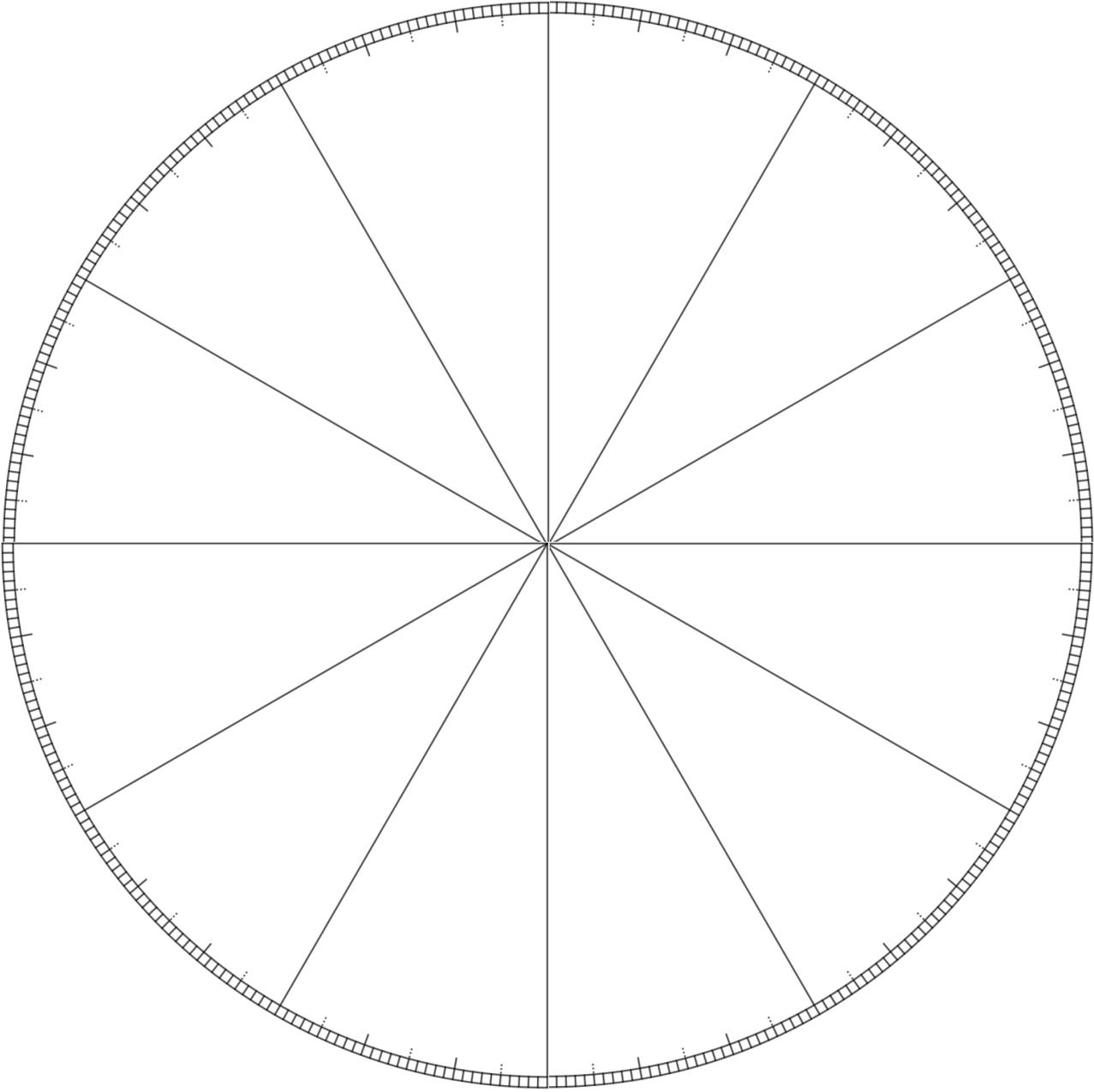
Una vez colocada y estabilizada la plomada se señala en el suelo el punto que queda justo debajo de ella (P). Esperamos hasta que llegue a la hora del mediodía. En ese preciso momento se marca en el suelo el extremo de la sombra de la plomada (P'). La línea PP' será nuestra meridiana.



Cuadrante graduado



Círculo completo graduado



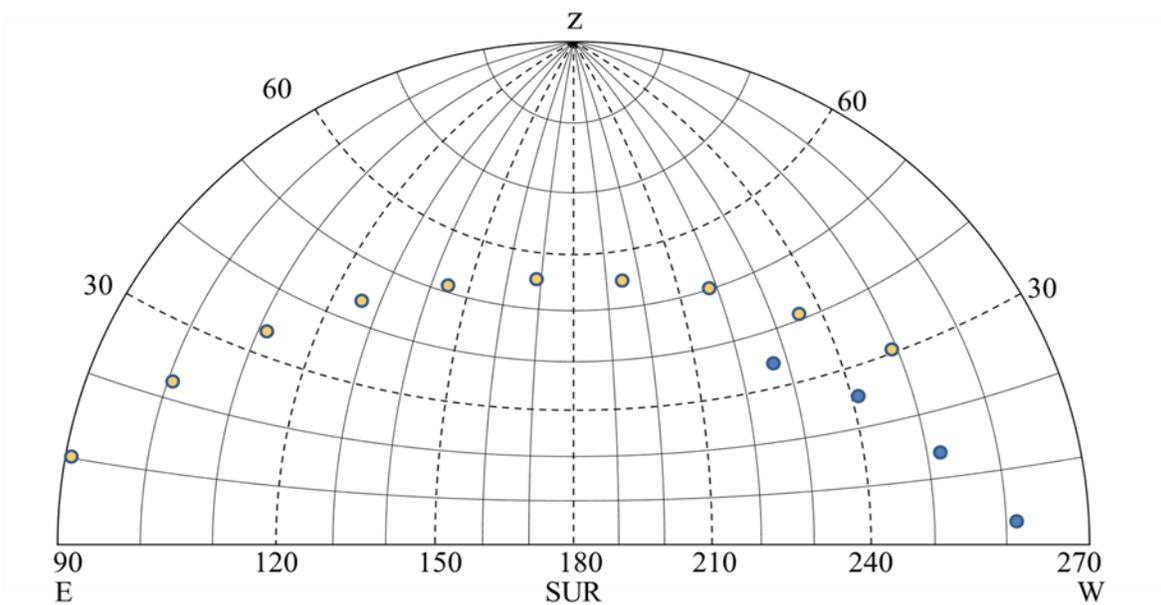
Ejercicio 2.1

| Estrella | J | K | L | M |
|----------|-----|----|-----|-----|
| Acimut | 300 | 30 | 165 | 225 |
| altura | 10 | 20 | 40 | 70 |

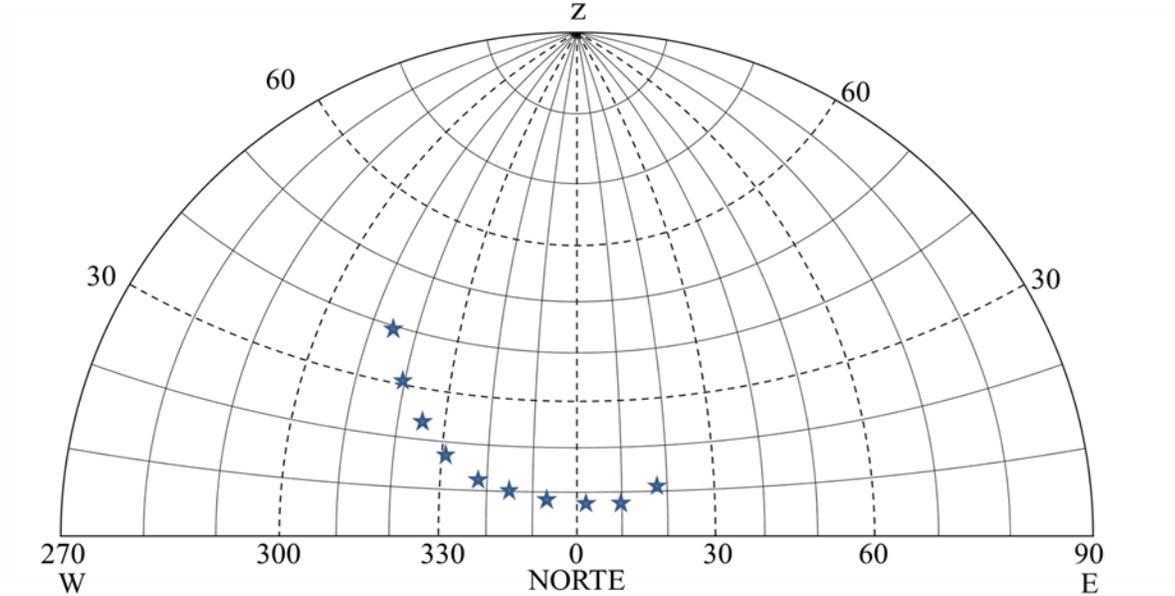
Ejercicio 2.2

| Estrella | A | B | C | D | E | F |
|----------|-----|----|----|-----|-----|-----|
| Acimut | 335 | 50 | 75 | 120 | 180 | 260 |
| Altura | 20 | 65 | 5 | 10 | 40 | 43 |

Ejercicio 2.3



Ejercicio 2.4



Ejercicio 2.6

- a) De Norte a Sur: Cep, UMa, Leo.
- b) De Este a Oeste: Boo, Gem, Ori.
- c) Tau, Ori, CMa.

Ejercicio 2.7

| Salida | | Paso meridiano | | Puesta | |
|--------|--------|----------------|--------|--------|--------|
| hora | acimut | hora | altura | hora | acimut |
| 20:05 | 105 | 1:30 | 38 | 6:55 | 255 |

Ejercicio 2.8

| Paso meridiano superior | | Paso meridiano inferior | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
| hora | altura | hora | altura |
| 12:45 | 74 | 0:42 | 6 |