



12

Prismáticos y telescopios

- 12.1 Lentes y espejos
- 12.2 Características ópticas
- 12.3 La montura

Ante todo, me procuré un tubo de plomo a cuyos extremos adapté dos lentes de vidrio, ambas planas por una cara, mientras que por la otra eran convexa la una y cóncava la otra. Acercando luego el ojo a la cóncava, vi los objetos bastante grandes y próximos, ya que aparecían tres veces más cercanos y nueve veces mayores que cuando se contemplaban con la sola visión natural. Más tarde me hice otro más exacto que representaba los objetos más de sesenta veces mayores.

Galileo Galilei, Siderius Nuncius

12.1 LENTES Y ESPEJOS

En 1610 Galileo utilizó por primera vez un anteojo para mirar hacia el cielo. Fue una verdadera revolución distinguir los satélites de Júpiter (figura 12.2) accidentes geográficos en la Luna (figura 12.3), las fases de venus (figura 12.4), las manchas del Sol (figura 12.5) y el enorme número de estrellas que forman la Vía Láctea.



Figura 12.2

Observationes Jovianae
1610

2. Jovis man. H. 12	○ **
30. man.	** ○ *
2. Jov.	○ ** *
3. man.	○ * *
3. H. s.	* ○ *
7. man.	* ○ **
6. man.	** ○ *
8. man. H. 13.	* * * ○
10. man.	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4. uel.	* ○ *
13. man.	* ** ○ *
14. Jovis.	* * * ○ *

Figura 12.3

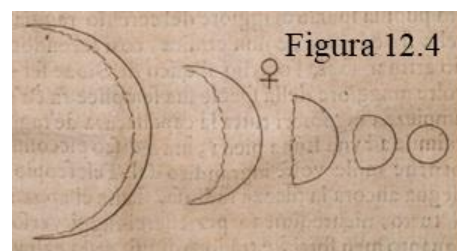
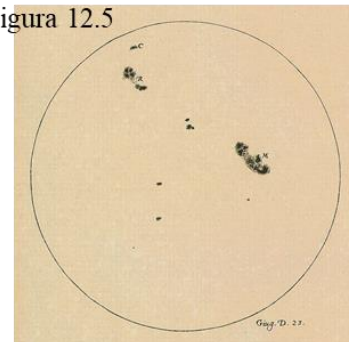


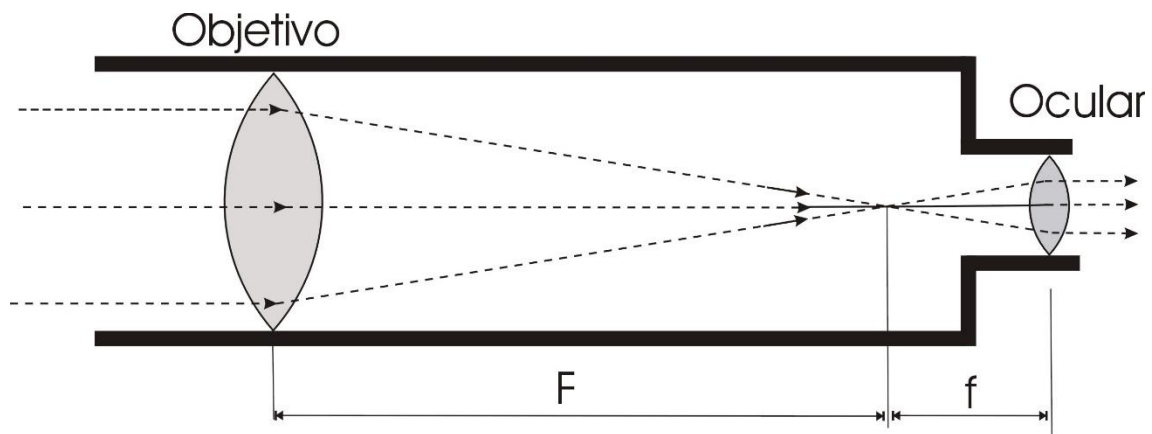
Figura 12.5



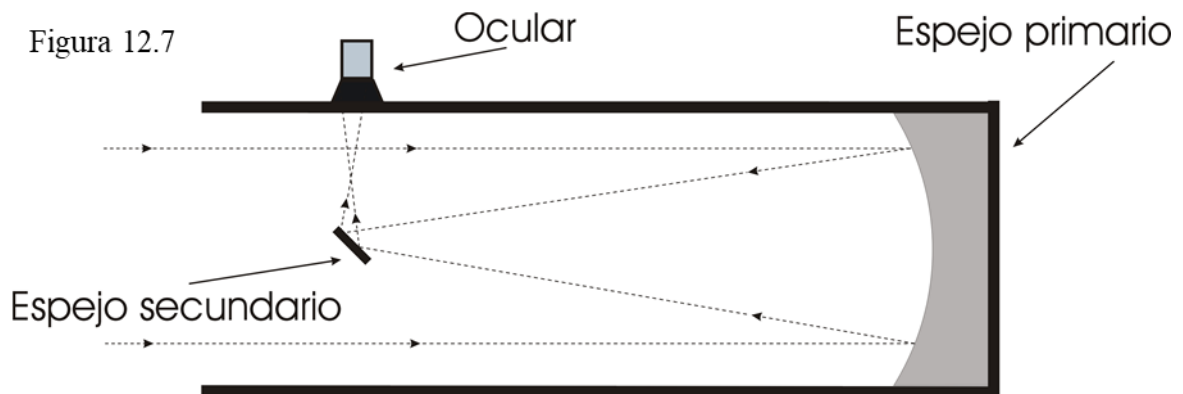
Figuras 12.2 a 12.5: https://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

El anteojo de Galileo estaba formado por una lente que concentraba los rayos luminosos procedentes de algún objeto celeste y una lupa para ampliar la imagen así formada. Estos dos elementos siguen siendo el fundamento de los telescopios **refractivos** (anteojos o catalejos) en los que luz se desvía al atravesar una lente (se refracta) de manera que los rayos convergen en un punto llamado foco. Allí se forma una imagen muy pequeña del objeto al que se está enfocando, así que se añade una lupa (ocular) para poder contemplar esa imagen con comodidad (figura 12.6)

Figura 12.6



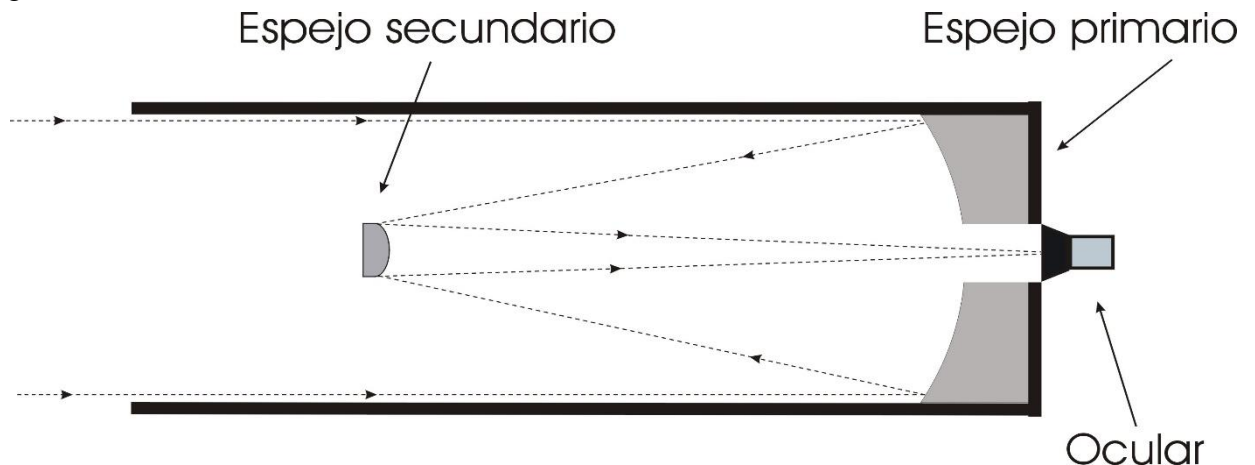
En cambio, en **los reflectores**, el encargado de recoger y concentrar la luz no es una lente, sino un espejo. Normalmente se trata de un espejo cóncavo ahuecado hasta alcanzar el perfil de una parábola. Los rayos se reflejan en ese espejo parabólico y se concentran todos en su foco según la imagen de la figura 12.7



Este tipo de telescopios tiene que tener algún sistema para llevar el haz de luz hasta el ojo. Una de las soluciones más frecuentes es la ideada por Newton: un espejo (secundario o diagonal) plano y muy pequeño (para que no tape la luz que proviene del astro al que estamos apuntando) que se sitúa con 45° de inclinación, desvía de nuevo la luz sacándola fuera.

Una variante del telescopio reflector es el llamado Cassegrain. En este tipo de telescopios se sustituye el espejo plano por otro convexo que reenvía el rayo luminoso hacia el primario de forma que la distancia focal se alarga sensiblemente. El espejo primario tiene un orificio en el centro por el que pasan los rayos hasta el portaocular (figura 12.8)

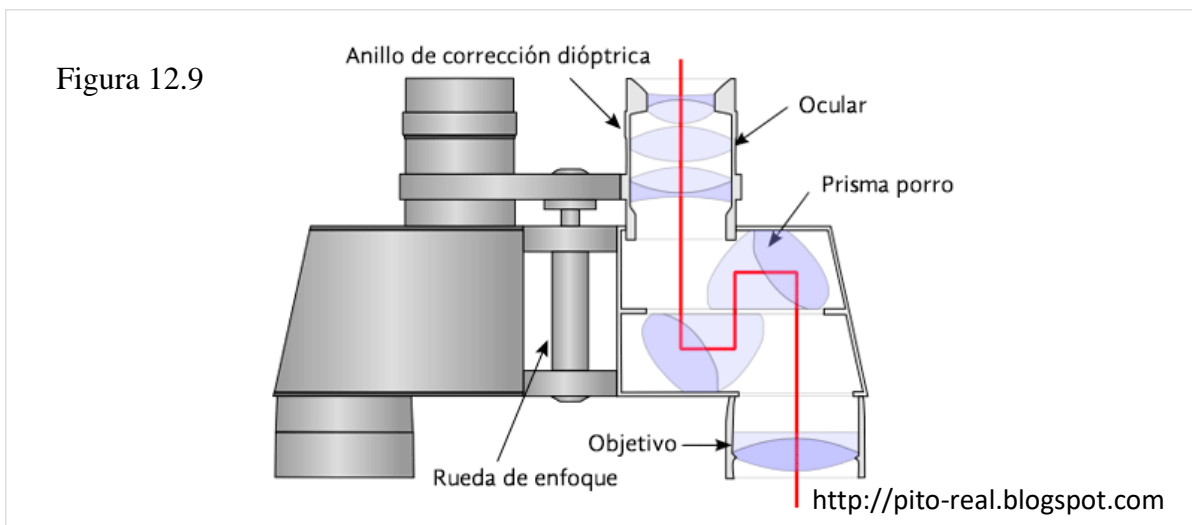
Figura 12.8



Los telescopios, aún los más modestos, no son excesivamente portátiles; necesitan un soporte (la montura, que se tratará en otro apartado de este tema) e invierten las imágenes. Cuando miramos a través de un telescopio hacia la Luna, por ejemplo, su parte iluminada cambia de lado, es decir, la derecha real pasa a verse telescópicamente a la izquierda y viceversa.

En los prismáticos, gracias a la combinación de diversos elementos ópticos, se consigue una especie de pequeño telescopio portátil que no invierte las imágenes y cuya utilización no requiere guiñar un ojo. Una lente para recoger la luz, un par de prismas para enderezar la imagen y la lupa habitual forman la estructura básica de unos prismáticos (figura 12.9)

Figura 12.9



Todos los prismáticos llevan indicadas sus características ópticas mediante dos números separados por el signo de multiplicación x (por ejemplo, 7x50). El primero señala el número de aumentos que se consiguen y el segundo el diámetro de las lentes (en mm). Para usos astronómicos habituales, son aconsejables los de 7x50. Si el diámetro es menor, son poco luminosos y, si es mayor, empiezan a ser grandes, pesados e incómodos. Un mayor número de aumentos influye en la longitud y hace que los prismáticos sean menos manejables.

Resumiendo, cualquier instrumento óptico dedicado a la Astronomía debe tener un elemento (el objetivo) que recoja la luz procedente del objeto observado y otro (el ocular) que amplíe la imagen formada en el foco del objetivo.

12.2 CARACTERÍSTICAS ÓPTICAS

Del objetivo

Es el elemento encargado de recoger la luz del objeto que queremos observar y que determina, por tanto, la cantidad de luz que una lente o un espejo es capaz de recoger. Como depende de su superficie, y si D es su diámetro, sigue la fórmula:

$$S = (\pi/4) \cdot D^2$$

El poder de captación de luz de un telescopio es, por tanto, proporcional al cuadrado de su diámetro. Este valor es relativo y se usa para comparar dos instrumentos y saber cuánta luz recoge uno más que otro. Por ejemplo, si queremos comparar un telescopio con un objetivo de 20 cm de diámetro con nuestro ojo, cuya pupila tiene un diámetro aproximado de 0,5 cm podemos decir que el telescopio tiene un poder de recogida de luz de $(20/0,5)^2 = 40^2 = 1.600$ veces mayor que nuestro ojo. Por lo tanto, el objetivo es la pieza clave e inamovible y sus características ópticas serán las que marquen la eficacia del instrumento. Los datos ópticos fijos y fundamentales de un telescopio son dos:

- **D, diámetro del objetivo** (expresado en milímetros)
- **F, distancia focal del objetivo** (distancia a la que se forma la imagen en el foco). Esta distancia puede ser distinta en telescopios que tengan el mismo tamaño ya que depende del diseño del mismo (la curvatura del espejo, por ejemplo). Este dato lo proporciona el fabricante y está siempre presente pues es fundamental para el cálculo de otros parámetros como veremos.

Otros parámetros interesantes de un telescopio son:

- **Relación focal = F/D**. Así un telescopio cuyo objetivo tenga un diámetro de 20 cm y una distancia focal de 1,5 metros, tendrá una relación focal=1500/200. Es decir, de 7,5. Su expresión sería: f:7,5 o F/7,5.

Si la relación focal es "corta" (menos de 6) el telescopio será apto para la observación de objetos débiles (nebulosas, galaxias). Por el contrario, si es "larga" permitirá un mayor grado de ampliación de imágenes de objetos brillantes (Luna y planetas).

- **La magnitud límite (m)** es la de las estrellas más débiles que un telescopio es capaz de detectar. Está claro que cuanto mayor sea m , mejor es el telescopio, pues será capaz de apreciar objetos más y más débiles. La magnitud límite solo depende del diámetro del objetivo y sigue la fórmula

$$m = 5 \cdot \log D + 2$$

La expresión "log D" se lee "logaritmo (decimal o base 10) de D".

La conclusión es que con un modesto telescopio cuyo objetivo tenga 6 cm de diámetro se pueden ver objetos de magnitud 11. A simple vista solo llegamos a la 6ª magnitud.

- **El poder separador** (e) de un telescopio es su capacidad para distinguir dos puntos que estén muy próximos. Se mide como un ángulo (en segundos de arco; recuerda que $1^\circ = 60'$ y un minuto $1' = 60''$) y se calcula mediante la fórmula:

$$e = 120''/D \text{ (teórico)} \quad e = 240''/D \text{ (práctico)}$$

Cuánto más pequeño sea el ángulo más potente es el telescopio. Así, uno de $D = 6\text{cm}$ permitirá distinguir dos estrellas que estén separadas $120/60 = 2''$, pero otro de 20 cm separará estrellas que están mucho más próximas, hasta $120/200 = 0,6''$ que el anterior telescopio no era capaz de distinguir.

Esta facultad de separar puntos de luz próximos es la que determina el grado de detalle que vamos a poder apreciar sobre la superficie de la Luna o de un planeta. Con un telescopio de $D = 6\text{ cm}$, no importa con cuántos aumentos, lo más que podremos distinguir será puntos separados $2''$

Ejercicio 12.1

Tenemos dos telescopios cuyos diámetros de objetivos son iguales de 15cms. Uno de ellos tiene una distancia focal de 150 cm y el otro de 120 cm. Calcula sus relaciones focales. ¿Cuál de ellos utilizarías para observar la galaxia del Remolino (M 51)?

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

Ejercicio 12.2

Con ayuda de una calculadora completa la tabla de la página siguiente. En las columnas rellenas figuran los diámetros de objetivos correspondientes a D : 5 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 50 cm, 1 m, 2m y 4m. Calcula la magnitud límite que corresponde a cada uno de esos diámetros según la fórmula anterior. Redondea a dos decimales.

D	m
50	
60	
80	
100	

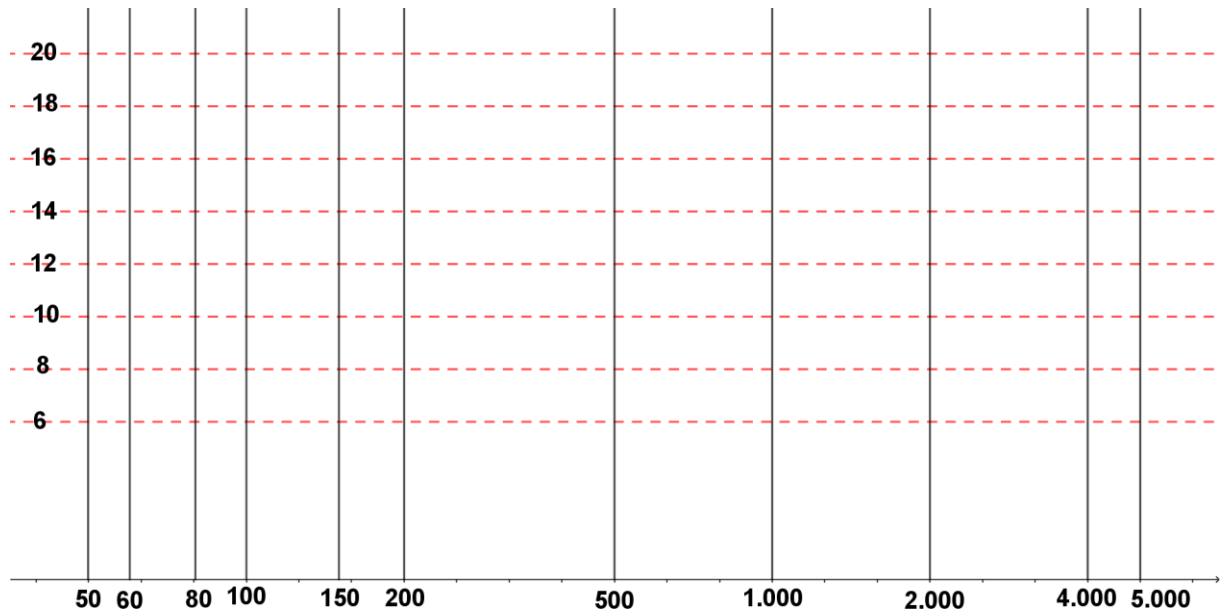
D	m
150	
200	
500	

D	m
1000	
2000	
4000	

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

Ejercicio 12.3

Traslada los datos que acabas de obtener a la cuadrícula inferior. Une los puntos para obtener una gráfica.



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

Ejercicio 12.4

¿Cuál es la magnitud límite que se puede distinguir con el telescopio de Monte Palomar, que tiene 5 m de diámetro?

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

Ejercicio 12.5

La magnitud de Plutón es de 13,8. Calcula:

- El diámetro mínimo para poderlo ver
- La abertura mínima que hemos de utilizar para ver M 76, localizada en la constelación de Perseo y cuya $m = 11,5$

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

Ejercicio 12.6

En las guías suele venir una lista con estrellas muy próximas (estrellas dobles). Una de ellas es *H* de la constelación del Boyero que en realidad son dos estrellas separadas solo 0,97".

- ¿Debería ser capaz de distinguirlas un telescopio de $D = 15 \text{ cm}$?
- ¿Cuál es el diámetro mínimo que, en teoría, podría desdoblarlas?

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

Ejercicio 12.7

Recuerda que la distancia media de la Luna a la Tierra es de unos 384.000 km. Calcula:

- La longitud de la órbita de la Luna alrededor de la Tierra (sería la de una circunferencia que tenga ese radio)
- ¿Cuántos grados hay en un círculo completo? ¿Cuántos minutos? ¿Cuántos segundos?
- Sobre la superficie de la Luna vemos dos puntos separados por un ángulo de 1". ¿Qué distancia lineal en Km hay entre esos dos puntos?
- ¿Qué tamaño tienen los detalles más pequeños que podemos ver en la Luna con un telescopio de 6 cm? ¿Y con uno de 20 cm? ¿Y con el de Monte Palomar?

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

De los oculares

Figura 12.10



Un ocular es una lupa sofisticada que se compone de varias lentes. El número de ellas varía mucho de unos diseños a otros. Mientras los más simples utilizan solo dos o tres, los complejos pueden llegar hasta ocho o más. La ventaja de usar un número alto de lentes es la obtención de mayores campos de visión y con mejor corrección de imagen en los bordes. La desventaja es que se necesita una mayor cantidad de cristal, un proceso de fabricación más largo y, por tanto, un mayor coste.

Hay quien considera que los oculares suponen la mitad de las prestaciones de un telescopio. Sin juzgar tal afirmación, sí es cierto que suponen un elemento esencial en la calidad y comodidad de la imagen que se obtiene. Un buen telescopio no lo parecerá con unos malos oculares.

Las características principales de un ocular son:

- **Distancia focal del ocular (f) y aumentos.** Es, como se puede ver en la figura 12.6, la distancia que hay entre el foco y la lente del ocular. Se mide en milímetros, viene marcada en el propio ocular (figura 12.10) y es un factor determinante para averiguar no solo los aumentos que podemos obtener sino otros parámetros de la imagen que veremos a continuación.
- **Los aumentos (A)** con los que está trabajando un telescopio se pueden calcular mediante la fórmula: $A = F/f$ (expresando F y f en las mismas unidades, habitualmente en milímetros). Por tanto, el número de aumentos no es algo intrínseco a un telescopio, sino que depende del ocular que hayamos puesto. Por ejemplo, un telescopio que tenga 90 cm de distancia focal ($F = 900$ mm) cuando se le pone un ocular de 20 mm de distancia focal ($f = 20$ mm) nos dará unos aumentos de $A = 900/20 = 45$.

Los aumentos se suelen expresar mediante un número seguido del símbolo de la multiplicación (x). Así, en el ejemplo anterior diríamos que hay 45 aumentos o que el número de aumentos es de 45x. Si a ese mismo telescopio le cambiamos el ocular por otro de $f = 9$ mm, resulta que ahora obtenemos $A = 900/9 = 100x$ (100 aumentos). Usando un mismo telescopio la regla es muy sencilla: cuanto más pequeña sea la distancia focal del ocular más aumentos obtenemos (y menos campo de visión), cuanto más grande, menos aumentos (y más campo de visión). De esta forma conviene dotar al telescopio de dos o tres oculares como mínimo: un ocular de bajo aumento para la observación de campo amplio y de objetos muy grandes (nebulosas, cúmulos abiertos, etc.), Otro para campo intermedio y uno de alto aumento para ver planetas y la Luna, las lunas de Júpiter...

El número máximo de aumentos que soporta un telescopio se pueden calcular multiplicando por dos el diámetro del objetivo (la apertura). Así, un telescopio de 150 mm de diámetro, soportará un máximo de 300 aumentos. **Aumentos máximos = $2 \cdot D$**

El número mínimo de aumentos, por debajo de los cuales no resulta práctico trabajar, se puede calcular dividiendo por 5 el diámetro del objetivo. **Aumentos mínimos = $D/5$**

- **Diámetro externo, casquillo o barrilete.** Es el diámetro del ocular, la parte del ocular que se introduce en el portaoculares. Existen tres tamaños que se expresan en milímetros o pulgadas: 28,8 mm (0,96"), 31,75 mm (1,25") y 50,8 mm (2"). Cuanto mayor es el barrilete más campo de observación obtenemos.
- **Campo aparente.** Es el ángulo de visión, expresado en grados, que ofrece el ocular. Es decir, es la cantidad de cielo que se ve a través del ocular, la visión lateral que da, lo que se ve a lo ancho... El campo de visión se mide en grados y en función del tipo de diseño los oculares proporcionan un campo más o menos grande. Los oculares de menos calidad suelen ofrecer unos 40°. Lo más común es que proporcionen imágenes que estén entre 50° y 60° y los oculares más especializados ofrecen imágenes más anchas que van desde los 60° a los 100°. Generalmente, abarcamos con el ojo unos 60° de campo aparente por lo que a partir de esta cifra hay que ir moviendo el ojo como si mirásemos a través de una ventana.
- **Campo real:** Es la porción de la bóveda celeste que observamos a través de nuestro ocular. Se mide dividiendo el campo aparente entre los aumentos que obtengamos con el ocular.

Campo real = campo aparente/aumentos.

- **Pupila de salida:** Es la superficie de luz que proyecta el ocular sobre nuestro ojo. Esto es importante pues la pupila del ojo humano se dilata en la oscuridad y se contrae ante la luz. En condiciones de oscuridad, y según la persona, nuestra pupila puede tener un tamaño máximo de entre 5 y 6 mm. Si la pupila de salida del ocular es mayor, simplemente nos iluminará el exterior del ojo, pero será luz desaprovechada ya que no llega a la retina. La pupila de salida la obtendremos dividiendo la focal del ocular entre la relación focal del telescopio

Pupila de salida = focal del ocular/relación focal del telescopio

- **Extracción pupilar o relieve ocular:** Es la distancia a la que ha de colocarse el ojo de la lente del ocular para conseguir hacer foco expresado en milímetros (mm). A mayor relieve ocular mayor confort en la observación. Es especialmente importante para los usuarios que precisen gafas a causa de padecer astigmatismo. La hipermetropía y la presbicia pueden corregirse mediante el enfoque (en este caso el telescopio nos hace de gafas) pero no el astigmatismo. Para los que observan con gafas, esta distancia debería situarse entre 15 y 20 mm. Incluso para los que observan sin gafas, distancias inferiores a 10 mm, resultan incómodas.

Algunas de estas características las podéis ver en la figura 12.11



Ejercicio 12.8

El objetivo de un telescopio es un espejo de 20 cm de diámetro y una distancia focal de 1,25 metros. Calcula:

- Los aumentos que tendrá este telescopio con un ocular de 25 mm, con otro de 9 mm y con un último de 6 mm (expresa F en milímetros)
- Los aumentos mínimos
- La distancia focal del ocular para conseguir esos aumentos mínimos
- El ocular con el que se logran los aumentos máximos

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

Ejercicio 12.9

Calcula para un telescopio de 20 cm de diámetro y una Focal de 1 metro:

a) Relación focal

b) Pupila de salida para un ocular de 40 mm ¿Es apropiado este ocular?

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

12.3 LA MONTURA

Sin duda la parte óptica es la más importante en un telescopio, pero también hace falta un sistema que soporte los espejos o lentes debidamente alineados, que permita su movimiento rápido para apuntarlo hacia el objeto que nos interese, que pueda mover el telescopio con suavidad para que siga apuntando hacia ese objeto (que, como todos los astros, se mueve de Este a Oeste, visto desde la Tierra) y que sea estable para que no tiemble con el viento (lo que hace muy incómoda la observación). Todas estas funciones las desempeña la montura o soporte del telescopio. Hay de diversos tipos:

Horizontal, Acimutal o Altacimutal

Permite mover el telescopio según dos ejes, uno vertical y otro horizontal (figura 12.12). Es cómoda de manejar porque tiene unos movimientos “naturales” a los que estamos acostumbrados. En los telescopios reflectores a veces se utilizan monturas muy simples que no requieren mandos para los movimientos lentos y que, además pueden soportar tubos de gran volumen. Son las monturas tipo Dobson. Son relativamente fáciles de construir pues, básicamente, son dos cajones ensamblados por unos ejes que efectúan el rodamiento sobre aros y tacos de teflón, lo que les hace suaves y estables (figura 12.13). Naturalmente estas monturas también se comercializan siendo, por su sencillez, las más baratas del mercado (figura 12.14)

Figura 12.12



Figura 12.13



Figura 12.14



Pero los objetos celestes se mueven según paralelos de la esfera celeste. Una estrella como Antares, que se ve hacia el Sur, se va desplazando hacia la derecha (de este a Oeste) y además sube o baja según esté saliendo o poniéndose. Para mantener el telescopio apuntando hacia ella hay que moverlo alrededor de dos ejes y esto, que sucede al observar cualquier astro, es una incomodidad. Para evitarla se recurre a las monturas ecuatoriales

Figura 12.15



Ecuatorial

Tiene un eje paralelo al de la Tierra de forma que el telescopio se mueve lo mismo que esta, pero en sentido contrario, deshaciendo el movimiento de rotación. Así, mantenerlo apuntado hacia un mismo astro resulta más cómodo que con una montura horizontal. Este tipo de montura es imprescindible si se quiere realizar fotografía con telescopio.

Ejercicio 12.1

- El telescopio 1 tiene una distancia focal de 150 cm ($F = 150$)
Luego su relación focal será:

$$F/D = 150/15 = 10$$

- El telescopio 2 tiene una distancia focal de 120 cm ($F = 120$)
Su relación focal será:

$$F/D = 150/15 = 8$$

Por lo tanto, el telescopio nº2 será el más apropiado para observar M 51

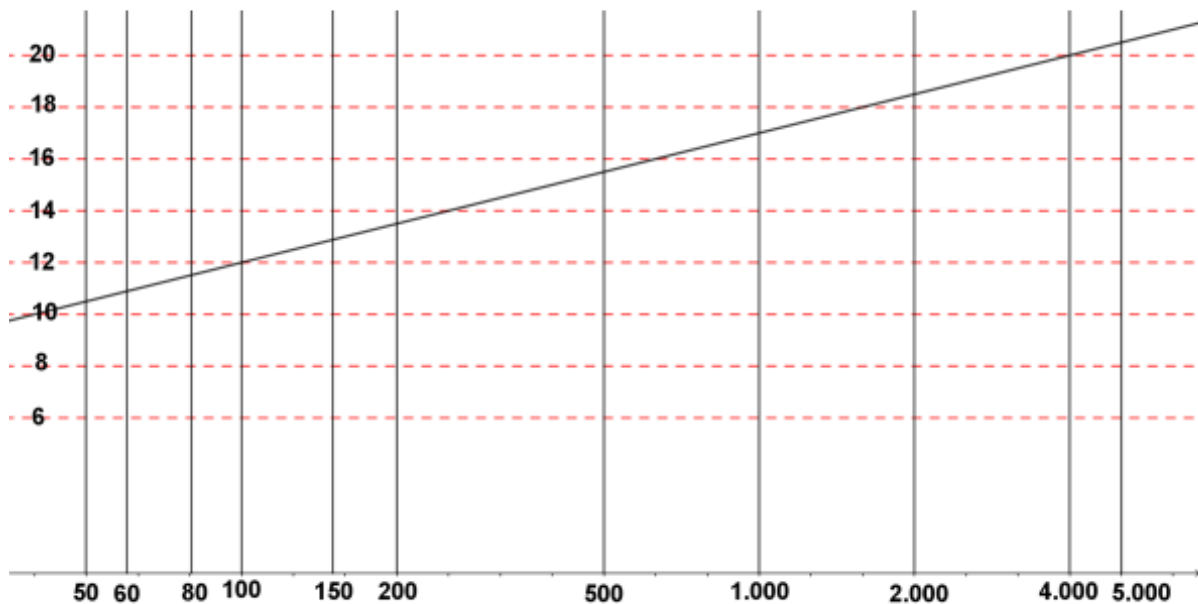
Ejercicio 12.2

D	m
50	10,49
60	10,89
80	11,52
100	12,00

D	m
150	12,88
200	13,51
500	15,49

D	m
1.000	17,00
2.000	18,51
4.000	20,01

Ejercicio 12.3



Ejercicio 12.4

$$m = 5 \cdot \log 5000 + 2 = 5 \cdot 3,69897 + 2 = \mathbf{20,5}$$

Ejercicio 12.5

$$m = 5 \cdot \log D + 2$$

a) $13,8 = 5 \cdot \log D + 2$
 $\log D = (13,8 - 2) / 5$
 $\log D = 2,36$
 $D = 10^{2,36} = 229 \text{ mm}$
Diámetro mínimo $\approx \mathbf{30 \text{ cm}}$

b) $11,5 = 5 \cdot \log D + 2$
 $\log D = (11,5 - 2) / 5$
 $\log D = 1,9$
 $D = 10^{1,9} = 79,43 \approx \mathbf{8 \text{ cm}}$

Ejercicio 12.6

$$e = 120'' / D$$

a) Para un telescopio de 15 cm de diámetro (150 mm)
 $e = 120'' / 150 = 0,8''$

Por lo tanto, **sí** puede distinguir las estrellas separadas

b) $0,97'' = 120'' / D$
 $D = 120'' / 0,97'' = 123,71 \text{ mm}$

Por lo tanto, el diámetro mínimo para poder observarlas será de 124 mm

Ejercicio 12.7

a) Longitud $= 2 \pi r = 2.412.743 \text{ km}$.

b) $360^\circ = 360 \cdot 60 = 21.600' = 21.600 \cdot 60 = 1.296.000''$

c) $2.412.743 / 1.296.000 = 1,86 \text{ km}$

d) Un telescopio de 6 cm tiene un poder separador de $2''$, equivalentes a la distancia media de la Luna a $2 \cdot 1,86 = 3,72 \text{ km}$

Uno de 20 cm alcanza a distinguir (teóricamente) $0,6''$, es decir $0,86 \cdot 1,86 = 1,12 \text{ km}$.

Y con el gigante de Monte Palomar de 5 m de diámetro ($e = 0,024$) podríamos distinguir dos puntos en la Luna a solo 45 m

Ejercicio 12.8

- 1) $F = 1.250$ mm con un ocular de 25 mm, $A = 1.250 / 25 = 50x$
Con otro de 9 mm resulta $A = 1.250 / 9 = 139x$
Con el de 6 mm $A = 1.250 / 6 = 208x$.
- 2) Aumentos mínimos = $D / 5 = 200 / 5 = 40x$.
- 3) Para ello necesitamos un ocular con una distancia focal f de forma que:
 $A = 1.250 / f = 40$, por lo que será $f = 1.250 / 40 = 31,25$ mm
- 4) El aumento máximo será $2 \cdot D = 2 \cdot 200 = 400x$. Esos aumentos se obtienen con un ocular de $f = 1.250 / 400 = 3,125$ mm

Ejercicio 12.9

- 1) La relación focal es $F / D = 1.000 / 200 = 5$
- 2) La pupila de salida con un ocular de $f = 40$ mm será $40/5 = 8$ m
Es un poco excesiva; sería mejor un ocular de 30 mm para obtener la pupila de salida ideal, 6 mm