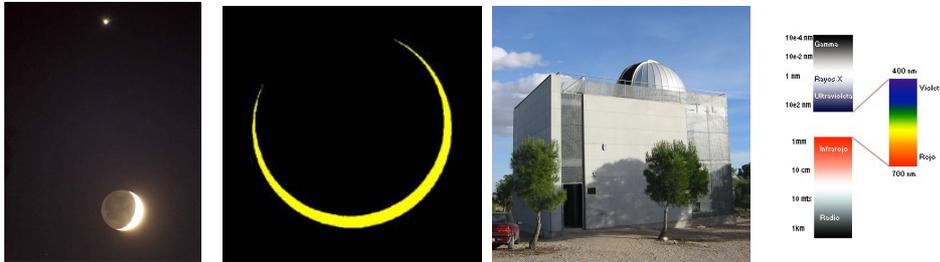


## INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN

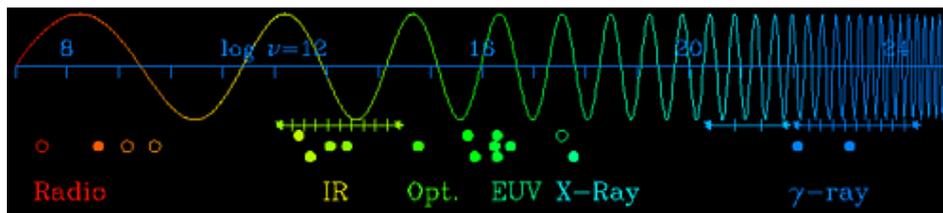
Simón García



Los objetos celestes, aparte de los cuerpos del Sistema Solar, están tan lejos que la luz que emiten es en la práctica el único medio que tenemos para estudiarlos y entender su naturaleza. Uno de los descubrimientos fundamentales de la física del siglo XX fue que la luz tiene una naturaleza dual: a veces se comporta como ondas y a veces como partículas, llamadas fotones. Algunos fenómenos pueden interpretarse en base al modelo ondulatorio de la luz, y en otras situaciones debe enfocarse el problema pensando en la luz como un conjunto de fotones.

Una propiedad básica de la luz es su *longitud de onda*, que se define como la distancia entre crestas o depresiones consecutivas de las ondas.

La luz visible representa apenas una pequeña porción del *espectro electromagnético*, que se extiende desde los rayos gamma hasta longitudes de onda de radio. Aunque en realidad ambos extremos del espectro electromagnético se extienden desde cero hasta el infinito.



La luz blanca es en realidad una mezcla de longitudes de onda. Cuando hacemos que la luz blanca pase a través de un prisma, se descompone en longitudes de onda o *colores* que la integran, formando un *espectro*. La ciencia encargada del análisis de los espectros se llama *espectroscopía*.

Una onda electromagnética consiste de campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Estos campos se propagan en el vacío con una velocidad constante  $c = 300\,000$  km/s. Este valor es una constante fundamental de la naturaleza y uno de los pilares en que se sustenta la Física moderna, en especial la Teoría de la Relatividad. Para la luz visible la unidad de medida usada es el Angstrom:

1 Ångstrom =  $10^{-8}$  cm ; y abarca el rango de 4000 Å a 7000 Å.

Otras propiedades ondulatorias de la luz son su *frecuencia* y su *energía*:

$f=c/\lambda$  ;  $E=hc/\lambda$  donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío,  $h$  es la constante de Planck, y  $\lambda$  es la longitud de onda.

## El Espectro Electromagnético

La naturaleza de la luz ha sido estudiada desde hace muchos años por científicos tan notables como [Newton](#) y [Max Plank](#). Para los astrónomos conocer la radiación electromagnética es un elemento clave debido a que toda la información que obtenemos de las estrellas nos llega a través del estudio de la radiación que recibimos de ellas.

Como se ha dicho antes la naturaleza de la luz ha sido interpretada de diversas maneras:

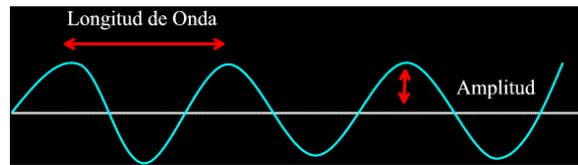
1. Compuesta por corpúsculos que viajaban por el espacio en línea recta (teoría corpuscular - Newton - 1670)
2. Ondas similares a las del sonido que requerían un medio para transportarse (el éter) (teoría Ondulatoria - [Huygens](#) - 1678, Young, Fresnel)
3. Ondas electromagnéticas al encontrar sus características similares a las ondas de radio (teoría electromagnética - Maxwell - 1860)
4. Como paquetes de energía llamados cuantos (Plank).

Finalmente Broglie en 1924 unifica la teoría electromagnética y la de los cuantos (que provienen de la ondulatoria y corpuscular) demostrando la doble naturaleza de la luz.

## La radiación electromagnética

Las cargas eléctricas estacionarias producen campos eléctricos, las cargas eléctricas en movimiento producen campos eléctricos y magnéticos. Los cambios cíclicos en estos campos producen **radiación electromagnética**, de esta manera la radiación electromagnética consiste en una oscilación perpendicular de un campo eléctrico y magnético. La radiación electromagnética transporta energía de un punto a otro, esta radiación se mueve a la velocidad de la luz (siendo la luz un tipo de radiación electromagnética).

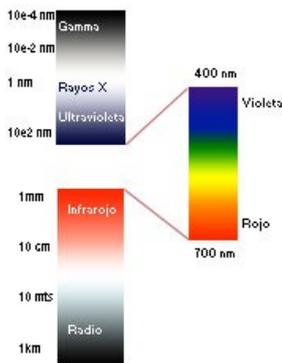
Las ondas de radiación electromagnética se componen de crestas y valles (convencionalmente las primeras hacia arriba y las segundas hacia abajo). La distancia entre dos crestas o valles se denomina **longitud de onda** ( $\lambda$ ). La **frecuencia** de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo (casi siempre medida en segundos), esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y está dada en Hertz. La **amplitud de onda** esta definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base (A). La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud. La unidad de medida para expresar semejantes distancias tan pequeñas es el nanómetro ( $10^{-9}$  metros).



La luz visible, es decir las ondas electromagnéticas para las cuales el ojo humano está adaptado, se encuentran entre longitudes de onda de 400 nm (**violeta**) y 700 nm (**rojo**). Como lo predijeron las ecuaciones de Maxwell existen longitudes de onda por encima y por debajo de estos límites.

Estas formas de "luz invisible" se han encontrado y organizado de acuerdo a sus longitudes de onda en el espectro electromagnético.

Si las ondas electromagnéticas se organizan en un continuo de acuerdo a sus longitudes obtenemos el espectro electromagnético en donde las ondas más largas (longitudes desde metros a kilómetros) se encuentran en un extremo (Radio) y las más cortas en el otro (longitudes de onda de una billonésima de metros) (Gamma).



**Luz Visible.** Isaac Newton fue el primero en descomponer la luz visible blanca del Sol en sus componentes mediante la utilización de un prisma. La luz blanca está constituida por la combinación de ondas que tienen energías semejantes sin que alguna predomine sobre las otras. La radiación visible va desde  $384 \times 10^{12}$  hasta  $769 \times 10^{12}$  Hz. Las frecuencias más bajas de la luz visible (longitud de onda larga) se perciben como rojas y las de más alta frecuencia (longitud corta) aparecen violetas.

**Rayos infrarrojos.** La radiación infrarroja fue descubierta por el astrónomo [William Herschel](#) (1738-1822) en 1800, al medir una zona más caliente más allá de la zona roja del espectro visible. La radiación infrarroja se localiza en el espectro entre  $3 \times 10^{11}$  Hz. hasta aproximadamente los  $4 \times 10^{14}$  Hz. La banda infrarroja se divide en tres secciones de acuerdo a su distancia a la zona visible: próxima (780 - 2500 nm), intermedia (2500 - 50000 nm) y lejana (50000 - 1mm). Toda molécula que tenga una temperatura superior al cero absoluto ( $-273^\circ$  K) emite rayos infrarrojos y su cantidad está directamente relacionada con la temperatura del objeto.

**Microondas.** La región de las microondas se encuentra entre los  $10^9$  hasta aproximadamente  $3 \times 10^{11}$  Hz (con longitud de onda entre 30 cm a 1 mm).

**Ondas de Radio.** Heinrich Hertz (1857-1894), en el año de 1887, consiguió detectar ondas de radio que tenían una longitud del orden de un metro. La región de ondas de radio se extiende desde algunos Hertz hasta  $10^9$  Hz con longitudes de onda desde muchos kilómetros hasta menos de 30 cm.

**Rayos X.** En 1895 Wilhelm Röntgen inventó una máquina que producía radiación electromagnética con una longitud de onda menor a 10 nm a los cuales debido a que no conocía su naturaleza las bautizó como X.

**Radiación Ultravioleta.** Sus longitudes de onda se extienden entre 10 y 400 nm más cortas que las de la luz visible.

**Rayos Gamma.** Se localizan en la parte del espectro que tiene las longitudes de onda más pequeñas entre 10 y 0.01 nm.

## Líneas espectrales.

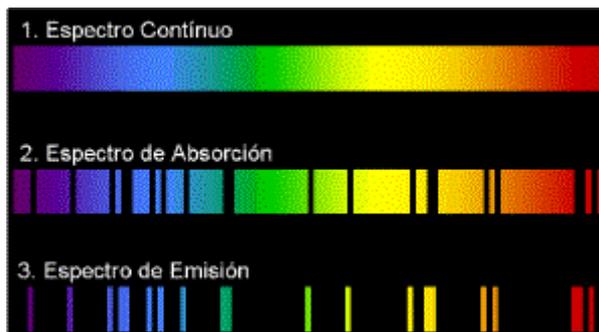
Los átomos poseen un núcleo el cual tiene la mayor parte de su masa y toda su carga positiva. Rodeando al núcleo se encuentra un enjambre de electrones con carga negativa. En estado estable el átomo debe ser neutro, de esta manera, la carga positiva del núcleo se contrarresta con la carga negativa de los electrones.

El núcleo está formado por dos tipos de partículas, los protones y los neutrones unidos por una fuerza llamada **fuerza nuclear fuerte**. Los protones tienen toda la carga positiva y el número de ellos da las características fisicoquímicas al átomo. De cada elemento químico se pueden tener varias formas o isótopos; en los isótopos el número de protones se mantiene constante pero no el de neutrones. El hidrógeno por ejemplo tiene dos isótopos muy comunes el  $^1\text{H}$  y el  $^2\text{H}$  (deuterio) y uno menos común el tritio  $^3\text{H}$ . El número que precede al símbolo químico es el número de nucleones (protones y neutrones) que posee.

Los electrones de un átomo solo pueden encontrarse en unas órbitas permitidas y no en cualquier posición con respecto al núcleo. Ahora bien, un electrón puede cambiar de una órbita a otra siempre y cuando la de destino esté desocupada. Al pasar un electrón a una órbita más baja este necesita emitir energía, la cual libera en forma de paquete o cuanto. Para pasar a una órbita más alta requiere absorber energía en forma de cuanto de luz. El cuanto de luz emitido o absorbido es específico para cada órbita de cada átomo específico. De esta manera al estudiar la energía electromagnética emitida o absorbida por un átomo se puede determinar que tipo de átomo es.

Cuando se tiene un material excitado como por ejemplo un gas calentado por la luz estelar, una gran multitud de sus átomos puede estar sufriendo cambios en la órbita de sus electrones y por este motivo se presenta gran cantidad de absorción y/o emisión de cuantos de energía. El estudio de estos fotones dan las "huellas" de identificación de los átomos presentes en el gas.

Al analizar el espectro proveniente de la luz de un gas o estrella se pueden apreciar "huecos" en el espectro estudiado (**líneas espectrales de absorción**). Corresponden a las longitudes de onda absorbidas por el átomo. Igualmente al estudiar material incandescente podremos ver espectros con líneas característicamente brillantes a las que se denominan **líneas de emisión**. Las moléculas también emiten y absorben radiación en longitudes características. Una de las utilizadas en astronomía es la emisión de 21 cm de las moléculas de hidrogeno.



## Cuerpo negro

Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética por el simple hecho de tener cierta temperatura. Para estudiar la liberación de energía por cuerpos calientes se debe considerar un objeto especial de características ideales en el cual toda la luz que absorba no se refleje; a tal objeto se le denomina cuerpo negro. Estos cuerpos negros emiten energía y lo hace según un espectro característico, durante muchos años no se logró explicar la radiación de energía de un cuerpo negro hasta que Max Plank en 1900 lo hizo suponiendo que la energía se liberaba en paquetes o cuantos. La emisión de energía por parte de las estrella semeja mucho a la de un cuerpo negro (salvo por las líneas de absorción y emisión).

Cuando un objeto emite radiación de manera similar a un cuerpo negro se puede asegurar que esta energía es de tipo térmico; existe sin embargo otro tipo de energía electromagnética de tipo no térmico a la cual se le conoce como **radiación sincrotón**. Esta es producida por partículas cargadas, casi siempre electrones, que giran alrededor de líneas de campo magnético y emiten radiación. La liberación de energía sincrotón tiene como característica que se emite en longitudes de onda muy pequeñas en el rango de los rayos X y Gamma.

Cuando existen líneas espectrales, estas líneas tiene cambios característicos, en presencia de campos magnéticos muy fuertes; las líneas espectrales se desdoblan en parejas con una distancia entre ellas relacionada a la magnitud del campo. A este fenómeno se le conoce como **fenómeno de Zeeman** y fue descubierto al estudiar las propiedades espectrales de las manchas solares.

## Instrumentos

Para comenzar en Astronomía lo que primero se necesita es tener el entusiasmo y la curiosidad de conocer mucho mas allá del mundo que nos rodea, disfrutar de la

tranquilidad que nos ofrece el cielo y sus maravillas que nunca dejarán de sorprendernos. Lo primero que se necesita para practicar la observación astronómica es conocer el cielo, para ello contamos con nuestro *sentido de la visión*. Éste nos permite el estudio de las [cartas celestes](#) para ubicar la posición de constelaciones, estrellas y planetas. Con este conocimiento -y no antes- se debe comenzar a profundizar con el uso de los binoculares, que permiten apreciar estrellas dobles, variables, nebulosas, cúmulos estelares, algunas galaxias y detalles de la Luna. Además su uso será imprescindible cuando se realice el salto al instrumento mayor, el telescopio.

Cuando hayamos reconocido el cielo y estemos seguros de nuestra afición, será el momento de adquirir un telescopio - no antes-. El manejo del telescopio es más complejo, su transporte, cuidados y mantenimiento deben ser rigurosos, su instalación, adecuada alineación y manejo requieren un poco de entrenamiento y práctica. Si adquiere un telescopio es para utilizarlo. Nunca espere ver imágenes como en las revistas, se dará cuenta en muchas ocasiones que la visión que se obtiene con unos binoculares es a veces mucho más espectacular. Sin embargo, el telescopio le permitirá observar objetos mucho más tenues y detalles planetarios más finos. Igualmente el telescopio permitirá posteriormente realizar trabajos de astrofotografía con película normal, [WebCam](#) o CCD

## Binoculares

Nadie parece darse cuenta -y muchos no lo creen- que los binoculares son el elemento de elección para iniciar y trabajar en astronomía. ***Toda persona que se interese por el cielo tiene que tener unos binoculares.***



Los binoculares son fáciles de utilizar, la imagen se ve al derecho -los telescopios la invierten, claro que el universo en realidad no tiene "derecho"-, tienen un gran campo de visión lo que facilita la localización de los objetos y su apreciación en conjunto con los elementos vecinos, además al utilizar los dos ojos no se pierde la capacidad de "tridimensionalidad" de la visión. Con ellos se observarán entre otras cosas: cráteres, montañas y llanuras en la Luna, planetas y sus satélites, los asteroides más brillantes, los cometas, estrellas dobles y variables, muchos cúmulos estelares y algunas nebulosas y galaxias. En resumen: ***un buen par de binoculares dan una mejora mucho mayor sobre el ojo desnudo que un gran telescopio amateur sobre los binoculares.***

Existen varios tipos de binoculares, sin embargo no son todos buenos para astronomía. Los hay muy pequeños (de opera) que no recogen mucha luz y son inútiles para la observación astronómica. Los muy grandes son muy pesados para sostenerlos y por su distancia focal larga estrechan el campo visual, por lo que se pierde la gran ventaja del binocular que es observar campos abiertos, estos binoculares se usan para trabajos específicos como la búsqueda de cometas.

Los binoculares traen una marca de de dos números (00 x 00), el primer número indica los aumentos y el segundo el diámetro de las lentes. Los ideales para astronomía por su peso, aumentos y capacidad de captar luz son los marcados como 10 x 50 o 7 x 50. Se debe pedir que vengan recubiertos con filtro, ya que este mejora el contraste y la luminosidad sin afectar el color, el filtro se reconoce por que el lente es de color rojo, amarillo o ámbar. Su costo es asequible y siempre hay que recordar que ***son mucho mejores unos binoculares de costo medio que un telescopio barato.***

Existen en el mercado binoculares con sistemas eléctricos que estabilizan la imagen, son menos pesados y al estabilizar la imagen mejoran la definición, de esta manera se pueden comprar con especificaciones menores a las antedichas, sin embargo su alto costo los hará en ocasiones prohibitivos y será mejor comprar un buen soporte para los binoculares convencionales. Finalmente, cualquier par de binoculares que usted pueda tener, sean cuales fueren sus limitaciones, le abrirán una ilimitada fuente de exploración del cielo cuando se usen con una [carta celeste](#) y una libreta de observación

El mantenimiento de los binoculares es sencillo, siempre hay que tener precaución en colocar sus tapas protectoras, para su limpieza se debe tener un juego (kit) que se consigue en cualquier almacén fotográfico que incluya alcohol rebajado, papel para limpieza de lentes que no deje residuos y un cepillo con bomba sopladora. La limpieza de las lentes no es necesaria siempre, pero echarle viento con la bomba debe ser una rutina ***-nunca sople las lentes con la boca pues en ella va humedad y hongos que los dañarán-***.

Los binoculares deben adaptarse a cada ojo ya que la visión no es la misma de una persona a otra, para esto la lente derecha del binocular es regulable, de esta manera, colocando la tapa en el lente derecho se acomoda la visión del ojo izquierdo utilizando el tornillo de enfoque principal y posteriormente tapando el ocular izquierdo se enfocará el ojo derecho con el ocular móvil. Ajuste además la distancia de separación de los ojos con la distancia de los oculares.

La mejor manera de utilizar los binoculares es estar acostado en el suelo, con protección para el frío o en una silla de piscina. Es muy útil comprar un adaptador a los binóculos que permita su colocación a un trípode de fotografía que sea estable, esto facilitara mucho la observación y la hará mas descansada, estas dos ultimas inversiones si que valen la pena. Con las lentes mantenidas fijas, su rendimiento es por lo menos el doble.

## El telescopio



### ¿Quién inventó el telescopio?

Según los documentos que recogió el astrónomo Heinrich Wilhelm Matthias Olbers (1758–1840), la primera vez que se combinó un vidrio cóncavo, con uno convexo, para

aproximar los objetos fue en 1606, en la ciudad holandesa de Middelburgo, Hans Lipperhey, fabricante de anteojos, debió este descubrimiento a la casualidad. Estando jugando sus hijos en el taller, se les ocurrió mirar a través de dos lentes, uno convexo y el otro cóncavo, la veleta del campanario, que con gran admiración les pareció estar mucho más cerca. La sorpresa de los hijos llamó la atención de Lipperhey, que para hacer más cómoda la experiencia colocó primero los vidrios cada uno en una tabla, fijándolos después en los extremos con dos tubos de órgano que podían entrar uno dentro del otro. Desde aquel momento quedó fabricado el antejo de larga vista.

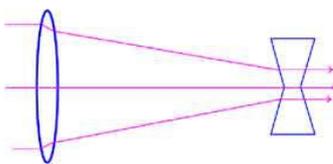
El 2 de Octubre de 1606 dirigió Lipperhey una solicitud a los Estados Generales de Holanda, pidiendo una patente por 30 años. Los regidores no le hallaron otro defecto, que el no poder mirar con los dos ojos por incomodar bastante y no pudo disfrutar de su invento.

Galileo Galilei, recibió, según dice el mismo, noticias del extraordinario invento holandés. Como no sabía nada acerca de su construcción, Galileo se puso a meditar sobre ello y tuvo la satisfacción de poder construir en poco tiempo un antejo que aumentaba tres veces el tamaño de los objetos, el segundo en construir tenía 14 aumentos, un poder de resolución de 20 segundos de arco y un campo visual de 17 minutos, el 7 de Enero de 1610 anuncia en el *Siderius Nuncios*, el descubrimiento de las montañas de La Luna, de algunos conglomerados estelares, los cuatro satélites de Júpiter, la triplicidad de saturno (estrella con orejas), las fases de Venus. El tercer telescopio por él construido tenía 18 aumentos, un poder de resolución de 10 segundos y un campo de 17 segundos, con este, según uno de sus diarios, figura la observación de Neptuno, pero no lo identificó como planeta, el 28 de Diciembre de 1612, unos 234 años antes de que fuera reconocido como el octavo planeta por John Gottfried Galle, astrónomo de Berlín.

En 1613 descubre las manchas solares y fue publicado en *Istoria intorno alle macchine solari*.

El mayor de sus anteojos, el cuarto, tenía 30 aumentos pero su construcción era tan imperfecta, que con uno muchos menos potente hoy en día se ve mucho más, el primero y el cuarto se perdieron, el segundo y el tercero se conservan en el Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia, Italia.

El telescopio holandés o de Galileo consta de dos lentes; la que está dirigida hacia el objeto se llama objetivo y es de forma biconvexa, convergente o positiva, es decir concentra los rayos luminosos, mientras que la otra lente a la que se aplica el ojo del observador, se llama ocular, es cóncava, divergente o negativa.

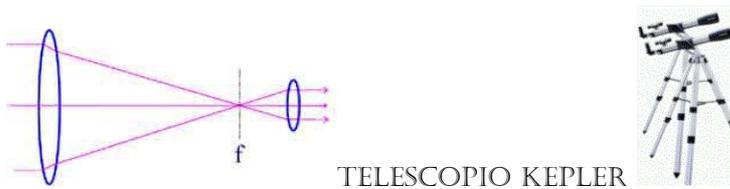


ANTEOJO HOLANDÉS O GALILEANO

La lente objetiva daría la imagen invertida de un objeto alejado, pero antes de que los rayos luminosos formen una imagen, encuentran el ocular, el que los hace casi paralelos y el ojo situado detrás de ella los recibe como procedentes de una imagen aumentada del objeto lejano. Con esta disposición no se forma en el antejo una imagen real del objeto, sino que la imagen está en la prolongación de los rayos, es decir, es una imagen virtual.

Este anteojo se emplea todavía en los gemelos de teatro y de campaña, porque el instrumento resulta más corto que el anteojo astronómico o de Kepler.

Johannes Kepler se distinguió en los trabajos de óptica y en la teoría de la luz, en su obra *Dioptrice* publicada en 1611 en Augsburgo, desarrolla por primera vez la teoría del telescopio astronómico.



TELESCOPIO KEPLER

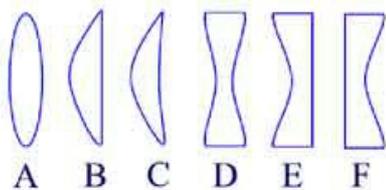
Kepler empleó como objetivo una pequeña lente biconvexa, los rayos emitidos por una estrella se reúnen en un punto llamado foco ( $f$ ) y a partir de ese punto divergente la imagen real situada en  $f$ , se observa en el anteojo de Kepler, con ayuda de la pequeña lente convexa que obra como lente de aumento. En este principio se basan los telescopios refractores modernos.

Todo lo que se sabe de las estrellas se deduce de la luz que llega a la Tierra desde ellas, un análisis detallado de esa luz, da mucha información, sustancias químicas contenidas, temperatura que prevalece, masa y velocidad de las estrellas, vital para esta investigación, es el telescopio, el cual ayuda al astrónomo de tres maneras diferentes:

- a. reuniendo la luz que emana de una estrella, haciendo que ellas aparezcan más brillantes, esta propiedad se llama *poder condensador de la luz*.
- b. Trayendo detalles, por ejemplo separando los componentes de una estrella doble esta propiedad se llama *poder de resolución*.
- c. Amplificando la parte del cielo bajo observación, este es el *poder amplificador* del telescopio.

Los telescopios pequeños se usan para valores de amplificación de hasta 10 veces por cada pulgada de diámetro de abertura del objetivo. Si la abertura del objetivo tiene un diámetro de 2,38" (6,05 cms.) se usará para una amplificación angular de 20 a 25 veces, la abertura de un objetivo es la parte transparente del objetivo.

Para obtener una amplificación mayor de 40 a 60 veces por pulgada de diámetro, el objetivo se diseña de modo que evite dos defectos comunes, estos defectos se conocen como aberraciones cromáticas y esféricas.



LENTES SIMPLES.: A. BICONVEXA; B. PLANO-CONVEXA; C. MENISCO POSITIVO; D. BICÓNCAVA; E. PLANO-CÓNCAVA;

## F. MENISCO NATIVA

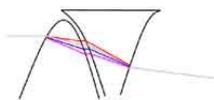
Aberración Cromática. Un rayo de luz ordinario, al pasar por una lente simple, no solamente se refracta, sino que también se dispersa en sus componentes de colores. Todo rayo de luz “blanca” que entra a la lente, se dispersa en un pequeño arco iris de colores.



La expresión “luz blanca” designa la luz ordinaria dada por el Sol, las estrellas, etc., esta luz es realmente una combinación de todos los colores del arco iris, bien mezclados, la lente simple separa los colores, porque cada color incluido en este rayo de luz blanca se refracta en un ángulo ligeramente diferente.

En la figura se puede ver que el componente violeta del rayo de luz blanca se refracta más, haciendo un foco más cercano; y la parte roja del rayo blanco, menos, dando un foco más retirado de la lente.

Para reducir los efectos de la aberración cromática, el Ingles Moor Hall, en 1730 descubrió el principio en que puede fundarse esta corrección, y empezó a construir los primeros lentes acromáticos y en 1758 John Dollond, obtuvo una patente para construir telescopios con estos objetivos. El problema fue tratado matemáticamente por Leonel Euler. Las lentes acromáticas para objetivos se hacen combinando una lente convexa de material Crown, con una lente cóncava de Flint cuya curvatura total sea aproximadamente la mitad de la otra.



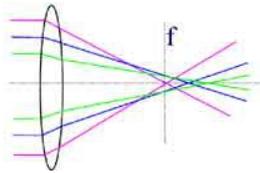
## CORRECCIÓN ABERRACIÓN CROMÁTICA

Por efectos de la reflexión, en las caras de las lentes, siempre se pierde una parte de la luz; un 4% en cada superficie, pegando las lentes con bálsamo del Canadá, la pérdida se reduce a la mitad, este procedimiento no se aplica sino a los objetivos pequeños, para objetivos mayores, las lentes se separan por medio de tirillas de estaño muy delgadas y del mismo espesor, colocadas en el borde.

Aberración esférica. Consiste en que los rayos luminosos paralelos que inciden sobre una lente no se reúnen exactamente en el mismo después de la refracción, los rayos que inciden hacia el borde de una lente biconvexa, les corresponde una distancia focal corta que la correspondiente a los rayos que inciden sobre la parte central.

A causa de la aberración esférica, la imagen de una estrella no se reduce a un punto, sino que se presenta como un círculo de diámetro tanto mayor cuanto mayor es el defecto.

El poder de separación del telescopio, lo mismo que la intensidad luminosa de la imagen, disminuye por esta causa.



ABERRACIÓN ESFÉRICA. LOS RAYOS HACEN FOCO A DISTANCIAS DIFERENTES

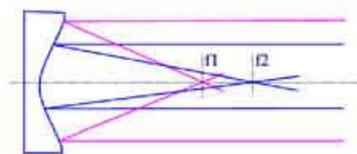
Los rayos que pasan cerca de la periferia de la lente se refractan más que los que pasan por el centro. Este defecto es independiente de la aberración cromática; la aberración esférica puede presentarse aunque no haya dispersión.

El defecto se evita haciendo parabólicas cada cara de la lente en lugar de esféricas. Una lente parabólica está menos curvada en las orillas que en el centro y hacen converger los rayos paralelos a un solo punto o foco perfectamente definido.

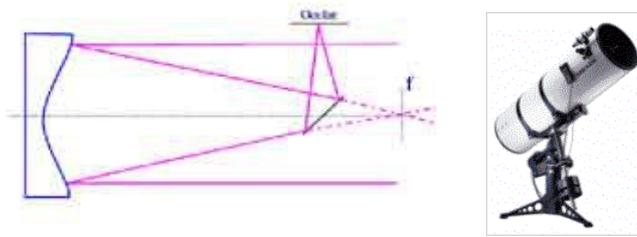
## Telescopios con espejos

Hay otra clase de telescopio, llamados Reflectores y de espejos, en estos la primera imagen se obtiene por reflexión de los rayos sobre un espejo cóncavo. El invento de los reflectores parece debido a Nicolas Zucchius quien en 1616 combinando un espejo con una lente de vidrio construyó un anteojo de espejos. Es posible que anteriormente, en 1571, el inglés Leonardo Dignes, hubiese construido un telescopio de esta clase. Isaac Newton, escribió en su obra *Optics* (Londres, 1704), y desde 1672, una serie de trabajos sobre óptica, en los que figura el telescopio que lleva su nombre y que fue construido en 1672.

En el reflector, la función del objetivo es ejecutada por un espejo, la luz que entra se hace converger en un espejo cóncavo en lugar de una lente. La imagen formada por el espejo se ve por el ocular, que básicamente es el mismo que el del telescopio refractor. Casi todo lo que se dijo sobre telescopios de refracción se aplica aquí, los reflectores no producen aberración cromática pero sí esférica, y es similar al de las lentes esféricas. Los rayos paralelos de luz que inciden en el espejo a distintas distancias del centro, al reflejarse no pasan por el foco, y al no pasar por el mismo punto la imagen es borrosa, este defecto es más grave cuando se aumenta la proporción del diámetro del espejo con respecto al radio de curvatura.

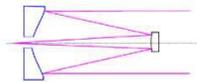


TELESCOPIO REFLECTOR. ABERRACIÓN ESFÉRICA En el telescopio reflector de tipo Newtoniano el espejo mayor se denomina espejo principal o sistema de foco primario, en el plano del foco primario se intercala un espejo plano, en forma diagonal para concentrar el foco primario en el ocular.



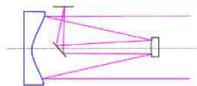
TELESCOPIO REFLECTOR NEWTONIANO

El telescopio de dos espejos mas difundido es el Cassegrain donde el espejo principal es parabólico, y el menor, hiperbólico colocado entre el espejo y el foco primario y forma un nuevo plano focal pasando por un orificio circular en el centro del espejo principal, para formar el foco fuera del telescopio. La disposición Cassegrain origina un sistema de gran longitud focal, aumentando el número  $f$  del instrumento.



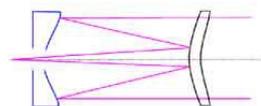
TELESCOPIO CASSEGRAIN

El telescopio Gregory (1663), está construido por dos espejos parabólicos, el secundario está colocado después del foco principal, formando un sistema de una distancia mas larga que en el tipo Cassegrain.



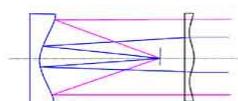
TELESCOPIO GREGORY

El telescopio Maksutov está formado por un espejo principal de forma cóncava, y un menisco acromático, con la parte convexa dirigida hacia la imagen, el menisco se coloca entre el espejo y el punto de foco, el centro del menisco tiene un baño, que proyecta la imagen por el centro del espejo perforado, para formar un segundo plano focal donde está el ocular.



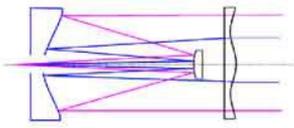
TELESCOPIO MAKSTOV -CASSEGRAIN

Telescopio o cámara Schmidt (1930). Para eliminar la aberración esférica del espejo esférico, en el camino de los rayos reflejados se instala una placa o lente de corrección, no ese utiliza como telescopio de observación sino como cámara fotográfica de grandes áreas celestes por su lente corrector el campo enfocado es curvo.



CÁMARA SCHMIDT

El telescopio más utilizado en la actualidad por los astrónomos aficionados debido a pueden tener grandes aperturas con grandes distancias focales en equipos muy portátiles, resistentes y que requieren de muy poco mantenimiento son los que combinan los sistemas Schmidt y Cassegrain.



TELESCOPIO SCHMIDT - CASSEGRAIN

**4. Astrofotografía.** La fotografía química ha quedado totalmente relegada con la irrupción de la fotografía digital y la generalización de las cámaras CCD.