

OPTICA

CÉSAR EDUARDO MONTALVO ARENAS

Agosto de 2010.

CONCEPTO DE LUZ.

La luz es una forma de energía radiante electromagnética que percibimos con el sentido de la visión.

La luz es la porción visible de la energía radiante

Se considera a la luz como un fenómeno electromagnético, por lo tanto está constituida por partículas electromagnéticas denominadas “**fotones**” que se desplazan a través del espacio a una velocidad constante, siguiendo trayectorias rectilíneas, con un movimiento ondulatorio y propagándose en el vacío, en el aire y a través de todos los cuerpos transparentes como el agua y el vidrio.

La luz es irradiada a través del espacio en todas las direcciones. Su movimiento ondulatorio se propaga en línea recta y la velocidad de esta propagación depende de la densidad del medio transparente que atraviesa

El sol emite energía radiante electromagnética (espectro radiante) compuesta por energía radiante visible (luz), y energía radiante invisible como las radiaciones ultravioleta (U.V.) e infrarroja y otras radiaciones que se grafican en la figura luz 1.

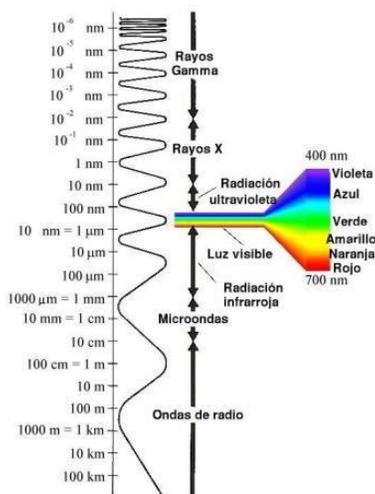


Figura. Luz 1. Se muestran las diferentes longitudes de onda (nanómetros) del espectro electromagnético. La luz ocupa un pequeño espacio en todo el espectro radiante.

Como se puede apreciar, la luz ocupa una zona muy reducida en el conjunto de ondas electromagnéticas del espectro total, también integrado por un grupo de ondas invisibles que abarcan, desde un extremo a otro, a los rayos cósmicos, rayos gamma, rayos X, radiación ultravioleta, rayos infrarrojos, microondas, ondas de TV, de radio, etc.

A pesar que estas radiaciones son invisibles al ojo humano, varias de ellas pueden estimular los componentes fotosensibles del material fotográfico, como por ejemplo los rayos X (*radiografías*), los rayos gamma (*gammaografías*), haces de electrones (*fotografías obtenidas con el microscopio electrónico*) y las fotografías que se captan con instrumentos especiales (microscopios y cámaras fotográficas) que “*iluminan*” o irradian a los objetos con rayos ultravioleta (*fluorescencia*) o con radiación infrarroja.

Los **fotones** son partículas sumamente pequeñas, de masa igualmente pequeña que no puede ser medida pero poseedoras de gran energía que, al desplazarse en el espacio lo hacen de manera ondulatoria y en línea recta, por lo tanto un rayo luminoso posee las características del movimiento ondulatorio.

PROPIEDADES DE UNA ONDA LUMINOSA.

La figura luz 2. nos muestra el esquema de una onda de luz, en el que se observan las **crestas** (a) de la onda así como sus **valles** (b). Se denomina un **ciclo de la onda** a la distancia recorrida por el fotón entre dos crestas o dos valles.

Las propiedades de una onda luminosa son:

a) LONGITUD DE ONDA.

Es la distancia que existe entre dos crestas o dos valles sucesivos de la onda luminosa. Las longitudes de onda de la luz son muy pequeñas: Generalmente se miden en nanómetros (*nm*) o en angstroms (Å). Si observamos la figura luz 1. nos percataremos que las longitudes de onda del espectro radiante visible abarcan entre **400 nm. (Color violeta) a 700 nm. (Color rojo)**.

La longitud de una onda luminosa se expresa por la letra griega lambda (λ).

Existen otras formas de energía radiante que poseen longitudes de onda mucho menores como la radiación ultravioleta, los rayos X, la radiación de electrones, los rayos gamma y aún más cortas como los rayos cósmicos. Entre las formas de energía cuyas longitudes de onda son más largas que las de la luz, están consideradas la radiación infrarroja (calórica) y las ondas de radio que suelen medir varios metros de longitud.

Las diferentes longitudes de onda de la luz son percibidas como **colores**. Esto significa que cada color observado por el ojo humano o captado por el material fotográfico sensible se debe a la estimulación por una determinada longitud de onda del haz luminoso.

Un haz de luz blanca es visualizado como tal, cuando lo integran una mezcla uniforme de rayos luminosos de todas las longitudes de onda.

El ojo humano percibe el color porque la retina contiene dos tipos de células nerviosas fotosensibles **conos** (perciben colores) y **bastones** (captan sensaciones de blanco y negro). Los **conos**, a su vez, son células que dependiendo de la longitud de onda que los estimula, captan los tres tipos de colores primarios: azul, verde y rojo.

El material fotográfico sensible (películas y papeles) a colores, posee tres capas sensibles para cada una de estas longitudes de ondas luminosas, por lo tanto debemos considerar que el espectro visible que capta este material está integrado por los citados rayos luminosos.

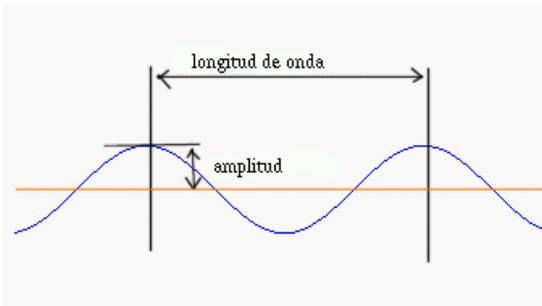


Figura luz 2. Esquema de una onda luminosa mostrando su longitud y su amplitud.

b) **AMPLITUD DE ONDA.**

Es la distancia que existe entre la parte superior e inferior de la onda (fig. luz 2.) La amplitud de onda le confiere a un rayo luminoso, la **intensidad luminosa o brillantez** sin modificar el color. Esto significa que si un haz luminoso de un color determinado es más intenso o más brillante que otro del mismo color es porque la amplitud de onda del primero es mayor que la del segundo.

Características de la luz.

En un determinado medio la luz se desplaza en línea recta y con una velocidad constante. La luz se desplaza también en un espacio relativamente vacío y en el vacío total, esto a diferencia de las ondas sonoras y de las ondas de agua que requieren de un medio material para que puedan existir y desplazarse.

Cuando un rayo luminoso pasa de un medio menos denso (aire, por ejemplo) a otro transparente de mayor densidad, como el agua, vidrio o plástico, su velocidad disminuye. Sin embargo, si abandona este medio más denso y se desplaza nuevamente en el medio menos denso, recobra su velocidad original. Estos cambios de velocidad son importantes pues producen una de las características de la luz: **la refracción.**

La luz que se origina de una fuente emisora se desplaza o irradia en todas direcciones. De tal forma que su energía se dispersa a medida que se aleja de su punto de origen; por lo

tanto, la energía luminosa que incide sobre una superficie situada a cierta distancia será menor que la que incide sobre la misma superficie pero situada más cerca de la fuente emisora. Este hecho se percibe como un cambio en la luminosidad.

Cuando la luz se desplaza a través del aire suele llegar a la superficie de algún objeto (fig. luz.3.) y, en ese punto la luz puede ser:

Reflejada: Las superficies de los objetos no transparentes reflejan o “rebotan” la luz.

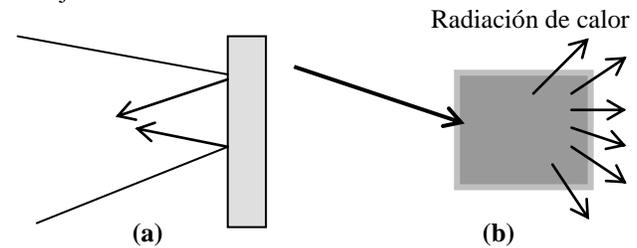


Figura luz. 3. a) luz reflejada; b) luz absorbida

Absorbida: Si el objeto es opaco (no transparente), la luz no reflejada en su superficie es absorbida por el objeto y desaparece. La energía luminosa absorbida se transforma en energía calórica dentro del objeto.

Transmitida: Si el objeto es transparente, la mayor parte del haz luminoso lo atraviesa y continúa su desplazamiento a través del mismo.

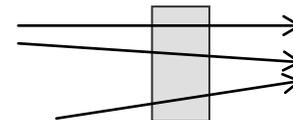


Figura luz 4. Ondas luminosas transmitidas a través de un objeto transparente.

La energía total de un haz luminoso que llega a un objeto (luz incidente) debe equivaler a la suma de la energía de la luz reflejada, absorbida y transmitida.

El material óptico que trasmite los rayos luminosos, de acuerdo a una disposición y orientación definida y regular de sus moléculas, se denomina **transparente**. Si trasmite la luz pero desordena el trayecto de los rayos y los dirige en todas las direcciones, recibe el nombre de **translúcido**. Si un material absorbe la mayoría de los rayos luminosos se dice que es **opaco**.

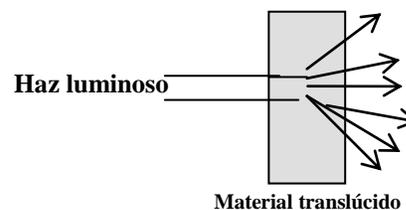


Figura luz 5. Recorrido de los rayos luminosos en un material translúcido.

Cuando un rayo luminoso emitido en un medio de menor densidad incide sobre un cuerpo transparente de mayor densidad y que posee superficies planas (un vidrio grueso, por ejemplo) lo puede hacer en varios ángulos de incidencia. Dependiendo del ángulo de incidencia el rayo luminoso experimenta varios fenómenos:

- a) Si lo hace perpendicularmente a la superficie del cuerpo transparente. El rayo luminoso lo atraviesa sin experimentar ningún tipo de desviación en su trayectoria (fig. luz 6a). La modificación que experimenta es disminuir su velocidad.

La velocidad de la luz es de 300,000 Km/sg en el aire. Al atravesar ese medio transparente (vidrio) su velocidad se reduce a 200, 000 km./sg. Por lo tanto el vidrio tendrá un poder de refracción de 1.5 pues el índice de refracción se expresa así:

$$I R = \frac{\text{velocidad de la luz en el aire}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}$$

La cifra expresa la relación que existe entre la velocidad de la luz en el aire y su velocidad en el medio transparente utilizado. De la misma manera, se pueden obtener los índices de refracción de una serie de sustancias que se utilizan tanto en microscopía como en fotografía o en otras actividades en las que se utilizan medios ópticos.

A continuación se muestran los índices de refracción de una serie de sustancias transparentes:

Sustancia transparente	Índice de refracción
Aire	1.0003
Agua	1.3300
Fluorita	1.4340
Glicerina	1.4700
Aceite de inmersión	1.5150
Vidrio	1.5200
Flint	1.6600
Zirconia	1.9200
Diamante	2.4200
Sulfuro de plomo	3.9100

Tabla 1. Índices de refracción de diversas sustancias transparentes.

- b) El rayo luminoso incide de manera oblicua sobre la superficie, en un ángulo equivalente a 45° grados o menos. En estas condiciones, el rayo luminoso no atraviesa el cuerpo transparente, y “rebota” sobre su superficie, en un ángulo similar al de incidencia (fig. luz 6b.). A esta característica se le denomina **reflexión** de la luz.

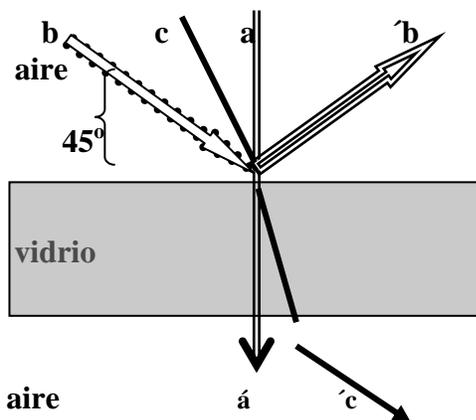


Fig. luz 6. El esquema representa la trayectoria de tres rayos luminosos que inciden en la superficie de un cuerpo transparente (vidrio).

Color de un objeto. Si un objeto coloreado, opaco o transparente, es iluminado por un haz de luz blanca, reflejará o transmitirá únicamente los rayos luminosos que tengan una longitud de onda similar al del color del objeto. Los rayos luminosos de otras longitudes de onda que componen el haz de luz blanca serán absorbidos por el objeto.

De la misma manera, si el objeto refleja todas las longitudes de onda del haz luminoso que incide sobre él, la sensación de color que percibimos será el “**color**” blanco. En cambio si absorbe todas las longitudes de onda, la sensación visual será la del “**color**” negro.

- c) El rayo luminoso incide de manera oblicua sobre la superficie en ángulos mayores a 45° grados. En este caso el rayo luminoso se desvía en su trayectoria acercándose hacia el rayo que incide de manera perpendicular (rayo “a” o **normal**) y no se desvía.

Al abandonar el medio transparente y discurrir en el medio de menor densidad, el rayo luminoso vuelve a desviarse (fig. luz.6c), pero ahora alejándose de la **normal**. A esta característica del rayo luminoso se le denomina **refracción**.

DISPERSIÓN O DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ.

La velocidad de un rayo de luz, en un medio depende de su longitud de onda. Los rayos luminosos de ondas cortas pierden más velocidad que aquellos de ondas largas; un rayo de luz azul se desplaza más lentamente que un rayo de luz roja, esto significa que el índice de refracción de un cuerpo transparente varía con la longitud de onda del rayo luminoso que lo atraviese. Por lo tanto,

según la ley de Snell, los diversos colores de la luz son refractados y desviados en distinto grado.

Esta propiedad por la que las ondas luminosas de diferente longitud, integrantes de un haz de luz blanca, se desplazan a diferente velocidad en un cuerpo transparente y experimentan desviaciones en su recorrido en diferentes grados de desviación se denomina **dispersión** o **descomposición** de la luz.

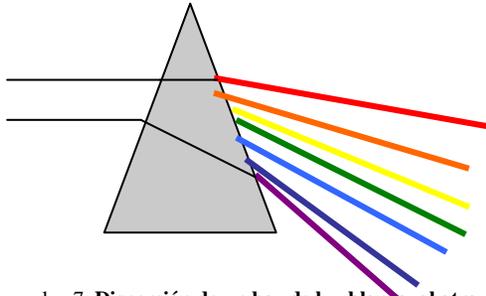


Figura luz 7. **Dispersión de un haz de luz blanca, al atravesar un prisma, en rayos luminosos de diferentes longitudes de onda.**

El ejemplo más evidente es el que se produce cuando un haz de luz blanca incide en la superficie de un prisma. Las diferentes longitudes de onda de los rayos hacen que estos se refracten y dispersen en ángulos distintos ocasionando que por la superficie opuesta del prisma emerjan los rayos luminosos de distintos colores. Los rayos violetas y azules se refractan más y su grado de desviación será mayor que los rayos de color naranja o rojo (Fig.luz.7.).

POLARIZACIÓN DE LA LUZ.

La luz irradiada por un cuerpo emisor se desplaza en forma rectilínea en todas las direcciones del espacio y las ondas luminosas oscilan en todos los planos perpendiculares a su desplazamiento, es decir, en ángulos rectos con respecto a dichas trayectorias (fig. luz 8.).

Si en el camino que siguen los rayos se interpone un dispositivo que tenga un arreglo molecular de sus componentes en forma de rejillas muy finas orientadas en un solo plano (prismas o filtros de polarización), el rayo luminoso que continuará su recorrido será aquel cuyo plano de vibración coincida con la orientación del dispositivo; en cambio, los otros rayos luminosos detendrán su trayectoria.

Se afirma que el rayo que continúa vibrando, al atravesar la rejilla de polarización, es un rayo luminoso **polarizado**.

Un haz de **luz polarizada** esta integrado por rayos luminosos que vibran en una sola dirección o en un solo plano de polarización.

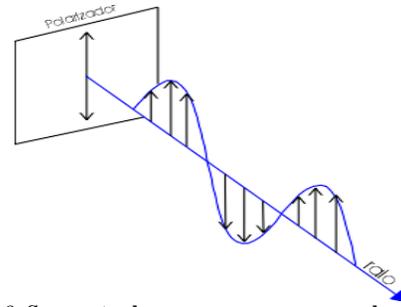
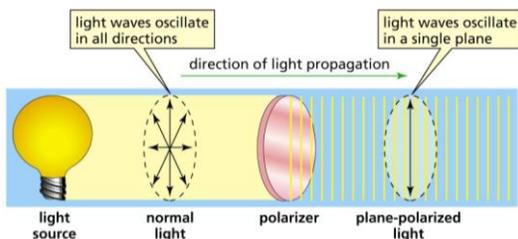


Figura luz 8. **Se muestra la manera como se genera luz polarizada.**

INTERFERENCIA DE LOS RAYOS LUMINOSOS.

Dos ondas luminosas que se emiten desde un mismo punto y discurren paralelas entre sí haciendo coincidir sus cimas y valles (se dice que las ondas luminosas están en fase), suman sus intensidades (brillantez) y al incidir sobre un objeto lo iluminan con mayor intensidad o brillantez (fig. luz 9a). En cambio, si dos ondas luminosas discurren ligeramente desfasadas, en un $\frac{1}{4}$ ó en $\frac{1}{2}$ longitud de onda (contraste de fases de las ondas luminosas) la intensidad de ellas se anula, de manera parcial o total, respectivamente (fig. luz 9.b y c) Esto se traduce en que el objeto iluminado por ellas recibirá la mitad de la intensidad luminosa ($\frac{1}{4}$ de desfase) o al anularse totalmente ($\frac{1}{2}$ de desfase) no será iluminado. A este comportamiento de dos ondas luminosas desfasadas se le denomina interferencia.

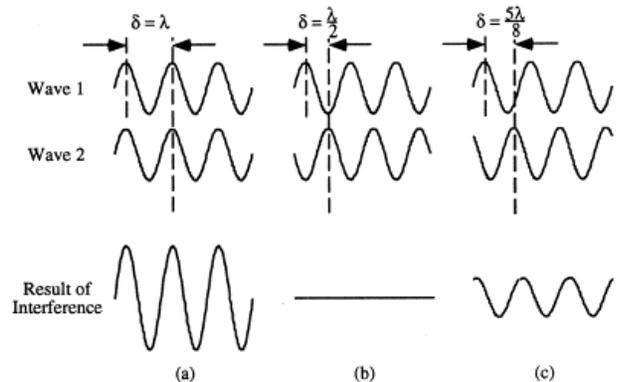


Figura luz 9. **Esquemas que representan el recorrido de ondas luminosas cuando están en a) fase, b) desfasadas en $\frac{1}{2}$ de longitud de onda y c) en $\frac{1}{4}$ de longitud de onda.**

LENTESES.

Se denominan lentes a ciertos aditamentos transparentes (vidrio, plástico, etc.) que presentan por lo menos una de sus superficies curvas.

Existen dos tipos de lentes:

Lentes convergentes o positivas. Se caracterizan porque concentran los rayos luminosos paralelos que se desplazan a través de ellas, en un punto denominado **foco**. Se reconocen como tales porque son más gruesas en la parte central y más delgadas en la parte periférica. Existen tres clases de lentes convergentes o positivas, como se muestra en la figura luz 9.

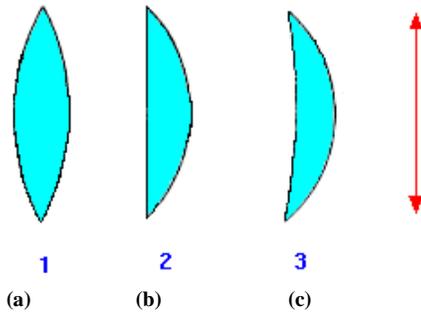


Figura luz 9. Diferentes clases de lentes convergentes: a) biconvexa, b) plana convexa y c) cóncava-convexa (menisco convergente).

Lentes divergentes o negativas. Son las lentes en los cuales los rayos luminosos paralelos que las atraviesan tienden a dispersarse impidiendo que se constituya un foco: El foco de estas lentes se forma por la proyección virtual de los rayos dispersados, en el mismo lado de la lente de donde provienen los rayos luminosos. Por esta razón se dice que es un *foco negativo*.

Las lentes divergentes se reconocen porque son más delgadas en la parte central y más gruesas en la parte periférica.

Las lentes negativas son de tres clases, tal como se observa en la figura luz 10.

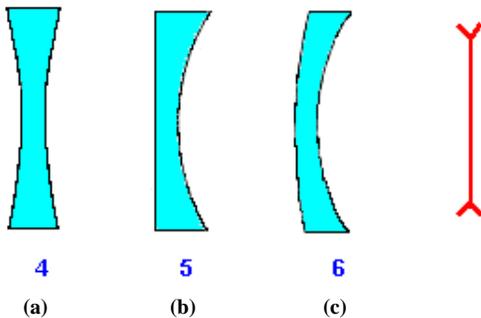


Figura luz 10. Diferentes clases de lentes divergentes: a) bicóncava, b) plana-cóncava y c) convexa-cóncava (menisco divergente).

CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS LENTES.

Los rayos luminosos procedentes de un cuerpo emisor; los reflejados o los transmitidos por un objeto iluminado y que se trasladan en el espacio, al incidir sobre la superficie de una lente biconvexa, le confieren a ésta una serie de características tales como:

Centro óptico de la lente. Se denomina así a un punto situado en el centro de la lente, sobre el eje principal (fig. luz 11 c.o.). Queda establecido que los rayos luminosos que atraviesan una lente y pasan por el centro óptico, no se refractan. El requisito indispensable para que se cumpla esta condición es que los rayos luminosos incidan de manera perpendicular sobre la superficie curva de la lente.

Eje o rayo principal. Es la línea marcada por la trayectoria de un rayo luminoso que incide perpendicularmente sobre la superficie curva de la lente y la atraviesa por el centro óptico (a). Este rayo luminoso no experimenta ni refracción ni reflexión. Geométricamente se define como la línea que conecta el centro de las dos esferas, de cuyas superficies se originan las dos superficies curvas de la lente (fig. luz 11.). Las diversas mediciones que se hacen con relación a las lentes toman como referencia el eje principal.

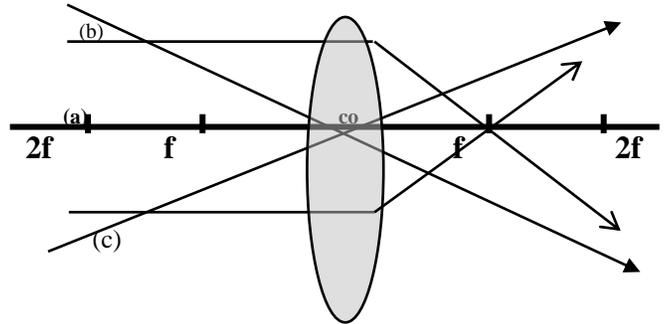


Figura luz.11.- Características de una lente biconvexa.

Rayos secundarios.

Son todos los rayos luminosos (b y c) que se desplazan en forma paralela al eje principal de la lente (fig. luz 11.b) y no atraviesan el centro óptico. Todos ellos, en menor o mayor grado, inciden de manera oblicua sobre la superficie curva de la lente y, al atravesarla, son refractados. Al emerger y continuar su recorrido cruzan el eje principal en un punto denominado **foco (f)**.

Foco o punto focal de una lente.

Es el lugar del eje principal en donde los rayos paralelos o secundarios que inciden en una lente, al ser refractados, convergen en un determinado punto.

Una lente que opera en un medio de igual índice de refracción, a ambos lados de ella, posee dos puntos focales o focos equidistantes del centro óptico de la lente (fig. luz 11). Las lentes positivas tienen *focos reales*. En este sistema de lentes convergentes el primer foco (f) está localizado en el espacio enfrente de la lente del lugar donde proviene el haz de luz, el segundo foco (f') está detrás de la lente (fig. luz 11) al lado de donde se descarga la luz refractada.

En las lentes divergentes los rayos paralelos al eje principal que inciden en una de sus superficies (lente bicóncava) se refractan y emergen de la lente alejándose del eje principal, por lo tanto, no existe la posibilidad que formen un foco real. Para representar el foco de esta lente se deben prolongar los rayos refractados hacia el mismo lado del punto donde se originó la luz. En el punto donde estas prolongaciones convergen se considera que se forma el *foco virtual* de la lente negativa.

Distancia focal.

Es la distancia que existe entre el foco y el centro óptico de la lente (fig. luz 11.). Toda lente al poseer dos focos también tiene dos distancias focales, una a cada lado de la lente.

Doble de la distancia focal.

Es la distancia equivalente a dos distancias focales ($2f$). También existen dos distancias focales (fig. luz 11) a cada lado de la lente. De la misma manera, se pueden señalar sobre el rayo principal tres ($3f$), cuatro ($4f$) o infinitas (∞) distancias focales.

FORMACIÓN DE LA IMAGEN DE UN OBJETO A TRAVÉS DE UNALENTE.

La construcción geométrica de la imagen de un objeto, cuyos rayos luminosos inciden y atraviesan una lente debe cumplir las siguientes condiciones:

- ❖ Desde cualquier punto del objeto "O", por ejemplo desde el punto "p", se emiten varios rayos luminosos.
- ❖ Para que se forme la imagen de ese punto "p" se trazan dos rayos luminosos que se desplazan siguiendo dos trayectorias diferentes:
- ❖ Uno de ellos, paralelo al eje principal, se refracta al atravesar la lente y prosigue su recorrido para interceder con el foco (f) de la lente y continuar su desplazamiento, de manera indefinida, al otro lado de la lente.
- ❖ El otro rayo que parte del mismo punto "p" incide de manera perpendicular sobre la superficie de la lente, atraviesa el centro óptico, por lo tanto no se refracta, y continúa su trayectoria.
- ❖ En el lugar donde los dos rayos se interceptan se forma la imagen del punto "p". Cuando todos los puntos del objeto hayan construido sus correspondientes imágenes al otro lado de la lente, entonces la sucesión de ellos integrará la imagen del objeto (fig. luz 12.).

Para que se forme la imagen de un punto de un objeto, los dos rayos luminosos que se originen del citado punto deben interceptarse al otro lado de la lente.

Formación de imágenes.

La capacidad de las lentes para formar imágenes, en una serie de instrumentos ópticos, tales como microscopios, lupas, cámaras fotográficas, telescopios, binoculares, etc., depende en gran medida de las características de los rayos luminosos que incidan en la lente y la distancia que guarda el objeto con relación a la lente.

De acuerdo a estos criterios, existen varios procedimientos para la formación de imágenes a través de una lente.

Características generales de las imágenes formadas por una lente:

- ❖ **Imagen real.** Es la imagen que se forma al otro lado de la lente de donde está situado el objeto. Se caracteriza

porque puede ser recogida o proyectada en una pantalla (o en una película fotográfica).

- ❖ **Imagen virtual.** Es la imagen que se forma en el mismo lado de la lente donde está situado el objeto. Se caracteriza porque no puede ser recogida o proyectada en una pantalla.
- ❖ **Imagen aumentada o de mayor tamaño.** Como su nombre lo indica es una imagen del objeto aumentada varias veces el tamaño real del mismo.
- ❖ **Imagen de menor tamaño.** Es más pequeña que el tamaño real del objeto.
- ❖ **Imagen derecha.** Muestra el extremo superior e inferior de la imagen en la misma posición que tiene el objeto.
- ❖ **Imagen invertida.** Los extremos superior e inferior de la imagen están situados de manera inversa a la posición real que posee el objeto; así mismo, los lados derecho e izquierdo están invertidos.

CASOS QUE SE PRESENTAN EN LA FORMACIÓN DE IMÁGENES:

1. **Imagen de un objeto cuando está situado entre la lente y el foco.** Los dos rayos luminosos que emite cada punto del objeto atraviesan la lente, se refractan pero no se interceptan entre sí, porque no logran converger sino, al contrario divergen. Para que se pueda construir la imagen, deben prolongarse los rayos luminosos, al mismo lado de la lente donde está el objeto (fig. luz 12.).

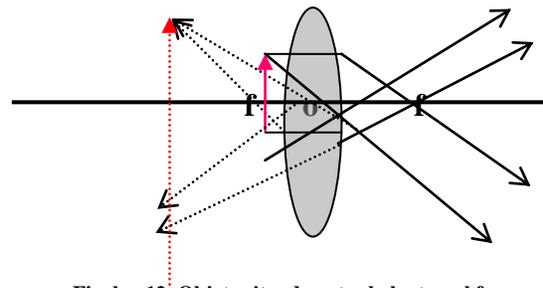


Fig. luz.12. Objeto situado entre la lente y el foco.

Características de la imagen: **de mayor tamaño, derecha y virtual.**

Ejemplos: *la lupa y el ocular del microscopio.*

2. **Imagen de un objeto situado en el foco.** Los dos rayos luminosos que se emiten en los puntos del objeto y atraviesan la lente no convergen pues se desplazan de manera paralela, por lo tanto no se interceptarán y tampoco se formará la imagen en ninguno de los lados de la lente (fig. luz.13). Si el objeto fuera un punto

luminoso, al otro lado de la lente, se proyectará un haz luminoso que se prolonga al infinito.

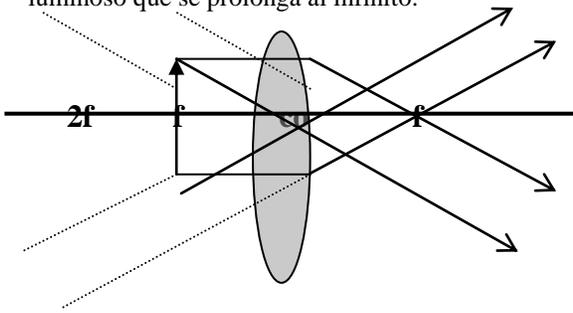


Figura luz.13. Objeto situado en el foco.

Ejemplos: *una linterna a baterías, un faro y un reflector que sirve para iluminar espectáculos.*

3. **Imagen de un objeto situado entre el foco y el doble de la distancia focal (entre f y $2f$).** Los rayos luminosos emitidos por cada punto del objeto forman una imagen con las características siguientes: **de mayor tamaño, real e invertida** (fig.luz.14.).

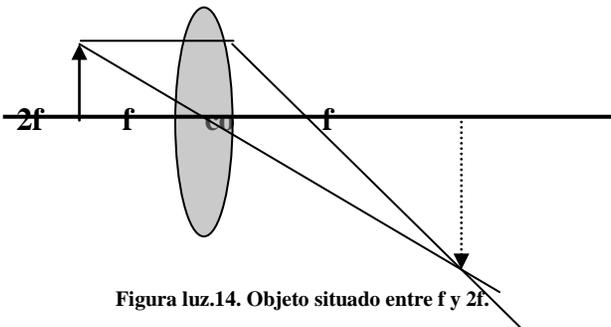


Figura luz.14. Objeto situado entre f y $2f$.

Ejemplos: *el objetivo del microscopio, el proyector de diapositivas o transparencias, el proyector de cine.*

4. **Imagen de un objeto situado en el doble de la distancia focal (en $2f$).**

De acuerdo a la construcción geométrica de la imagen. Ésta tiene las siguientes características: **del mismo tamaño, real e invertida** (fig.luz.15).

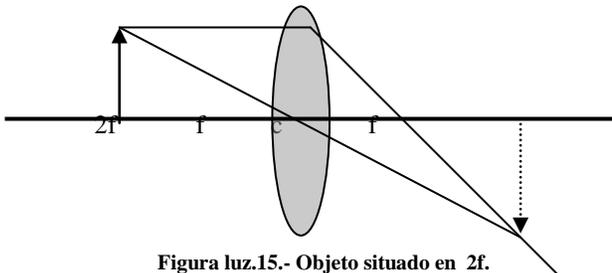


Figura luz.15.- Objeto situado en $2f$.

Ejemplo: *Sistema óptico para copiar diapositivas.*

5. **Imagen de un objeto situado más allá del doble de la distancia focal (más allá de $2f$).**

De acuerdo al diseño de formación de imágenes, las características que muestra la imagen (fig. luz.16.) son: **de menor tamaño, real e invertida.**

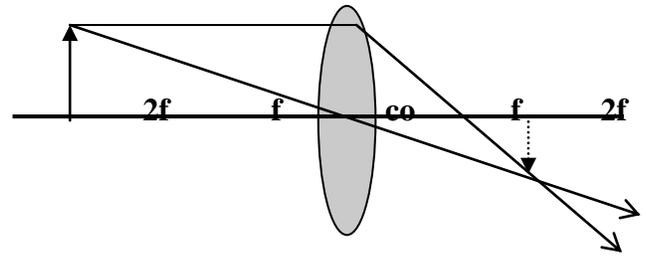


Figura. luz.16. Objeto situado más allá de $2f$.

Ejemplos: *cámara fotográfica, el condensador del microscopio.*

6. **Imagen de un objeto situado mucho más allá del doble de la distancia focal.** Conforme el objeto se sitúa mucho más allá del doble de la distancia focal, la imagen se va haciendo cada vez más pequeña (fig. luz. 17), hasta transformarse en un punto.

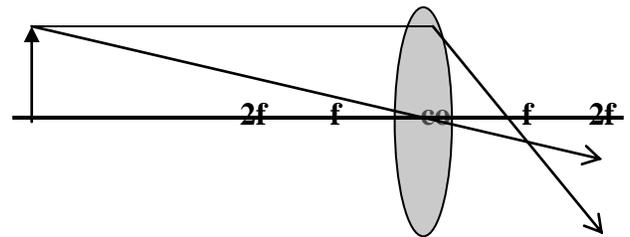


Figura luz.17. Objeto situado mucho más allá del doble de la distancia focal(infinito).

Ejemplo: *los indicadores luminosos que se usan señalar determinadas partes de la imagen proyectada de una transparencia. La concentración de rayos del sol a través de una lupa.*

ABERRACIONES DE LAS LENTES.

En todo sistema óptico, por la naturaleza de la luz, el comportamiento de los rayos luminosos al desplazarse a través de las lentes y las características químicas del material con que se fabrican las lentes, se producen una serie de modificaciones o cambios en la trayectoria de los rayos luminosos, dando como resultado que la imagen proporcionada por la lente no sea equivalente a la imagen construida geoméricamente y teóricamente esperada. A estas diferencias que se producen se denominan **aberraciones** de las lentes.

Las aberraciones de las lentes afectan la calidad de las imágenes, especialmente en la falta de definición (bordes carentes de nitidez), en la disminución del contraste, en la distorsión de la forma y la aparición de bordes coloreados.

Las aberraciones de las lentes se producen por dos causas:

- a) La descomposición o dispersión de la luz en el espectro radiante visible y
- b) por las superficies curvas de las lentes.

Las principales aberraciones que afectan a una lente son:

ABERRACIÓN CROMÁTICA. Si se analiza geoméricamente una lente biconvexa, podemos deducir que está formada por dos prismas unidos por sus bases y cuyas superficies se pulieron hasta transformarlas en superficies curvas. En el caso de una lente bicóncava, ésta resulta de la unión de dos prismas por sus vértices ligeramente trancos, y pulimentados hasta que las superficies se hicieran curvas (Fig. luz 18.).

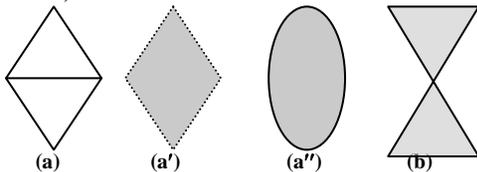


Figura luz.18. Esquema que representa teóricamente la construcción de una lente biconvexa (a) y una bicóncava (b) a partir de la unión de pares de prismas.

Por lo tanto, el haz de luz blanca que incide sobre la superficie curva de una lente; al atravesarla, refractará y luego dispersará los rayos luminosos de diferentes longitudes de onda que la constituyen. Los rayos que se refractan más son los de menor longitud de onda (violetas y azules) y los rojos y amarillos se refractarán menos.

En la figura luz.19. Se observa que los rayos azules se refractan y desvían más que los rayos de color verde y estos más que los rojos. Cada uno de estos rayos interceptará en distintos focos, al eje principal; existiendo para cada rayo de color refractado distintos puntos focales, uno a continuación del otro. Como consecuencia de lo anterior se formarán imágenes del objeto, en diferentes planos focales.

Los rayos azules mostrarán una distancia focal menor que los rojos, por lo tanto la imagen del objeto, formada por los rayos azules será ligeramente menor y se formara un poco más cerca de la lente que las imágenes formadas por los rayos verdes y rojos (fig. luz.19.). Si la imagen se observa de frente o se recoge en una pantalla mostrará los bordes levemente coloreados de azul, verde y rojo.

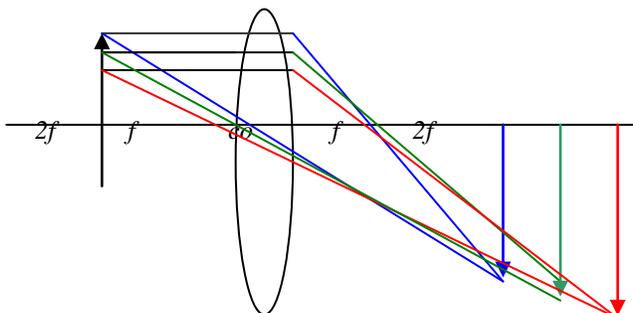


Figura luz. 19. Diagrama que muestra la formación de imágenes coloreadas del objeto, por la diferencia de grados de desviación que experimentan los rayos luminosos azul, verde y rojo.

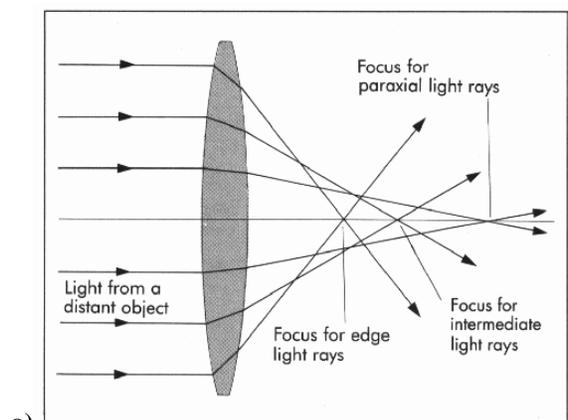
La aberración cromática se hace evidente en lentes simples. En la actualidad se hace la corrección para esta aberración utilizando lentes construidos con diferentes tipos de vidrios (crown y flint) que poseen distintos índices de refracción y utilizando dobletes o tripletes de lentes positivas y negativas, de tal manera que hacen coincidir los rayos luminosos de dos colores. A este tipo de lentes se les denomina **acromáticos**. De este tipo de lentes están confeccionados los objetivos de los microscopios de estudiante.

Si se desea corregir aún más la aberración cromática, las lentes se confeccionan con un mineral denominado **fluorita** (i.r. 1.434) poseedor de propiedades ópticas que permiten alcanzar un alto grado de corrección. Las lentes fabricadas con este material se denominan **semiacromáticos**.

Actualmente existen lentes llamados **apocromáticos**. Están fabricados de tal manera que se ha eliminado, en ellos, la aberración cromática. Con ellos se confeccionan objetivos de microscopios de investigación y cámaras fotográficas semiprofesionales y profesionales. El costo de ellos es muy alto pues se requiere utilizar varios lentes convergentes y divergentes para hacer coincidir en un solo plano las imágenes de los tres colores básicos: azul, verde y rojo.

ABERRACIÓN ESFÉRICA. Si se dirige sobre una lente convergente un haz de luz constituido por rayos paralelos al eje principal, los rayos paraxiales o más cercanos al eje principal convergen casi en un mismo punto focal, en cambio, los rayos más periféricos sufrirán una mayor refracción y tendrán puntos de convergencia (puntos focales) a diferentes distancias del foco principal; esto significa que se formarán focos secundarios (fig. luz 20a.) más cercanos a la lente. La imagen de un punto aparecerá rodeada de un halo de difusión creciente. Este tipo de aberración produce imágenes con bordes poco contrastados (fig. luz 20b).

Se corrige esta aberración empleando diafragmas situados antes de las lentes para eliminar la trayectoria de los rayos luminosos más periféricos.



a)

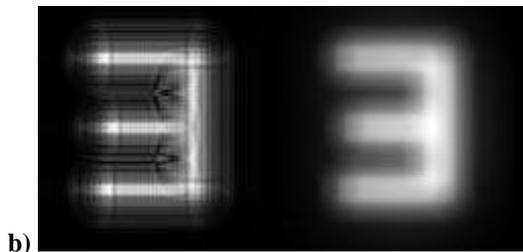


Figura.luz.20. Diagrama que muestra: a) el recorrido de los rayos luminosos en una lente que muestra aberración esférica, b) imagen de una "e", formada por la aberración esférica.

Otra forma de corrección es añadir a la lente, otra con una curvatura adecuada y con un índice de refracción diferente que permita que los rayos periféricos disminuyan su capacidad de refracción. Al corregir la aberración de esfericidad se trata de corregir, al mismo tiempo, la aberración cromática, obteniéndose lentes o sistemas de *lentes aplanáticos semiapocromáticos* o *lentes aplanáticos apocromáticos*.

ABERRACIÓN DE CURVATURA DE CAMPO. Los rayos luminosos que son emitidos por un objeto y atraviesan la lente convergente forman una imagen curvada naturalmente, es decir que no se construye sobre un plano perpendicular al eje principal u óptico, sino en una superficie curva. Esto se debe a los diferentes ángulos de refracción que experimentan los rayos luminosos paraxiales y periféricos (fig. luz. 21.). Esta aberración es fácil de comprobar, observando algún objeto a través de una lupa o una preparación histológica con un microscopio de estudiante. En ambos casos se observará que la imagen exhibe una gran nitidez en el centro pero mostrará bordes ligeramente borrosos. Y en el microscopio cuando se enfoque la parte periférica, el centro de la imagen aparecerá borroso.

La aberración de curvatura de campo se corrige utilizando los mismos procedimientos para corregir la aberración de esfericidad. Al corregir esta aberración la imagen aparece nítida en toda su extensión.

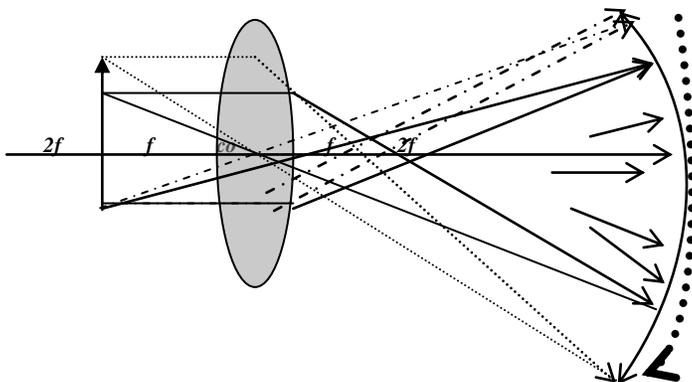


Fig. luz. 21. Diagrama que muestra la trayectoria de los rayos luminosos para formar la imagen que presenta aberración de curvatura de campo.

ABERRACIÓN DE DISTORSIÓN. En este tipo de aberración la imagen del objeto aparece alterada en sus dimensiones referidas al centro de la imagen o en sus porciones periféricas. Esto se debe que los diversos componentes del objeto adoptan en la imagen diferentes aumentos según la distancia del componente de la imagen con relación al eje principal. Como consecuencia de ello las líneas verticales y las horizontales que se encuentran próximas a los márgenes de la imagen no resultan rectas.

En las lentes se distinguen dos tipos de distorsión:

- a) **Distorsión en almohadilla.** Cuando en la imagen del objeto (22a) se observa que las líneas rectas se curvan de forma cóncava en relación con el eje óptico, como en la figura luz. 22b.
- b) **Distorsión en barrilete.** Cuando en la imagen del objeto se observa que las líneas rectas se curvan en forma convexa en referencia eje óptico como se observa en la figura luz. 22c. Esta distorsión no afecta la nitidez de la imagen.

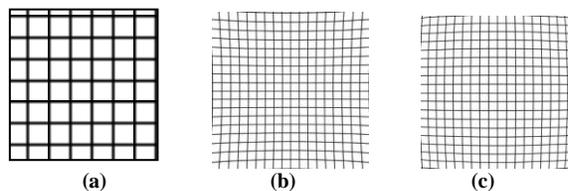


Figura. luz 22. Imagen de un cuadro constituido por líneas horizontales y verticales: b) distorsión en almohadilla, c) distorsión en barrilete.