



# Elementos de Óptica

*Leica*

Leica es uno de los líderes mundiales en la fabricación de microscopios que combinan alto rendimiento con diseño práctico. La línea educacional ofrece microscopios de calidad, altamente resistentes que proporcionan los mejores resultados.



#### **Leica DM E**

- Óptica corregida a infinito que proporciona una imagen de alta calidad.
- Lámpara de 20W o 35W, fácil de intercambiar, de 2000 horas de duración útil. Fuente de alimentación sensible al voltaje.
- Sistemas avanzados de iluminación crítica o Koehler, que pueden utilizarse con la óptica de mayor calidad y que son compatibles con toda la serie Leica DM
- Disponibilidad de gran cantidad de accesorios, como pe.: campo oscuro, polarización, contraste de fases, observadores múltiples, sistemas fotográficos y de vídeo.



#### **Leica CM E**

- Grandes prestaciones y óptica de alta calidad de la serie Leica **E**
- Objetivos de campo claro, acromáticos y planacromáticos y planacromáticos de contraste de fases
- Lámpara Halógena de Tungsteno a 20W con una duración de 2,000 horas sin pérdida de color o intensidad



#### **Leica BM E**

- Grandes prestaciones y óptica de alta calidad de la serie Leica **E**
- Sistema de iluminación con lámpara Halógena de Tungsteno a 12W con una duración superior a 2,000 horas o sistema de fluorescencia a 7W con una duración de 10,000 horas
- Gran variedad de accesorios de video y fotografía que proporcionan una alta flexibilidad
- Diseñado para cumplir con todas las normativas eléctricas internacionales



#### **Leica ZOOM 2000**

- Imágenes tridimensionales de alta calidad
- Sistema óptico cerrado muy resistente
- Capacidad de zoom infinita sin perder enfoque
- Sistema eficaz de iluminación triple



#### **Leica sistemas de video**

- Se puede elegir entre el cámara de vídeo Multipropósito Leica o la cámara de vídeo Leica de alto rendimiento.
- Los distintos accesorios que se pueden acoplar al microscopio permiten diversificar las posibilidades de trabajo de los estudiantes

# Elementos de óptica

## Índice

- 1.0 Capítulo primero** .....2
  - 1.0 Conceptos básicos de óptica ....2
  - 1.1 Teoría de las ondas electromagnéticas.....2
  - 1.2 Propagación de las ondas .....2
  - 1.3 Longitud de onda .....3
  - 1.4 Frecuencia .....3
  - 1.5 Propagación rectilínea de la luz..4
  - 1.6 Rayos, haces de luz concentrados y haces de luz ....5
  - 1.7 Longitud de onda y color.....6
  - 1.8 El espectro .....7
  - 1.9 300.000 kilómetros por segundo en el aire .....8
  - 2.0 Índice de refracción.....9
  - 2.1 Dispersión .....14
  - 2.2 Reflexión.....17
  - 2.3 Repaso a los temas del capítulo primero.....18
- 2.0 Capítulo segundo**.....2
  - 2.0 Lentes, prismas y espejos.....20
  - 3.0 Repaso a los temas del capítulo segundo .....37

# Capítulo primero

## 1.0 Conceptos básicos de óptica

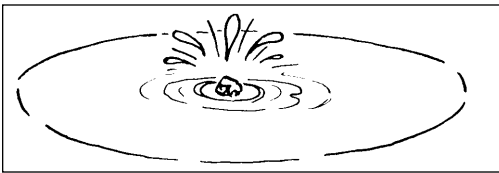
Dos teorías, combinadas entre sí, ilustran adecuadamente nuestros conocimientos actuales sobre la luz. En primer lugar se desarrolló la teoría corpuscular, que sostenía que la luz estaba compuesta por un flujo de partículas invisibles, o corpúsculos, emitidas por los objetos y captadas por el ojo. Se consideraba que dichos corpúsculos emanaban directamente de objetos luminosos (el sol, una llama o el filamento incandescente de una bombilla eléctrica) y que se reflejaban en el ojo a partir de objetos no luminosos.

## 1.1 Teoría de las ondas electromagnéticas

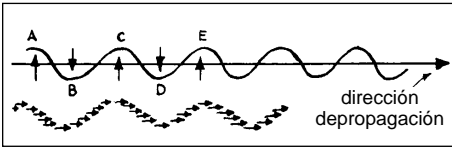
La segunda teoría, que quedó demostrada a finales del siglo XIX, mantiene que la luz es una onda electromagnética. Hasta mediados del siglo XVII no empezó a desarrollarse la idea de que la luz podía ser alguna forma de desplazamiento de ondas. En un primer momento, se pensó que la luz era una vibración mecánica del éter (aire), pero las reflexiones posteriores llevaron a una mayor aceptación de la teoría de las ondas electromagnéticas.

En la actualidad, los físicos admiten y aplican tanto la teoría corpuscular como la ondulatoria, puesto que la primera explica un buen número de fenómenos relacionados con la luz, mientras que la otra explica otros. Por lo general, y en relación con nuestro objetivo en esta obra, la propagación de la luz (su desplazamiento, expansión o difusión) se explica mejor con la teoría de las ondas electromagnéticas y, durante los siguientes capítulos, dedicaremos buena parte de nuestra atención a esta teoría.

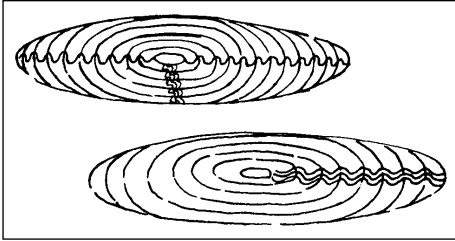
## 1.2 Propagación de las ondas



Al dejar caer una piedra en una superficie de agua tranquila, creamos una serie de ondas que se desplazan del centro hacia afuera, mientras que todas las gotas que participan en la onda tienen, por separado, un movimiento ascendente y descendente. Este movimiento ascendente y descendente de todas las gotas, combinado con la línea de desplazamiento del conjunto de la onda propiamente dicha, se llama movimiento transversal. Las ondas electromagnéticas luminosas emitidas desde una fuente de luz se desplazan prácticamente de la misma forma. Son ondas transversales cuya dirección de vibración (movimiento ascendente y descendente) forma ángulos rectos en relación con la dirección de propagación (desplazamiento)



Si ahora tomamos un pequeño arco de cualquiera de estas ondas, tal como se muestra a continuación, habremos determinado un frente de onda.



### 1.3 Longitud de onda

Este concepto relativo a las ondas nos proporciona un método apropiado para medir los distintos colores de la luz: la longitud de onda. La longitud de onda es simplemente la distancia que ha recorrido la luz al realizar una vibración completa: de A a C, de B a D, o de C a E, etc.

### 1.4 Frecuencia

Las longitudes de onda más largas vibrarán un número de veces menor que las más cortas en un intervalo de tiempo dado, lo que nos da un segundo factor de medida: La frecuencia. La frecuencia es el número de vibraciones por segundo de una longitud de onda dada.

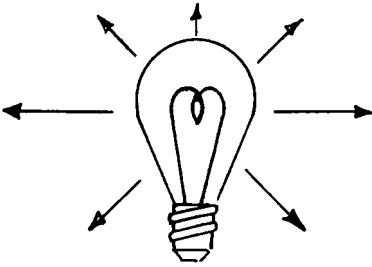
Tanto la longitud de onda como la frecuencia son de gran importancia para el cálculo de una medida básica de la luz: la velocidad a la que se desplaza. Buena parte de nuestros instrumentos han sido diseñados para utilizar la variación de la velocidad de la luz en distintos medios, de modo que la fórmula para calcular esta velocidad constituye, en parte, una base adecuada para nuestro estudio. La fórmula es:

$$v = f \times \lambda$$

$v =$  *Velocidad*  
 $f =$  *frecuencia*  
 $\lambda =$  *longitud de onda*

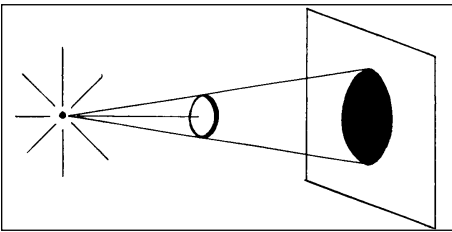
Después de calcular teóricamente cómo se desplaza la luz y cómo se mide dicho movimiento en relación con la velocidad, nuestro problema consistirá ahora en comprender la dirección del desplazamiento.

### 1.5 Propagación rectilínea de la luz

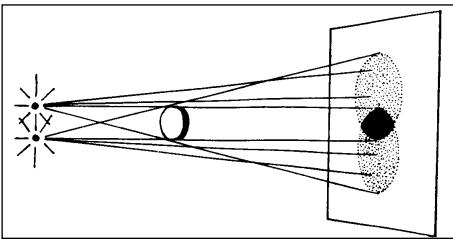


La luz que emana de una fuente de luz se desplaza en todas direcciones y en líneas rectas. Esta característica se conoce como propagación rectilínea de la luz (rectilíneo = que se desplaza en línea recta).

Por ejemplo, si colocamos un objeto en la trayectoria de la luz que emana de una fuente de luz muy pequeña, se forma una sombra claramente definida en una pantalla próxima.



Los contornos de la sombra se forman por la continuación de las líneas rectas trazadas desde la fuente de luz hasta los contornos del objeto. De igual forma, si la luz procedente de dos pequeñas fuentes de luz incide en el mismo objeto, se producirán dos sombras parcialmente solapadas.

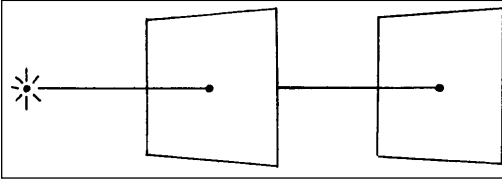


La sombra central, la más oscura, está completamente protegida de la luz procedente de cualquiera de las dos fuentes; la sombra más clara exterior está completamente a la sombra de una fuente y a la vez iluminada por la otra. El resto de la pantalla recibe iluminación de ambas fuentes.

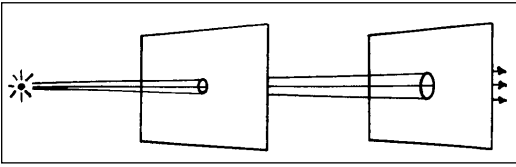
## 1.6 Rayos, haces de luz concentrados y haces de luz

Para una mejor comprensión, la luz que se hemos descrito como desplazándose desde la fuente al objeto y más allá de éste formando las sombras que hemos mostrado anteriormente, se clasifica en tres categorías:

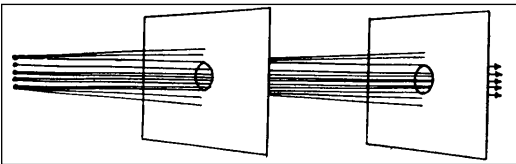
1. Un rayo es la trayectoria de un único corpúsculo de luz desde un único punto de una fuente de luz. Un rayo podría pasar por un orificio infinitesimal de ambas pantallas.



2. Un haz concentrado es un grupo de rayos que divergen a partir de un único punto de una fuente de luz. Un haz concentrado podría pasar por un orificio pequeño y por uno grande en las pantallas.



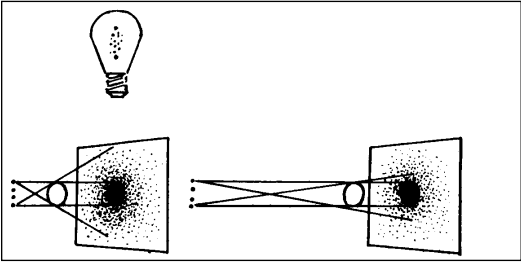
3. Un haz de luz se compone del grupo de haces concentrados que emanan de todos los puntos de una fuente de luz. Un haz pasaría por un orificio grande en cada una de las pantallas, y cuanto más alejada se encuentre la fuente de luz de las pantallas, tanto más paralelos serán los lados del haz.



Estos factores son importantes si se desea comprender la razón de que las sombras formadas por luz artificial, por lo general, no estén muy definidas. La fuente de luz, que suele ser de importantes dimensiones, puede considerarse formada por una multitud de fuentes luminosas diminutas, cada una de las cuales emite sus propios rayos y haces estrechos que, a su vez, se combinan en haces.

Por ejemplo, en la ilustración superior, se pueden considerar las dos fuentes como la parte superior y la inferior del filamento de una bombilla eléctrica. Existen además, en realidad, muchas otras fuentes pequeñas en el filamento, de modo que la sombra total estará formada por un gran número de sombras solapadas y por lo tanto no tendrá unos contornos claramente definidos.

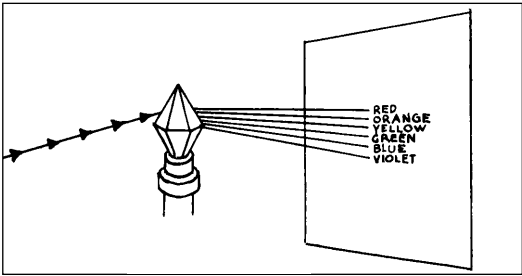
A medida que aumenta la distancia desde la fuente de luz al objeto, en comparación con la distancia del objeto a la pantalla, la sombra se va definiendo cada vez más claramente. Así pues, las sombras formadas por un sol brillante son definidas, porque el sol se encuentra tan lejos que actúa como una fuente de luz muy pequeña, y el haz interceptado por el objeto está compuesto por rayos prácticamente paralelos.



### 1.7 Longitud de onda y color

Hasta ahora, no hemos intentado analizar las propiedades de la luz exceptuando en lo referente a la longitud de onda, a la frecuencia y a la dirección. Ahora bien, tenemos otro factor que entra en juego. Usted habrá observado a menudo que la luz solar (llamada habitualmente luz blanca), al pasar por un trozo de vidrio tallado a mano, como el tapón de una antigua vinagrera, crea un arco iris de distintos colores. Con ello observamos que la luz, en realidad, no es blanca; se trata más bien de una combinación de varios colores que, al mezclarse, parecen blancos.

Sin embargo, esta variedad de colores sólo son visibles a nuestros ojos cuando la luz se descompone en muchas luces de longitudes de onda diferentes, como sucede cuando la luz cruza el tapón de vidrio tallado a mano. Por ejemplo, la luz de longitud de onda larga se ve roja; la luz de longitud de onda corta se ve violeta, y las longitudes de onda intermedias se ven con distintos colores (naranja, amarillo, verde y azul) entre los dos extremos.





## 1.8 El espectro

El arco iris que observamos se llama espectro y viene originado por la separación de la luz según sus distintas longitudes de onda. El espectro visible está compuesto por colores que el ojo puede ver (del rojo al violeta). Sin embargo, este espectro visible es solamente una pequeñísima parte de la totalidad del espectro electromagnético.

Más allá de ambos extremos del espectro visible se encuentran muchas otras longitudes de onda invisibles para el ojo: los rayos X, las ondas de radio, los rayos ultravioleta, los rayos infrarrojos, etc. Incluso en el espectro visible, las ondas electromagnéticas son tan pequeñas que se miden habitualmente con una unidad llamada nanómetro (abreviada como nm), equivalente a 0,000001 milímetros.

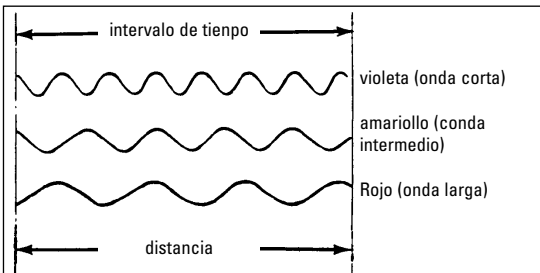
Se considera que el espectro visible incluye longitudes de onda que van de 400 nanómetros (violeta oscuro) a 750 nanómetros (rojo oscuro).

Luz VIOLETA resulta de longitudes de onda de 400 nm a 466 nm (aproximadamente)						
Luz AZUL	"	"	"	446	"	500
Luz VERDE	"	"	"	500	"	560
Luz AMARILLO	"	"	"	560	"	592
Luz NARANJA	"	"	"	592	"	650
Luz ROJO	"	"	"	650	"	750

Llegados a este punto, se plantea inevitablemente una pregunta: ¿si la luz está compuesta por todas estas distintas longitudes de onda, por qué no vemos en todo momento los distintos colores en el aire a nuestro alrededor?

La respuesta a esta pregunta es de gran importancia, puesto que es la base de buena parte de la filosofía del diseño de nuestros instrumentos. Dicha respuesta es la siguiente:

En el aire todas las distintas longitudes de onda se desplazan hacia adelante, o hacia el exterior de la fuente de luz, a la misma velocidad. Sin embargo, sus movimientos ascendentes y descendentes, o vibraciones, difieren en cuanto a la frecuencia (número de ciclos por segundo). Ello puede ilustrarse.



Todos los tipos de luz, tal y como se aprecia, han recorrido la misma distancia en el mismo tiempo a través del aire, aunque cada tipo ha mantenido a la vez su propia vibración durante el desplazamiento en esa distancia.

Si aplicamos, pues, la fórmula que hemos enunciado anteriormente, obtendremos la velocidad de estas diversas longitudes de onda:

(Velocidad = frecuencia por longitud de onda)

Para la luz violeta en el aire

$$v=750.000.000.000.000 \text{ ciclos/sec.} \times 400$$

$$nm= 300.000 \text{ kilómetros/segundo}$$

Para la luz amarilla en el aire

$$v=509.000.000.000.000 \text{ ciclos/sec.} \times 589$$

$$nm= 300.000 \text{ kilómetros/segundo}$$

Para la luz roja en el aire

$$v=428.000.000.000.000 \text{ ciclos/sec.} \times 700$$

$$nm= 300.000 \text{ kilómetros/segundo}$$

(Las frecuencias y las longitudes de onda mencionadas son aproximadas)

Habrá usted comprobado que son tantos los ciclos por segundo que, a pesar de la corta longitud de onda, la luz se desplaza a una velocidad altísima. En la luz blanca hay tantas vibraciones de esta longitud tan corta y el ojo capta tantos rayos, todos con la misma velocidad, al mismo tiempo, que, cuando los combina entre sí, obtiene la impresión de blanco. Los incrementos individuales son tan pequeños y tan numerosos que el ojo no alcanza a discriminarlos.

### **1.9 300.000 kilómetros por segundo en el aire**

Para cada uno de los ejemplos arriba mencionados la respuesta obtenida ha sido 300.000 kilómetros por segundo, y esta cifra, obtenida repetidas veces en distintos experimentos, se toma como velocidad estándar de la luz en el aire. Recuerde esta cifra: 300.000 kilómetros por segundo.

Recuérdela, ya que se reduce cuando la luz penetra en cualquier otra sustancia (agua, vidrio, etc.); es decir, que disminuye la velocidad de la luz y lo hace en una proporción variable, que dependerá de la composición química de la sustancia por donde pasa la luz.

## 2.0 Índice de refracción

Puesto que se trata de un fenómeno básico de gran importancia, se ha determinado la relación entre la velocidad de la luz en el aire y su velocidad en distintas sustancias. Esta relación se llama índice de refracción. Se calcula con una fórmula simple:

$$\text{Índice de refracción de la sustancia} = \frac{\text{velocidad de la luz en el aire}}{\text{velocidad de la luz en la sustancia}}$$

Sabemos que la velocidad de la luz en el aire es de 300.000 kilómetros/segundo. También se ha calculado que la velocidad de la luz en el agua es de 225.964 kilómetros/segundo, sustituyendo en la fórmula, el índice de refracción del

$$\text{agua} = \frac{300.000}{225.964} = 1,33$$

De manera similar, en un cristal Crown, por el que la luz se desplaza a 197.368 kilómetros/segundo:

$$\text{Índice de refracción del cristal Crown} = \frac{300.000}{197.368} = 1.52$$

y en un tipo concreto de cristal Flint por el que la luz se desplaza a 181.818 kilómetros/segundo:

$$\text{Índice de refracción del vidrio} = \frac{300.000}{181.818} = 1.65$$

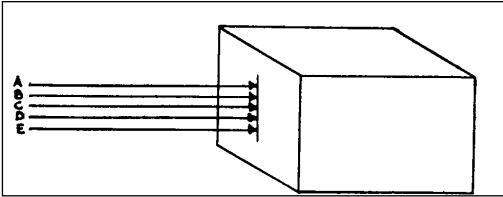
El índice de refracción de una sustancia es, pues, la relación entre la velocidad de la luz en el aire y en dicha sustancia. El índice de refracción del aire es 1,00

$$\frac{(300.000)}{(300.000)} = 1.00$$

y todos los índices toman como referencia el índice del aire; por ejemplo, si decimos que el índice de refracción del agua es de 1,33 significa que la velocidad de la luz en el agua es 1,33 veces la velocidad de la luz en el aire, o que la velocidad en el agua es

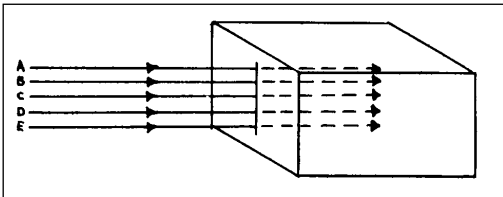
$$\frac{1,00}{1,33} \text{ o } \frac{3}{4} \text{ la velocidad en el aire.}$$

El efecto del índice de refracción puede mostrarse claramente si planteamos el caso de un haz de luz que incide perpendicular a la superficie plana de un fragmento de vidrio. En este caso, supongamos que el haz de luz está compuesto por varios rayos de luz (A, B, C, D, E) que se desplazan a la misma velocidad, y que la fuente de luz se encuentra tan lejos que, a efectos prácticos, el haz es un haz paralelo: todos los rayos alcanzarán, pues, simultáneamente la superficie del vidrio.

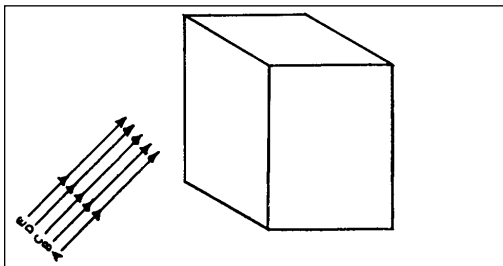


Si trazamos una línea (frente de onda) que una todos los rayos en el momento en que alcanzan la superficie, dicha línea será paralela a la superficie. Dado que antes de incidir en la superficie todos los rayos se desplazan a la misma velocidad, y puesto que el vidrio reduce de la misma manera la velocidad de todos los rayos, cuando los rayos hayan cruzado el vidrio en parte, el frente de onda todavía será paralelo a la superficie. En este caso, el haz de luz se desplazará en línea recta por el vidrio, aunque su velocidad será inferior a la que tenía en el aire.

Supongamos ahora que el mismo haz de luz incidiera no perpendicularmente, sino formando ángulo en relación con la superficie.

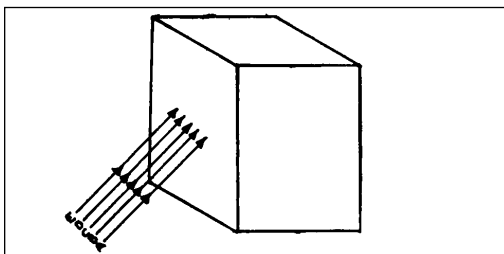


Entonces, y dado que todos los rayos viajan a la misma velocidad, el rayo "A" alcanzará la superficie antes que el "B", el "B" antes que el "C", el "C" antes que el "D" y el "D" antes que el "E". La línea que une todos estos rayos en el momento en que el "A" alcanza la superficie forma un ángulo con la misma.

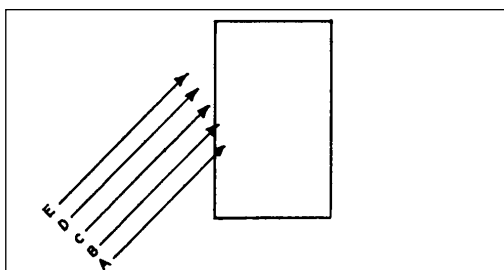


El rayo "A" penetra entonces en el vidrio antes que el "B", etc., de manera que la velocidad del "A" se reduce antes que la del "B", etc.

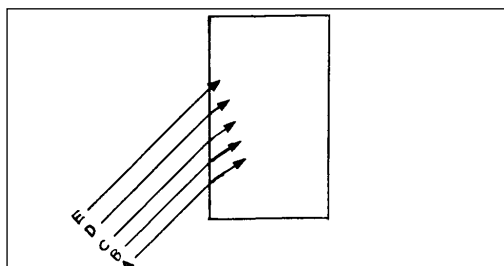
Si lo examinamos en este corte transversal, el aspecto, en el momento en que el rayo "B" alcanza la superficie sería el siguiente:



y cuando lo hace el "E"

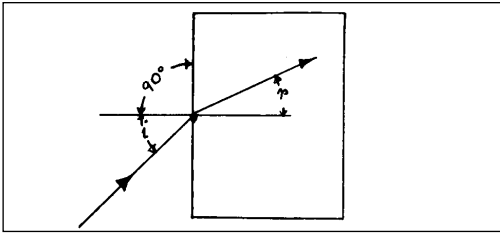


e instantes después de penetrar el "E" en la superficie.

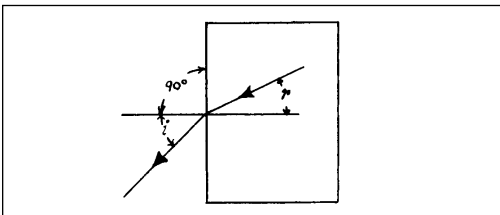


El efecto es que el haz de luz que incide en la superficie del vidrio formando un ángulo se desvía de su trayectoria original, o se refracta. La proporción en que se desvía dependerá del índice de refracción del vidrio, porque la luz se desplaza más lentamente a través de un vidrio de índice alto que a través de uno de índice bajo. Un vidrio con índice alto refracta más la luz que uno con índice bajo (el cristal Flint refracta más que el cristal Crown). La refracción se produce en la superficie y la luz se desplaza en línea recta tanto antes, como después de la refracción (desviación).

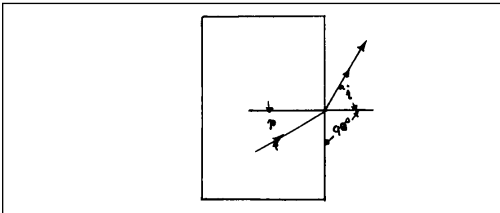
Cuando se pasa del aire al vidrio, la desviación se produce siempre de forma que el haz se acerca a una línea perpendicular a la superficie del vidrio.



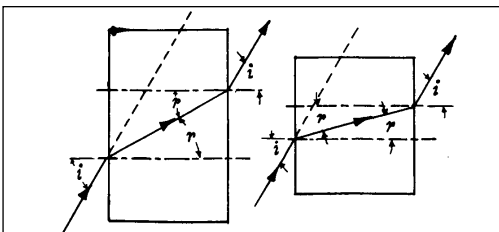
Si la luz se desplazara en dirección opuesta (del vidrio al aire) entonces sería cierto lo contrario: la desviación se alejaría de una línea perpendicular a la superficie del vidrio.



Si lo invertimos nos da lo siguiente.



La combinación de ambos, de manera que la luz pase del aire al vidrio y de éste de nuevo al aire, nos da

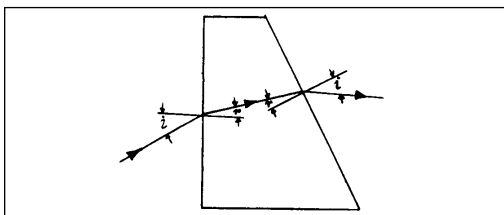


En este caso (en el que las dos caras del vidrio son paralelas) el rayo se desplazaría en la misma dirección después de pasar por el vidrio, que antes de penetrar en él, pero quedaría ligeramente desplazado lateralmente.

El ángulo "i" entre el rayo en el aire y la perpendicular a la superficie se llama ángulo de incidencia. El ángulo "r" entre el rayo en el vidrio y la perpendicular a la superficie se llama ángulo de refracción.

Existe una relación trigonométrica definida entre estos ángulos, "i" y "r", y el índice de refracción del vidrio. Sin entrar en detalles de trigonometría, bastará con decir que, si conocemos el valor de dos de las variables (índice, ángulo "i" o ángulo "r"), podemos obtener la tercera variable. Esta relación se llama "Ley de Snell".

Si las dos caras del vidrio por el que pasa un rayo no son paralelas, el rayo seguirá una trayectoria, una vez cruzado el vidrio, distinta a la que seguía antes de penetrar en el vidrio.

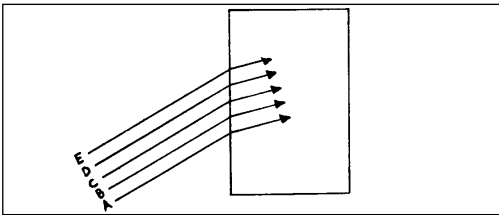


La relación (Ley de Snell) se aplica indistintamente cuando la luz pasa del aire al vidrio o del vidrio al aire. Podemos, pues, predecir matemáticamente con gran precisión la dirección en la que se desplazará el rayo refractado si conocemos el ángulo de incidencia, el índice del vidrio y el ángulo entre las superficies del vidrio. Si elegimos el ángulo de incidencia adecuado, un vidrio con el índice apropiado y el ángulo correcto entre las superficies del vidrio, podemos controlar a nuestra voluntad la dirección de la luz emergente.

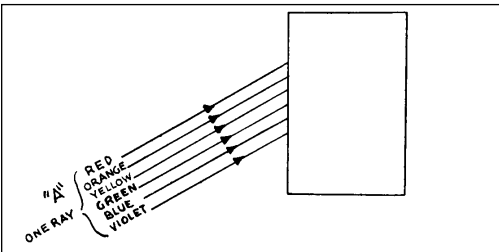
## 2.1 Dispersión

Hasta aquí hemos descrito la manera en que se desvían, o se refractan, los rayos de luz cuando pasan del aire al vidrio y del vidrio al aire. También hemos mostrado que en el aire todas las longitudes de onda de la luz se desplazan a la misma velocidad. Si consideramos que el rayo de luz es "luz blanca", debemos también recordar que la "luz blanca" está compuesta por luz de todas las longitudes de onda del espectro visible. Aunque todas las longitudes de onda se desplazan a la misma velocidad en el aire, todas reducen su velocidad en diferentes proporciones al penetrar en el vidrio.

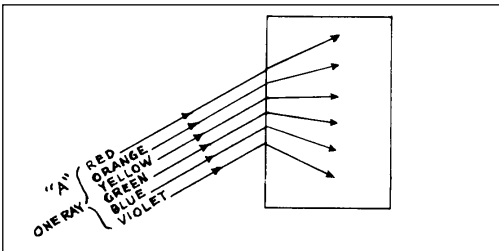
Examinemos de nuevo el diagrama de la refracción y supongamos que en lugar de un haz de luz (compuesto por los rayos A, B, C, D, E)



tomamos solamente el rayo "A" y lo aumentamos; de manera que obtenemos un rayo compuesto por luz de las diferentes longitudes de onda que inciden en el vidrio.

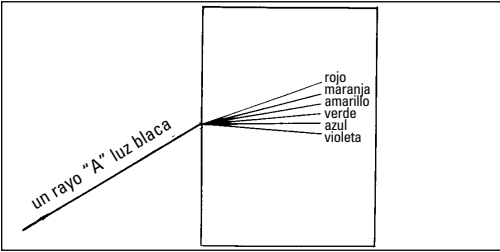


Ya dijimos que las distintas longitudes de onda se desplazan a velocidades distintas en el vidrio. En realidad, las longitudes de onda rojas son las que se desplazan más rápidamente en el vidrio, las naranjas son más lentas que las rojas, las amarillas más lentas que las naranjas, y así sucesivamente hasta llegar a las violetas, que son las que se desplazan más lentamente en el vidrio. Si ampliamos el diagrama anterior veremos que, al entrar el rayo en el vidrio, las longitudes de onda rojas son las que menos se refractan y que las que más lo hacen son las violetas, mientras que los colores intermedios se refractan en proporciones intermedias, y así nuestro diagrama podría presentar el aspecto siguiente.

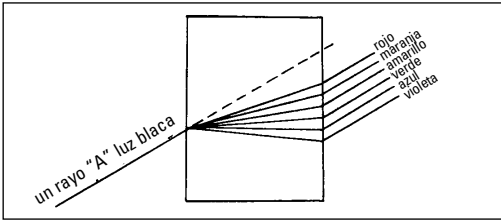




Ahora bien, si dejamos de aumentar el rayo de luz y lo tratamos como un único rayo (hay que recordar que en realidad sigue estando compuesto por diversas longitudes de onda), observaremos que el rayo se descompone en un espectro, como resultado de las inclinaciones de las diferentes longitudes de onda.



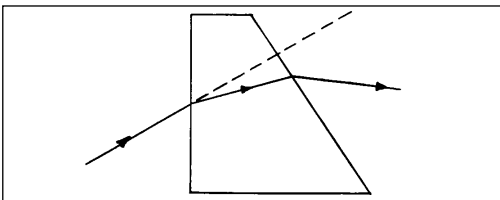
Si el espectro pasa completamente a través del vidrio con caras paralelas, las longitudes de onda individuales obedecen la Ley de Snell, tal y como vimos en el caso del rayo anterior, y los resultados son los siguientes:



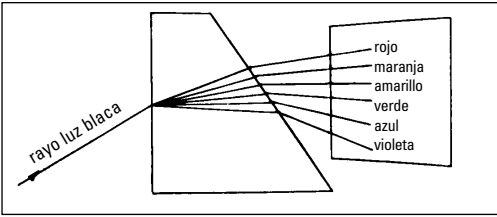
Todas las longitudes de onda emergen con trayectorias paralelas a la dirección del rayo incidente original, pero todas han quedado desplazadas lateralmente y en distintas proporciones.

Si realmente pudiéramos aislar un rayo, se formaría un espectro y, si lo pudiésemos ampliar lo suficiente, lo veríamos como un espectro. Sin embargo, en la práctica, no podemos aislar un rayo debido a sus reducidas dimensiones. Y puesto que se hallan presentes muchos rayos, lo que sucede es que las longitudes de onda rojas de un rayo se combinan con las naranjas de otro rayo, las amarillas de otro, etc., de modo que el resultado visible final es de nuevo la luz blanca. Esto es cierto porque todas las longitudes de onda de los rayos emergen del vidrio paralelas las unas con las otras y, por lo tanto, se combinan entre ellas.

Recordará usted que cuando nuestro fragmento de vidrio tenía lados que no eran paralelos, el rayo emergente se desplazaba en una dirección distinta a la del rayo incidente.



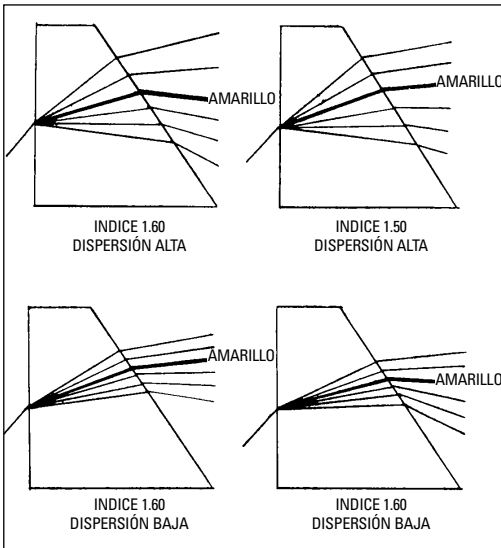
Si consideramos un rayo como compuesto por las diversas longitudes de onda cruzando un vidrio cuyos lados no son paralelos, obtendremos el efecto siguiente:



En este caso, las diversas longitudes de onda van a emerger en direcciones distintas.

Si hubiese varios rayos incidentes, las longitudes de onda rojas de cada rayo emergerían en una dirección, las longitudes de onda naranjas de cada rayo en otra dirección, etc. Y, dado que, solamente se combinan las longitudes de onda que se desplazan en la misma dirección, encontraremos todas las longitudes de onda rojas combinadas, todas las longitudes de onda amarillas combinadas, etc. Tenemos aquí una situación en la que el espectro no sólo se ha formado dentro del vidrio, sino que en realidad sigue presente como espectro después de emerger y se ve como un arco iris.

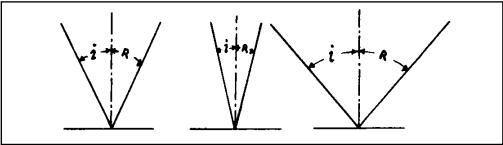
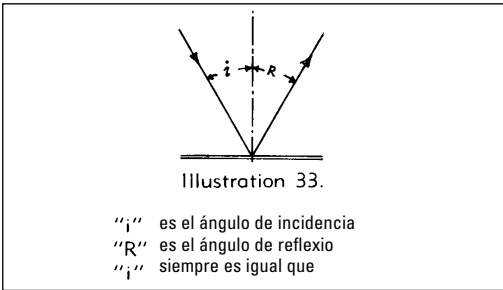
Este efecto se llama dispersión y provoca las bandas coloreadas que se observan alrededor de los objetos cuando se miran a través de un prisma, o a través de una lente que mantenemos a cierta distancia del ojo. La dispersión está presente en mayor o menor grado en todos los vidrios. Un vidrio puede tener mayor dispersión que otro, incluso aunque ambos tengan el mismo índice. Otros vidrios, con índices diferentes, pueden tener el mismo valor de dispersión.



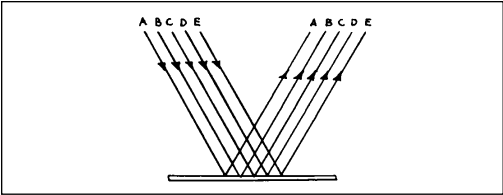
El índice de refracción se mide calculando el ángulo de refracción en relación con el ángulo de incidencia (Ley de Snell) aunque, tal como se indicó anteriormente, cuando un rayo incidente de luz blanca se refracta desemboca en diversas longitudes de onda refractadas. Para obtener un cálculo preciso del índice, siempre lo medimos a partir de una longitud de onda concreta (luz amarilla de 589 nm.). En la ilustración anterior se puede observar que la longitud de onda amarilla atraviesa con el mismo ángulo los dos vidrios con índice 1,50 y con otro ángulo los dos vidrios de índice 1,60 (el ángulo de incidencia es el mismo en los cuatro casos).

### 2.2 Reflexión

Si la superficie superior del vidrio es un espejo, el rayo incidente en esta superficie será reflejado y no penetrará en el vidrio. Un rayo es reflejado en un espejo con un ángulo equivalente al ángulo de incidencia. Tanto el ángulo de incidencia como el ángulo de reflexión se miden a partir de la línea imaginaria perpendicular a la superficie del espejo.



Un laz de rayos se commorta cuando se reflejo igual que un vinic rayo .



## 2.3 Repaso de temas del capítulo primero

### Conceptos básicos de óptica

- Una longitud de onda es la distancia recorrida durante:
  - 1 vibración completa.
  - 1/2 vibración completa.
  - 2 vibraciones completas.
- La frecuencia es el número de vibraciones completas en:
  - 3 segundos.
  - 1 segundo.
  - 1 año luz.
- Frecuencia es igual a:
  - longitud de onda x velocidad.
  - velocidad / longitud de onda.
  - longitud de onda x dispersión.
- La propagación rectilínea de la luz significa que la luz se desplaza en:
  - línea curva.
  - círculo.
  - línea recta
- El espectro visible cubre:
  - prácticamente todo el espectro electromagnético.
  - no cubre el espectro electromagnético.
  - una pequeña parte del espectro electromagnético
- En el aire la luz de todas las longitudes de onda se desplaza:
  - a la misma velocidad.
  - a velocidades distintas.
  - a velocidades variables
- La velocidad de la luz en el aire es aproximadamente:
  - 300.000 kilómetros por hora.
  - 300.000 kilómetros por minuto.
  - 300.000 kilómetros por segundo.
- La luz que pasa del aire a un medio más denso
  - aumenta su velocidad.
  - mantiene la misma velocidad.
  - reduce su velocidad

9. En un medio con alto índice de refracción y en comparación con medio con bajo índice de refracción, la luz se desplaza relativamente:

1. más lentamente.
2. más rápidamente.
3. a la misma velocidad

10. Si se escoge el ángulo de la luz incidente, el índice del vidrio y el ángulo entre las dos superficies de vidrio, la dirección de la luz emergente se puede:

1. predeterminar.
2. no se puede predeterminar.
3. predeterminar en parte.

11. Al pasar por un prisma, el rayo de luz:

1. se descompone según sus diversas longitudes de onda.
2. pasa sin desviarse.
3. se enfoca en un punto.

12. Un rayo de luz se refleja en un espejo con un ángulo:

1. mayor que el ángulo de incidencia.
2. equivalente al ángulo de incidencia.
3. menor que el ángulo de incidencia

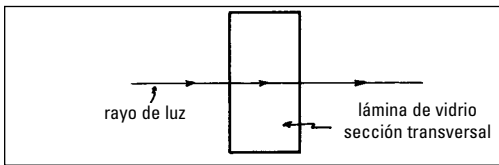
# Capítulo segundo

## 2.0 Lentes, prismas y espejos

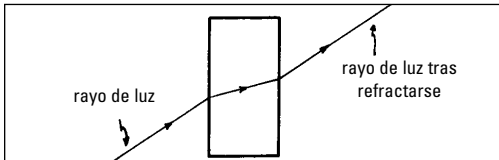
Nuestra intención en este capítulo es reflejar algunas aplicaciones prácticas de los principios presentados en el Capítulo 1. Veremos cómo el índice de refracción, la dispersión y otros factores importantes en el diseño de lentes se aplican al cristal de tal forma que resulta una lente, un prisma o un espejo que hará que los rayos de luz se comporten de la forma deseada.

Primero vamos a repasar algunos de los factores que acabamos de ver en el capítulo 1. Por el momento imaginaremos un rayo de luz como compuesto de todas las longitudes de onda visibles, pero asumimos que durante la refracción no ocurre ninguna dispersión. Esto va a simplificar nuestros diagramas y explicaciones.

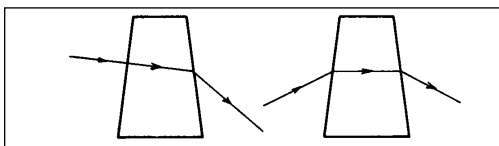
1. Un rayo de luz que incide sobre una lámina de cristal en ángulo recto ( $90^\circ$ ) pasará por el cristal sin desviarse de su trayectoria original siempre que los dos lados de la placa de vidrio sean paralelos. Por supuesto el rayo reduce la velocidad mientras atraviesa el cristal, pero no se desvía de su dirección de propagación original



2. Si un rayo de luz incide sobre la misma placa en un ángulo que no sea de  $90^\circ$ , entonces el rayo es refractado o desviado de su dirección original mientras atraviesa el cristal. Cuando emerge de la segunda superficie al aire vuelve a ser refractado y luego avanza en una dirección que es igual a su dirección de propagación original, pero desplazado lateralmente.



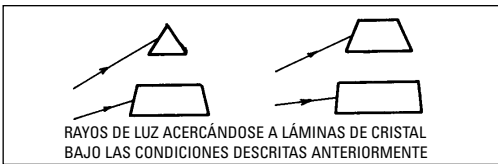
3. Si un rayo de luz incide sobre una lámina de cristal cuyos lados no son paralelos, el rayo será refractado y emergerá del cristal en una dirección diferente a su dirección de propagación original. Esto va a ocurrir independientemente de si el rayo incide sobre el cristal en ángulo perpendicular o en cualquier otro ángulo.



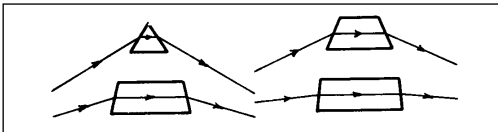
En todos los anteriores casos de refracción, la dirección de propagación del rayo de luz una vez refractado depende del índice de refracción del cristal, del ángulo entre las dos superficies del cristal y del ángulo en que la luz incide sobre la primera superficie (ley de Snell).

Ahora vamos a suponer que tenemos una serie de láminas de cristal y rayos de luz bajo las siguientes condiciones.

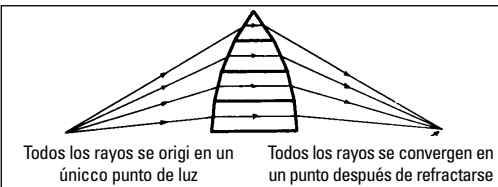
1. El índice de refracción es el mismo en todas las láminas.
2. Los lados de las láminas no son paralelos y forman ángulos diferentes en cada lámina.
3. Los rayos de luz inciden sobre la primera superficie de las distintas láminas de cristal en diferentes ángulos.



Si los rayos de luz de la Figura 4 continúan su trayectoria y atraviesan las láminas de cristal, serán refractados y van a emerger en las siguientes direcciones.



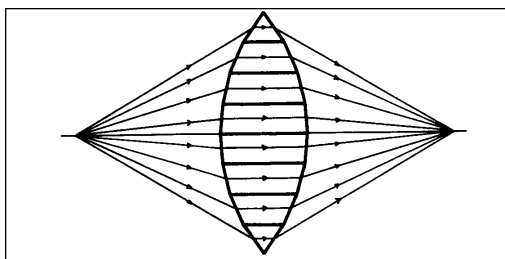
Asumamos ahora que colocamos estas láminas una encima de otra y asumamos también que los rayos de luz que inciden en las diferentes láminas de cristal provienen todos de una misma fuente de luz.



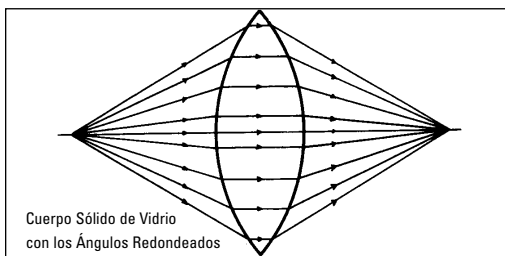
Todos los rayos se originan desde un único punto - Fuente luminosa Todos los rayos convergen en un único punto después de la refracción

Si los ángulos entre los lados del conjunto de láminas de vidrio son correctos, entonces, una sola fuente de luz será refractada por la pila de láminas de cristal de forma que todos los rayos converjan en un mismo punto.

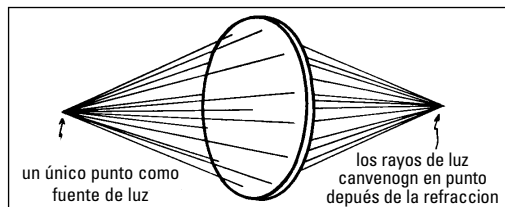
Si ahora cogemos otra pila de láminas de cristal similares y la colocamos invertida por debajo del final de la primera pila, obtendremos el siguiente resultado:



Partiendo de la ilustración anterior, es fácil visualizar la pila de piezas separadas como una única pieza sólida de cristal, y si redondeamos los ángulos que se forman donde se juntan las superficies de las láminas individuales, tendremos una superficie lisa y curvada.



Ahora tendremos que visualizar la pieza sólida de cristal de la figura anterior como si se tratara de la sección transversal de una lente biconvexa y tendremos que imaginar que rayos de luz procedentes de una sola fuente luminosa inciden sobre la primera superficie y son refractados en un único punto.



La explicación e ilustraciones anteriores indican el como y el porqué una lente biconvexa es capaz de absorber luz proveniente de una sola fuente y de refractar los distintos rayos de forma que se sitúen en un foco.

En los dibujos anteriores, la fuente es lo que llamamos "punto objeto" y el punto donde los rayos convergen y se juntan lo que llamamos "punto imagen".

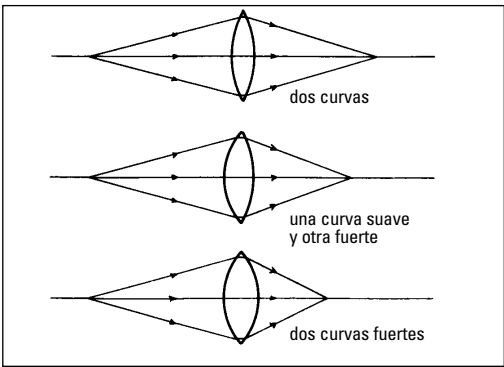


Si el punto objeto se desplaza en relación con la lente, el punto imagen también se mueve. Para cada posición del Punto Objeto existe una posición correspondiente para su Punto Imagen. Los dos puntos son conocidos como los focos conjugados.

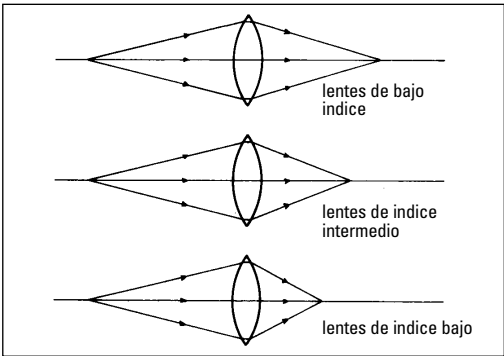
Los ángulos entre las superficies de nuestras láminas de cristal fueron escogidos de forma que, cuando superpusiéramos las láminas y allanáramos los bordes para que formaran una curva uniforme, esta curva resultara en una superficie esférica.

Una superficie esférica se forma como parte de una esfera verdadera y tiene curvatura uniforme por toda la superficie.

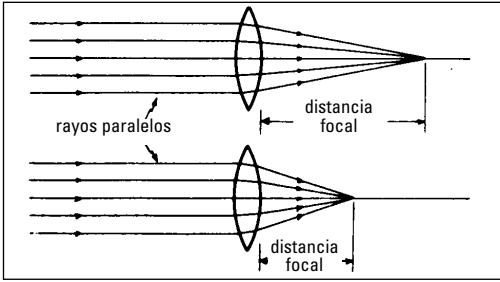
Al alterar el radio de curvatura de una o de las dos superficies esféricas que forman los lados de una lente, podemos modificar los ángulos entre los dos lados de la lente y, de esta forma, controlar el punto en donde los rayos refractados convergen.



También podemos controlar el punto de convergencia usando lentes de la misma curvatura, pero con diferentes índices de refracción.



La distancia focal de una lente positiva queda definida como la distancia entre la lente y el punto de convergencia de los rayos refractados, cuando los rayos incidentes provienen de una fuente de luz tan lejana que pueden considerarse paralelos entre sí.

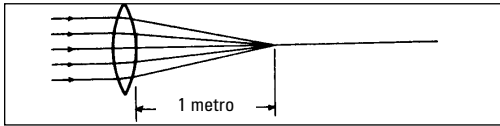


La función de cualquier lente es la de recoger rayos de un punto situado a una determinada distancia de la lente y conducirlos a un punto de convergencia o foco, situado a una distancia definida y deseada de la lente. Si conocemos la distancia entre la fuente, o el punto objeto, y la lente podemos determinar el radio de curvatura para cada superficie de la lente y el índice de refracción del cristal con el cual la lente debe de confeccionarse a fin de ubicar el foco en el punto imagen que deseemos.

Si, por ejemplo, queremos confeccionar una lente con un foco determinado y tenemos una pieza bruta con un cierto índice de refracción y con una cara ya pulida, podemos modificar la distancia focal o la capacidad de aumento de la lente acabada seleccionando el radio de curvatura apropiado que debe tallarse y pulirse en la superficie opuesta.

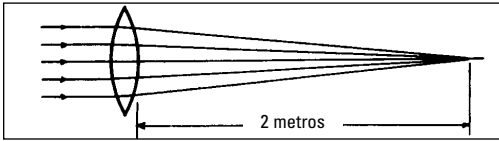
La distancia focal de la lente determina la potencia o capacidad de aumento de la lente. En el campo de la oftalmología medimos la potencia de las lentes en unidades llamadas dioptrías. La potencia en dioptrías se calcula determinando el valor inverso de la distancia focal en metros.

Una lente de una distancia focal de un metro, tendría una



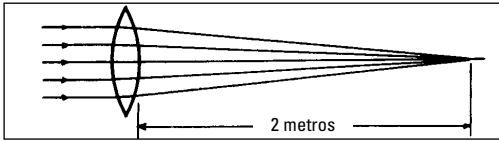
potencia de  $\frac{1}{1 \text{ metro}}$  = 1,00 dioptría.

Una lente de una distancia focal de dos metros, tendría una



potencia de  $\frac{1}{2 \text{ metros}}$  = 0,50 dioptrías.

Una lente de una distancia focal de medio metro (0,5 metro), tendría una



potencia de  $\frac{1}{1/2 \text{ metro}}$  = 2,00 dioptrías.

Existe una fórmula que puede aplicarse para calcular un parámetro desconocido de la lente, si los demás valores se conocen.

$1/f = (n - 1) (1/r_1 + 1/r_2)$  en la cual

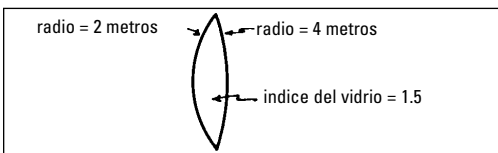
$f$  = distancia focal de la lente

$n$  = índice de refracción del cristal

$r_1$  = radio de curvatura de la primera superficie de la lente

$r_2$  = radio de curvatura de la segunda superficie de la lente

Podríamos, por ejemplo, determinar la distancia focal de una lente, si supiéramos que el índice de refracción es 1,5, que el radio de curvatura de la primera superficie es 2 metros y que el radio de curvatura de la segunda superficie es 4 metros.



$$1/f = (n - 1) (1/r_1 + 1/r_2)$$

$$1/f = (1.5 - 1) (1/2 + 1/4)$$

$$1/f = (.5) (3/4)$$

$$1/f = 3/8 \text{ dioptrías o}$$

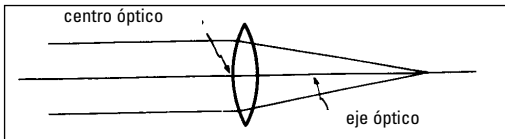
$$f = 8/3 \text{ metros o}$$

$$f = 2.66 \text{ metros}$$

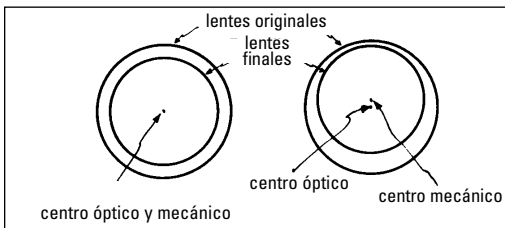
$$f = 2.66 \text{ meters}$$

Esta fórmula sólo puede aplicarse a lentes de espesor fino. Si se tratara de una lente de bastante espesor, este grosor también debería tomarse en consideración, y la fórmula se haría demasiado complicada para ser tratada dentro del ámbito de este curso.

Vuelva a mirar los dibujos anteriores y fíjese en que el rayo de luz que pasa por el centro de las lentes incide en la superficie de la lente en ángulo recto y pasa por la lente sin cambio alguno de su dirección. Este rayo central sigue el eje visual de la lente. El centro óptico de la lente es aquél punto de la misma, en el que un rayo que incida sobre la primera superficie en un ángulo de  $90^\circ$ , atraviesa la lente sin desviarse.

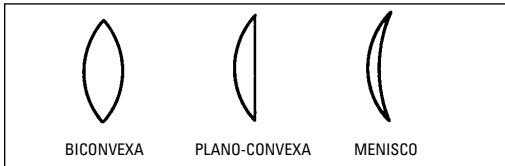


Si una lente tiene los bordes de tal forma que el centro óptico no se encuentra en el centro de la superficie, entonces hay una diferencia entre el centro óptico y el centro mecánico. El centro óptico se mantiene en el mismo punto independientemente de la posición final del centro mecánico.

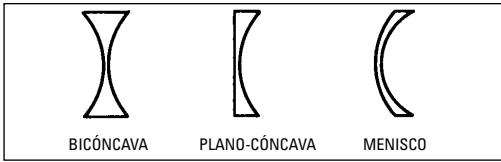


Hasta ahora sólo hemos hablado de lentes con superficies curvadas en direcciones opuestas. Además, las lentes confeccionadas de este modo todas eran más gruesas en el centro que en los bordes. Toda lente que sea más gruesa en el centro que en el borde enfocará rayos paralelos de luz incidente en un punto detrás de la lente. Todas estas lentes se conocen como lentes positivas o convergentes.

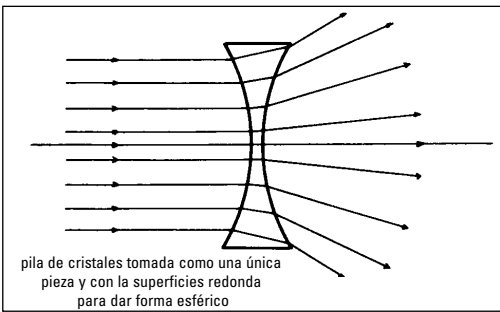
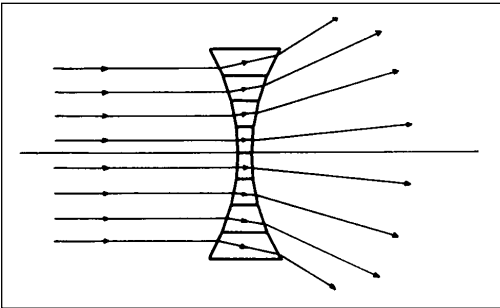
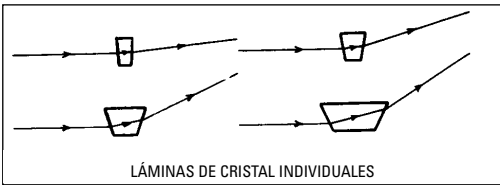
Lentes positivas pueden ser biconvexas, plano-convexas, o meniscos.



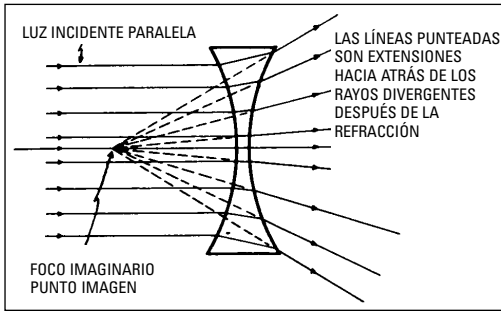
También existen las lentes negativas o divergentes. Todas las lentes negativas son de espesor más fino en el centro que en los bordes. Las tres formas que hay son bicóncavas, plano-cóncava o meniscos.



Una lente negativa diverge los rayos de luz en vez de convergerlos, pero esto se realiza en una manera similar a la que acabamos de explicar para las lentes positivas. Una lente negativa se forma juntando los extremos finos de dos pilas de láminas de cristal superpuestas.



Como los rayos divergen después de haber sido refractados por la lente negativa, no existe un punto en donde los rayos vuelvan a juntarse después de la refracción. Para determinar el foco tenemos que crear un punto de enfoque imaginario. Esto se consigue alargando los rayos divergentes hacia atrás, una vez refractados, en el sentido de propagación; de este modo, en el dibujo, los rayos aparecerían, después de la refracción, como si hubieran partido todos de este punto imaginario.

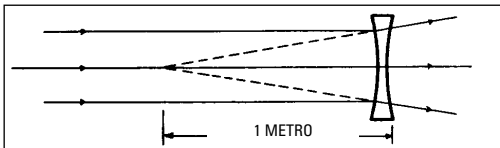


Este punto imaginario es el punto imagen de una lente negativa, y la distancia entre este punto y la lente para cualquier punto objeto está determinada por la distancia focal o potencia de la lente.

Como el punto imagen para luz incidente paralela se encuentra en el mismo lado de la lente que el punto objeto, definimos la distancia focal como una cantidad negativa y en la ecuación para determinar el poder de aumento, obtenemos un aumento dióptrico negativo.

Si la distancia focal de una lente es -1 metro, su potencia sería

$$\frac{1}{-1 \text{ metro}} = -1,00 \text{ dioptría.}$$

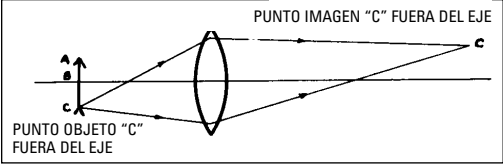
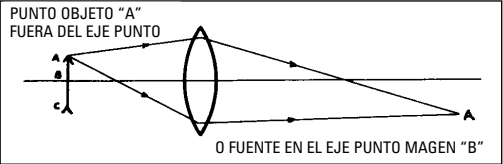
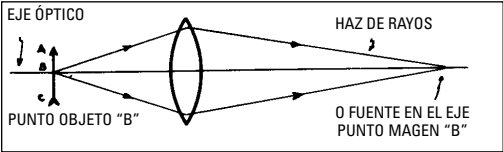


Si la distancia focal de una lente es -1/2, su potencia sería

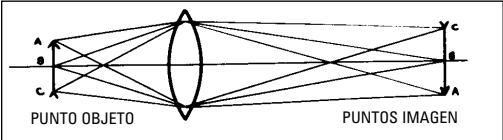
$$\frac{1}{-1/2 \text{ meter}} \text{ or } \frac{1}{-.5 \text{ metros}} = -2,00 \text{ dioptrías}$$

En todos los ejemplos anteriores, supusimos que todos los rayos de luz provenían de una única fuente luminosa de pequeño tamaño o de un solo objeto y que, por consiguiente, la imagen de la fuente correspondía también a un único punto.

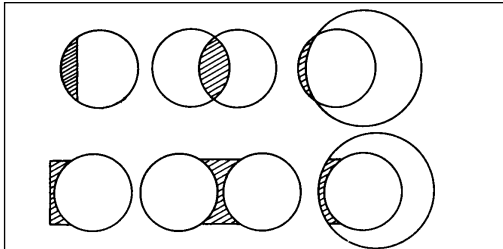
Las lentes forman imágenes completas de objetos grandes porque unen y enfocan en un punto imagen los rayos que parten de cada punto del objeto. Sin embargo, sólo uno de los puntos que componen el objeto se encontrará en el eje visual de la lente, y sólo la imagen de este punto particular se formará en el eje visual. Los puntos del objeto que no están situados en el eje visual dan lugar a puntos imagen fuera del eje visual.



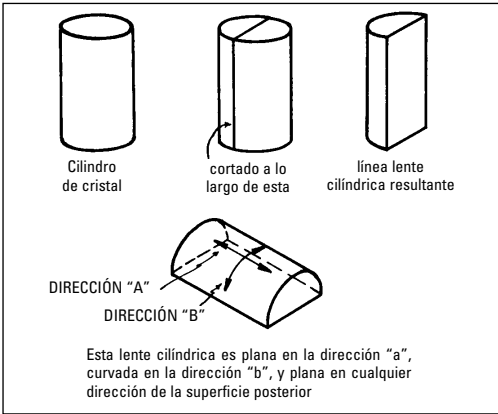
Combinando los dibujos anteriores y asumiendo que de cada punto que forma el objeto (flecha) surgen conos de rayos que forman puntos de la imagen, la lente formaría una imagen completa del objeto.



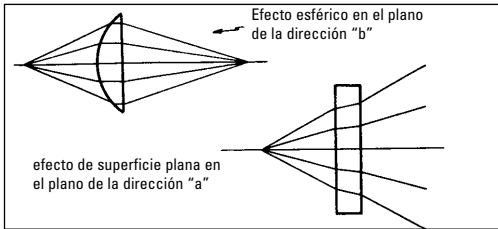
Hasta ahora hemos visto lentes con dos superficies esféricas o con una superficie esférica por un lado y una plana por el otro. Todas estas lentes se conocen como lentes esféricas. Podemos imaginar estas lentes como el resultado de cortar una rodaja de una esfera de cristal, de interseccionar dos esferas, o de rellenar el espacio entre dos esferas.



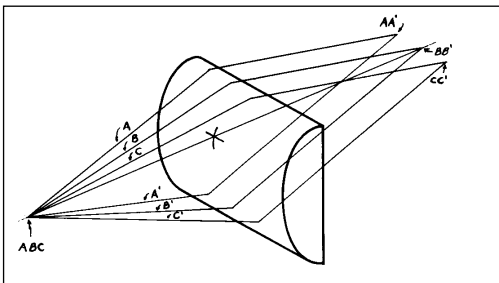
Ahora deberíamos considerar las lentes conocidas como cilindros o cilíndricas. La lente cilíndrica más simple sería una con una superficie curvada por un lado y plana por el otro. Este tipo de lente se obtendría al realizar un corte longitudinal a través de un cilindro de cristal.



Si en esta lente cilíndrica realizáramos un corte siguiendo la dirección "B" obtendríamos una lente con una superficie cilíndrica y otra plana. Así pues, la lente actuaría como una lente esférica, enfocando los rayos que incidieran sobre ella en la dirección "B". Sin embargo, si cortáramos siguiendo la dirección "A", tendríamos una lente con dos superficies paralelas, los rayos que incidieran en esta dirección se refractarían como si la lente fuera una lámina de cristal con lados paralelos, es decir, los rayos no se enfocarían.



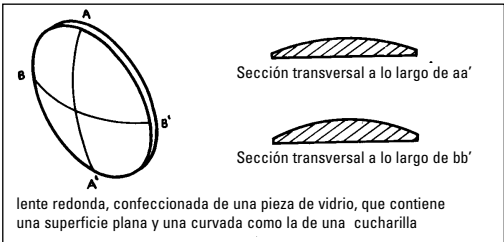
Formando una imagen tridimensional con las elementos de la anterior figura, podríamos visualizar como actúa el cilindro sobre rayos procedentes de una fuente puntiforme.





La fuente puntiforme "ABC" emite rayos en todas las direcciones. Elegimos tres pares de rayos: A y A', que no pasan por el eje óptico, y se enfocan en AA' tras haber sufrido una refracción esférica (dirección "B" de la Fig. 32), la imagen AA' tampoco está en el eje óptico. B y B' que se enfocan en el punto BB' del eje óptico. C y C' que se enfocan en el punto CC' fuera del eje óptico. Todos los demás rayos se encuentran entre los que hemos trazado y se enfocarán en puntos situados entre AA' y CC'. El efecto de la lente ha sido la formación de una línea de puntos imagen derivada de un único punto objeto. El objeto es un punto pero su imagen es una línea.

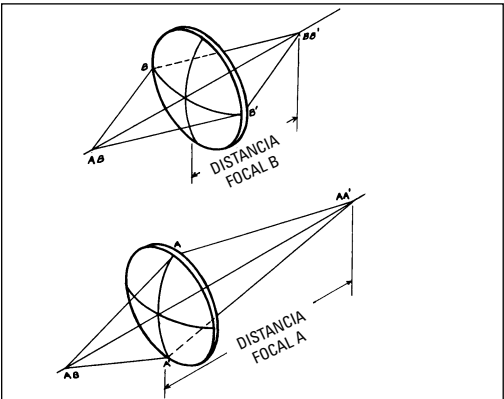
El cilindro descrito anteriormente, no tiene distancia focal en una dirección y tiene una distancia focal esférica en la opuesta. Uno de los tipos más comunes de lentes, recibe el nombre de lentes esferocilíndricas. El esferocilindro tiene una distancia focal una dirección y otra en la opuesta. Las lentes de este tipo tienen una forma similar a la zona curvada de una cucharilla.



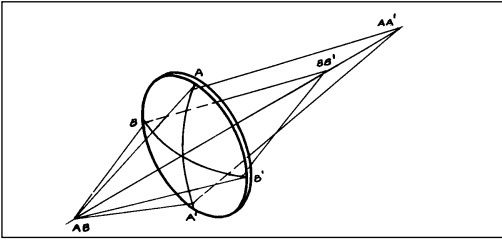
La línea AA' se traza en la superficie convexa de la cucharilla a lo largo de la dirección de mayor curvatura. La línea BB' se dibuja en la misma superficie en la dirección de menor curvatura. Ambas líneas forman un ángulo recto.

AA' es el meridiano de mayor distancia focal y BB' el de menor distancia focal.

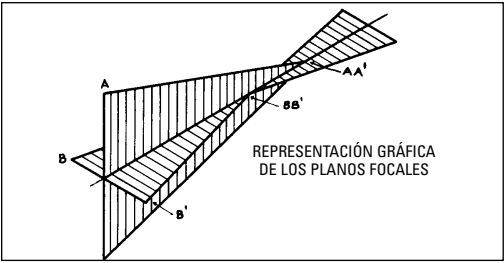
Como la distancia focal de ambos meridianos es distinta, los rayos de luz de los planos de ambos meridianos se enfocarán a diferentes distancias de la lente.



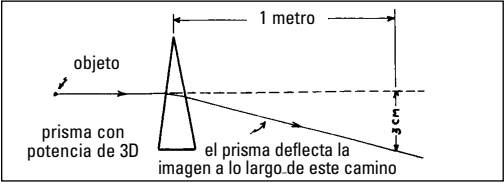
Combinando las dos partes de la figura anterior, obtenemos una representación del efecto de que una lente tenga dos distancias focales distintas. Los caminos de los rayos refractados se pueden visualizar por medio de planos focales gráficos. En el punto imagen BB', los rayos AA' todavía no se habrían juntado. En el punto imagen AA', los rayos BB' ya habrían pasado por su foco y habrían divergido.



Un prisma se puede utilizar para desplazar una imagen y puede visualizarse como una lámina de cristal con las caras no paralelas.

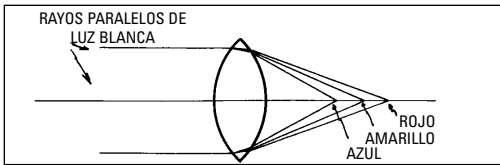


La potencia de un prisma vendrá determinada por el desplazamiento que sufre un rayo de luz un metro después de haber atravesado el prisma. Si el prisma desplaza el rayo 1 cm a una distancia de 1 metro, la potencia del prisma es de una dioptría. Si el desplazamiento es de 2 cm, la potencia es de dos dioptrías., etc..



Como explicamos al principio de este capítulo, suponemos que los rayos de luz se componen de todo tipo de longitudes de ondas, y asumimos que no ocurre ninguna dispersión durante la refracción. Realmente, la refracción va siempre acompañada de dispersión, es decir, a la hora de diseñar las lentes hay que considerar el fenómeno de la dispersión. Para la mayoría de las aplicaciones de las lentes delgadas y para algunas aplicaciones de las lentes de mayor grosor, el grado de dispersión es insignificante y, por lo tanto, despreciable. Sin embargo, siempre está presente, y da lugar a un defecto de las lentes conocido como aberración cromática.

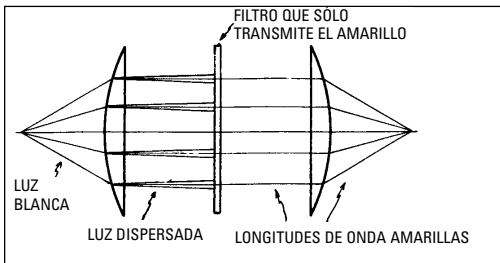
La aberración cromática se debe a que cada una de las longitudes de onda se enfoca a una distancia diferente de la lente. La luz blanca que incide en la superficie de la lente se dispersa y cada longitud de onda se refracta en diferente grado.



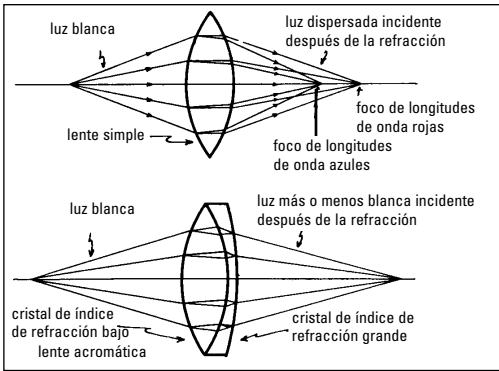
Con los instrumentos ópticos, es especialmente importante reducir la aberración cromática al mínimo, porque si está presente en una cantidad excesiva, las partes más extremas de las imágenes formadas por ese sistema óptico pueden aparecer borrosas y coloreadas. Estas imágenes son difíciles de enfocar claramente y pueden perjudicar la exactitud de las mediciones realizadas con el instrumento correspondiente.

Existen tres métodos para superar la aberración cromática:

1. Utilizar una fuente de luz que sólo emita una determinada longitud de onda o, como máximo, una banda estrecha de longitudes de onda (lámpara de vapor de sodio). Estos rayos, al atravesar el sistema óptico, no serán dispersados o, cuando menos, lo serán dentro de unos estrechos límites.
2. Introduciendo en el sistema un filtro que solo deje atravesar una, o unas pocas, longitudes de onda, en este caso sólo habrá aberraciones en las partes del sistema óptico previas al filtro. Una vez que el filtro haya eliminado todas las longitudes de onda, con la excepción de unas pocas, la aberración habrá sido eliminada o reducida, según la eficacia del filtro empleado.



3. Sustituir una lente simple por un doblete de lentes. La aberración cromática de un objetivo doble puede reducirse por debajo de la que presentaría una lente simple con la misma distancia focal combinando distintos tipos de cristales con los índices de refracción y dispersión adecuados (habitualmente un cristal Crown de índice de refracción bajo y cristal Flint de índice alto, ambos con el mismo valor de dispersión) y diseñando las superficies con la curvatura correcta. Este tipo combinado de lente se llama lente acromática.

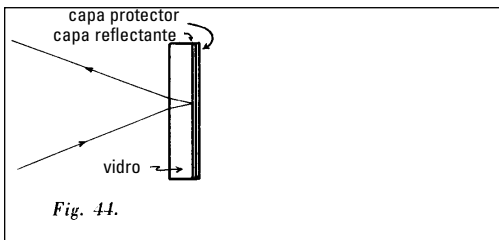


En los instrumentos de medición se emplean varios tipos de retículos. Un retículo consiste, normalmente, en una pieza de cristal con superficies planas y paralelas en una de las cuales están grabadas las líneas de referencia. Estas líneas se graban en forma de cruz y/o en círculos simples o concéntricos. También pueden tener forma de escala de medida.



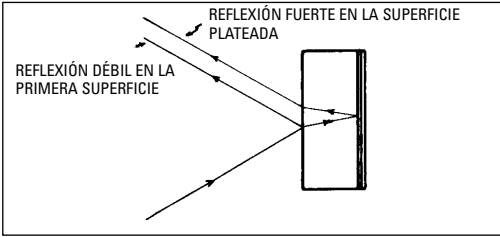
Los retículos se integran en los sistemas ópticos de forma que aparezcan en el plano focal de la imagen observada. De esta forma, aparecen en el mismo plano que la imagen y se pueden utilizar para alinear la imagen o para medirla.

Un espejo normal consiste en una lámina de vidrio de superficies paralelas. En la superficie posterior se aplica un revestimiento reflectante (plata, aluminio, etc.) y por encima de éste se coloca una capa de material protector.

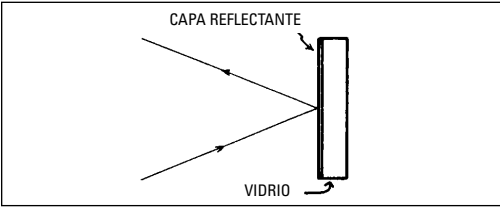


No olvidemos que el ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidencia.

A pesar de que la superficie frontal de un espejo no está revestida de plata, refleja una pequeña porción (aproximadamente el 4%) de la luz incidente. El resultado es que la imagen de un rayo procedente del eje óptico se dobla. Esta imagen tiene muy baja intensidad comparada con la otra, pero en aplicaciones críticas puede ser suficiente para alterar la imagen.

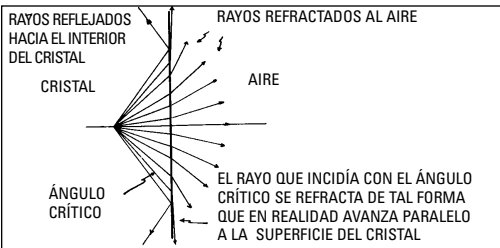


To get around this difficulty, we silver the front surface and all reflection takes place at that surface. Such mirrors are known as “first surface mirrors”. The reflecting surface is quite fragile, easily scratched, etc., if no protective coating is put over it.



Los prismas, a veces, se utilizan como reflectores. Esto es posible gracias a una propiedad del vidrio que impide que los rayos que inciden en su superficie con un ángulo por encima de un valor determinado, llamado ángulo crítico, se refracten y puedan emerger. Para nuestros fines, sólo vamos a considerar esta propiedad desde el punto de vista del rayo que está atravesando el vidrio y llega a la segunda superficie del mismo.

Para cada rayo de luz que incide sobre la superficie de una lámina de cristal existe un ángulo, denominado ángulo crítico tal que los rayos que lleguen a la superficie con un ángulo menor al crítico son refractados y salen del vidrio y los que llegan con un ángulo mayor al crítico se reflejan de forma que vuelven al interior del vidrio en vez de refractarse y salir al exterior. El rayo que incide justo con el ángulo crítico se refracta a lo largo de la superficie de la lámina de cristal. Esta reflexión ocurre sin que la superficie del vidrio esté recubierta por una capa de plata y se llama reflexión total.



Si seleccionamos de forma apropiada los ángulos entre las superficies de un prisma, podemos diseñar prismas de reflexión total muy útiles para, pe., poner directas las imágenes invertidas y para cambiar de dirección sin que ocurra aberración cromática.

Hay muchos tipos de prisma de reflexión total que se pueden utilizar en muchos tipos de instrumentos.

Para algunos fines se utilizan espejos en forma esférica ya sea cóncava o convexa. Un espejo esférico cóncavo tiene la distancia focal y enfoca los rayos en un punto delante del espejo. Un espejo convexo también tiene una distancia focal definida (negativa) y hace diverger los rayos que inciden paralelos. El foco de un espejo convexo es imaginario y se ubica detrás del espejo.

### 3.0 Repaso de los temas del capítulo segundo

#### Lentes y prismas

1. Rayos incidentes paralelos son refractados por una lente biconvexa y:

1. se enfocan en un punto real
2. divergen
3. se reflejan

La distancia focal de una lente puede modificarse:

1. disminuyendo el tamaño de la lente
2. aumentando el tamaño de la lente
3. modificando la curvatura de una o ambas superficies

La distancia focal de una lente es la distancia entre la lente y:

1. el círculo de aberración
2. el punto de enfoque de los rayos que inciden paralelos
3. el ojo

4. Una lente de distancia focal de ? tiene una potencia de:

1. 2 dioptrías
2. 4 dioptrías
3. ? dioptría

5. Si el centro mecánico se desplaza debido a que se modifican los bordes de la pieza, el centro óptico:

1. permanece donde estaba
2. se desplaza a un nuevo punto de la lente
3. Desaparece

6. Las lentes positivas son más gruesas:

1. en el centro que en los bordes
2. en los bordes que en el centro

7. Las lentes bicóncavas y plano convexas son:

1. ambas lentes negativas
2. ambas lentes positivas
3. una lente positiva y una negativa

8. Lentes plano-cilíndricas tienen distancia focal en:

1. todos los meridianos
2. sólo en uno
3. en ninguno

9. Las lentes esférico-cilíndricas tienen:

1. la misma distancia focal en todos los meridianos
2. un meridiano con mayor distancia focal
3. ningún meridiano tiene distancia focal

10. La potencia de un prisma está determinada por :

1. el tamaño del prisma
2. el color del prisma
3. la desviación que produce respecto a la trayectoria inicial

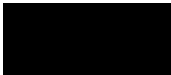
11. La aberración cromática se manifiesta a través del:

1. enfoque de diferentes longitudes de onda a la misma distancia de la lente
2. el enfoque de las mismas longitudes de onda a diferentes distancias de la lente
3. el enfoque de diferentes longitudes de onda a diferentes distancias de la lente

12. Una lente acromática tiene el efecto de enfocar varias longitudes de onda en:

1. el mismo punto
2. puntos diferentes
3. ningún punto









Due to a policy of continuous development, we reserve the right to change specifications without notice.

Aufgrund der fortlaufenden Neuentwicklungen behalten wir uns das Recht vor, jederzeit ohne Vorankündigung Änderungen vornehmen zu können.

En raison de notre politique de développement continu, nous nous réservons le droit de modifier les spécifications sans préavis.

En vista de nuestra política de desarrollo continuo, nos reservamos el derecho de modificar las especificaciones sin previo aviso.

Leica Microsystems Inc.  
Educational and Analytical Division  
PO Box 123  
Buffalo, New York USA 14240 0123

Tel 716 686 3000  
Fax 716 686 3085  
[www.leica-microsystems.com](http://www.leica-microsystems.com)  
ISO-9001 Certified

The Leica logo is written in a classic, elegant script font with a thick underline that extends across the width of the letters.