De todas las aberraciones, tres son las más importantes y merecen tratarse por separado.

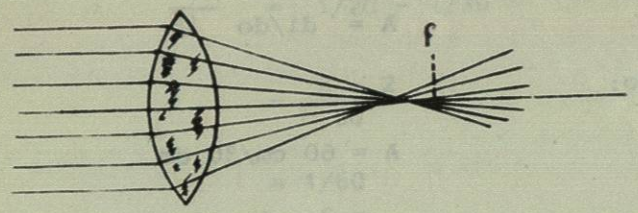


Fig. 8.

4-6 ABERRACIÓN ESFÉRICA.

La aberración esférica es un defecto de las lentes esféricas, originado porque los rayos de luz que están lejos del eje no se enfocan en el mismo punto que los más próximos a él (fig. 8).

Existen varias formas de eliminar el problema bloqueando los rayos que pasan por el borde de la lente y dejando sólo los que atraviesan el centro. Por supuesto, así se reduce notablemente la capacidad de la lente para recoger la luz. La aberración esférica de los instrumentos que utilizan lentes, puede también disminuirse por medio de una combinación apropiada de dos o más lentes. Otra forma de reducirse el problema es seleccionando mejor los radios de curvatura.

4-7 ABERRACIÓN CROMÁTICA.

Cuando la luz blanca pasa por una lente convexa cerca del borde, notaremos que los rayos de luz blanca se dispersarán y los rayos que más refractarán serán los violeta (según se mencionó en el capítulo anterior).

Si se mira a través de una lupa, principalmente cuando se pone un poco fuera de foco, puede notarse que las imágenes están rodeadas por una sombra generalmente color roja o azul. A este fenómeno se le llama generalmente *aberración cromática*.

Este defecto puede corregirse con el uso de dos lentes de diferente clase de vidrio, una convexa y otra cóncava; tal y como lo indica la figura 9. Con este método se logra que la dispersión originada por uno de ellos se anule parcialmente con la otra. A este tipo de lentes se le llama *lentes acromáticos*. Debido a que hay muchos colores en la luz, no sólo rojo y azul, la corrección no es perfecta. Las mejores lentes acromáticas se fabrican con más de dos componentes.

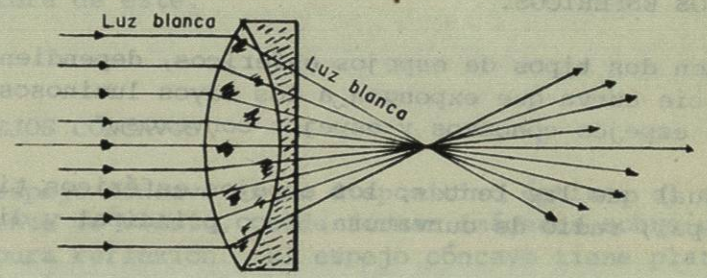


Fig. 9.

4-8 ESTUDIO DE LOS ESPEJOS.

La superficie del agua, las superficies enceradas o pintadas con brillo, o incluso los cristales de las ventanas actúan como buenos reflectores; por eso los espejos están recubiertos de plata o algún otro metal para reflejar mejor la imagen que a ellos llega.

Existen dos tipos de espejos que tienen diferentes características. Los dos tipos son: espejos planos y espejos esféricos.

4-9 ESPEJOS PLANOS.

Cuando estamos frente a un espejo plano, vemos nuestra figura reflejada en el espejo, y la vemos a una distancia

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

igual a la que nosotros estamos del espejo. En este caso, el espejo se verá como si fuera un vidrio y nuestra imagen estará detrás de él, con la única diferencia de que estará en sentido contrario; o sea que el brazo derecho nuestro, se verá como brazo izquierdo y el izquierdo como brazo derecho. La fórmula para encontrar la distancia de la imagen se verá un poco más delante cuando se traten los espejos esféricos.

4-10 ESPEJOS ESFÉRICOS.

Existen dos tipos de espejos esféricos, dependiendo de la superficie curva que expongan a los rayos luminosos. Éstos serán: espejos cóncavos y espejos convexos.

Al igual que las lentes, los espejos esféricos tienen un eje principal, radio de curvatura, foco principal y distancia focal.

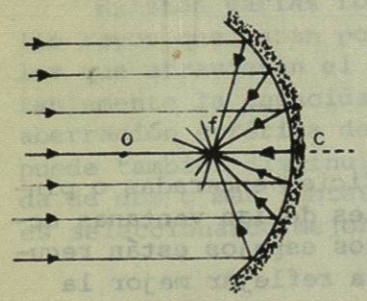


Fig. 10.

En la figura 10 están representadas todas estas partes del espejo. Por ejemplo, el radio de curvatura está representado por la distancia que existe entre el punto C y el O de tal manera que estará representado como OC. Esta distancia también marca la dirección del eje principal, por lo que para una lente esférica, el eje principal también puede ser el valor numérico del radio de curvatura cuando está en el centro de la lente. La distancia focal es la distancia que existe entre el espejo y el foco principal de éste. En la figura 10 estaría representado como Cf, y el foco principal será aquel punto en el que incidan todos los rayos luminosos reflejados por el espejo tal y como lo muestra la figura 10.

Experimentalmente se ha encontrado que en los espejos esféricos, guardan una relación muy aproximada el radio de curvatura y la distancia focal, siendo ésta la mitad del radio de curvatura. Expresada matemáticamente:

$$\text{Distancia focal} = \frac{\text{radio de curvatura}}{2}$$

$$\boxed{df = r/2} \qquad (5)$$

donde df es la distancia focal del espejo y r el radio de la curvatura de éste.

4-11 ESPEJOS CÓNCAVOS.

El espejo cóncavo es un dispositivo óptico, el cual, como una lente de vidrio, puede formar imágenes sobre una pantalla por pura reflexión. El espejo cóncavo tiene plateada su superficie interior tal y como lo muestra la figura 11.

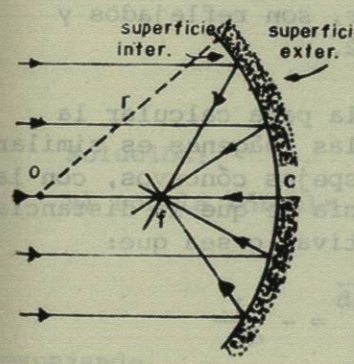


Fig. 11.

Al igual que en los lentes, la imagen producida por un espejo cóncavo puede calcularse por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{df}$$

pero como df = r/2, entonces:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{\frac{r}{2}}$$

haciendo operaciones, nos queda:

$$\boxed{\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{2}{r}}$$

Los espejos cóncavos siempre tendrán la distancia focal y distancia del objeto positivo y producirán imágenes reales, o sea, que se pueden recoger en una pantalla.

La fórmula para calcular el aumento en las lentes esféricas es aplicada también a los espejos esféricos, o sea que:

$$A = Ti/To$$

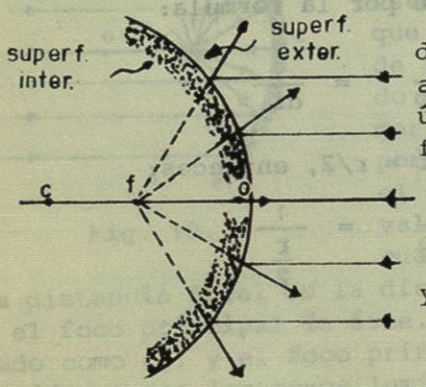
o también:

$$A = di/do$$

Ya sabemos que Ti es el tamaño de la imagen, To es el tamaño del objeto, di es la distancia de la imagen y do es la distancia del objeto.

4-12 ESPEJOS CONVEXOS.

Este tipo de espejos, al igual que las lentes divergentes, producen una imagen virtual. Los rayos de luz que llegan al espejo por la superficie exterior, son reflejados y dispersados como lo muestra la figura 12.



La fórmula para calcular la distancia de las imágenes es similar a la de los espejos cóncavos, con la única diferencia de que la distancia focal es negativa, o sea que:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{df}$$

y como $df = r/2$:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{r/2}$$

simplificando obtenemos que:

$$\boxed{\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{2}{r}} \qquad (7)$$

Existen varias reglas para que esta fórmula sea válida, estas fórmulas son.

1.- Para espejos convexos df es negativa; para espejos cóncavos df, es positiva.

2.- do siempre es positiva.

3.- Si di es positiva, la imagen es real y está delante del espejo. Si di es negativa la imagen es virtual y está atrás del espejo.

Ejemplo 4. Un espejo cóncavo tiene una distancia focal de 12 cm, si se pone delante del espejo un objeto a una distancia de 20 cm; ¿cuál será: a) la distancia a la cual aparece la imagen, b) el aumento , c) qué tipo de imagen será?

Datos:

df = 12 cm

do = 20 cm

incógnita

di = ?

A = ?

Solución:

a) Por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{1}{df}$$

Despejando,

$$\frac{1}{di} = \frac{1}{df} - \frac{1}{do}$$

$$di = \frac{do\ df}{do - df}$$

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

Sustituyendo los datos:

$$di = \frac{(20)(12)}{(20-12)}$$

$$= \frac{240 cm^2}{8 cm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

b) Sabemos que:

$$A = \frac{di}{do}$$

sustituyendo datos:

$$A = \frac{30 \text{ cm}}{20 \text{ cm}}$$

$$= 1.5$$

Esto significa que la imagen producida estará 1.5 veces aumentada.

c) La imagen será real y podrá recogerse en una panta-- lla.

Ejemplo 5. Un espejo convexo tiene una distancia focal de -18 cm. Si la imagen está localizada a -4 cm. ¿Cuál será la distancia a la que se encuentra situado el objeto?

Datos:

di =-4 cm

df = -18 cm

incógnita
do = ?

Solución.

Por la fórmula:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{1}{df}$$

Despejando, $$\frac{1}{do} = -\frac{1}{df} - \frac{1}{di}$$

Sustituyendo datos:

$$\frac{1}{do} = -\left(-\frac{1}{18}\right) - \left(\frac{1}{-4}\right)$$

$$do = \frac{(18)(4)}{18+4} =$$

$$do = 3.272 \text{ cm.}$$

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

PROBLEMAS PARA ANALIZAR.

1.- Un objeto se encuentra colocado a una distancia de 10 cm de una lente convergente que tiene una distancia focal de 12 cm. Determinar la distancia a la que se forma la imagen. ¿De qué tipo será la imagen, real o virtual? Explicar las respuestas anteriores.

Solución:

Datos:

Lente convergente (df es positiva)
do = 10 cm
df = 12 cm

Como es una lente convergente, usaremos la fórmula:

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = 1/df$$

despejando:

$$1/di = 1/df - 1/do$$

$$1/di = \frac{do - df}{df \times do}$$

invirtiendo ambos términos:

$$di = \frac{df \times do}{do - df}$$

sustituyendo los datos:

$$di = \frac{12\ cm(10\ cm)}{10\ cm - 12\ cm}$$

$$= \frac{120\ cm}{-2\ cm}$$

$$= -60\ cm$$

Como la distancia de la imagen es negativa, por la tercera regla para el empleo de la fórmula de las lentes, deducimos que: la imagen es virtual.

(Podemos notar que di es negativa porque la distancia del objeto es menor que la distancia focal).

2.- Un objeto está colocado a 20 cm de una lente divergente que tiene una distancia focal de 10 cm. Determinar a qué distancia se forma la imagen, y si ésta es real o virtual.

Solución:

Datos:

Lente divergente (df es negativa)
do = 20 cm
df = 10 cm

Como df es negativa, la fórmula que usaremos será:

$$\frac{1}{do} + \frac{1}{di} = -\frac{1}{df}$$

despejando:

$$\frac{1}{di} = -\frac{1}{df} - \frac{1}{do}$$

$$= \frac{-do - df}{df \times do}$$

invirtiendo los términos:

$$\frac{1}{di} = \frac{df \times do}{-do - df}$$

sustituyendo los datos:

$$di = \frac{10\ cm(20\ cm)}{-20cm - 10\ cm}$$

$$= \frac{20\ cm^2}{-30\ cm}$$

$$= -6.66\ cm$$

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

Como tenemos que la distancia de la imagen es negativa, sabemos que la imagen es virtual, y recordamos que las lentes divergentes producen siempre imágenes virtuales cualquiera que sea el lugar donde se coloque el objeto.

3.- Si en los problemas anteriores, el tamaño de objeto es de 10 cm, ¿cuál será el tamaño de la imagen y el aumento de la lente: a) en el problema 1, b) en el problema 2?

Solución:

Para el inciso a) tenemos como datos:

To= 10 cm
do= 10 cm
di= -60 cm

Utilizando la fórmula:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

despejando:

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{-60\ cm}{10\ cm}\ (10\ cm)$$

$$= -60\ cm$$

ó $$Ti = 60\ cm$$

El signo negativo solamente nos indica que la imagen es virtual, y aparece a la derecha, del mismo lado que el objeto.

El aumento de la lente será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{60\ cm}{10\ cm}$$

$$= 6$$

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{60\ cm}{10\ cm}$$

$$= 6$$

(No es necesario poner el signo negativo de Ti y de di, el resultado nos indica que la imagen es aumentada 6 veces y aparece 6 veces más lejos del centro de la lente.

Para el inciso b) tenemos como datos:

To= 10 cm
do= 20 cm
di= -6.66 cm

Resolviendo de la misma manera que en el inciso a), tenemos:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

$$= \frac{-6.66cm}{20\ cm}\ (10\ cm)$$

$$= -3.33\ cm$$

De igual forma, la imagen aparece como virtual, derecha, del mismo lado donde se coloca el objeto, pero en este caso es menor el tamaño de la imagen que el del objeto.

El aumento de la lente será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{3.33\ cm}{10\ cm}$$

$$= 0.333 \quad (ó\ 1/3)$$

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{6.66\ cm}{20\ cm}$$

$$= 0.333\ (ó\ 1/3)$$

El resultado nos indica que la imagen es menor 0.333 veces que el objeto, o que Ti es un tercio de To (Ti = 1/3 To). Igualmente la distancia de la imagen es un tercio, o una tercera parte de la distancia a la que se encuentra el objeto (di= 1/3 do).

4.- Se tiene un espejo esférico cóncavo con un radio de curvatura de 2 m. Si se coloca un objeto de 20 cm de altura delante de él a una distancia de 1 m, calcular: a) la distancia a la que aparecerá la imagen, b) el tamaño de la imagen y c) el aumento del espejo.

Solución:

Datos:

Espejo esférico cóncavo.
r = 1.2 m = 120 cm
To= 20 cm
do= 1 m = 100 cm

La fórmula o ecuación para espejos cóncavos es:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = \frac{2}{r} \qquad (6)$$

despejando:

$$\frac{1}{di} = \frac{2}{r} - \frac{1}{do}$$

$$= \frac{2do - r}{r\ x\ do}$$

invirtiendo términos:

$$di = \frac{r\ x\ do}{2do-r}$$

sustituyendo datos:

$$di = \frac{120\ cm(100\ cm)}{2(100\ cm)-120\ cm}$$

$$= \frac{12000\ cm^2}{80cm}$$

$$= 150\ cm$$

Como di es positiva, la imagen es real.

Para el inciso b):

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

despejando:

$$Ti = \frac{di}{do}\ To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{150\ cm}{100\ cm}\ (20\ cm)$$

$$= 30\ cm$$

Y el aumento del espejo será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{30\ cm}{20\ cm}$$

$$= 1.5$$

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

5.- Un objeto de 5 cm de altura se encuentra situado delante de un espejo convexo de 10 cm de radio. Si el objeto refleja una imagen a 30 cm de distancia, calcular: a) la distancia en que fue colocado el objeto, b) el tamaño de la imagen y, c) el aumento del espejo.

(Habrá que recordar que los espejos convexos, al igual que las lentes divergentes, formarán siempre imágenes virtuales, por lo que di es negativa y el radio del espejo convexo también deberá tomarse negativo).

Por las consideraciones anteriores, los datos que tenemos para resolver este problema son:

To= 5 cm
r = -10 cm
di= -30 cm

La ecuación para espejos convexos es:

$$\frac{1}{di} + \frac{1}{do} = -\frac{2}{r} \qquad (7)$$

despejando do:

$$\frac{1}{do} = -\frac{2}{r} - \frac{1}{di}$$

$$= \frac{-2di - r}{r \times di}$$

Invirtiendo ambos términos:

$$do = \frac{3 \times di}{-2di-r}$$

sustituyendo datos:

$$do = \frac{(-10cm)(-30\ cm)}{-2(-30\ cm)-(-10\ cm)}$$

$$= \frac{300\ cm^2}{70\ cm}$$

$$= 4.28\ cm$$

Se cumple la regla que dice: "do siempre es positiva".

Para el inciso b) usaremos la fórmula:

$$\frac{Ti}{To} = \frac{di}{do}$$

donde:

$$Ti = \frac{di}{do} To$$

sustituyendo:

$$Ti = \frac{-30\ cm}{4.28cm} (5\ cm)$$

$$= -35\ cm$$

El signo negativo solamente indica que la imagen es virtual, se encuentra del mismo lado del objeto, y vemos que además, la imagen es mayor que el objeto.

El aumento del espejo será:

$$A = \frac{Ti}{To}$$

$$= \frac{35\ cm}{5\ cm}$$

$$= 7$$

$$A = \frac{di}{do}$$

$$= \frac{30\ cm}{4.28\ cm}$$

$$= 7$$

Aquí no se tomaron en cuenta los signos porque no era necesario. Del resultado deducimos que la imagen es 7 veces mayor que el objeto, y que se encuentra 7 veces más lejos del centro del espejo.

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA