

ÓPTICA GEOMÉTRICA

Es parte de la óptica que estudia la construcción de imágenes mediante representaciones geométricas generadas por la trayectoria que sigue la luz, cuando sufre cambios de dirección en la reflexión y en refracción.

CONCEPTOS BÁSICOS

RAYO DE LUZ

Se supone que la luz no se difracta, por lo tanto, es una línea imaginaria que avanza en el mismo sentido de propagación de la luz. Se la grafica o simboliza con un rayo (segmento con flecha, semirrecta), que representa cómo se propaga la luminosidad.

Para encontrar la trayectoria de los rayos de luz es necesario conocer las leyes que estructuran la óptica geométrica:

1. **Ley de propagación rectilínea de la luz:** Cuando el rayo de luz viaja en un medio homogéneo e isótropo lo hace siempre en línea recta.
2. **Ley de la independencia de los rayos luminosos:** Cada rayo de luz es independiente de los demás, esto es, no interactúan entre sí.
3. **Ley de reciprocidad:** La trayectoria de todo rayo luminoso es reversible.
4. **Leyes de la reflexión y de la refracción:** Que ya fueron estudiadas anteriormente.
5. **Principio de Fermat:** El trayecto seguido por un rayo de luz al propagarse de un punto a otro es tal que el tiempo empleado en recorrerlo es el mínimo posible.

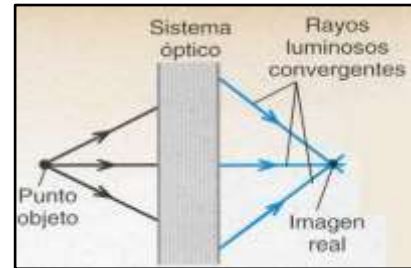
SISTEMA ÓPTICO

Constituye el conjunto de medios materiales por los que la luz se propaga. Está formado por un conjunto de superficies que separan distintos medios. Según el radio de curvatura de las superficies, los sistemas pueden ser esféricos o planos.

Si consta de una sola superficie el sistema es sencillo y si está formado por varias superficies es compuesto. Los sistemas ópticos compuestos por superficies esféricas se dice que son centrados si los centros de los radios de curvatura están alineados.

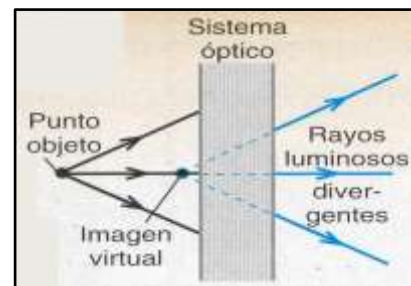
• Sistema óptico estigmático

Los rayos procedentes de un punto dan lugar a la formación de una imagen puntual.



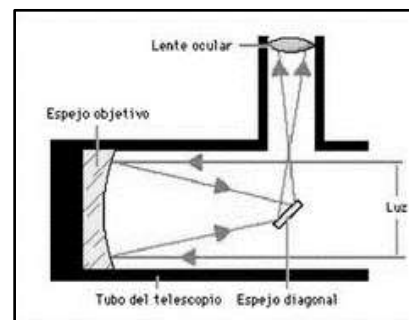
• Sistema óptico astigmático

Los rayos procedentes de un punto NO forman una imagen puntual.



• Sistema óptico centrado

Todas las superficies ópticas que lo forman sean transparentes o reflectantes son de revolución, con un eje de revolución común para todas. A este eje se le denomina eje óptico del sistema.

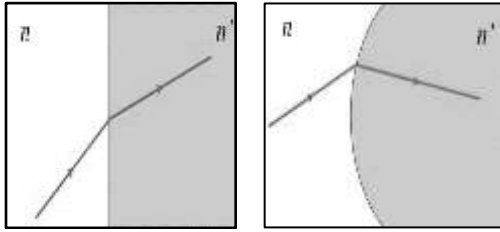


EJE ÓPTICO

Es la recta imaginaria que une los centros de las superficies esféricas.

DIOPTRIO

Es la superficie que separa dos medios de distintos índices de refracción. Los dioptrios pueden ser planos y esféricos.



OBJETO

Es la fuente emisora de los rayos luminosos, ya sean propios o reflejados. Se denota con la letra O.

Para su análisis al objeto se lo coloca sobre el eje óptico, a la izquierda del dioptrio y de los infinitos rayos que salen de él sólo se analizan tres, que salen del extremo que no se encuentra sobre el eje.

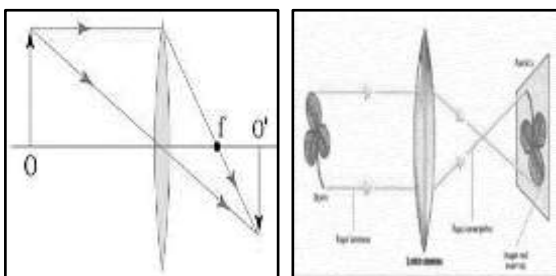
Los rayos, que viajan de izquierda a derecha, llegan al dioptrio y se reflejan según las leyes de la refracción o reflexión. Cuando los rayos reflejados se cortan en un punto, son convergentes, o si se cortan en sus prolongaciones, son divergentes, dando lugar al punto imagen del objeto

IMAGEN

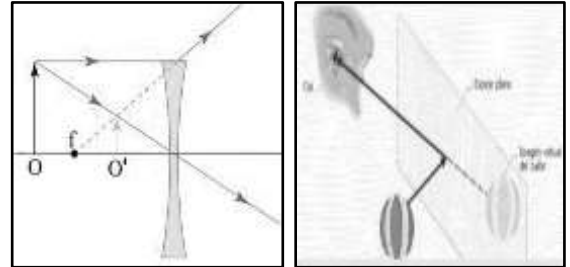
Es el punto en el que convergen los rayos procedentes del objeto tras su paso por el sistema óptico. Se denota por O'. Si los rayos convergen o no convergen pueden distinguirse las características que presentan la imagen en función del objeto:

- **Tamaño:**
Aumentada: Es más grande que el objeto.
Natural: Es igual como el objeto.
Disminuida: Es más pequeña que el objeto
- **Posición:**
Derecha: Tiene la misma orientación que el objeto
Invertida: Tiene la orientación contraria al objeto.
- **Naturaleza o tipo:**
Imagen real
Imagen virtual

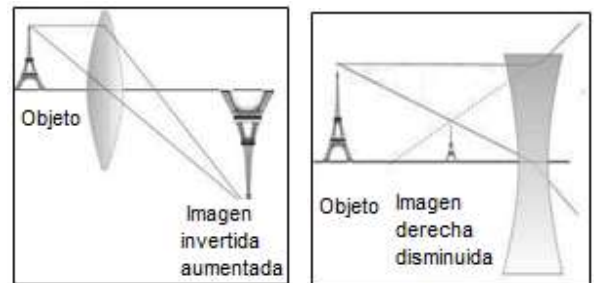
Imagen real: Cuando los rayos convergen en un punto, de forma que puede registrarse sobre una pantalla o imagen fija.



- **Imagen virtual:** Cuando los rayos divergen y por tanto no se cortan, no pudiéndose registrar sobre una pantalla, pero sí ser captada a través de un sistema óptico como el ojo humano. Un ejemplo de este tipo de imágenes es el reflejo de un objeto en un espejo plano.



Imágenes que se forman son por Reflexión y por Refracción:



El análisis de la óptica geométrica se concreta al estudio de la óptica por reflexión y por refracción en función del dioptrio que separa los dos medios.

ÓPTICA POR REFLEXIÓN

Se analiza las imágenes formadas por los espejos planos y esféricos.

- El **espejo** constituye una superficie pulida en la que, al incidir la luz, se refleja cumpliendo con las leyes de la reflexión.

ÓPTICA POR REFRACCIÓN:

Se analiza las imágenes formadas a través de Dioptrios y Lentes delgadas.

- El **dioptrio** es un sistema óptico formado por una superficie en la que se refracta la luz y que separa dos medios transparentes, homogéneos e isótropos (cuerpo sólido de vidrio plástico, etc.).
- Las **lentes** son objetos transparentes (normalmente de vidrio), limitado por dos superficies, de las que al menos una es curva. Las lentes se basan en distintos grados de refracción que experimentan los rayos de luz al incidir en la lente.

ÓPTICA POR REFLEXIÓN

ESPEJO

Es una superficie lisa y pulimentada que refleja todos los rayos que llegan a ella. El espejo refleja la luz haciendo que los rayos varíen su trayectoria. Según su forma se distinguen en:

- Espejos planos
- Espejos esféricos

ESPEJOS PLANOS

Un espejo plano es una superficie plana muy pulimentada que puede reflejar la luz que le llega con unacapacidad reflectora de la intensidad de la luz incidente del 95% (o superior).



Por lo general, los espejos planos son los que se usan todas las mañanas, o cuando lo creemos conveniente, para mirarnos.

Los espejos planos son aquellos cuya superficie reflectora es plana (de ahí su nombre). En ellos vemos nuestro reflejo, una imagen que no está distorsionada.

Cuando los pueblos antiguos lograron dominar la metalurgia, hicieron espejos puliendo superficies metálicas (plata).

Los espejos corrientes son placas de vidrio plateadas. Para construir un espejo se limpia muy bien un vidrio y sobre él se deposita plata metálica por reducción del ion plata contenido en una disolución amoniaca de nitrato de plata. Después se cubre esta capa de plata con una capa de pintura protectora.

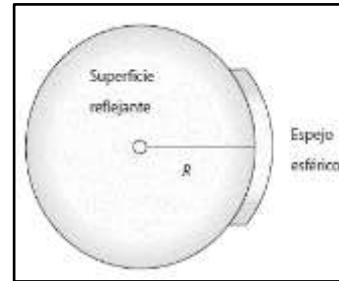
El espejo puede estar plateado por la cara anterior o por la posterior, aunque lo normal es que esté plateada la posterior y la anterior protegida por pintura. La parte superior es de vidrio, material muy inalterable frente a todo menos al impacto.

ESPEJOS ESFERICOS

Cuando se tiene la oportunidad de mirarse en espejos en los que se ve más gordo, más flaco, más alto o más bajo, se puede notar que estos

espejos no son planos sino curvos. De acuerdo con su forma, los espejos curvos pueden ser esféricos, parabólicos y cilíndricos. Los esféricos son los más usuales después de los planos porque es fácil pulirlos.

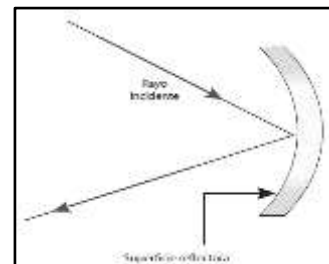
Los espejos esféricos son aquellos cuya superficie es un casquete esférico.



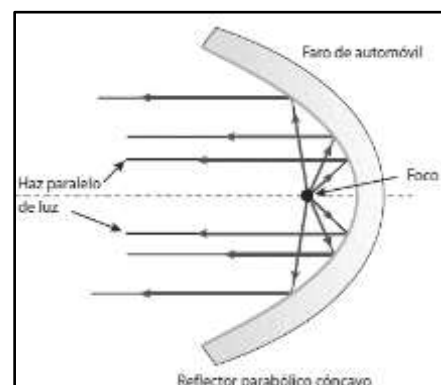
Los espejos esféricos tienen la forma de un segmento de una superficie esférica.

Los espejos esféricos se clasifican en cóncavos y convexos, lo que depende de cuál es la superficie reflectora.

Los **espejos cóncavos** son aquellos cuya superficie reflectora es la interior. Por ejemplo, la parte interior de un bombillo navideño.

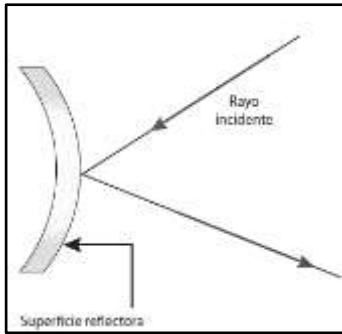


Los espejos cóncavos, también llamados espejos convergentes se emplean al rasurarse y maquillarse, ya que al aumentar la imagen proporcionan un acercamiento, es decir la imagen se va más grande. Ejemplos de este tipo de espejos son utilizados en los telescopios, en la otorrinolaringología, en los faros de automóvil utilizan espejos parabólicos cóncavos para producir un haz paralelo a partir de un pequeño foco colocado en el punto focal del reflector.

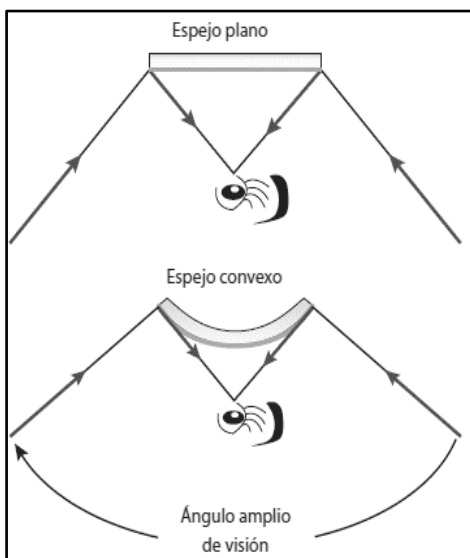




Los **espejos convexos** son aquellos cuya superficie reflectora es la exterior. Por ejemplo, la parte exterior de un bombillo navideño.

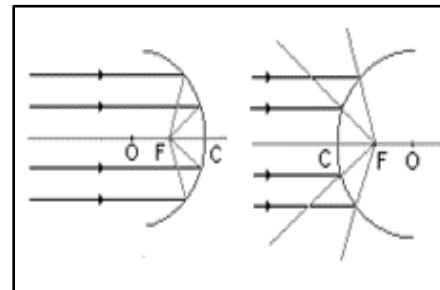


Los espejos convexos, también llamados espejos divergentes se usan en tiendas, bancos o en automóviles para disponer de un mayor ángulo visual, aunque hacen la imagen más pequeña, lo que genera la sensación de que el objeto se encuentra más lejos.



Los espejos esféricos tienen los siguientes elementos y características:

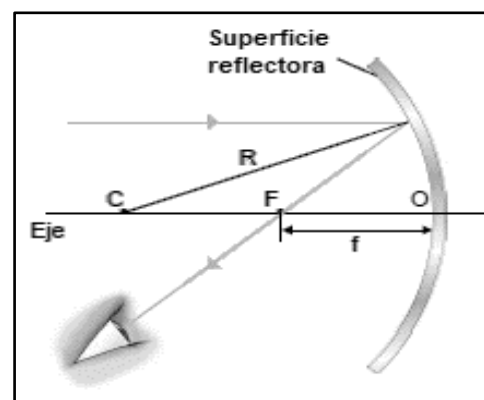
- Radio de curvatura (R), o radio de la esfera de la que es parte la superficie esférica.
- Centro de curvatura (C), centro de la esfera de la que es parte la superficie esférica.
- Foco (F), punto medio entre el centro de curvatura y el vértice y es el punto en el que se concentran los rayos reflejados, para el caso de los espejos cóncavos, o sus prolongaciones si se trata de espejos convexos.
- Vértice (V), punto de referencia del espejo, generalmente se sitúa en el punto medio de éste. En este punto pasa el eje principal.
- Eje principal (Ep), también se lo llama eje óptico y es la recta que pasa por el centro de curvatura y el vértice.



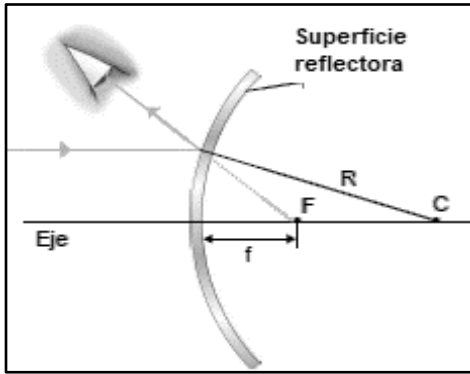
- Ejes secundarios (Es), rectas que pasan por el centro de curvatura y hacen un ángulo con el eje principal.
- Distancia focal (f), distancia entre el foco y el vértice, además constituye la mitad de la distancia entre el centro y el vértice.

$$f = \frac{R}{2}$$

Elementos del espejo cóncavo:



Elementos del espejo convexo:

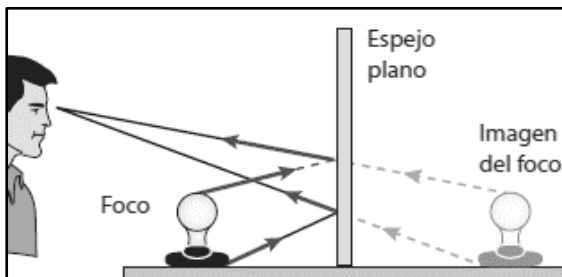


A diario los encontramos en nuestras casas: bolitas de navidad, cazuelas, cucharas, etc. Cuando son manipuladas estos objetos se nota que la imagen que reflejan no posee las mismas características que en los espejos planos. En realidad, estas características dependen, entre otras cuestiones, del tipo de espejo y de la distancia a la que se encuentra el objeto.

FORMACIÓN DE IMÁGENES EN ESPEJOS.

ESPEJOS PLANOS

Al observar a través de un espejo un objeto, la imagen de éste se ve como si atravesara a aquél. Por ejemplo, al colocar un foco enfrente de un espejo plano lo que se ve no es la luz que emite directamente el foco, sino la luz que refleja el espejo. Nuestro cerebro toma esos rayos reflejados y los prolonga detrás del espejo; la imagen que se observa del foco se denomina imagen virtual, ya que sólo está en nuestra mente. No podemos tocar esa imagen, ni recibirla en una pantalla.



Las imágenes formadas en los espejos planos tienen las siguientes características.

- Imagen: Derecha, porque conserva la misma orientación que el objeto.
- Imagen: Tiene inversión izquierda-derecha. Es decir, si se levanta la mano izquierda, la imagen que se observa en el espejo levanta la mano derecha.

- Simetría: La imagen se localiza por detrás del espejo a la misma distancia que hay entre la persona y el espejo.
- Tamaño: La imagen es del mismo tamaño que el objeto o persona.
- Virtual: Se ve como si estuviera dentro del espejo, no se puede formar sobre una pantalla, pero puede ser vista cuando la enfocamos con los ojos.
- Leyes: La luz reflejada cumple las leyes de la reflexión.

La cantidad de luz reflejada por un cuerpo depende de:

- La naturaleza de la superficie (composición, estructura, densidad, color, entre otras)
- La textura de la superficie (plana, rugosa, regular, irregular, opaca, pulida, etc.)
- La longitud de onda de la luz, y de si está o no polarizada.
- El ángulo de incidencia de la luz sobre la superficie.

LEY DE REFLEXIÓN DE LOS ESPEJOS PLANOS

Reflexión: Es el fenómeno que se genera cuando la luz incide sobre una superficie y es desviado causando un cambio de dirección de la luz, que al entrar en contacto con la superficie regresa al punto donde se originó.

Reflexión de la luz: La luz al ser una manifestación de energía, las imágenes pueden ser reflejadas en un espejo.

La reflexión se da cuando los rayos de luz que inciden en una superficie chocan en ella, se desvían y regresan al medio al que salieron.

El rayo que llega a una superficie se le denomina "incidente". El rayo que rebota (después de reflejarse) es el "reflejado".

Al trazar una recta perpendicular a la superficie, se denomina Normal, y el rayo incidente forma un ángulo con esa recta llamada "ángulo de incidencia".

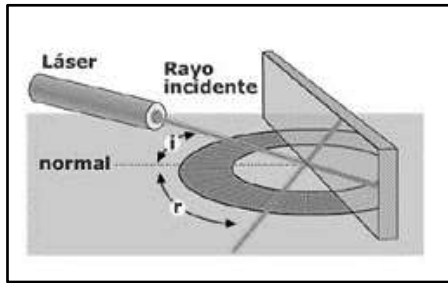
Cuando un rayo incide sobre una superficie que le refleja, cumple las llamadas "leyes de la reflexión":

1. El ángulo que forma el rayo incidente con la normal (θ_i) es igual al ángulo formado por el rayo reflejado y la normal (θ_r)

$$\theta_i = \theta_r$$

Esta ley se cumple en superficies pulidas y rugosas.

2. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.



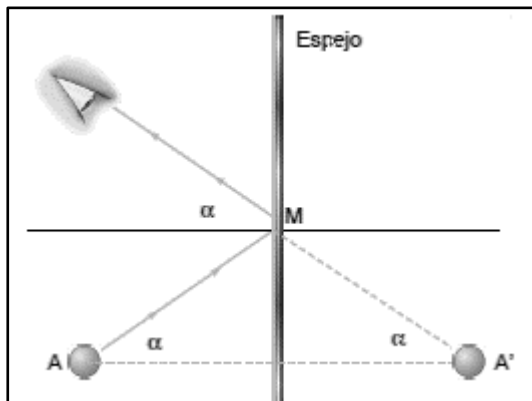
El rayo incidente define con la normal en el punto de contacto, un plano. El rayo reflejado estará en ese plano y no se irá ni hacia delante ni hacia atrás.

COSNTRUCCIÓN GEOMÉTRICA DE LA IMAGEN EN UN ESPEJO PLANO

El observador ve la imagen A' de A porque recibe el rayo reflejado en el espejo.

La imagen formada por el espejo plano es virtual y simétrica respecto al plano del espejo

La formación de la imagen en el espejo plano se rige por las leyes de la reflexión.



UNIÓN DE ESPEJOS PLANOS

Cuando unimos dos o más espejos planos de manera que formen un ángulo entre sí, se dice que estamos formando un espejo plano compuesto.

Cuando se coloca un espejo plano al lado de otro, formando un ángulo de 90°, y se pone un objeto entre ellos se ven tres imágenes en lugar de las dos que esperaríamos ver. Si se disminuye el ángulo entre los espejos el número de imágenes que se observan aumenta.

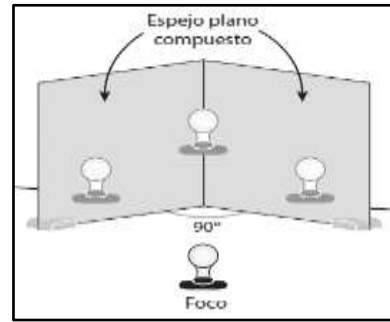
El número de imágenes se lo determina con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

Donde:

N = número de imágenes formadas

θ = ángulo de separación entre los espejos



Cuando el ángulo formado entre dos espejos planos es igual a 90° se puede observar tres imágenes.

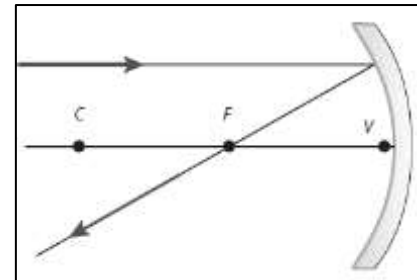
ESPEJOS ESFERICOS

Las imágenes que forman los espejos esféricos pueden determinarse mediante diagramas de rayos empleando dos o tres rayos particulares.

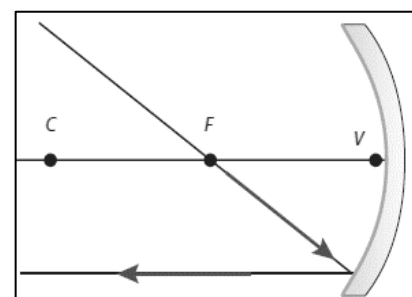
Este método consiste en considerar la reflexión de unos cuantos rayos divergentes a partir de algún punto de un objeto O que no se encuentre en el eje del espejo. El punto en el que se intersecaran todos esos rayos reflejados determina la ubicación de la imagen. Analizaremos ahora tres rayos cuyas trayectorias pueden trazarse fácilmente.

Trayectoria de los rayos:

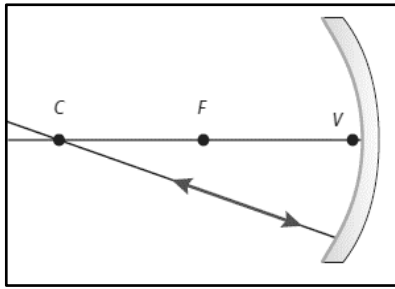
- **Rayo 1:** Un rayo paralelo al eje del espejo pasa a través del punto focal de un espejo cóncavo o parece provenir del punto focal de un espejo convexo.



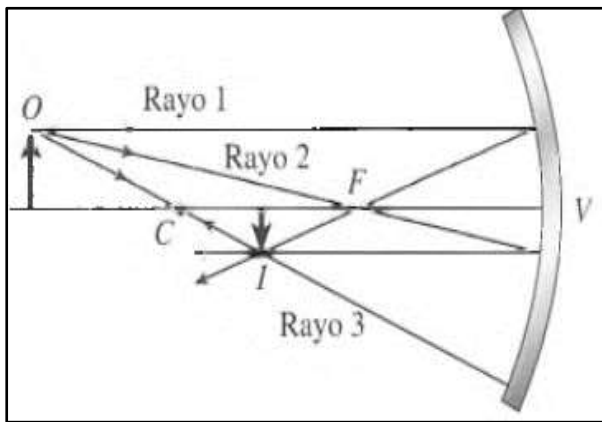
- **Rayo 2:** Un rayo que pasa por el punto focal de un espejo cóncavo o que se dirige al punto focal de un espejo convexo se refleja paralelamente al eje del espejo.



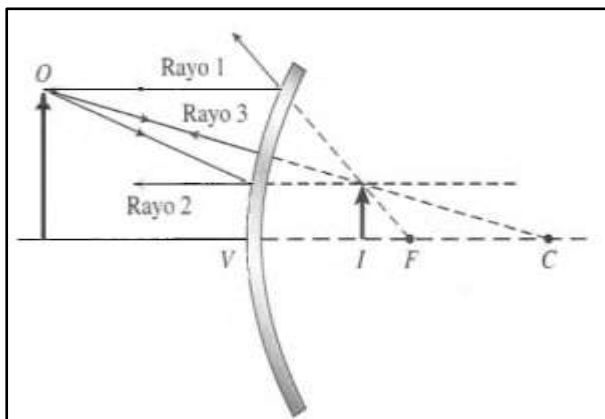
- **Rayo 3:** Un rayo que pasa por el centro de curvatura se refleja pasando por la trayectoria original (sobre sí mismo).



Cada uno de los rayos se ilustra, tanto para un espejo convergente (cóncavo)



Rayos formados en espejo divergente (convexo)

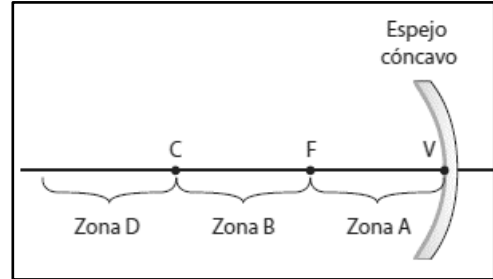


CONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES EN ESPEJOS ESFERICOS.

ESPEJO CONCAVO

Las imágenes que se forman en los espejos esféricos pueden ser reales o virtuales. Una imagen real la forma la convergencia de los rayos, por lo que puede obtenerse en una pantalla.

La tabla resume las características de las imágenes obtenidas en un espejo cóncavo cuando el objeto se coloca frente a él en diversas zonas. La zona A es la que se encuentra entre el vértice y el foco; zona B, la que se halla entre el foco y el centro de curvatura; y zona D, la que se localiza más allá del centro de curvatura.



Zonas del espejo cóncavo, F es el foco y C el centro de curvatura del espejo.

Caso	Zona de objeto		Imagen		
	Zona	Orientación	Tipo	Tamaño	
1	D	B	Invertida	Real	Menor
2	C	C	Invertida	Real	Igual
3	B	D	Invertida	Real	Mayor
4	F	No hay	—	—	—
5	A	Atrás del espejo	Derecha	Virtual	Mayor

Características de las imágenes de objetos que forman los espejos cóncavos.

Imágenes en espejos cóncavos:

Imagen ampliada:

El objeto se encuentra a una distancia superior a la distancia focal y cerca del foco entonces se forma una imagen real e invertida que es mayor al objeto.

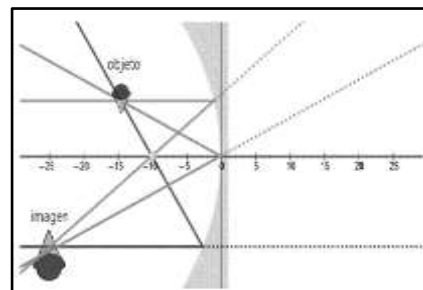


Imagen reducida:

El objeto se encuentra a una distancia superior a la distancia focal y más alejado del foco entonces se forma una imagen real e invertida que es menor al objeto.

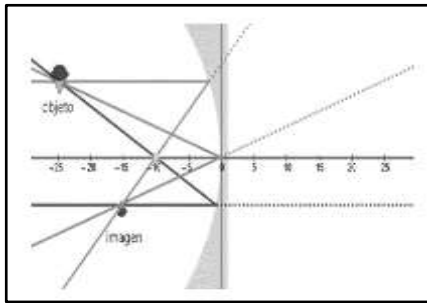
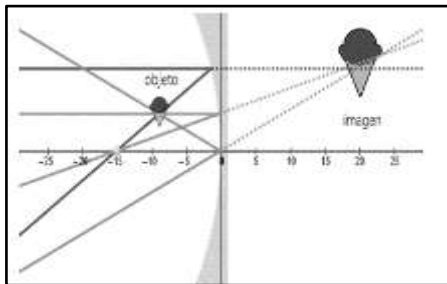


Imagen virtual:

El objeto se encuentra a una distancia inferior a la distancia focal, entonces se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto.



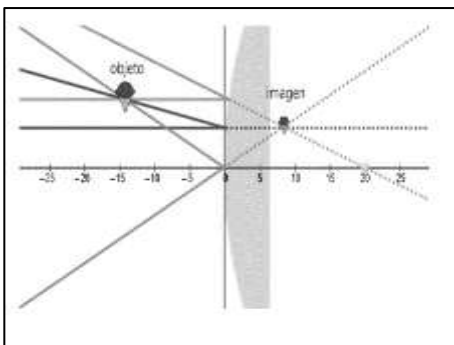
ESPEJO CONVEXO

Las imágenes que forman los espejos convexos presentan las mismas características, sin importar dónde se ubique el objeto que se observa. Las características de dichas imágenes son:

- Virtuales (detrás del espejo).
- Derechas.
- Menores que el objeto.

Imagen en un espejo convexo:

Siempre se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto:

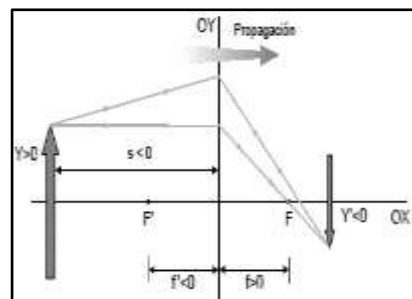


CONVENIO DE SIGNOS

Para estudiar las imágenes formadas por la óptica geométrica, se utilizan unos criterios de signos que permiten la estandarización de los cálculos, basados en las normas alemanas DIN (Deutschen Industrie Normen).

Estas normas también permiten determinar si los objetos y las imágenes son reales o virtuales. Hay que recordar que las imágenes reales se forman por rayos de luz verdaderos y deben hallarse frente al espejo. Mientras que las imágenes virtuales parecen situarse detrás de él.

- Las magnitudes y símbolos referidos a la imagen son los mismos que los referidos al objeto salvo que se les añade el símbolo prima (')
- La luz viaja de izquierda a derecha; de esta forma, las superficies de las lentes o espejos se ponen de tal manera que la luz incidente que llega al sistema óptico lo hace siempre por la izquierda y se propaga por la derecha.
- Los puntos se designan con letras mayúsculas y las distancias con minúsculas.
- El origen de coordenadas, O, es el vértice. Por tanto, las distancias tanto horizontales como verticales tomarán el signo que le corresponde en un sistema cartesiano centrado en O. Por ello, las distancias verticales serán positivas por encima del eje óptico y negativas por debajo, y las horizontales negativas a la izquierda y positivas a la derecha de este.
- Los ángulos de incidencia y refracción de un rayo tienen signo positivo si el ángulo medido desde el rayo a la normal por el camino más corto se toma en el sentido horario. Si no es así el ángulo es negativo.
- Los radios de curvatura (R) de las superficies de los elementos ópticos son positivos si el centro de curvatura se encuentra detrás de la superficie (es decir, en el lado que se produce la transmisión) y negativos en el caso contrario. Dicho en otras palabras: es positivo si está a la derecha del vértice y negativo si se encuentra a su izquierda.
- El objeto suele representarse con una flecha, la cual tiene un extremo sobre el eje principal del espejo.



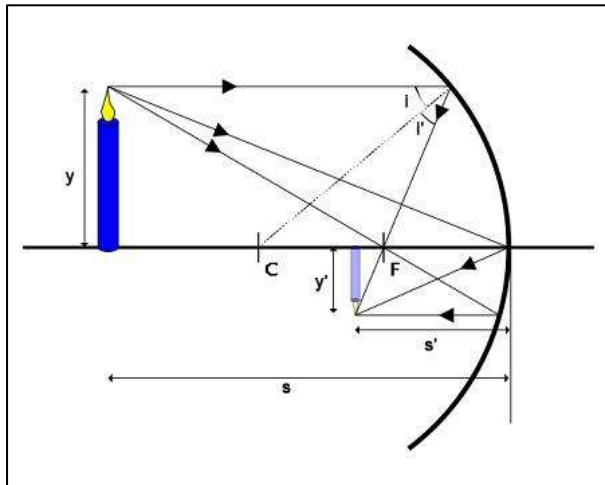
Los métodos gráficos son útiles para determinar la localización y el tamaño de las imágenes formadas. Sin embargo, una descripción precisa de la imagen formada requiere emplear el método analítico.

ECUACIÓN DE LOS ESPEJOS

El estudio general lo haremos con un espejo cóncavo, pero los resultados son válidos para cualquier tipo de espejo esférico.

Para ello nos ayudaremos del esquema adjunto y aplicaremos el criterio de signos en óptica y la ley de la reflexión:

1. La distancia al objeto (s) es negativa para objetos reales y positiva para objetos virtuales.
2. La distancia a la imagen (s') es negativa para imágenes reales y positiva para imágenes virtuales.
3. El radio de curvatura R y la longitud focal f son negativas para espejos convergentes (cóncavos) y positivos para espejos divergentes (convexos).



Según la ley de la reflexión, aplicando el criterio de signos para los ángulos tenemos que, para los ángulos de incidencia de uno de los rayos:

$$i = i'$$

Por otra parte, aplicando la ley de Snell para el espejo esférico y aplicando la igualdad de ángulos indicada por la reflexión:

$$n_1 \text{ sen } i = n_2 \text{ sen } i'; \quad n_1 = -n_2$$

Considerando el espejo esférico como un caso particular de un dioptrio esférico con $n_1 = -n_2$; la ecuación general encontrada para este tipo de dioptrios nos lleva a que:

La posición de los puntos objeto e imagen en un espejo esférico viene dado por la ecuación:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}$$

Teniendo en cuenta que la distancia focal (f) es la mitad del radio de curvatura (R) esta expresión (ley de DESCARTES) puede expresarse también como:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

Esta ecuación es independiente del medio donde se encuentre el espejo, ya que es independiente de su índice de refracción.

El aumento lateral que constituye la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto de un espejo esférico esta dado por:

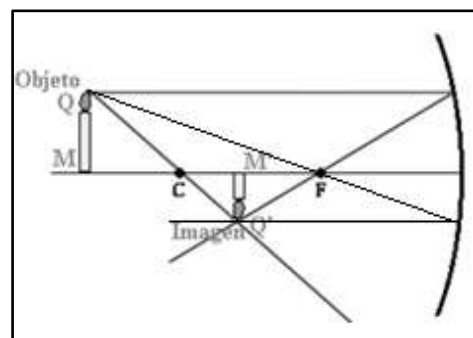
$$\beta = -\frac{s'}{s}$$

Tamaño de la imagen formada:

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Delante de un espejo esférico cóncavo de 40 cm de radio se coloca, a una distancia de 25 cm, un objeto de 4 cm de altura. Calcular:
 - A) La distancia focal del espejo
 - B) La posición de la imagen formada
 - C) El tamaño aparente de la imagen



Se tiene que:

Siguiendo el criterio de signos, los datos dados son:

$$R = -0.4 \text{ m}; \quad s = -0.25; \quad y = 0.04 \text{ m}$$

A) Por lo tanto, como para un espejo esférico el valor del foco viene dado por:

$$f = \frac{R}{2}; \quad f = \frac{-0,4}{2}; \quad f = -0,2 \text{ m}$$

Y el foco estará delante del espejo.

B) Aplicando la expresión de la ecuación general para un espejo esférico:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}; \quad \frac{1}{s'} + \frac{1}{-0,25} = \frac{2}{-0,4}$$

$$\frac{1}{s'} = -1; \quad s' = -1 \text{ m}$$

La imagen se formará por tanto delante del espejo.

C) El aumento lateral del espejo esférico está dado por:

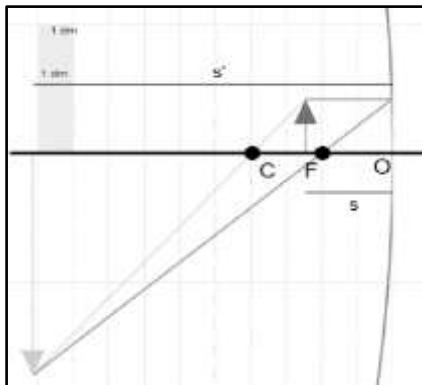
$$\beta = -\frac{s'}{s}; \quad \beta = -\frac{-1}{-0,25}; \quad \beta = -4$$

Por lo tanto, la imagen formada tendrá un tamaño:

$$\beta = \frac{y'}{y}; \quad y' = \beta \cdot y; \quad y' = -4 \cdot 0,04$$

$$y' = -0,16 \text{ m}$$

La imagen estará aumentada e invertida.



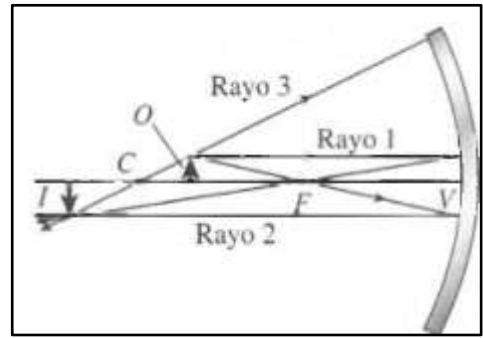
2. En un espejo convergente cuyo radio de curvatura es de 22 cm, determinar:

- A) La longitud focal.
- B) La naturaleza y ubicación de una imagen formada por el espejo si un objeto se encuentra a 15 cm del vértice del espejo.

Se tiene que $R = -0,22 \text{ m}$ y $s = -0,15 \text{ m}$.

Además, para resolver el ejercicio se debe analizar la naturaleza de la imagen a partir de contestar las siguientes interrogantes:

La imagen está de pie o de cabeza, está ampliada o reducida, es real o virtual y a partir de este análisis bosquejar la imagen.



- A) Entonces se tiene que la imagen es real (se forma delante del espejo) está invertida (de cabeza) y ampliada, por tanto, la longitud focal es negativa en el espejo convergente.

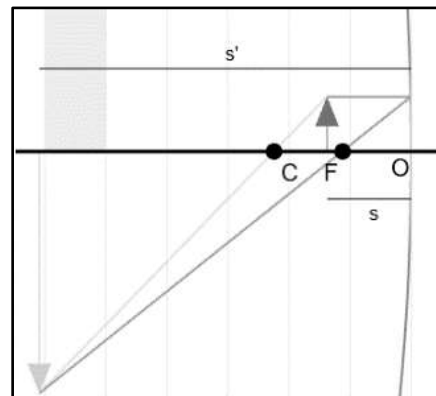
$$f = \frac{R}{2}; \quad f = \frac{-0,22}{2}; \quad f = -0,11 \text{ m}$$

- B) Como ya sabemos que la distancia s es -0,15 m, la distancia a la imagen s' está dada por:

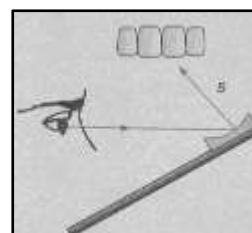
$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-0,15\text{m})(-0,11\text{m})}{-0,15\text{m} - (-0,11\text{m})}; \quad s' = -0,41 \text{ m}$$

El signo - de s' verifica que la imagen es real.



- 3. Un dentista desea mirar el interior de los dientes con un aumento de 5, por medio de un espejo esférico situado a 2 cm de los dientes. Determinar el radio de curvatura y la clase de espejo a ser utilizado por él.



Se sabe que $s = -2 \text{ cm}$

El aumento lateral esta dado por:

$$\beta = -\frac{s'}{s}; 5 = -\frac{s'}{s}; s' = -5s$$

$$s' = (-5)(-2); s' = 10 \text{ cm}$$

Entonces el radio de curvatura será:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}; \frac{1}{10} + \frac{1}{-2} = \frac{2}{R}$$

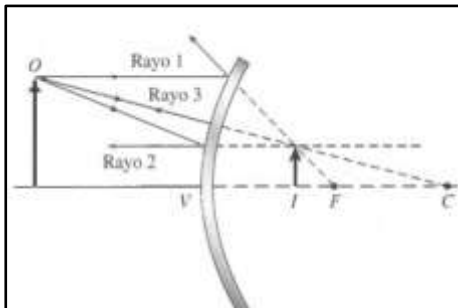
$$R = -5 \text{ cm}$$

Como el radio de curvatura es negativo, el espejo es cóncavo.

4. Determinar la posición y describir la imagen si un objeto está colocado a 4 cm de un espejo convexo cuya longitud focal es de 6 cm.

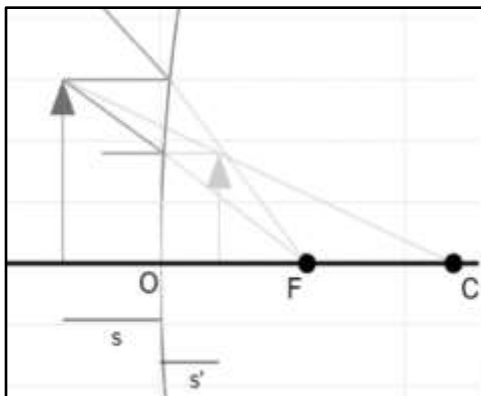
Entonces se tiene que $s = -0,04 \text{ m}$ y $f = 0,06 \text{ m}$ y la ecuación es:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$



$$s' = \frac{(-0,04\text{m})(0,06\text{m})}{-0,04\text{m} - 0,06\text{m}}; s' = 0,024 \text{ m}$$

En los espejos convexos las imágenes formadas son virtuales, no invertidas y son reducciones.



6. Un objeto de 3 cm de alto se coloca a 20cm de un espejo convexo con una longitud focal de 8 cm de magnitud. Determinar:

- A) la posición de la imagen,
- B) la ampliación del espejo y
- C) la altura de la imagen.

Se sabe que:

$$y = 3 \text{ cm}, s = -20 \text{ cm}, f = 8 \text{ cm}$$

A) Para determinar la posición de la imagen se tiene:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-0,20 \text{ m})(0,08 \text{ m})}{-0,20 \text{ m} - 0,08 \text{ m}}; s' = 0,057 \text{ m}$$

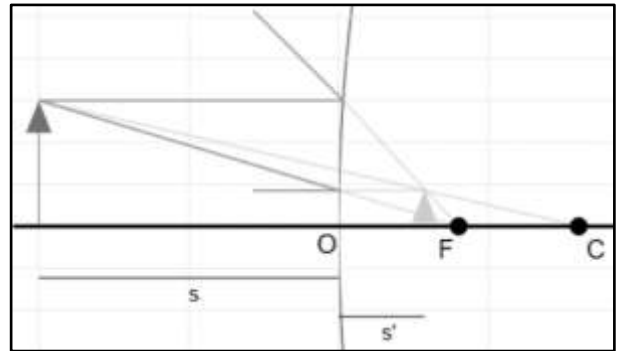
B) La ampliación:

$$\beta = -\frac{s'}{s}; \beta = -\frac{0,057}{-0,20}; \beta = 0,29$$

C) La altura:

$$\beta = \frac{y'}{y}; y' = \beta \cdot y; y' = 0,29 \cdot 0,03$$

$$y' = 0,0087 \text{ m}$$



7. Un espejo esférico cóncavo tiene una longitud focal de 10 cm.

- A) Ubicar la imagen y encontrar la ampliación para una distancia de objeto de 25 cm. Determinar si la imagen es real o virtual, invertida o derecha, más grande o más pequeña. Realizar lo mismo para distancias de objeto de B) 10 cm y C) 5 cm.

Se determina que:

$$f = -10 \text{ cm}; s = -25 \text{ cm}$$

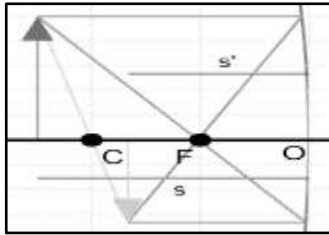
Entonces:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-25 \text{ cm})(-10 \text{ cm})}{-25 \text{ cm} - (-10 \text{ cm})}; \quad s' = -16,7 \text{ cm}$$

$$\beta = -\frac{s'}{s}; \quad \beta = -\frac{-16,7 \text{ cm}}{-25 \text{ cm}}; \quad \beta = -0,67$$

La imagen es menor que el objeto ya que $\beta < 1$, y es invertida porque β es negativa.



B) Para el objeto ubicado $s = -10 \text{ cm}$, se tiene:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-10 \text{ cm})(-10 \text{ cm})}{-10 \text{ cm} - (-10 \text{ cm})}; \quad s' = \infty$$

Por tanto $\beta = -\frac{s'}{s}$, la ampliación es infinita.



C) Para el objeto ubicado $s = -5 \text{ cm}$, se tiene:

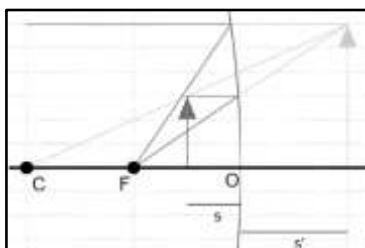
$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-5 \text{ cm})(-10 \text{ cm})}{-5 \text{ cm} - (-10 \text{ cm})}; \quad s' = 10 \text{ cm}$$

La imagen es virtual (detrás del espejo) porque s' es positiva.

$$\beta = -\frac{s'}{s}; \quad \beta = -\frac{10 \text{ cm}}{-5 \text{ cm}}; \quad \beta = 2$$

La ampliación $\beta > 1$, indica que la imagen es más grande y a la derecha del espejo ya que es positiva.



8. La antena emisora de una radio se encuentra a 26 cm de un espejo cóncavo de 50 cm de radio. Determinar dónde debe situarse la antena del radio receptor para obtener la mejor audición posible.

La antena receptora debe encontrarse en la posición de la imagen de la antena emisora, dada por el espejo.

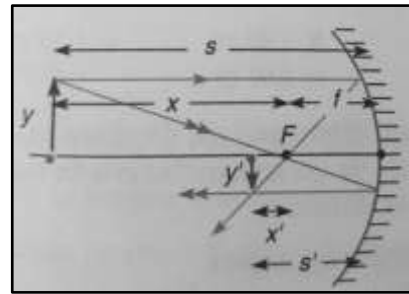
Ya que $s = -26 \text{ cm}$, $R = -50 \text{ cm}$

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}; \quad \frac{1}{s'} + \frac{1}{-26} = \frac{2}{-50}$$

$$s' = -650 \text{ cm}; \quad s' = -6,50 \text{ m}$$

La antena receptora se debe situar a 6,5 m del espejo.

9. Se considera x la distancia del objeto al foco y x' la distancia de la imagen al foco. Determinar que la ecuación de los espejos es $x \cdot x' = f^2$



De acuerdo a la figura:

$$s = x + f; \quad s' = x' + f$$

Por tanto:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad \frac{1}{x' + f} + \frac{1}{x + f} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{x + f + x' + f}{xx' + fx' + fx + f^2} = \frac{1}{f}$$

$$xf + f^2 + x'f + f^2 = xx' + fx' + fx + f^2$$

Simplificando se tiene:

$$x \cdot x' = f^2$$

A esta ecuación de la denomina ecuación de los espejos de Newton.

10. Una mujer se ubica con su rostro a 40 cm de un espejo cóncavo, la imagen derecha es el doble de larga que su rostro. Determinar la longitud focal del espejo.

Se sabe que la imagen es derecha, la amplificación debe ser positiva y en este caso $\beta = +2$; $s = -40$ cm

Se debe determinar la distancia focal f y s' la distancia de la imagen reflejada de la cara.

Por tal razón:

$$\beta = -\frac{s'}{s}; 2 = -\frac{s'}{s}$$

$$s' = -2s; s' = -2(-40 \text{ cm}); s' = 80 \text{ cm}$$

Ya que s' es positiva la imagen está en el lado opuesto del espejo y por lo tanto es virtual.

Para determinar f se procede:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \frac{1}{80 \text{ cm}} + \frac{1}{-40 \text{ cm}} = \frac{1}{f}$$

$$f = -80 \text{ cm}$$

EJERCICIOS PARA LA TAREA

- Determinar la distancia de un espejo esférico cóncavo, de 30cm de distancia focal, se debe colocar un objeto cuyo tamaño es de 20cm, para que su imagen real tenga un tamaño tres veces mayor que el del objeto.
- A 25cm de un espejo esférico cóncavo de 20cm de distancia focal, se coloca un objeto cuyo tamaño es de 10cm. Determinar la distancia está la imagen y el tamaño de ésta y cuál es el valor del aumento.
- Un espejo esférico convexo, tiene como radio de curvatura 12cm. Un objeto está colocado 3cm delante del espejo. Determinar la distancia estará la imagen del espejo.
- Una mesa circular de 1 m de radio y de 1m de altura está sobre el suelo. En el techo, a una altura de 2m sobre la mesa y sobre su eje, se pone una fuente luminosa puntual.
 - Determinar: el radio de la sombra de la mesa que se proyecta sobre el suelo.
 - La mesa está cubierta de un espejo plano. Determinar el radio de la mancha luminosa que se ve en el techo.
- Un lápiz se encuentra a 10 cm de un espejo cóncavo de 40 cm de radio.
 - Determinar la posición de la imagen (Construir la imagen)
 - El lápiz tiene 4 cm de altura. Determinar el tamaño de la imagen y todas sus características.
- Una regla se encuentra a 60 cm de un espejo convexo de 40 cm de radio.
 - Determinar la posición de la imagen (Construir la imagen)
 - La regla tiene 4 cm de altura. Determinar el tamaño de la imagen y todas sus características.
- Un espejo convexo produce una imagen derecha y cuatro veces más pequeña que el objeto, cuando se sitúa a 30 cm del espejo. Determinar el radio de curvatura del espejo.
- Un estudiante de física quiere comprar un espejo esférico para afeitarse y desea obtener una imagen de su barba 2 veces más grande y que ésta se sitúe a 40 cm del espejo. Determinar el tipo de espejo que se debe utilizar y el radio de curvatura.
- Determinar la distancia focal de un espejo si al ubicar un objeto a 60 cm se obtiene una imagen real, invertida, de menor tamaño y ubicada 30 cm. Graficar el fenómeno.
- Un objeto de 4 cm de altura está ubicado delante de un espejo cóncavo de 1 m de radio. Determinar el tamaño de la imagen si la distancia del objeto al espejo es de 25 cm.