

# Formación y análisis de imágenes en espejos cóncavos y convexos

## Criterios de evaluación

- El entregable consistirá en un documento que incluya el enlace a un video explicativo de los resultados experimentales obtenidos (véase Apéndice E).
- La rúbrica de evaluación se encuentra detallada en el Apéndice F.

## Objetivos del laboratorio

- Analizar las características de las imágenes formadas por un espejo cóncavo.
- Calcular experimentalmente la distancia focal y el radio de curvatura de un espejo cóncavo.

## Competencias desarrolladas al finalizar la experiencia

- Determinar las características de las imágenes formadas por espejos esféricos.
- Distinguir experimentalmente entre un espejo cóncavo y uno convexo.

## 1. Fundamento teórico

La formación de imágenes en espejos se basa en la ley de reflexión y son de uso diario. Un espejo común es el espejo plano que miras cada mañana en tu baño; sin embargo, también existen espejos no planos. Los espejos esféricos convexos, por ejemplo, se emplean en tiendas para supervisar los productos, mientras que los espejos cóncavos se usan como reflectores de linternas y como espejos de cosméticos. El objetivo principal del presente laboratorio es investigar las propiedades de los espejos esféricos para entender los parámetros que gobiernan su uso.

### 1.1. Espejos esféricos

Un espejo esférico es una sección de esfera y es caracterizado por un centro de curvatura "C" (Véase figura 1). La distancia del punto "C" al centro de curvatura del espejo "V" es el radio de curvatura  $R$ . El punto focal "F" está a la mitad de "C" y "V"; y la distancia focal  $f$  es la mitad del radio de curvatura  $R$ .

$$f = \frac{R}{2} \quad (1)$$

Si la superficie reflejante está dentro de la sección esférica, el espejo es cóncavo y cuando está fuera es convexo.

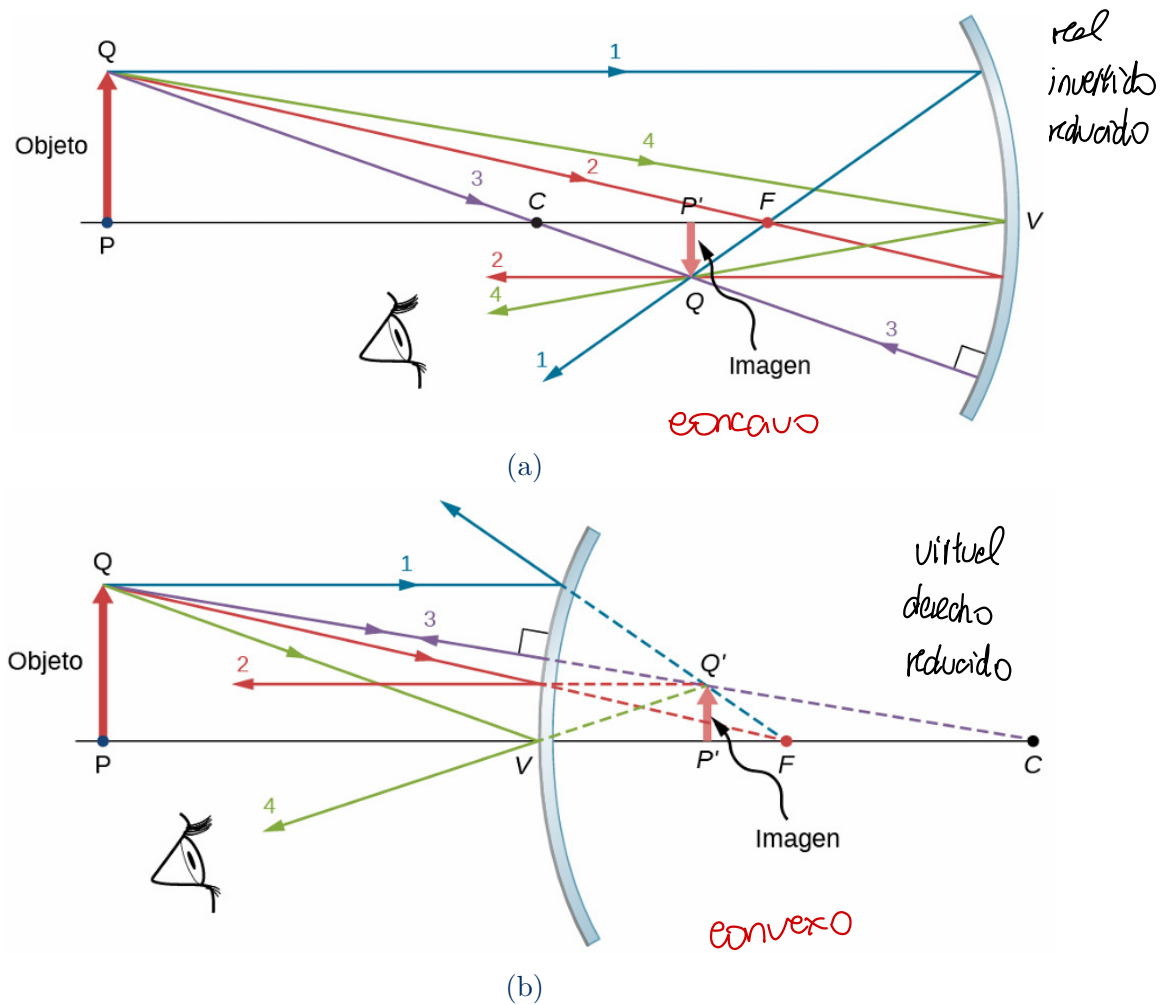


Figura 1: Diagrama de rayos para (a) un espejo cóncavo y (b) un espejo convexo. Los rayos (1) paralelo, (2) focal, (3) radial y (4) central ayudan a determinar la imagen característica en cada tipo de espejo esférico. En (a) la imagen es real, invertido y reducido; en (b) la imagen es virtual, derecho y reducido

Las imágenes formadas por espejos pueden ser formadas bien analíticamente o gráficamente. La formación gráfica de la imagen es hecha con el **método de trazado de rayos** (véase apéndices A y B).

De la figura 1 se puede trazar 4 rayos discretos

1. Un **rayo paralelo**: que viaja paralelo al eje óptico de un espejo esférico y se refleja a lo largo de una línea que pasa por el punto focal “F” del espejo
2. Un **rayo focal**: que viaja a lo largo de una línea que pasa por el punto focal “F” de un espejo esférico y se refleja a lo largo de una línea paralela al eje óptico del espejo
3. Un **rayo radial**: que viaja a lo largo de una línea que pasa por el centro de curvatura “C” de un espejo esférico y se refleja a lo largo de la misma línea
4. Un **rayo central**: que incide en el vértice “V” de un espejo esférico y se refleja simétricamente alrededor del eje óptico del espejo

La intersección de estos rayos define la ubicación de la punta de la flecha en las figuras 1a y 1b<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Para una descripción general de estos rayos véase apéndice D.4

Si la imagen se forma en el mismo lado que el objeto, es una imagen **real**: los rayos convergen y permiten proyectarla en una pantalla. Si se forma “detrás” o “dentro” del espejo, es una imagen **virtual**: los rayos divergen y no puede proyectarse en pantalla. En general, las imágenes formadas por un sistema óptico pueden caracterizarse de la siguiente manera:

- Reales o virtuales
- Derechas o invertidas respecto al objeto
- Ampliadas o reducidas

La distancia desde el objeto hasta el vértice a lo largo del eje óptico se denomina **distancia objeto**  $d_o$ , y la distancia desde el vértice hasta la imagen es la **distancia imagen**  $d_i$ . Con la distancia focal  $f$  del espejo, la posición imagen  $d_i$  puede determinarse mediante la **ecuación del espejo esférico**

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \quad \Longleftrightarrow \quad d_i = \frac{d_o f}{d_o - f} \quad (2)$$

En el caso de un espejo cóncavo, la distancia focal se considera positiva, mientras que para un espejo convexo es negativa. La distancia del objeto  $d_o$  se toma como positiva en ambos casos. La convención de signos resultante es la siguiente: si  $d_i$  es positivo, la imagen es real; si  $d_i$  es negativo, la imagen es virtual. Véase **apendice D.3** para ver la tabla de convención de signos

Además, la razón entre la altura de la imagen  $h_i$  y la del objeto  $h_o$  define el factor de magnificación o aumento  $M$  y se expresa como:

$$M = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \quad (3)$$

Si  $M$  es positivo ( $h_i$  positivo y  $d_i$  negativo), la imagen es derecha y si  $M$  es negativo ( $h_i$  negativo y  $d_i$  positivo), la imagen es invertida.

## 2. Experimento

### 2.1. Materiales

Verifique que cuenta con los implementos necesarios para realizar el experimento (véase figura 2)

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. Riel óptico                     | 4. Soportes deslizantes                      |
| 2. Fuente de luz óptica con flecha | 5. Espejo cóncavo-convexo de doble cara      |
| 3. Soporte para pantalla           | 6. Una regla de 30 centímetros y hojas Bond. |

### 2.2. Procedimiento experimental

#### Para tomar en cuenta

- No tocar el espejo por la parte de vidrio con sus dedos. Además, solo tenga la fuente de luz prendida cuando la vaya a usar y apáguela cuando termine. Cualquier uso inadecuado de los instrumentos que sea reportado resultará en la anulación del presente laboratorio.
- Tiene que realizar los diagramas de trazado de rayos antes de realizar la configuración experimental, por tal motivo es indispensable que imprima las hojas del **apendice A** y **apendice B** antes de entrar al laboratorio.

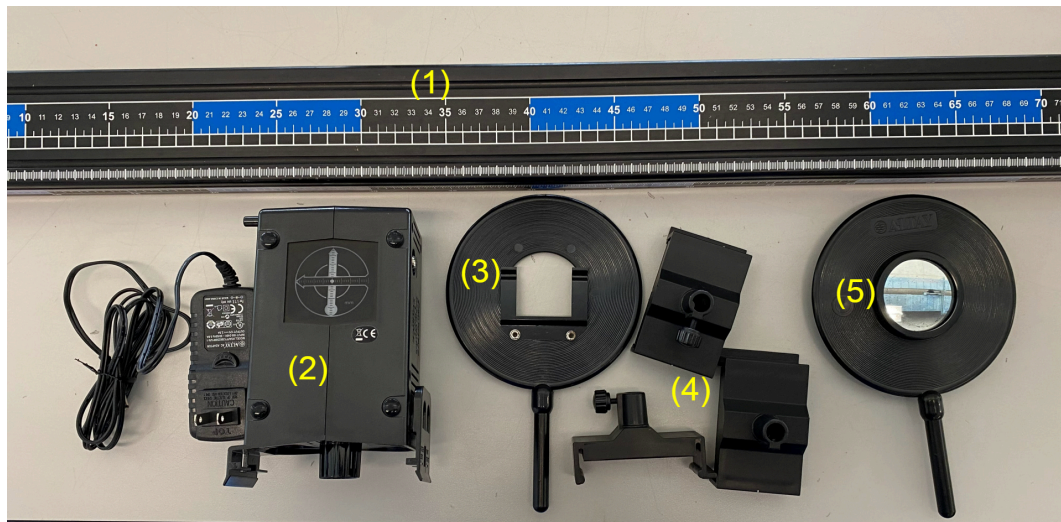


Figura 2: Equipo experimental. (1) Riel óptico (2) Fuente de luz óptica con flecha (3) Soporte para pantalla (4) Soportes deslizantes (5) Espejo cóncavo-convexo de doble cara

- Tiene que llenar las tablas del apéndice **C** de manera total antes de terminar la experiencia, eso incluye realizar los cálculos teóricos y hallar los porcentajes de error.
- Las hojas de los apéndices **A**, **B**, **C** tiene que estar firmado por el encargado de laboratorio antes de salir del laboratorio.

## Trazado de rayos

### Espejo cóncavo (Para completar apéndice **A**)

1. Construya un diagrama de rayos para un espejo cóncavo con un objeto localizado en su punto focal . Debe ser observado del diagrama que los rayos reflejados son paralelos.
2. Caso 1: Dibuje un diagrama de rayos para un objeto a una distancia mayor que  $R$  (es decir,  $d_0 > R$ ) y observe las características de la imagen.
3. Caso 2: Repita el procedimiento del ítem **2** para  $d_0 = R$
4. Caso 3: Repita el procedimiento del ítem **2** para  $f < d_0 < R$
5. Caso 4: Repita el procedimiento del ítem **2** para  $d_0 < f$

### Espejo convexo (Para completar apéndice **B**)

6. Dibuje los diagramas de rayos para un espejo convexo para objetos:
  - a)  $d_0 > R$
  - b)  $f < d_0 < R$
  - c)  $d_0 < f$

y extraiga conclusiones sobre las características de la imagen.

## Realización del experimento

### Espejo cóncavo (Para completar apéndice C)

7. Coloque la fuente de luz, el soporte de pantalla y el espejo de doble cara dentro del riel óptico, de manera similar a como se muestra en la figura 3a. **Para mantener firme la fuente en el soporte, ayúdese de una tira de papel.**

**Asegúrese que el lado del espejo cóncavo esté apuntando hacia la fuente, de tal forma que la luz incida por ese lado cóncavo.** No prenda la fuente hasta asegurarse que los elementos estén colocados correctamente. Véase la figura 3b para guiarse.

8. De una hoja Bond cortar una tira de papel y doblarla repetidamente sobre sí misma de forma compacta hasta formar una pequeña hoja más gruesa y compacta, luego ubíquela en el soporte para pantalla. Véase figura 3c para guiarse.
9. Coloque la fuente de luz de tal manera que el objeto (flecha) de la fuente de la pantalla esté en 0 cm del riel óptico, como se muestra en la figura 3d. Note que el borde de la fuente, el cual coincide con la posición del objeto, debe estar en esa ubicación. Aún no prenda la fuente.
10. Prenda la fuente de luz conectándola al enchufe y mida la altura del objeto (véase la flecha de la figura 3e).
11. Fije el espejo cóncavo a cierta distancia de la fuente. Posteriormente, mueva el soporte para pantalla con la hoja gruesa hasta que observe una **imagen clara y enfocada** en la hoja por donde se refleja la imagen. En las figuras 3f y 3g tiene ejemplos de una imagen mal enfocada y una con un mejor enfoque. Debe buscar la distancia en donde la imagen esté lo más enfocada posible. Note que la posición de mejor enfoque va a depender del criterio de cada uno. Lo mejor, es que, entre su grupo, debatan sobre cuál es la mejor posición donde se forma la imagen

Luego mida las distancias, objeto e imagen y registre en la tabla de datos 1.

12. En la misma posición anterior, mida la altura imagen en la hoja gruesa (véase la figura 3h). Ayúdese con un plumón o un lápiz para realizar dos marcas que luego se puede medir con una regla (Véase las figuras 3i y 3j). **Asegúrense de no mover el papel grueso al marcar**
13. Realice los pasos 11 y 12 para 5 distancias objeto más. En total, debe realizar como mínimo 6 mediciones en total. Entre más mediciones hagan, sus resultados van a salir mejor, pero cuiden su tiempo. **Sugerencia: para obtener una muestra con mejor representación, sus medidas deberían estar separadas uniformemente.**

**Asegúrese de tomar fotos para que pueda colocarlas como evidencia en la presentación de su proyecto.** En el apéndice C se muestran los resultados que deben presentar al finalizar su sesión y que deben estar firmados por el encargado del laboratorio.

14. Una vez realizado el paso anterior para llenar la Tabla de datos 1. Establece el caso  $d_o > R$  en el banco óptico con el objeto colocado varios centímetros más allá del radio de curvatura. Mida la distancia objeto  $d_o$  y regístrela en la Tabla de datos 2.

Localice la distancia imagen  $d_i$  como ya se ha descrito previamente y estime el factor de magnificación  $M$ . **No es necesario medir las alturas del objeto e imagen para estimar el factor de magnificación.** Luego, utilizando la ecuación del espejo, calcule la distancia de la imagen y el factor de aumento.

Finalmente, compare el valor teórico de la distancia imagen  $d_i$  con el valor experimental calculando la diferencia porcentual (véase tabla 2).

15. Caso 2: Repite el procedimiento del ítem 14 para  $d_0 = R$
16. Caso 3: Repite el procedimiento del ítem 14 para  $f < d_0 < R$
17. Caso 4: Repite el procedimiento del ítem 14 para  $d_0 < f$

## Espejo convexo

18. Ahora intercambie el espejo cóncavo por el espejo convexo y verifique experimentalmente que la imagen de un espejo convexo es virtual, es decir, intente localizar la imagen en la pantalla con una distancia objeto  $d_o$  arbitrario. **Tome fotos de su evidencia**

## 3. Análisis de datos

1. De la tabla de datos 1 realicé un gráfico de  $M = h_i/h_0$  en función de  $d_i$ 
  - Explique su resultado con lo que esperaba obtener
  - A partir de su gráfico realice un ajuste de curva y obtenga la ecuación que caracteriza su ajuste. Muestre cómo se ve su ecuación de ajuste sobre los puntos obtenidos experimentalmente. Además, calcule una medida que indique qué tan bien se ajusta su ecuación a los datos.
  - Empleando su ecuación de ajuste, determine la distancia focal  $f$  y el radio de curvatura  $R$  del espejo. Explique y justifique su resultado.
2. De la tabla 2 describa las características de la imagen observada (Si es real o virtual, si es derecha o invertida y si es ampliada o reducida). Luego compare lo descrito con el diagrama de rayos que realizó. Discuta y extraiga conclusiones de la comparación.
3. Establezca todas sus conclusiones, indique las posibles fuentes de error, las observaciones y sugerencias del experimento que crea pertinente.



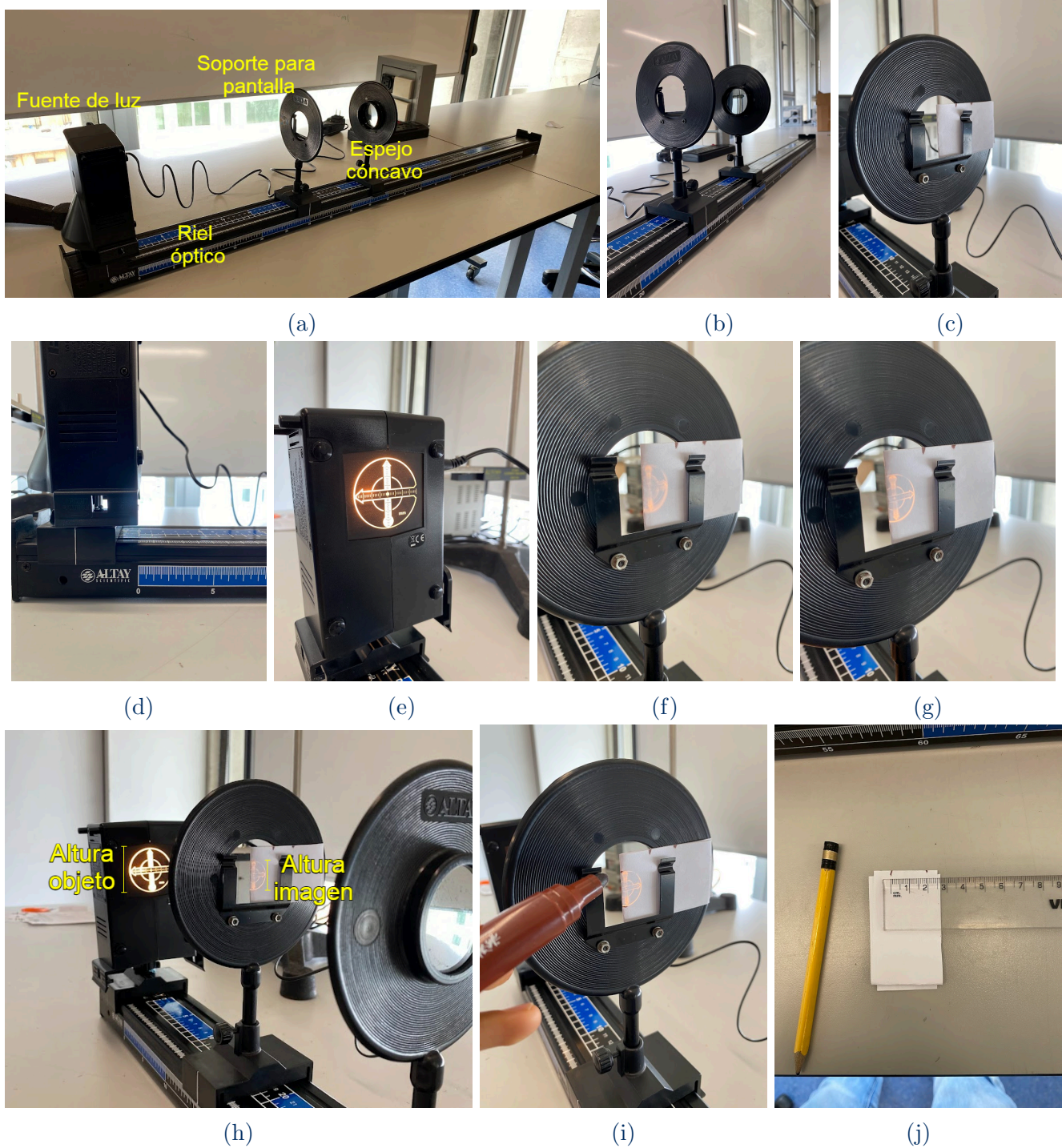
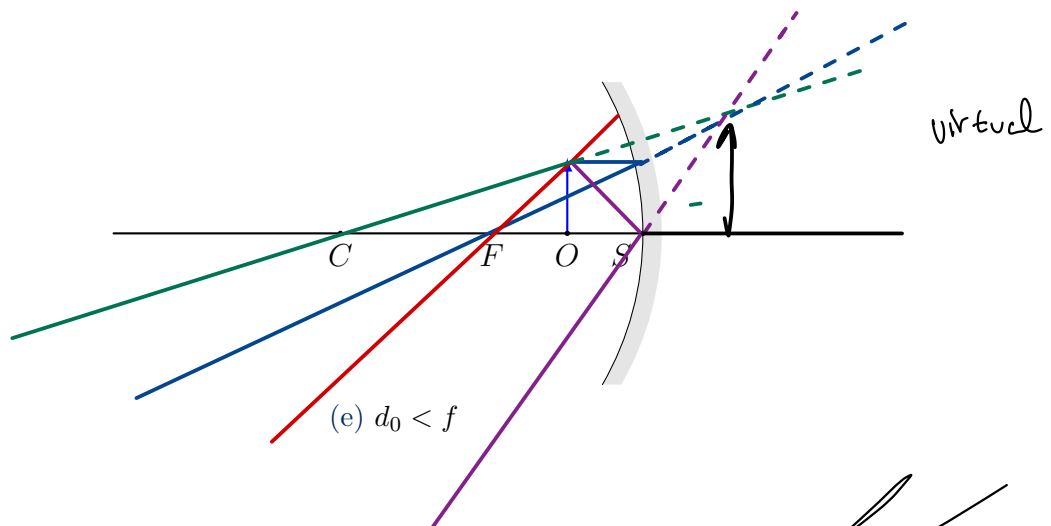
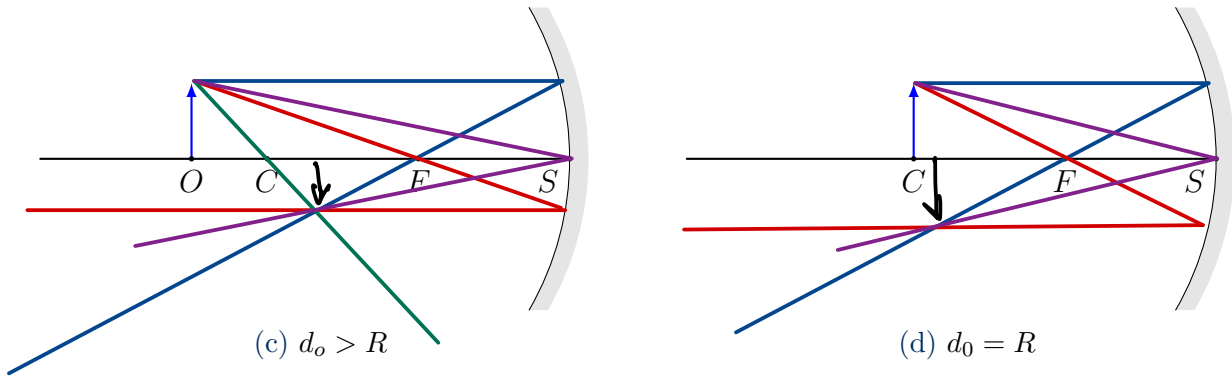
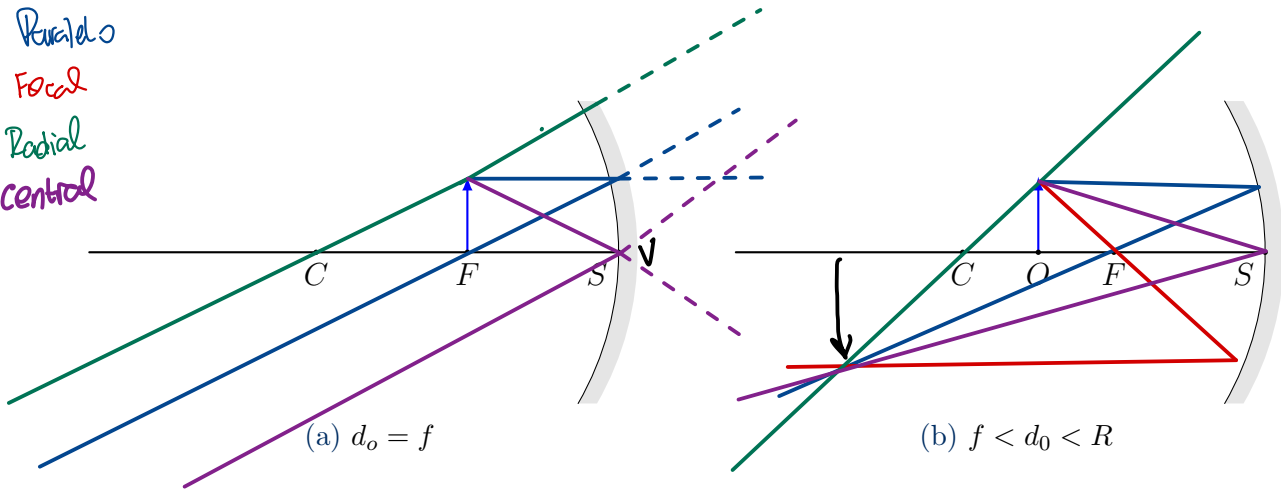


Figura 3: (a) Arreglo del experimento (b) Lado cóncavo del espejo de doble cara (c) Tira de papel grueso ubicado en el soporte para pantalla (d) Posición cero del objeto (e) Objeto (flecha) (f) Imagen desenfocada (g) Imagen enfocada (h) Altura objeto y altura imagen (i) Marca de plumón (j) Midiendo longitud marcada

## A. Diagrama de rayos en un espejo cóncavo

Propósito: Realizar el trazado de rayos para un espejo cóncavo en todos los casos

Paralelo  
Focal  
Radial  
central



Firma del encargado de laboratorio: \_\_\_\_\_

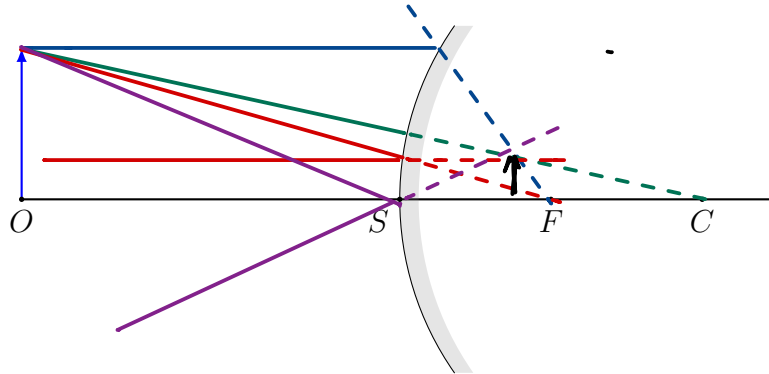
Paralelo  
Focal  
Radial  
central



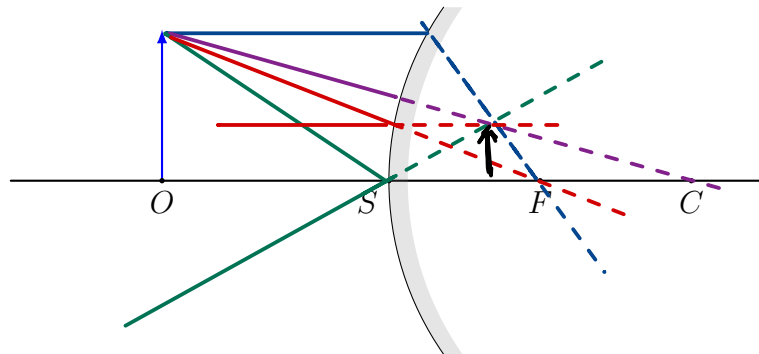
## B. Diagrama de rayos en un espejo convexo

Propósito: Realizar el trazado de rayos para un espejo convexo en todos los casos

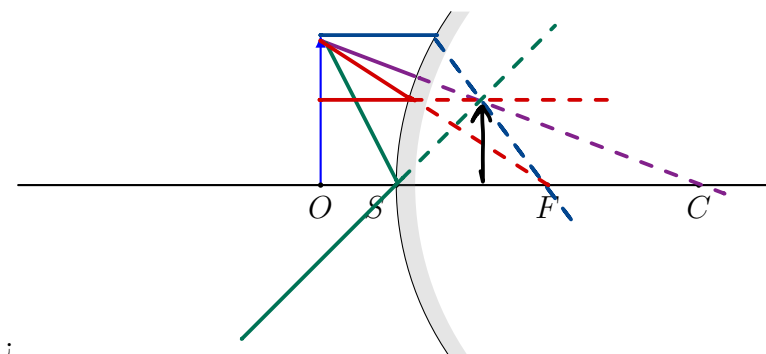
Rayos  
Focal  
Radial  
Central



(a)  $d_o > R$



(b)  $f < d_o < R$



(c)  $d_o < f$

Firma del encargado de laboratorio:

## C. Tabla de datos

Distancia focal del espejo concavo usado 10  
 Altura del objeto  $h_o$  (flecha) 4 cm

Propósito: Determinar la distancia focal y el radio de curvatura

Número	distancia objeto medido ( $d_o$ )	distancia imagen medida ( $d_i$ )	altura imagen medida $h_i$	$M = h_i/h_o$
1	25	$25 - 8 = 17$	3	$= 0,75$
2	30	14,7	2,2	0,55
3	35	$35 - 20,7 = 14,3$	1,8	0,45
4	40	$40 - 26,3 = 13,7$	1,5	0,375
5	45	$45 - 31,5 = 13,5$	1,35	0,3375
6	50	$50 - 37,5 = 12,5$	1,2	0,3
7	55	$55 - 43 = 12$	1	0,25
8	60	$60 - 47,6 = 12,4$	0,9	0,225
9	65	$65 - 52,9 = 12,1$	0,75	0,1875
10	70	$70 - 58,1 = 11,9$	0,6	0,15

Tabla 1

Computada longitud focal 10,132

Aceptada longitud focal 10

Error porcentual \_\_\_\_\_

$R = 20$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f}$$

Propósito: Determinar la distancia imagen y la magnificación (espejo cóncavo)

	Experimental			Computado		Diferencia porcentual $d_i$
	$d_o$ ( )	$d_i$ ( )	$M$ (estimado)	$d_i$ ( )	$M$	
$d_o > R$						
$d_o = R$						
$f < d_o < R$						
$d_o < f$						

Tabla 2

Firma del encargado de laboratorio: \_\_\_\_\_

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{25} + \frac{1}{17} = \frac{1}{f}$$

$$0,09882 = \frac{1}{f}$$

$$\textcircled{1} \quad 10,12$$

$$0,1009$$

$$\textcircled{2} \quad 9,91$$

$$0,0985$$

$$\textcircled{3} \quad 10,15$$

$$0,0979$$

$$\textcircled{4} \quad 10,24$$

$$0,0963$$

$$\textcircled{5} \quad 10,4$$

$$0,1$$

$$\textcircled{6} \quad 10$$

$$0,1015$$

$$\textcircled{7} \quad f = 9,85$$

$$0,0973$$

$$\textcircled{8} \quad f = 10,28$$

$$0,0980$$

$$\textcircled{9} \quad f = 10,2$$

$$0,0983$$

$$\textcircled{10} \quad f = 10,17$$

↑

## D. Información resumen

### D.1. Palabras clave

1. Espejo esférico, convexo y cóncavo
2. Radio de curvatura y Longitud focal
3. Imagen real y virtual
4. Imagen derecha o invertida
5. Distancia objeto y distancia imagen
6. Factor de magnificación o aumento
7. Método de trazado de rayos
8. Rayo paralelo, radial, focal y central

### D.2. Fórmulas importantes

$$f = \frac{R}{2} \quad (4)$$

$$M = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \quad (6)$$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \iff d_i = \frac{d_o f}{d_o - f} \quad (5)$$

### D.3. Convención de signos

Variable	Condición	Signo
Longitud focal $f$	Espejo cóncavo	+
	Espejo convexo	-
Distancia objeto $d_o$	En toda condición del experimento presente	+
Distancia imagen $d_i$	Imagen real	+
	Imagen virtual	-
Magnificación $M$	Imagen derecha	+
	Imagen invertida	-

Tabla 3: Convenciones de signos

### D.4. Descripción de rayos para el trazado

**Rayo principal:** A veces llamado “**rayo objeto**”, este es un rayo trazado desde un punto del objeto en la dirección de un eje particular. En lentes y espejos, se usa para identificar la dirección general de los rayos en el trazado.

**Rayo paralelo:** Es el rayo que viaja paralelo al eje óptico antes de interactuar con el lente o el espejo. Después de pasar por el lente o reflejarse en el espejo, este rayo pasa por el punto focal (en lentes convergentes o espejos cóncavos) o parece provenir del foco

(en lentes divergentes o espejos convexos).

**Rayo focal:** Es el rayo que pasa por el foco antes de llegar al lente o espejo. Al interactuar con una lente convergente, este rayo sale paralelo al eje óptico; en una lente divergente, se desvía como si fuera paralelo.

**Rayo central:** Este es el rayo que atraviesa el centro óptico de una lente o el centro de curvatura en un espejo. En lentes delgadas, pasa sin desviarse; en espejos, suele reflejarse sobre sí mismo, volviendo a su punto de origen.

## E. Evaluación de la experiencia

Cada grupo deberá entregar un documento en el que se incluyan los cálculos realizados, los gráficos obtenidos, un enlace que lleve a los resultados y otro a un video de **10 minutos** donde se expliquen estos resultados. Para ello, deben tener en cuenta los siguientes puntos:

### 1. El documento debe contener:

- Las gráficas correspondientes a los resultados experimentales.
- Los cálculos efectuados durante la experiencia.
- Fotografías tomadas durante el desarrollo del laboratorio.

Este documento servirá como apoyo visual para la explicación en el video.

2. En el video (**duración máxima: 10 minutos**), todos los integrantes del grupo deben participar y utilizar el documento como referencia.
3. El formato del video es libre. Debe ser subido a YouTube y el enlace correspondiente debe incluirse en el documento.
4. Es obligatorio que el rostro de todos los participantes aparezca en el video. Se recomienda grabar la presentación y editar las partes relevantes posteriormente.
5. El documento debe incluir también un enlace a los datos experimentales obtenidos y utilizados en el análisis.
6. La calificación se basará exclusivamente en el contenido del video. El documento tiene un propósito auxiliar y no se evaluará como un informe formal, pero debe contener de forma clara el enlace al video y a los datos experimentales.

Cualquier duda sobre la evaluación, enviar mensaje a: [jalcala@utec.edu.pe](mailto:jalcala@utec.edu.pe)

## F. Rúbrica

La siguiente rúbrica se utilizará para evaluar el video. Los tiempos indicados son solo una sugerencia para organizar la presentación.

### 1. **Introducción<sup>2</sup> (1 minutos)**

- Explica claramente el objetivo del experimento **(+0.5 ptos.)**
- Presenta la conclusión principal del experimento **(+0.5 ptos.)**

<sup>2</sup>No es necesario presentar a los integrantes del grupo



- Utiliza palabras clave relevantes asociadas al tema experimental (+1 ptos.)

## 2. Métodos<sup>3</sup> (1 minutos)

- Enumera adecuadamente todo el equipo de laboratorio utilizado (+0.5 ptos.)
- Describe correctamente el procedimiento experimental seguido (+2.5 ptos.)

## 3. Resultados (3 minutos)

- Presenta los resultados en forma de tablas o gráficos (+0.5 ptos.)
- Aplica correctamente el tratamiento estadístico requerido (+4 ptos.)
- Describe y explica los resultados obtenidos (+0.5 ptos.)

## 4. Discusión<sup>4</sup> (5 minutos)

- Analiza las características cualitativas de las imágenes observadas experimentalmente (+2 ptos.)
- Compara el comportamiento de los espejos cóncavo y convexo (comparación entre lo observado y el trazado de rayos) (+1 ptos.)
- Interpreta el gráfico obtenido (en relación con la Tabla de datos 1) y justifica el ajuste realizado (+3 ptos.)
- Identifica posibles fuentes de error y sugiere mejoras (+1 ptos.)
- Presenta la conclusión principal del experimento (+1 ptos.)
- Desarrolla una reflexión o discusión adicional que vaya más allá de lo mínimo exigido (+4 ptos.)

### ■ Descuentos por errores (a considerar)

- Cálculos incorrectos detectados (-1 ptos. por cada cálculo)
- Se discuten resultados que no fueron obtenidos (-2 ptos.)
- Se identifican alteraciones en los datos experimentales (-5 ptos.)
- Se detecta copia de datos de otro grupo (-8 ptos.)

Cuide el tiempo exigido para el video, caso pasarse ese tiempo solo se evaluará hasta los 10 minutos. El tiempo excedente no se considerará.

4

3C  $\Rightarrow$  1 Exam

3 Exam

<sup>3</sup>Se recomienda mostrar fotografías si se dispone de ellas.

<sup>4</sup>También puede apoyarse en imágenes o fotos si lo considera útil