

## Práctica #2.2.

### Simulaciones con espejos planos y esféricos<sup>1</sup>

La Práctica #2 se realiza en dos semanas, en la primera se realizan experimentos sencillos para comprobar los efectos de la formación de imágenes en espejos planos y esféricos, mientras que en la segunda se utilizan los conceptos de la formación de imágenes en estas superficies para el análisis de simulaciones computacionales.

#### Objetivo general:

Realizar ensayos por simulación computacional y experimentos sencillos para comprender los principios de la formación de imágenes en espejos planos y esféricos.

#### Objetivos específicos:

1. Conocer los tipos de imágenes que se pueden producir con espejos planos y esféricos.
2. Realizar ensayos por simulación computacional que permitan comprobar las ecuaciones de formación de las imágenes por espejos esféricos.

#### Introducción

Los reflejos que se observan en algunas superficies planas, lisas y brillantes debieron ser motivo de asombro para los primeros seres humanos. La capacidad para reconocer nuestra propia imagen reflejada en una superficie reflectiva, como la que produce el agua, sumado al interés de conocer nuestras propias características, debió estimular la búsqueda de materiales y el desarrollo de métodos de pulimento que brindaran un medio estable, robusto y transportable, un primer espejo, para apreciar nuestra faz o nuestro aspecto en el momento que lo deseáramos.

Por mucho tiempo se pensó que la capacidad de reconocer nuestra imagen en un espejo era exclusiva del *homo sapiens*, pero luego de una serie de experimentos dirigidos por científicos escépticos de las verdades evidentes, ahora sabemos que no era cierto, pues diversos animales como los chimpancés, los gorilas, los elefantes, las hurras y los delfines, por mencionar algunos, también reconocen su propia imagen en un espejo. Suponer *a priori* o considerar como “evidente” que los seres humanos somos los únicos animales que tienen el nivel de abstracción y de autoconciencia requerido para reconocer su imagen en un espejo, es un ejemplo más de nuestra soberbia y de la ignorancia surgida de nuestra intuición.

Los antropólogos piensan que los primeros espejos utilizados por nuestra especie pudieron consistir en cuencos rellenos con agua. Sin embargo, pronto se desarrollaron otros espejos que nos permitieron ver nuestra imagen en posición erguida. Sabemos que los antiguos egipcios y los

---

<sup>1</sup> Guía elaborada por el profesor Ernesto Montero Zeledón

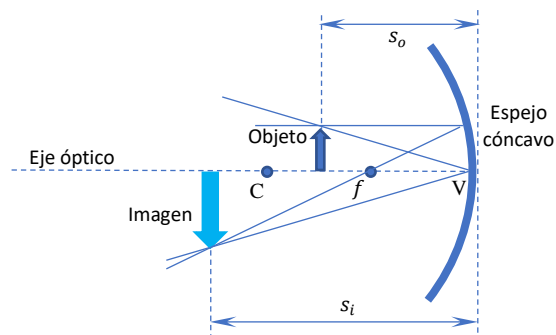
mesopotámicos fabricaban espejos de cobre pulido entre el 4500 y 3000 a.C., pero también se han hallado espejos de obsidiana pulida en Anatolia, que datan del 6200 a.C. [3]

Los antiguos griegos también poseían la capacidad técnica para producir espejos de metal, y además, a partir de principios geométricos y de la ley de reflexión de la luz, pudieron explicar la formación de imágenes en espejos planos. La leyenda cuenta que, en el siglo III a.C., Arquímedes desarrolló unos espejos ustorios para proteger la ciudad de Siracusa contra los ejércitos romanos que intentaban conquistarla [3]. Dichos espejos permitían concentrar la luz del Sol en una región pequeña, conocida como foco, produciendo la ignición de los objetos que estuvieran en dicho punto. El conocimiento sobre óptica desarrollado por los griegos y heredado por los romanos fue preservado y ampliado por los científicos árabes durante el medioevo europeo. Posteriormente, este conocimiento volvió a Europa a través de las escuelas de traducción españolas, lo cual contribuyó al resurgimiento de la cultura griega clásica a través de un movimiento histórico-cultural conocido como El Renacimiento [4].

Con el conocimiento de la ley de reflexión, la geometría y la trigonometría, fue posible deducir una ecuación que permitiera predecir el punto donde se producirían imágenes (virtuales o reales), a partir de objetos colocados frente a espejos esféricos cóncavos y convexos. La ecuación que relaciona la posición del objeto ( $s_o$ ) con la posición de la imagen ( $s_i$ ) y el foco del espejo (relacionado con la curvatura del espejo,  $f = R/2$ ), solo es exacta para espejos parabólicos y apenas aproximada para espejos esféricos. Pero también se sabe que cuanto menor es el objeto comparado con el radio de curvatura del espejo, mejor es la aproximación. La ecuación se escribe de la siguiente manera:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$$

La descripción de los términos de la ecuación, posiciones del objeto, de la imagen y del foco, se describen en la Figura 1. La letra C representa el centro de curvatura del espejo cóncavo, que está a una distancia R del espejo. La intersección del eje óptico con el espejo se denomina vértice y se representa con una V. Asimismo, el foco se encuentra a media distancia entre el espejo y el centro de curvatura y corresponde precisamente a la mitad del radio del espejo.



**Figura 1.** Objeto y su imagen en un espejo esférico cóncavo.

### Trabajo de los estudiantes

En la introducción de su informe de la Práctica #2, sobre espejos y aplicaciones, debe revisar los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Explique qué es un espejo plano y uno esférico (cóncavo y convexo).
2. Explique qué es una imagen real y una virtual, una imagen derecha y una invertida.
3. Explique cuántas imágenes de un objeto se pueden formar en un espejo plano, en un espejo esférico (cóncavo y convexo) y de qué tipo son.
4. Explique los factores que determinan la formación de la imagen de un objeto colocado frente a un espejo plano y uno esférico (cóncavo y convexo).
5. Explique cuáles son los rayos principales que se trazan a partir de un espejo esférico (cóncavo y convexo) para determinar la posición y el tipo de imagen que se forma.
6. Explique la relación entre el radio de curvatura del espejo y la distancia focal.
7. Incluya la ecuación que relaciona la posición de un objeto, la posición de la imagen y la distancia focal del espejo esférico.
8. Incluya la convención de signos de las alturas, las posiciones y el foco para que la ecuación se cumpla para espejos esféricos cóncavos y convexos. Utilice el libro de Óptica de Hecht sobre la convención de signos [5].
9. Explique qué es y cómo se calcula la magnificación de una imagen.

### Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere una computadora con conexión a Internet. Además, se puede utilizar la plataforma de simulación “Física en la escuela - HTML5” de Vladimir Vascak o la plataforma de simulación oPhysics, programada en Geogebra por Tom Walsh. Para ello puede utilizar los vínculos que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Direcciones electrónicas de las simulaciones recomendadas en esta práctica.

Tema	Vínculos electrónicos
Espejos cóncavos	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_dute&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_dute&amp;l=es</a> <a href="https://ophysics.com/l10.html">https://ophysics.com/l10.html</a>
Espejos convexos	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vypukle&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vypukle&amp;l=es</a> <a href="https://ophysics.com/l10.html">https://ophysics.com/l10.html</a>
Espejos planos	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_zrcadla&amp;l=en">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_zrcadla&amp;l=en</a>

### Procedimiento

#### Espejos cóncavos

1. Elija la aplicación para espejos cóncavos que prefiera y realice ensayos simples para conocer cómo funciona.
2. Para realizar esta práctica se utilizarán distancias focales de 3,0 cm y 5,0 cm.
3. Para cada distancia focal fija, coloque el objeto ( $s_o$ ) en cinco posiciones distintas (2,0 cm, 4,0 cm, 6,0 cm, 8,0 cm y 10,0 cm) y registre las respectivas posiciones de la imagen ( $s_i$ ) en una tabla. Puede capturar una imagen del proceso de medición para presentarla en el informe.

4. Adicionalmente, registre en su tabla de datos el tamaño del objeto y de la imagen, para las distintas posiciones del objeto.

#### *Espejos convexos*

1. Elija la aplicación para espejos convexos que prefiera y realice ensayos simples para conocer cómo funciona.
2. Para realizar esta práctica se utilizarán distancias focales de 3,0 cm y 5,0 cm.
3. Para cada distancia focal fija, coloque el objeto ( $s_o$ ) en cinco posiciones distintas (2,0 cm, 4,0 cm, 6,0 cm, 8,0 cm y 10,0 cm) y registre las respectivas posiciones de la imagen ( $s_i$ ) en una tabla. Puede capturar una imagen del proceso de medición para presentarla en el informe.
4. Adicionalmente, registre en su tabla de datos el tamaño del objeto y de la imagen, para las distintas posiciones del objeto.

#### *Espejos planos*

1. Abra la aplicación para espejos planos brindada anteriormente y realice algunos ensayos simples para comprender cómo funciona.
2. Realice ensayos para determinar, para distintos ángulos entre los espejos planos, el número máximo y mínimo de imágenes reflejadas, que se pueden generar. Para ello debe jugar con las posiciones del objeto (candela) y del observador.
3. Construya una tabla de resultados en donde señale el número máximo y mínimo de imágenes que se pueden generar, resumidos en intervalos angulares (permitidos por la aplicación).

### **Análisis de resultados**

#### *Análisis para espejos esféricos cóncavos y convexos*

1. En una sola gráfica de  $s_i$  contra  $s_o$ , represente los conjuntos de puntos para cada distancia focal y compruebe que la relación no es lineal. Realice una gráfica para el espejo cóncavo y otra para el espejo convexo.
2. A partir de la ecuación presentada en la introducción, proponga un cambio de variable que permita linealizar la relación entre las posiciones del objeto y las respectivas posiciones de la imagen. Suponga que sus variables experimentales son únicamente  $s_o$  y  $s_i$ .
3. En una sola gráfica de  $s_i$  contra  $s_o$ , represente los conjuntos de puntos con el cambio de variable propuesto para cada distancia focal y compruebe que la relación es lineal (se sugiere un cambio de variable que trabaje con los inversos de estos dos parámetros). Realice una gráfica para el espejo cóncavo y otra para el espejo convexo.
4. Para realizar el análisis, debe suponer que la distancia focal de la lente es constante y, por tanto, debe despejarla utilizando las constantes de la regresión lineal.
5. Calcule la incertidumbre de la distancia focal a partir de la desviación estándar de la constante obtenida en la regresión.
6. Finalmente, debe comparar la distancia focal obtenida de la regresión lineal con la distancia focal que usted conoce, mediante un porcentaje de error.
7. Comente con cuál distancia focal la ecuación teórica utilizada representa mejor los resultados experimentales y explique por qué.
8. ¿Aprecia una regla general sobre las características de las imágenes y las posiciones del objeto sobre el eje óptico?

*Análisis para espejos planos*

1. Analice sus resultados e intente establecer una regla que permita conocer, por un lado, en qué ámbito de ángulos se produce el número máximo de imágenes, y por otro, el número mínimo de imágenes.
2. ¿Aprecia alguna relación entre el ángulo en el que cambia el número de imágenes y el número de imágenes máximo o mínimo en el que se produce la transición?
3. Intente explicar cuál es la relación teórica entre el número máximo de imágenes y el ángulo entre los espejos.
4. ¿Puede predecir para qué ángulo entre los espejos se producirá el próximo incremento en el número de imágenes?
5. ¿Será cierto que, si se disminuye el ángulo entre los espejos, siempre aumentará el número de imágenes producidas?
6. ¿Cuál es el número máximo de imágenes que se pueden producir con un par de espejos?, ¿para qué ángulo?
7. ¿Puede mostrar experimentalmente se respuesta a la pregunta 6 mediante una fotografía?

**Referencias**

- [1] Madrigal Roldán, Gustavo. "Formación de imágenes en Espejos y Lentes Esféricos". Laboratorio de Física General III (FS0411), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 2020.
- [2] Young, H.; Freedman, R. & Ford, A. "Física universitaria de Sears y Zemansky". Vol. 2. Decimotercera Edición, Editorial Pearson, 2014.
- [3] Pendergrast, Mark. "Historia de los espejos". Editorial Javier Vergara, 2003.
- [4] Maataoui, Mohamed El-Madkouri. "Las escuelas de traductores en la Edad Media." La enseñanza en la Edad Media: X Semana de Estudios Medievales, Nájera 1999. Instituto de Estudios Riojanos, 2000.
- [5] Hecht, E. (2017). Óptica (5ta Edición). Eslovenia: PEARSON Educación.