

## SESIÓN 7

### ÓPTICA GEOMÉTRICA

#### I. CONTENIDOS:

1. Óptica geométrica.
2. Intensidad luminosa y flujo luminoso.
3. Leyes de la reflexión y la refracción.
4. Espejos y lentes.
5. Microscopios, telescopios y el ojo humano.

#### II. OBJETIVOS:

Al término de la Sesión, el alumno:

- Analizará y comprenderá el fenómeno de la iluminación.
- Analizará los efectos de la reflexión y refracción de la luz en espejos y lentes.
- Comprenderá el funcionamiento del microscopio y del telescopio.

#### III. PROBLEMATIZACIÓN:

*Comenta las preguntas con tu Asesor y selecciona las ideas más significativas.*

- ¿Por qué en ocasiones, después de una lluvia se ven dos arco iris al mismo tiempo?
- ¿Cómo se forman las imágenes en un espejo?
- ¿Cuál es el proceso en una operación con láser para corregir la miopía?

#### IV. TEXTO INFORMATIVO-FORMATIVO:

##### **1.1. Óptica geométrica**

La óptica geométrica es la rama de la física que se encarga del estudio de la marcha de los rayos luminosos. Se dice que la luz tiene una propagación rectilínea (esto no es del todo cierto, en intensos campos gravitacionales la luz sufre deflexión), la prueba más evidente es la formación de sombras cuando la luz ilumina un lado de algún objeto.

La luz puede transmitirse en los medios transparentes como el vidrio, el agua o el aire; pero se difunde cuando pasa por un medio translúcido como una lámina delgada de plástico. También hay cuerpos opacos, estos no permiten que la luz se transmita a través de ellos, absorben una parte de la luz y el resto la reflejan. Algunos cuerpos emiten luz y otros sólo la reciben. Los primeros se conocen como cuerpos luminosos y los segundos como cuerpos iluminados. De este modo el sol es un cuerpo luminoso y la luna un cuerpo iluminado.

La luz es un fenómeno ondulatorio. Cuando la luz viaja por un medio transparente como el vidrio, su velocidad y su longitud de onda disminuyen, pero su frecuencia se mantiene sin cambios. Debido a que la energía depende de la frecuencia, también la energía no cambia. Cuando la luz se transmite por un cuerpo transparente con caras no paralelas, la luz se dispersa en una serie de rayos de colores, si se utiliza un prisma idéntico pero invertido se recompone la luz

##### **2.1. Intensidad luminosa y flujo luminoso**

Imagina que tienes enfrente a un par de focos incandescentes, uno de 100 Watts y otro de 60 Watts, ¿cuál de los dos presenta una mayor cantidad de luz?, es claro que el foco de 100 W. Una manera de medir esta cantidad es a través de la magnitud conocida como **flujo luminoso**. Se puede entender como la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en cada unidad de tiempo. En otras palabras es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que es

sensible el ojo humano. En el sistema internacional, la unidad de medición es el Lumen. Se simboliza con la letra griega  $\Phi$ . Se puede calcular multiplicando el área iluminada por la iluminación.

$$\Phi = AE$$

El flujo luminoso se refiere a la cantidad de luz que emite por unidad de tiempo un cuerpo luminoso en todas direcciones. Pero si consideramos, por ejemplo a una lámpara de mano, ésta emite luz en sólo alguna dirección. Debemos entonces poder medir cómo se distribuye el flujo luminoso en el espacio. La **intensidad luminosa** es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido, se mide en candelas, y se simboliza con la letra  $I$ . También se puede calcular multiplicando la iluminación por el cuadrado de la distancia desde el cuerpo iluminado hasta el cuerpo luminoso.

$$I = Ed^2$$

Para entender el concepto de ángulo sólido, pensemos en la lámpara de mano, desde el foco de la lámpara se emiten rayos de luz y éstos iluminan, por ejemplo, una zona circular en la pared de una habitación. Imaginemos que es como un cono cuyo vértice está en el foco y la base en la zona circular iluminada de la pared. Ahora pensemos en una esfera con un radio de un metro cuyo centro está en el foco de la lámpara; la intersección entre el cono y la esfera es el ángulo sólido.

La **iluminación** es el flujo luminoso por unidad de área. Se mide en Lux en el sistema internacional, y se simboliza con la letra  $E$ . También se conoce como iluminancia, depende de la distancia. Si consideramos otra vez a la lámpara de mano, y con ésta iluminamos una pared cercana y luego otra más alejada. En el primer caso tenemos una zona reducida pero bien iluminada, para la pared más alejada la iluminación disminuye pero el área con luz aumenta. A continuación se presentan una serie de fórmulas para el cálculo de la iluminación de objetos en diferentes circunstancias

$$d_2 = \sqrt{\frac{E_1 d_1^2}{E_2}} \quad E = \frac{I}{d^2} \quad \frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad E_2 = E_1 \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \quad E = \frac{\Phi}{A}$$

**Ejemplo 1** Si una mesa en un taller de electrónica, mide 1.5 metros de ancho por 2.4 metros de largo y recibe un flujo luminoso de 65 lúmenes de una lámpara que está a 2.5 m. ¿Cuál es la iluminación que recibe?, ¿A qué distancia debe estar la lámpara para producir el triple de iluminación?

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{65}{(1.5)(2.4)} = \frac{65}{3.6} = 18.055 \text{ Lux} \quad d_2 = \sqrt{\frac{E_1 d_1^2}{E_2}} = \sqrt{\frac{(18.055)(2.5)^2}{(54.166)}} = 1.443 \text{ m}$$

### 3.1. Leyes de la reflexión y la refracción

La luz se transmite a través de los cuerpos transparentes, pero en el proceso sufre una desviación en su trayectoria. Para comprender el fenómeno debemos definir algunos conceptos:

**Rayo incidente:** es un rayo de luz que se aísla del resto para el análisis del fenómeno luminoso, es el rayo que choca con la superficie de un cuerpo no luminoso.

**Punto de incidencia:** es un punto en la superficie de un cuerpo que es iluminado por el rayo incidente.

**Normal:** es la línea perpendicular a la superficie de un cuerpo en el punto de incidencia.

**Ángulo incidente:** es el ángulo formado por el rayo incidente y la normal.

**Rayo reflejado:** es el rayo de luz que se emite desde la superficie del cuerpo iluminado como respuesta al rayo incidente que ha recibido.

**Rayo refractado:** es el rayo de luz que se transmite a través de un cuerpo transparente como consecuencia de un rayo incidente que ha recibido.

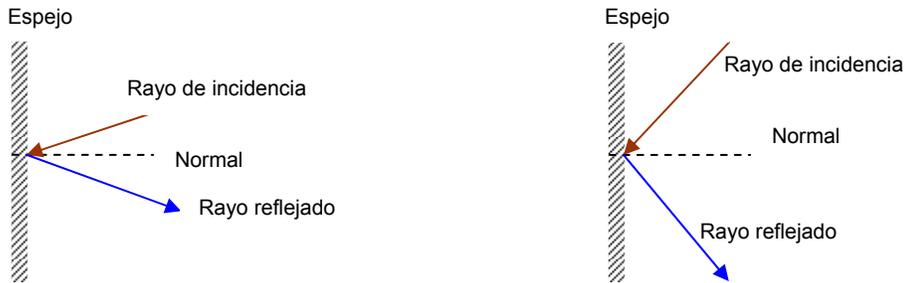
**Ángulo de reflexión:** es el ángulo entre la normal y el rayo reflejado.

**Ángulo de refracción:** es el ángulo entre la normal y el rayo refractado.

La reflexión de la luz es un fenómeno en el que la luz ilumina a objetos opacos, los objetos absorben parte de la luz y el resto la devuelven al medio externo. Este fenómeno explica la formación de colores. La luz blanca es la reunión de diferentes longitudes de onda que se conocen también como colores. Cuando la luz del sol se dispersa en las gotas de agua de la lluvia, se forma el arcoíris integrado por una secuencia de colores que van desde el rojo hasta el violeta. Desde un avión se puede contemplar un arcoíris circular con su centro cambiante, en el centro deberá estar la sombra del avión.

La trayectoria que siguen los rayos reflejados por una superficie está sujeta a las leyes de la reflexión de la luz:

- 1.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la línea normal deben estar en el mismo plano.
- 2.- El ángulo de incidencia tiene la misma medida que el ángulo de reflexión.



En la anterior figura vemos como el ángulo entre el rayo de incidencia y la línea normal es igual que el ángulo entre la normal y el rayo reflejado. Si disminuye el ángulo entre el rayo incidente y la normal también disminuye el ángulo de refracción. De este modo es posible calcular la trayectoria de un rayo de luz que se refleja en cualquier objeto opaco, siempre y cuando se conozca la inclinación de la normal y el ángulo de incidencia.

La refracción es un fenómeno en el que la luz se transmite a través de un medio transparente. Al pasar de un medio a otro se desvía acercándose o alejándose de la línea normal. En términos generales, si el rayo pasa de un medio menos denso a otro más denso se desvía acercándose a la normal, pero si pasa de un medio más denso a otro menos denso se desvía alejándose de la normal. La ley de Snell, permite calcular con precisión el ángulo de refracción para diferentes tipos de materiales transparentes.

El índice de refracción, es una medida que permite cuantificar la reducción de la velocidad de la luz en diferentes materiales: en el espacio vacío es 1, en el aire es 1.003, en el agua 1.33, en el vidrio de 1.46 a 1.96, en el cuarzo 1.54, en el diamante 2.42.

La ley de Snell, desarrollada por el matemático holandés Willebrord Snel Van Royen (1580-1626), la ley vincula los índices de refracción y los ángulos de incidencia y de refracción. El producto del índice de refracción del medio de donde proviene la luz por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del material donde se transmite la luz por el seno del ángulo de refracción.

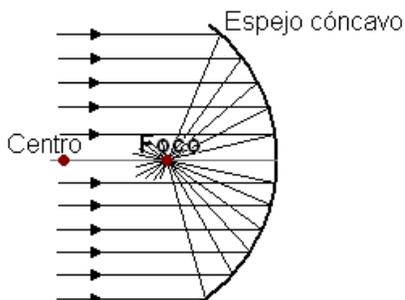
#### 4.1. Espejos y lentes

Un espejo es la superficie pulida de un objeto que permite reflejar la luz de los objetos que tiene delante con distorsiones mínimas. Los espejos pueden ser planos, cóncavos o convexos. Los espejos se estudian analizando la marcha de los rayos luminosos según las leyes de la refracción.

Se llama imagen a la proyección de la luz que emite un objeto y que se captura en una pantalla o en cualquier parte del espacio real o virtual. Hablar de espacio virtual es considerar que la posición de una imagen no corresponde a un sitio en el espacio como lo conocemos. Por ejemplo, si nos miramos en un espejo la imagen de nuestro cuerpo parece estar a cierta distancia “adentro” de la superficie del espejo, por ejemplo 30 cm., pero si buscamos nuestra imagen 30 cm. atrás del espejo no la encontramos, esto significa que nuestra imagen es una imagen virtual pues ocupa un espacio virtual. Cuando la imagen es real se puede proyectar en una pantalla. Los espejismos son imágenes virtuales invertidas de objetos lejanos, son causados por los diferentes índices de refracción en el aire cuando tiene distintas capas de densidad a causa de la temperatura.

La imagen formada por un espejo plano se construye por rayos de luz que viajan en línea recta y son desviados conforme las leyes de la reflexión; ¿Te has puesto a pensar que tu cara, la que ves todos los días en el espejo no es exactamente la misma que ven los demás?, la razón de esto es que un espejo invierte el lado derecho por el izquierdo. En los espejos convexos la superficie reflectante es curva hacia fuera. Los espejos cóncavos se utilizan con frecuencia para vigilancia, las imágenes de los objetos que proyectan son de menor tamaño al de las imágenes proyectadas por los espejos planos. Un espejo retrovisor en un automóvil es un espejo convexo, las imágenes de los otros vehículos que van detrás se perciben de un menor tamaño que si se tratara de un espejo plano, por eso se tiene la advertencia de que los objetos (cuya imagen se ve en el espejo retrovisor) están más cerca de lo que aparentan.

Los espejos cóncavos son curvos hacia adentro, en ellos se pueden proyectar imágenes reales o virtuales de objetos que emiten luz delante de ellos. El eje del espejo es una línea recta perpendicular al centro del mismo. En el eje se encuentra un punto fijo llamado foco. Todo rayo luminoso que incida paralelo al eje del espejo, se desvía de tal manera que pasa por el foco.



Si un objeto se coloca delante de un espejo cóncavo se presenta una imagen con características que dependen de la posición del objeto:

Cuando el objeto está más allá del centro de curvatura del espejo, se forma una imagen real invertida y de menor tamaño. Para la posición del objeto en el centro de curvatura se forma una imagen real, invertida y del mismo tamaño que el objeto. Si el objeto está en una posición intermedia entre el centro de curvatura y el foco, se forma una imagen real, invertida y de mayor tamaño. Cuando el objeto está en la posición del foco no se forma imagen. Finalmente, si el objeto está entre el espejo y su foco, se forma una imagen virtual, de mayor tamaño, y derecha (no invertida). Si la distancia entre el espejo convexo y el foco es mayor a 50 cm, es posible utilizarlo para afeitarse pues la imagen del rostro es de mayor tamaño y derecha.

Las lentes son instrumentos ópticos que permiten la refracción de la luz debido a que las paredes por donde de entra y sale la luz no son paralelas. Un frasco de vidrio cilíndrico podría servir como lupa, hay diferentes tipos de lentes:

Las **lentes convergentes** refractan los rayos luminosos hacia uno de sus focos, se utilizan para aumentar el tamaño de las imágenes como en los lentes para corregir la hipermetropía, una lupa

es una lente convergente. El foco de una de las superficies de la lente se encuentra enfrente de la otra superficie curva de la lente. Pueden ser biconvexas si sus dos caras son convexas, planoconvexas si una de sus caras es plana y la otra convexe, y meniscoconvexas si una superficie es cóncava y la otra es convexe.

Las **lentes divergentes** son lentes que refractan los rayos luminosos en una dirección tal que pareciera que provienen de un foco. Se utilizan por ejemplo para corregir la miopía.

Para determinar el tamaño de las imágenes y la posición de éstas cuando se forman en una lente, se utilizan las siguientes fórmulas:

$M = -\frac{D_i}{D_o}$	$O = \frac{f T}{D_i - f}$	$T = \frac{f O}{D_o - f}$	$M = -\frac{T}{O}$	$D_i = \frac{D_o f}{D_o - f}$
$D_o = \frac{D_i f}{D_i - f}$	$O = \frac{T(D_o - f)}{f}$	$T = \frac{O(D_i - f)}{f}$	$f = \frac{D_o D_i}{D_o + D_i}$	

Dónde M, es el factor de amplificación,  $D_i$  es la distancia de la imagen a la lente,  $D_o$  es la distancia del objeto a la lente, O es el tamaño del objeto, T es el tamaño de la imagen, f la distancia focal. Para las lentes divergentes f debe ser negativa, si  $D_i$  es negativa la imagen es virtual.

**Ejemplo 2** Si un objeto de 4 cm de alto, se coloca a 30 cm de una lente divergente con distancia focal de 20 cm, ¿a qué distancia se formará la imagen y cuál será su tamaño?

$$D_i = \frac{D_o f}{D_o - f} = \frac{(30)(-20)}{30 - (-20)} = -12 \text{ cm} \quad T = \frac{f O}{D_o - f} = \frac{(-20)(4)}{30 - (-20)} = -1.6 \text{ cm}$$

Esto significa que la imagen es virtual y de tamaño menor.

### 5.1. Microscopios, telescopios y el ojo humano

Los instrumentos ópticos como un telescopio, un microscopio o una simple cámara fotográfica utilizan una serie de lentes e incluso espejos para obtener imágenes de objetos que a simple vista no podríamos percibir. El primer telescopio se construyó a principios del siglo XVII en Holanda. Consisten básicamente en un tubo que contiene dos lentes, una llamada objetivo concentra los rayos luminosos de los astros en su foco, luego estos rayos siguen hasta una segunda lente llamada ocular que aumenta la imagen formada por el objetivo. También pueden usar espejos, los espejos invierten los lados de las imágenes, por eso los mapas de Marte están al revés.

Los microscopios ópticos son instrumentos desarrollados a partir del mismo siglo XVII, constan de una o más lentes, y de un sistema que permite iluminar el objeto que se quiere visualizar. La luz se concentra en el objeto, pasa a una lente llamada objetivo (se puede cambiar por un mecanismo llamado revólver) luego se amplifica con otra lente llamada ocular. La imagen se puede enfocar mediante un mecanismo que acerca o aleja al objetivo.

El ojo humano es un complejo órgano que utiliza un conjunto de ligamentos y músculos para cambiar la curvatura del cristalino, mismo que funciona como lente. Al cambiar la curvatura del cristalino se puede enfocar una imagen cercana o una distante. Los rayos luminosos pasan hacia la parte interna posterior del ojo donde se encuentra una capa de células fotosensibles llamada retina que transforma la imagen a impulsos nerviosos que viajan al cerebro por el nervio óptico. El índice de refracción del agua es casi igual al de los diferentes tejidos del cuerpo humano, por eso no se puede ver con claridad debajo del agua; sólo los miopes podrían ver un poco mejor. Si se introduce una lupa en el agua su capacidad de refracción disminuye.