



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA



Lentes y modelo del ojo humano

Objetivos

1. Estudiar la óptica del ojo humano
2. Explorar problemas de visión y su corrección.
3. Demostrar la función de la retina y el cristalino.

Materiales y equipo

1. Mesa óptica
2. Modelo del ojo humano
3. Lentes de plástico (2 juegos de 6 piezas)
4. Pantalla cristalina, calibrador óptico y lente ajustable



Figura 1: Modelo del ojo humano

Marco teórico

Lentes

Las lentes forman imágenes al desviar los rayos de luz cuando cruzan interfaces entre materiales con diferentes índices de refracción. El índice de refracción de un material es la proporción de la velocidad de la luz en el vacío respecto a su velocidad en el medio. Cuando la luz pasa a través de una lente, cruza dos interfaces: una al entrar y otra al salir. Esta desviación se cuantifica por la distancia focal de la lente, la cual depende de la curvatura de sus superficies y de los índices de refracción del material de la lente y su entorno.

Las lentes convergentes, con superficies convexas y más gruesas en el centro que en los bordes, tienen distancias focales positivas y hacen que los rayos paralelos se unan en un punto focal. Por otro lado, las lentes divergentes, con superficies cóncavas y más delgadas en el centro, tienen distancias focales negativas y hacen que los rayos paralelos se separen. La fuerza de una lente, que se refiere a su capacidad para desviar los rayos de luz, está determinada por su distancia focal: una lente con una distancia focal corta es más fuerte que una con una distancia focal larga.



Figura 2: Tipos de lentes

La formación de imágenes depende de la convergencia o divergencia de los rayos de luz que pasan a través de la lente. Una imagen real se forma por la convergencia de los rayos en un punto y puede verse en una pantalla colocada en ese punto. En cambio, una imagen virtual se forma por la divergencia de los rayos, y solo puede verse directamente si el ojo está posicionado de manera que los rayos divergentes entren en él. La distancia desde la lente hasta la imagen se llama distancia de la imagen: es positiva para imágenes reales y negativa para imágenes virtuales.

La distancia desde la lente hasta el objeto se llama distancia del objeto. En un sistema de una sola lente, esta distancia es positiva si el objeto está frente a la lente. En un sistema de dos lentes, la imagen formada por la primera lente actúa como objeto para la segunda lente. Si esta imagen-objeto está frente a la segunda lente, su distancia es positiva; si está detrás de la lente, la distancia es negativa. Este comportamiento determina cómo las lentes enfocan la luz y forman imágenes en diferentes configuraciones ópticas.

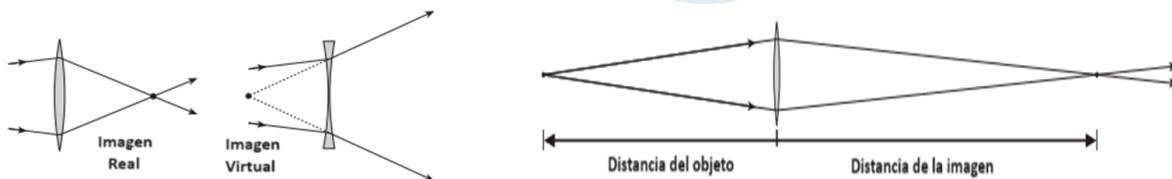


Figura 3: Tipos de lentes

Lentes delgados

Si el objeto está muy lejos de la lente, la distancia del objeto se considera infinita. En este caso, los rayos provenientes del objeto son paralelos, o es igual a cero, y la distancia de la imagen es igual a la distancia focal. Esto lleva a la definición del punto focal como el lugar donde una lente enfoca los rayos paralelos entrantes de un objeto distante. Una lente tiene dos puntos focales, uno a cada lado. La distancia desde la lente hasta cada punto focal es la distancia focal.

La ecuación de lentes delgadas se utiliza para relacionar la distancia de la imagen (d_i) con la distancia del objeto (d_o) y así obtener la distancia focal (f).

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

El tamaño de una imagen puede ser diferente del tamaño del objeto. La construcción geométrica demuestra que el aumento lateral de la imagen es:

$$M = \frac{d_i}{d_o} = \frac{h_i}{h_o} \quad (2)$$

en donde h_i es la altura de la imagen y h_o es la altura del objeto.

Ojo humano

El ojo humano es un órgano sensible a la luz. Se encarga de transformar la intensidad luminosa que recibe en señales eléctricas. Estas últimas recorren el nervio óptico para luego ser enviadas al cerebro en donde se genera la sensación de vista.

Al igual que una cámara, el ojo cuenta consigo con una abertura, un sistema de lentes y una superficie trasera sensible a la luz.

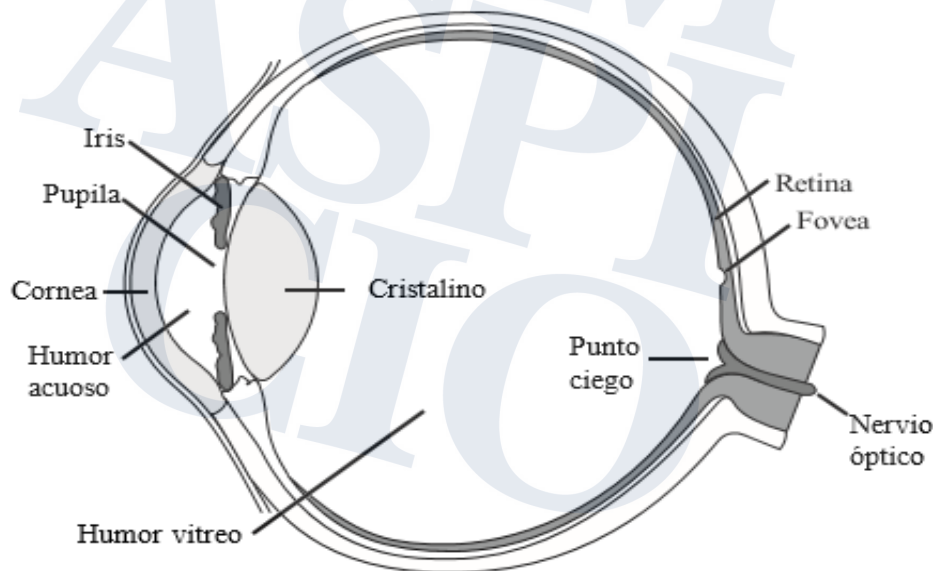


Figura 4: Anatomía del ojo humano

El sistema de lentes del ojo humano actúa como un solo lente convergente. Los rayos de luz provenientes de los objetos atraviesan dicho lente y convergen en la retina, por medio de refracción. La retina es el lugar en donde se enfoca y construye una imagen invertida. Al transcurrir dicha construcción, el nervio óptico se encarga de transmitir dicha información visual al cerebro en donde se generará una visión no invertida.

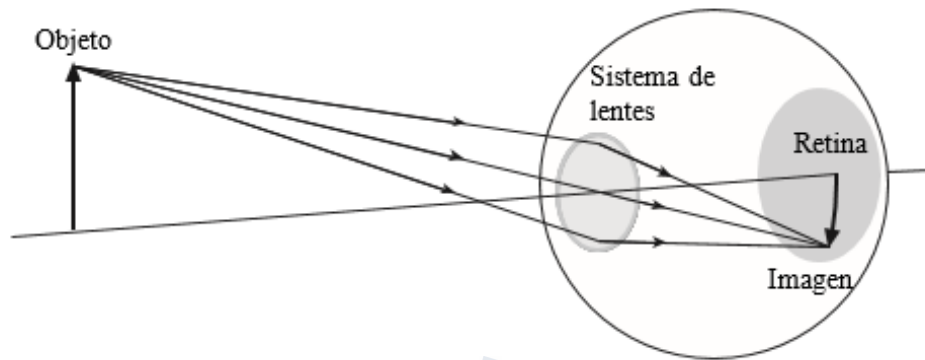


Figura 5: Formación de imágenes en la retina

Procedimiento experimental - óptica del ojo humano

Imágenes formadas en el ojo

1. No llenes el modelo del ojo con agua todavía. Coloca la pantalla de la retina en la ranura del medio, marcada como NORMAL. Coloca el lente de +400 mm en la ranura etiquetada como SEPTUM.
2. Coloca la fuente de luz frente al modelo del ojo, a unos 50 cm de la córnea. ¿Puedes ver una imagen en la pantalla de la retina? Mueve la fuente de luz hacia arriba, abajo, izquierda y derecha. ¿Cómo se mueve la imagen?
3. Observe la imagen que se ve en la retina ¿La imagen en la retina está invertida? Voltea el dibujo boca abajo. ¿Cómo se ve ahora la imagen? Haz un dibujo de la imagen en la retina y dibuja una copia del dibujo original al lado.

Acomodación

En el proceso de acomodación, los músculos en el ojo cambian la forma del cristalino para cambiar su longitud focal. Inicialmente, modelarás la acomodación variando la longitud focal del cristalino usando el lente de enfoque ajustable. Más adelante, cuando el modelo esté lleno de agua, la acomodación se logrará reemplazando el cristalino con lentes fijos de diversas longitudes focales.

1. No llenes aún el modelo del ojo con agua. Reemplaza el lente en la ranura SEPTUM con el lente de enfoque ajustable. Posiciona el modelo del ojo a unos 25 cm de la pantalla iluminada. ¿Puedes ver la imagen en la retina? Mueve el émbolo de la jeringa para ajustar el lente y formar la imagen más nítida posible. ¿El lente es cóncavo o convexo? ¿Es un lente convergente o divergente?
2. Aleja el modelo del ojo de la pantalla iluminada a unos 50 cm. Ajusta nuevamente el lente para formar la imagen más nítida. ¿Aumentaste o disminuiste el poder del lente? ¿Aumentaste o disminuiste la longitud focal?
3. Reemplaza el lente de enfoque ajustable con el lente de +400 mm en la ranura SEPTUM. Ajusta la distancia de la pantalla iluminada para formar una imagen nítida. Marca la posición del modelo del ojo para que puedas volver al mismo lugar después de llenarlo con agua.
4. Llena el modelo del ojo con agua hasta dejar entre 1 y 2 cm del borde superior sin llenar. Vuelve a colocarlo en la misma posición que en el paso 3. ¿La imagen sigue enfocada? Prueba cambiando la distancia; ¿puedes lograr que se enfoque? Explica. ¿Qué efecto tienen los humores acuoso y vítreo (modelados por el agua) en la longitud focal del sistema de lentes del ojo?

5. Coloca el modelo del ojo a unos 35 cm de la fuente de luz. Reemplaza el lente de +400 mm en la ranura SEPTUM con el lente de +62 mm. ¿La imagen está enfocada ahora? Acerca el modelo del ojo lo más posible a la fuente de luz manteniendo la imagen enfocada. Describe la imagen en la pantalla de la retina.
6. Mide la distancia del objeto, O , desde la pantalla de la fuente de luz hasta el borde superior del modelo del ojo. (El frente del borde es un lugar conveniente para medir y marca el centro del sistema de dos lentes del modelo del ojo). Registra esta distancia, que es el punto cercano del modelo del ojo cuando está equipado con el lente de +62 mm. El ojo humano promedio tiene un punto cercano para la visión nítida de aproximadamente 25 cm.
7. La óptica de un sistema de dos lentes se puede simplificar observando el efecto combinado de las lentes y la longitud focal total efectiva del sistema. Mide la distancia de la imagen (d_i), desde el borde del modelo hasta el mango de la retina. Calcula la longitud focal total efectiva (f) del sistema de dos lentes usando la fórmula (1) de la lente delgada
8. Aumenta la capacidad del modelo del ojo para enfocar un objeto cercano agregando el lente de +400 mm a la ranura B. Esta combinación modela una longitud focal diferente para el cristalino. ¿Qué tan cerca puede enfocar el ojo ahora?
9. Mantén el lente de +400 mm en la ranura B y reemplaza el lente en la ranura SEPTUM con el lente de +120 mm. ¿A qué distancia enfoca ahora el modelo del ojo? ¿Qué hace un ojo humano real para cambiar la longitud focal de su cristalino?
10. Quite ambos lentes y coloca el lente de +62 mm en la ranura SEPTUM. Ajusta la distancia ojo-fuente a la distancia del "punto cercano" para este lente (que encontraste en el paso 6) para que la imagen esté enfocada. Mientras observas la imagen, coloca la pupila redonda en la ranura A. ¿Qué cambios ocurren en el brillo y la claridad de la imagen? Mueve la fuente de luz varios centímetros más cerca del modelo del ojo. ¿La imagen sigue enfocada? Quita la pupila y observa el cambio en la claridad de la imagen. Tanto con como sin la pupila, ¿cuánto puedes cambiar la distancia ojo-fuente y aún tener una imagen nítida? Predice qué pasará con la imagen cuando coloques la pupila de "gato" en la ranura A. Intentalo y registra tus observaciones.
11. Haz un dibujo detallado que muestre el objeto, la imagen, la pupila y ambas lentes. Identifica qué lente modela el lente corneal y cuál modela el cristalino.
12. Posiciona el modelo del ojo (sin la pupila) de manera que mire hacia un objeto distante. ¿La imagen en la retina está enfocada? Reemplaza el lente en la ranura SEPTUM con uno que haga una imagen clara del objeto distante; este es el lente para visión lejana. Registra la longitud focal marcada en el mango del lente.
13. Calcula la longitud focal total efectiva del sistema de lentes, como lo hiciste en el paso 7. ¿Qué valor debes usar como la distancia del objeto para la visión lejana? ¿Cómo introduces ese valor en una calculadora? (Pista: a medida que la distancia del objeto, o , aumenta hacia el infinito, la inversa de la distancia del objeto, d_o , disminuye hacia cero).
14. Un tratamiento para cataratas es eliminar quirúrgicamente el cristalino. Quita el cristalino del modelo del ojo y observa la imagen del objeto distante en la retina. ¿Puede un ojo sin ayuda enfocar objetos distantes sin el cristalino? Coloca el lente de +400 mm en la ranura 1 para que actúe como un lente de gafas. ¿Esto restaura la visión clara? Gira el modelo del ojo para mirar la fuente de luz cercana. ¿Puedes ajustar la distancia del objeto cercano para formar una imagen clara? Reemplaza el lente de gafas en la ranura 1 con el lente de +120 mm. ¿Ahora puedes ajustar la distancia del objeto para formar una imagen clara?

Hipermetropía

Una persona afectada por hipermetropía tiene un globo ocular más corto de lo normal, lo que hace que la retina esté demasiado cerca del sistema de lentes. Esto provoca que las imágenes de objetos cercanos se formen detrás de la retina.

1. Configura el modelo del ojo para la visión cercana normal (coloca el lente de 62 mm en la ranura SEPTUM, quita otros lentes y asegúrate de que la retina esté en la posición NORMAL). Posiciona el ojo para mirar hacia la fuente de luz cercana. Ajusta la distancia ojo-fuente a la distancia del punto cercano para que la imagen esté enfocada.
2. Mueve la pantalla de la retina a la ranura hacia adelante, etiquetada como FAR. Describe lo que le sucede a la imagen. Esto es lo que una persona hipermétrope ve cuando intenta mirar un objeto cercano. Reduce el tamaño de la pupila colocando la pupila redonda en la ranura A. ¿Qué sucede con la claridad de la imagen? Quita la pupila.
3. Gira el modelo del ojo para mirar el objeto distante y describe la imagen. ¿Tiene una persona hipermétrope dificultades para ver objetos distantes? ¿Por qué no fue necesario cambiar el lente para mirar de lejos?
4. Devuelve el modelo del ojo a mirar hacia la fuente de luz cercana. Ahora corregirás la hipermetropía colocando gafas en el modelo. Encuentra un lente que enfoque la imagen cuando lo coloques frente al ojo en la ranura 1. Registra la longitud focal de este lente. Gira el lente de las gafas en la ranura. ¿Esto afecta la imagen en la retina?
5. Un lente correctivo no se describe normalmente por su longitud focal, sino por su poder de refracción, que se mide en unidades llamadas dioptrías. Para calcular el poder de un lente en dioptrías, toma el recíproco de su longitud focal en metros. ¿Cuál es el poder del lente de las gafas que seleccionaste para el modelo del ojo?
6. Asegúrate de que la imagen todavía esté enfocada. Quita las gafas. Añade el lente de +120 mm en la ranura B para simular lo que sucede cuando el cristalino aumenta su poder mediante la acomodación. ¿La imagen se vuelve más nítida? Esto muestra que el ojo puede compensar la hipermetropía si puede acomodar lo suficiente.

Miopía

Una persona afectada por miopía tiene un globo ocular más largo de lo normal, lo que hace que la retina esté demasiado lejos del sistema de lentes. Esto provoca que la imagen de un objeto distante se forme delante de la retina.

1. Configura el modelo del ojo para visión cercana normal (coloca el lente de +62 mm en la ranura SEPTUM, quita otros lentes y coloca la pantalla de la retina en la posición NORMAL). Con el modelo del ojo mirando hacia la fuente de luz cercana, ajusta la distancia ojo-fuente para que la imagen esté enfocada.
2. Mueve la pantalla de la retina a la ranura trasera, etiquetada como NEAR. Describe lo que sucede con la imagen. Reduce el tamaño de la pupila colocando la pupila redonda en la ranura A. ¿Qué sucede con la claridad de la imagen? Quita la pupila.
3. Ahora corregirás la miopía colocando gafas en el modelo. Encuentra un lente que enfoque la imagen cuando lo coloques frente al ojo en la ranura 1. Registra la longitud focal de este lente. Calcula su poder en dioptrías. ¿Afecta la imagen al girar el lente de las gafas en la ranura?
4. Quita las gafas. Ajusta la distancia ojo-fuente para que la imagen esté enfocada. ¿Esta distancia es diferente a la distancia normal del punto cercano que encontraste en el paso 1? ¿Por qué?
5. Gira el modelo del ojo para mirar el objeto distante. Describe la imagen. Reemplaza el lente en la ranura SEPTUM con el lente de visión lejana normal (que encontraste en la Parte 1, paso 12, en la página 17). ¿Está la imagen enfocada? Esto es lo que una persona miope ve cuando intenta mirar un objeto distante. El lente en la ranura SEPTUM representa el cristalino en su estado más relajado, con su longitud focal más larga posible. ¿Puede un ojo compensar la miopía mediante la acomodación?

Astigmatismo

1. Configura el modelo del ojo para visión cercana normal (coloca el lente de +62 mm en la ranura SEPTUM, quita otros lentes y coloca la pantalla de la retina en la posición NORMAL). Con el modelo del ojo mirando hacia la fuente de luz cercana, ajusta la distancia ojo-fuente para que la imagen esté enfocada.
2. Coloca el lente cilíndrico de -128 mm en la ranura A. El lado del mango del lente marcado con la longitud focal debe estar hacia la fuente de luz. Describe la imagen formada por el ojo con astigmatismo.
3. Gira el lente cilíndrico. ¿Qué sucede con la imagen? Esto muestra que el astigmatismo puede tener diferentes direcciones dependiendo de cómo se oriente el defecto en el sistema de lentes del ojo.
4. Ahora corregirás el astigmatismo con gafas. Coloca el lente cilíndrico de +307 mm en la ranura 1. El lado del mango del lente marcado con la longitud focal debe estar hacia la fuente de luz. Gira el lente correctivo y describe lo que sucede con la imagen. Encuentra la orientación del lente de las gafas en la que la imagen sea más nítida. ¿Cuál es el ángulo entre los ejes cilíndricos del cristalino y el lente correctivo?
5. Un ojo puede tener más de un defecto. Haz que el modelo del ojo tenga tanto astigmatismo como hipermetropía (visión lejana) moviendo la pantalla de la retina a la ranura FAR. ¿Qué lente adicional de gafas tienes que colocar en la ranura 2 para que la imagen vuelva a estar enfocada?

Procedimiento experimental - Telescopio

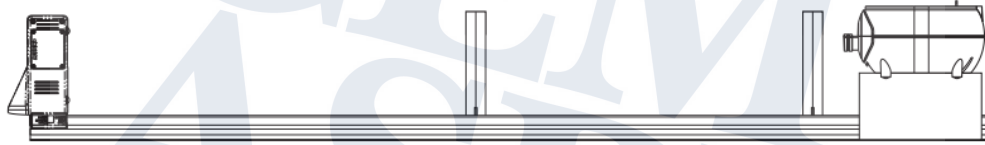


Figura 6: Montaje para un experiencia de telescopio

1. Coloca la fuente de luz en el banco óptico. Alinea la pantalla del objeto iluminado en la marca de 0 cm.
2. Coloca el lente de vidrio de +200 mm en el banco en la marca de 51 cm y el lente de vidrio de +100 mm en la marca de 93 cm. Estos dos lentes conforman el telescopio.
3. Mira a través de los dos lentes hacia la fuente de luz. Compara la imagen que ves a través del telescopio con el objeto tal como aparece cuando lo miras directamente desde la misma distancia. Estima la magnificación. ¿Importa cuánto lejos está tu ojo del lente del telescopio? ¿Está la imagen invertida? Realiza dibujos lado a lado de la imagen vista a través del telescopio y del objeto visto directamente, mostrando sus orientaciones y tamaños aparentes.
4. Llena el modelo ocular con agua. Ajusta para visión normal a distancia media con el lente de +120 mm en la ranura SEPTUM, el lente de +400 mm en la ranura B y la pantalla de retina en la ranura NORMAL. Esto hace que el ojo enfoque (o acomode) a una distancia de aproximadamente 1 metro.
5. Usa el soporte o una pila de libros para posicionar el modelo ocular a la altura de los lentes del telescopio con el lente corneal en la marca de 100 cm.
6. Observa la imagen en la pantalla de retina. ¿Está enfocada? ¿Qué pasa con la imagen cuando ajustas ligeramente las posiciones de los dos lentes del telescopio? Devuélvelos a sus posiciones originales. ¿Está la imagen invertida? Usa el calibrador óptico para medir el ancho de la imagen. Dibuja un esquema de la retina y la imagen.

7. Sin cambiar nada más, retira los lentes del telescopio. ¿Puedes seguir viendo una imagen en la pantalla de retina? ¿Está invertida? ¿Es más grande o más pequeña que la imagen formada con el telescopio? Mide el ancho de la imagen. Dibuja otro esquema de la retina y la imagen.

Análisis

1. Divide el tamaño de la imagen en la retina vista con el telescopio entre el tamaño de la imagen en la retina sin el telescopio. Esta es la magnificación angular del telescopio.
2. La longitud focal (f_1) del primer lente (Lente 1) es de 20 cm, y la distancia al objeto (d_0) es de 51 cm. Usa la fórmula (1) del lente delgado para calcular la distancia de la imagen (d_i) formada por el Lente 1.
3. ¿Está esta imagen (Imagen 1) delante o detrás del Lente 1? ¿Es real o virtual?
4. Calcula la magnificación (M_1) de la Imagen 1.
5. ¿Nos dice el valor de M_1 que la imagen es más grande o más pequeña que el objeto? ¿Qué significa el signo de M_1 ?
6. Coloca una pantalla en la posición que calculaste para la Imagen 1. ¿Puedes ver la imagen en la pantalla? ¿Qué te dice esto sobre el tipo de imagen? ¿Es la Imagen 1 más grande o más pequeña que el objeto? ¿Está invertida?
7. Haz un diagrama de rayos a escala que incluya el objeto de la fuente de luz, ambos lentes y el modelo ocular. Escoge una escala horizontal que haga que tu dibujo tenga al menos 10 cm de ancho. Exagera la escala vertical para hacer que el objeto en la fuente de luz y los lentes tengan varios centímetros de altura. Marca los puntos focales de los lentes del telescopio, etiqueta todas las partes e indica todas las distancias horizontales conocidas.
8. Usa el trazado de rayos para encontrar la posición y altura de la Imagen 1. Extiende los rayos después de que crucen hasta que se encuentren con el Lente 2.
9. La Imagen 1 es lo mismo que el Objeto 2 (el objeto para el Lente 2); pero la distancia al objeto del Objeto 2 no es la misma que la distancia a la imagen de la Imagen 1. ¿Cuál es la distancia entre los lentes? ¿Cuál es la distancia entre el Lente 1 y el Objeto 2? Usa estas distancias para calcular la distancia al objeto (d_0) entre el Objeto 2 y el Lente 2. Marca d_0 en tu diagrama. ¿Es d_0 negativo o positivo?
10. Usa la fórmula del lente delgado para calcular la distancia de la imagen (d_i) para el Lente 2.
11. ¿En qué lado del Lente 2 se forma esta imagen? Si colocas una pantalla en la ubicación de la Imagen 2, ¿ves la imagen? ¿Por qué no? ¿Qué deberías hacer para ver la Imagen 2? ¿Es real o virtual?
12. Usando las distancias de imagen y objeto de ambos lentes, calcula la magnificación total para el telescopio, M . ¿Cómo se compara esto con lo que observaste?

Termina tu diagrama de rayos agregando la Imagen 2 en la posición que calculaste. Usa la magnificación calculada para dibujar la altura de la Imagen 2 a escala. Extiende los rayos desde el Lente 2 para mostrar cómo se forma la Imagen 2.

Conclusiones

Imágenes formada por el ojo

1. Dado que la imagen en la retina está invertida, ¿por qué no vemos las cosas al revés? Si escribieras algo en un pedazo de papel y lo sostuvieras boca abajo frente al ojo, ¿Cómo se vería en la retina? ¿Serías capaz de leerlo fácilmente?

Acomodación

1. En el paso 13, la longitud focal efectiva f y la distancia de la imagen d_i eran las mismas. ¿Por qué? ¿Para qué caso especial f es igual a d_i ?
2. En un ojo humano real, la acomodación se logra mediante músculos que cambian la curvatura del cristalino. Cuando un ojo cambia la acomodación de un objeto distante a un objeto cercano, ¿aumenta o disminuye la curvatura del cristalino? ¿Por qué disminuye el rango de acomodación del ojo con la edad?

Hipermetropía

1. ¿Por qué reducir el tamaño de la pupila hizo que la imagen fuera más clara? ¿Una persona con hipermetropía vería mejor con luz brillante o con luz tenue?
2. Un lente fuerte (de alta potencia) tiene una longitud focal larga o corta? ¿Cuál es el poder y la longitud focal de una pieza delgada y plana de vidrio sin curvatura? Observa detenidamente los lentes de +62 mm y +400 mm. ¿Qué lente tiene una mayor curvatura?

Miopía

1. ¿Por qué reducir el tamaño de la pupila hizo que la imagen fuera más clara? ¿Una persona con miopía vería mejor con luz brillante o con luz tenue?
2. Para corregir la miopía, ¿es necesario mover la imagen formada por el ojo más cerca o más lejos del sistema de lentes del ojo? ¿Esto requiere un lente convergente o divergente? ¿Este lente correctivo suma o resta al poder de refracción del sistema de lentes del ojo? ¿La curvatura de este lente es cóncava o convexa?

Astigmatismo

1. ¿Por qué girar el lente correctivo para el astigmatismo afecta la imagen, pero girar un lente correctivo para hipermetropía o miopía no lo hace? ¿Qué prueba podrías hacer para averiguar si las gafas de una persona tienen una corrección para el astigmatismo? ¿Alguien en tu grupo de laboratorio usa gafas que corrijan el astigmatismo?

Telescopio

1. En la mayoría de los telescopios, los lentes están dispuestos de manera que la distancia de la imagen es infinita. Cuando un ojo normal está acomodado a infinito, los músculos que controlan la curvatura del cristalino están relajados. ¿Cuál es la ventaja de un telescopio con este diseño?
2. En tu modelo de telescopio, las posiciones de los dos lentes fueron elegidas para que la Imagen 2 se forme aproximadamente en la misma ubicación que el objeto en la fuente de luz. Si ajustaras el telescopio para formar la imagen a infinito, ¿qué tendrías que hacer al modelo ocular para permitirle ver claramente la imagen?

Bibliografía

- Física para Ciencias de la Salud. Wilson, Buffa, Lou, Giancoli. 2da edicion. Pearson.
- Física, Serway, R y Faughn, J. 5ta Edicion. Prentice Hall. 2001.
- Física para ciencias de la Vida. Jou, D; Llebot, J y Garcia, C. McGraw Hill. 1994.
- Física para ciencias e ingeniería . Cengage. Serway , R., & Jewett, J. (2008).