

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Física

Segundo semestre de 2022

Profesor Ernesto Montero Zeledón

## Práctica # 4.1.

### Experimentos sobre funcionamiento del ojo y defectos frecuentes de la visión humana. Evaluación y corrección<sup>1</sup>

La Práctica #4 era bisemanal, pero ahora, debido a la inclusión de una temática nueva sobre láseres y coherencia, solo dura una semana. En esta práctica se realizan experiencias sencillas para estudiar los tipos de defectos de la visión humana y algunas de las técnicas empleadas para corregirlos.

#### Objetivo general:

Realizar ensayos por simulación computacional y experimentos sencillos para comprender el funcionamiento del ojo, la percepción del color y los defectos de la visión humana.

#### Objetivos específicos:

1. Conocer algunas características de la visión normal y de las pruebas para evaluarla.
2. Conocer algunos defectos del sistema visual humano y cómo se corrigen.
3. Realizar experimentos con el modelo del ojo para familiarizar a los estudiantes con los defectos del sistema visual humano y con los métodos de corrección.

#### Introducción

Desde el punto de vista de la anatomía y de la óptica, probablemente sea poco lo que nos falta por conocer del sistema visual humano. Esto es así por la gran importancia que tiene el sentido de la vista en todas nuestras actividades y porque el sistema se viene estudiando desde hace muchos años. Pero la capacidad perceptiva asociada con la visión, va más allá de la importancia individual, pues abarca muchos ámbitos diversos como la moda, la publicidad, el comercio, el arte, la seguridad, la biología, la medicina, entre otras. Por esta misma razón, la investigación sobre la respuesta de nuestros ojos ante diferentes estímulos que varían en intensidad, color, posición, movimiento y otras más, continúa vigente. Pero también se continúan estudiando las formas de modificar o adaptar nuestro sistema visual para lograr que veamos con mayor nitidez, mayor rapidez, mayor sensibilidad, pero además con menos alteraciones, molestias, cansancio y esfuerzo.

Conocer la capacidad normal de una población para identificar señales o estímulos es fundamental para la comunicación. Desde la intensidad luminosa de las pantallas y la elaboración de formatos de lectura, hasta las señales visuales de tránsito y señales de seguridad. Nuestro mundo depende de la comunicación visual por ser la más importante de los canales de información humanos debido a su inmediatez, facilidad y que requiere poco esfuerzo intelectual por parte de quienes reciben el

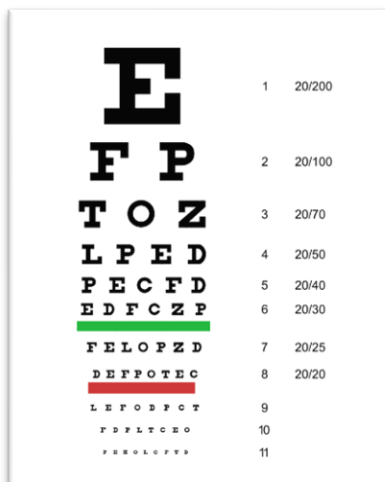
---

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

mensaje. Además, aunque nuestra percepción visual individual presenta diferencias, existe consenso en que, dentro de una misma cultura, las semejanzas son mayores que las diferencias. Esto permite desarrollar métodos y técnicas de comunicación visual dirigidas a las mayorías, lo que reduce los costos de comunicación de forma significativa, especialmente los costos de publicidad. Es así, que los estudios sobre la percepción de la información visual continúan realizándose, pues la influencia de nuestras particularidades culturales es un factor que se debe considerar en nuestra percepción.

La neurociencia nos ha ensañado que los ojos no ven la realidad, los ojos solo brindan información visual que, en conjunto con otros estímulos y experiencias, nos permiten generar un modelo de la realidad. La realidad no está en el estímulo visual que llega a los ojos ni en las señales visuales que se envían al cerebro, es el cerebro el que interpreta y combina toda la información relevante para crear la sensación visual y generar un modelo de realidad. En pocas palabras, no vemos la realidad con nuestros ojos, en su lugar, creamos un modelo de realidad con nuestro cerebro.

Pero, aunque la percepción visual es un proceso complejo que depende de los individuos, de sus experiencias previas, de sus emociones, del contexto y de la cultura, la base de dicha percepción está en el ojo. Por ello, para mejorar la comunicación de las personas es importante la identificación y corrección de los defectos de la visión. Hay distintos tipos de defectos de la visión, algunos asociados con enfermedades, algunos con accidentes y otros con la herencia. En esta práctica se estudiarán cuatro defectos asociados con el sistema óptico córnea-cristalino (hipermetropía, miopía, astigmatismo y presbicia) y uno asociado con la retina (daltonismo). Estos son los cuatro defectos de la vista más relevantes por su incidencia en la población.

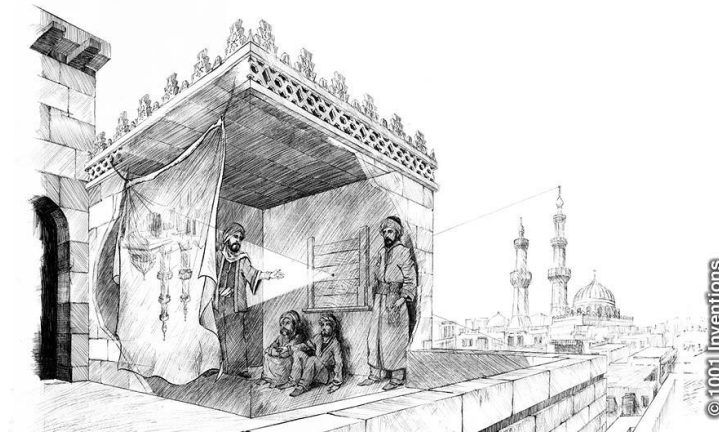


**Figura 1.** Ejemplo de optotipo Snellen [3].

Salvo casos graves, que suelen estar combinados con otros padecimientos, los cuatro defectos mencionados, asociados con el sistema córnea-cristalino, se pueden corregir con anteojos, lentes de contacto o cirugía. Una de las primeras pruebas desarrolladas para determinar problemas generales de la visión, asociadas con la agudeza visual de lejos es el optotipo o cartilla de Snellen (Figura 1). Esta prueba debe su nombre a su inventor, el oftalmólogo holandés Herman Snellen, quien diseñó el optotipo en el año 1862, con el objetivo de examinar la agudeza visual de lejos. La

cartilla consiste en un panel con líneas compuestas por letras que van disminuyendo de tamaño en cada nueva línea, sin orden específico. Las letras utilizadas en la cartilla son B, C, D, E, F, L, O, P, T, Z. Para aplicar la prueba el optotipo se debe colocar a una distancia de 6 m en la pared, luego la persona debe ir diciendo qué caracteres alcanza distinguir en un panel. Entre más líneas pueda identificar correctamente, mayor es la agudeza visual de la persona. La prueba se realiza tanto monocularmente como binocularmente. Es decir, primero tiene que ver el panel y realizar la prueba con un ojo tapado y luego con el otro, para posteriormente realizar la prueba con los dos ojos a la vez.

Los problemas del sistema óptico córnea-cristalino indicados, corresponden a distorsiones en las imágenes que se producen sobre la retina. Una manera sencilla de explorar el funcionamiento del ojo y de los problemas de la visión es mediante la construcción de una cámara oscura, dicha propuesta fue realizada por el científico árabe del siglo IX, Alhazén (Figura 2). El principio de la cámara oscura es conocido al menos desde el siglo IV a.C. en China cuando se hallaron los primeros escritos del científico Mozi [4]. Es posible que, en la antigua Grecia (siglo IV a.C.), también se conocieran algunos de estos principios. La cámara oscura fue utilizada durante los siglos XVII y XVIII por pintores europeos, para realizar bocetos de exteriores y de composiciones con modelos.



**Figura 2.** Cámara oscura desarrollada por Alhazén [5].

Por otra parte, otro de los defectos de la vista más frecuente entre las personas es el daltonismo el cual afecta aproximadamente al 6 % de la población mundial. El daltonismo es un padecimiento hereditario que provoca una percepción defectuosa del color y afecta más a hombres que a mujeres. El daltonismo se debe a un defecto en los conos, que son las células sensibles al color en la retina. Se debe recordar que la retina tiene tres tipos de conos, cada tipo sensible a un color. Así están los conos S, sensibles al azul (máximo en 420 nm), los conos M, sensibles al verde (máximo en 530 nm) y los conos L, sensibles al rojo (máximo en 560 nm). Cuando ninguno de los tres tipos de conos de la retina funciona, entonces dicha retina no aprecia ningún color (acromatopsia) solo percibe intensidades de luz con los bastones, las otras células sensibles, y la visión es acromática.

### Trabajo para la introducción del informe

En la introducción de su informe de la Práctica #4, sobre el funcionamiento del ojo, la percepción del color y los problemas de la visión humana, se deben revisar los siguientes temas. Recuerde que la introducción se debe escribir en prosa y en tercera persona del singular:

1. Indague el significado de una visión 20/20.
2. Comente en qué consisten las pruebas de agudeza visual y cuál es su propósito.
3. Explique qué es un optotipo. Comente la utilidad e importancia de las cartillas Snellen.
4. Indague cuál es la máxima resolución del ojo humano en MPx (megapíxeles). Para interpretar esta información, compárela con la resolución actual de las mejores cámaras.
5. Comente de forma general, los tipos de problemas que tiene la visión humana (incluya el daltonismo).
6. Defina y comente los problemas de la visión humana relacionados con defectos o limitaciones del sistema córnea-cristalino: miopía, hipermetropía, astigmatismo y presbicia.
7. Indague y comente qué fracción de la población tiene problemas de la vista y qué tipo de problemas son los más frecuentes.
8. Comente de forma resumida (utilizando figuras) con cuáles tipos de lente se corrigen los problemas del sistema córnea-cristalino, mencionados anteriormente.
9. Explique qué es y cómo se calculan las dioptrías de una lente.
10. ¿Cuáles son los tipos de problema de la vista que se pueden reparar mediante operaciones con cirugía láser?
11. Explique cómo se determina la distancia focal posterior de un sistema de dos lentes.

### Equipo requerido

Para realizar esta práctica se requiere el uso del modelo del ojo que le brindarán en el laboratorio, así como el conjunto de lentes planas y láminas, que utilizan la fuente láser. En el Cuadro 1 se indican los materiales requeridos y el propósito de los mismos.

**Cuadro 1.** Materiales para la ejecución de las experiencias.

Material	Propósito
Conjunto de lentes planas "Ray Optics Demonstration Set"	Analizar la convergencia y divergencia de haces paraxiales producida por lentes divergentes o convergentes
Dispositivo láser de cinco rayos rojos paralelos con transformador eléctrico	Producir haces paralelos de luz láser para el estudio del modelo de ojo humano y cómo se corrigen sus defectos
Modelo del ojo marca PASCO	Conocer cómo funciona la córnea y cómo se proyecta la imagen en la retina
Cámara fotográfica o teléfono celular	Tomar fotografías

Para la prueba de agudeza visual y para el daltonismo se recomiendan tres sitios fuera de plataformas educativas formales, pero que tienen información confiable. Puede utilizar los vínculos que se indican en el siguiente Cuadro.

**Cuadro 2.** Direcciones electrónicas de las simulaciones empleadas en esta práctica.

Tema	Vínculos electrónicos
Prueba de agudeza visual	<a href="https://youtu.be/tb9CFhMNk0M">https://youtu.be/tb9CFhMNk0M</a>
Explicación sobre daltonismo	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=Yd02AZz63Sw">https://www.youtube.com/watch?v=Yd02AZz63Sw</a>
Test Daltonismo	<a href="https://www.color-blindness.com/ishihara_cvd_test/ishihara_cvd_test.html?iframe=true&amp;width=500&amp;height=428">https://www.color-blindness.com/ishihara_cvd_test/ishihara_cvd_test.html?iframe=true&amp;width=500&amp;height=428</a>
Defectos de la lente del ojo	<a href="https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vady&amp;l=es">https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_vady&amp;l=es</a>

Para aplicar la prueba de daltonismo, es conveniente utilizar un solo dispositivo (teléfono, tableta o computadora), pero tampoco es imprescindible, pues solo es un estudio exploratorio. Por otra parte, sí es importante que, al aplicar la prueba, el observador se encuentre perpendicular a la pantalla del dispositivo, pues en otras posiciones, es posible identificar las figuras, inclusive para un daltónico. Tampoco se debe hacer la prueba cerca de una fuente luminosa intensa a la espalda de la persona que está siendo evaluada. Antes de aplicar la prueba a los demás, debe aplicársela usted mismo para conocer las dificultades y los cuidados que se deben tener. Por su parte, para la prueba de agudeza visual se adjunta un documento en pdf (Test Senllen 1) que cada estudiante debe imprimir para recabar información de un grupo pequeño de familiares y amigos.

## Procedimiento

### *Ensayos con el modelo plano del ojo (Demostrativo)*

1. Del modelo plano del ojo, *Ray Optics Demonstration Set*, tome las lentes 1, 2 y 3 y compárelas cualitativamente para determinar cuál es la más curva y la menos curva (puede marcar la curva de cada lente en una hoja de papel para determinar el radio de curvatura).
2. Con la ayuda de la fuente de haces paralelos láser, debe usar las lentes 1, 2, 3, 4 y 5 para determinar la distancia focal de cada una de ellas. Tome fotos de los ensayos y anote los valores de distancia focal de cada lente.
3. Utilice las lentes 1, 2 y 3 para representar distintos tipos de córnea. Mida la distancia de la posición de la córnea a la retina. Compruebe que solo una lente proyecta el punto focal sobre la retina y que las otras no lo hacen. Anote el resultado que produce cada lente.
4. Utilice las lentes 4 y 5 para corregir las "córneas" de modo que cada lente sistema de lentes produzca el foco en la retina del modelo. Mida la separación entre la lente y la córnea. Registre el tipo de lente que corrige cada problema de la visión.

### *Ensayos con el modelo del ojo PASCO*

1. En esta práctica se utilizará el modelo del ojo sin agua, para evitar derrames y contratiempos.
2. Utilice el modelo del ojo marca PASCO para generar imágenes en la retina. Observe que como retina se utiliza una lente fija. Note que detrás de la retina del ojo va el cristalino, que no utilizaremos en nuestro caso, y que delante se colocan las lentes correctivas habituales.
3. Cómo es la imagen lejana que se proyecta en la retina (pantalla circular blanca) cuando se encuentra en la posición "Normal". Anote la distancia de la córnea a la retina en centímetros. Además, indique si la imagen es invertida o derecha y tome una fotografía.

4. Si coloca la retina en la posición “Far”, los objetos lejanos ya no se aprecian de forma nítida en la retina. Mida la distancia de la córnea a la nueva posición de la retina. Por prueba y error, determine cuál lente corrige mejor la imagen de la retina. Anote el valor de la distancia focal que corrige la visión, mida la separación entre las lentes y anote si la lente es convergente o divergente.
5. Si coloca la retina en la posición “Near”, los objetos lejanos tampoco se aprecian de forma nítida en la retina. Mida la distancia de la córnea a la nueva posición de la retina. Por prueba y error, determine cuál lente corrige mejor la imagen de la retina. Anote el valor de la distancia focal que corrige la visión, mida la separación entre las lentes y anote si la lente es convergente o divergente.

#### Agudeza visual y daltonismo

1. Aplique el *Test de Ishihara* sobre daltonismo a las personas de su familia que vayan a participar de la evaluación de agudeza visual. Procure que la pantalla de la computadora o de la tableta siempre se encuentre en posición perpendicular al observador, pues si se inclina un poco, las personas pueden ver diferencias que no aprecia en la posición correcta. Anote los resultados.
2. Junto con este documento, se envían dos cartas de Snellen para agudeza visual. Imprima en tamaño carta las cartillas de Snellen y aplique la prueba de agudeza a usted mismo y a las personas seleccionadas que pueden incluir familiares y amigos (mínimo cinco por estudiante), siguiendo las instrucciones facilitadas en el video respectivo (primer video Cuadro 2). Se aclara que las cartillas no están estandarizadas al tamaño de impresión, por lo que los resultados que se obtengan pueden distar de los que se obtendrían en el consultorio de un optometrista o médico oftalmólogo (también conocido como oculista). Cada equipo de estudiantes debe llenar una sola hoja de cálculo con todos los resultados y sacar sus propias estadísticas.

Iniciales (nombre+ apellido)	Edad	Sexo	Resultado Test Ishihara	Snellen ojo-der	Snellen ojo-izq	Snellen ambos ojos	Snellen ojo- der agujero estenopeico	Snellen ojo- izq agujero estenopeico
ABC								
DEF								

#### Defectos de la lente del ojo

1. Trabaje con la simulación sobre defectos de la lente del ojo que se indica en el Cuadro 2.
2. Compruebe el efecto sobre la visión de cada uno de los tres tipos de defectos del sistema óptico que se pueden simular con la aplicación (hipermetropía, miopía y astigmatismo).
3. Anote el efecto de cada tipo de defecto y la forma en que se corrige.
4. Aunque la simulación no permite simular la presbicia, averigüe cómo se corrige e indique si tiene algún parecido con alguno de los tres tipos de defectos de la simulación.

#### Análisis de resultados

Recuerde que esta es solo una guía para el análisis de resultados. Usted debe redactar dicho análisis en prosa, de modo que la redacción sea continua. No debe responder las preguntas que se formulan como si fuera un cuestionario.

**Análisis del modelo plano del ojo (Demostrativo)**

1. Establezca si la clasificación de las lentes 1, 2 y 3 por curvatura, tiene correspondencia con las longitudes focales determinadas experimentalmente.
2. Evalúe sus datos de tamaño del ojo, separación entre lentes y distancia focal de cada lente para determinar si sus resultados cualitativos coinciden, razonablemente, con el modelo teórico cuantitativo para sistemas de dos lentes (distancia focal posterior).

**Análisis del modelo del ojo PASCO**

1. Explique cualitativamente si la imagen derecha o invertida que se aprecia en la retina, coincide con lo que esperaba según lo expuesto en la parte introductoria de su informe.
2. A partir de sus mediciones y de la relación de Gauss (que incluye la distancia al objeto, la distancia a la imagen y la distancia focal), determine cuál es la distancia focal de la lente fija del modelo del ojo (la córnea).
3. Determine si los tipos de lentes utilizados para la corrección de la imagen en la retina, obtenidos cualitativamente en la posición "Far" y "Near", concuerdan razonablemente bien con los cálculos que se pueden realizar con la ecuación para distancia focal posterior, vista en el curso de teoría.

*Análisis de la agudeza visual y del daltonismo*

1. Analice los resultados obtenidos tras la aplicación de las pruebas de daltonismo y agudeza visual. Establezca los porcentajes de su población con cada tipo de padecimiento. Si la población a la que pudo aplicar las pruebas no supera las 20 personas, no debería utilizar porcentajes sino fracciones redondeadas, del siguiente modo: casi la mitad, poco menos de la tercera parte, cerca de las tres cuartas partes, poco más de un cuarto, un tercio, etc.
2. Compare sus resultados con los valores de referencia que haya encontrado respecto de la frecuencia de estos padecimientos en la población.

*Análisis de la simulación de los defectos de la lente del ojo*

1. Elabore una tabla que resuma los resultados en donde incluya una descripción del problema que genera este defecto, un comentario sobre la frecuencia con que aparece en la población y una ilustración del tipo de lente que se debe utilizar para corregir el defecto. Debe incluir la presbicia en el cuadro.

**Referencias**

- [1] Sitio Materialmedico.org. "Optotipo". Información actualizada el 21 de octubre de 2020. Recuperada el 22 de octubre de 2020 de: <https://materialmedico.org/optotipo/>.
- [2] Colblindor. "Ishihara 38 Plates CVD". Información actualizada en 2018. Recuperada el 25 de octubre de 2020 de: <https://www.color-blindness.com/ishihara-38-plates-cvd-test/>.
- [3] Imagen tomada de Wikipedia. "Herman Snellen". Recuperado el 26 de octubre de 2020 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Herman\\_Snellen](https://es.wikipedia.org/wiki/Herman_Snellen).
- [4] Artículo de Wikipedia. "Cámara oscura". Recuperado el 26 de octubre de 2020 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara\\_oscura](https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A1mara_oscura)

[5] Biblioteca en línea Watchtower. “Alhazén”. Recuperado el 26 de octubre de 2020 de:  
<https://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102017210>

[6] PASCO, Manual de “Human Eye Model, OS-8477” (s.f.).