

## ESTUDIO DE LA REFRACCIÓN EN MODELO DE OJO HUMANO

Ing. Horacio Alaniz Andrada, Ing. Marcela Martínez, Ing. Angel Galeasso, Gastón Primo

[halaniz@arnet.com.ar](mailto:halaniz@arnet.com.ar),

[marcelamartinez5@yahoo.com.ar](mailto:marcelamartinez5@yahoo.com.ar),

[angelandres65@yahoo.com.ar](mailto:angelandres65@yahoo.com.ar)

[primogaston@gmail.com](mailto:primogaston@gmail.com)

Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba

### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una experiencia didáctica en el tema Óptica Geométrica, para estudiar el fenómeno de la refracción en el sistema óptico del ojo humano.

La experiencia se realiza con un modelo físico del ojo, y permite observar la formación de imágenes utilizando diferentes lentes y medios de propagación de la luz.

Las distancias obtenidas en la formación de imágenes constituyen solo una aproximación a los reales pero son de fundamental importancia para comprender la propagación de la luz y la formación de las mismas en el órgano encargado de translucir la misma.

El desarrollo de experiencias de laboratorio que plantean el estudio de fenómenos físicos en sistemas biológicos, en Carreras de Ingenierías, es de mucha utilidad para fortalecer la formación básica de los alumnos y en especial, de aquellos pertenecientes a la Carrera de Ingeniería Biomédica.

### Palabras claves

Óptica geométrica, refracción, lentes, sistemas ópticos, ojo humano

#### A. Objetivos

La luz al viajar desde un objeto a la retina, atraviesa varias superficies que marcan fronteras entre diferentes medios, y en cada de las cuales, la luz se refracta. El estudio de la propagación de la luz en el ojo humano puede abordar haciendo un análisis simplificado mediante el tratamiento de la serie de transiciones como si hubiera una sola lente con una "longitud focal efectiva"; o bien haciendo el análisis del efecto producido al atravesar las diferentes superficies refractoras o dioptrios.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la formación de imágenes en un sistema óptico centrado dióptrico que modela el recorrido de la luz desde el exterior hasta la retina del ojo humano. Constituye una propuesta didáctica en el marco del tema Óptica Geométrica, aplicada a un sistema biológico con el propósito de fortalecer la formación básica de alumnos de Carreras de Ingenierías en temáticas vinculadas a la Biología, especialmente para alumnos de Ingeniería Biomédica.

#### B. Métodos

Se utilizará un modelo físico de ojo humano, con las siguientes características:

- Dos lentes (simulando córnea y cristalino) y un iris ajustable para formar la imagen sobre la retina
- Relleno de agua para simular el humor vítreo del ojo
- Una pantalla oficia como retina, y se puede colocar a 3 distancias diferentes del cristalino.

La lente que simula la córnea es una lente plano-convexa de vidrio, el lado convexo está en contacto con el aire y el lado plano, con el agua.

El cristalino es una lente biconvexa de plástico con agua a ambos

lados. Se tratará este sistema de lentes como un conjunto integrado por tres componentes, a saber: la superficie curva de la lente de la córnea, la superficie plana de la misma lente, y la lente del cristalino. La imagen producida por la superficie esférica en la córnea es el objeto de la superficie plana, la imagen



producida por la superficie plana es el objeto de la lente del cristalino, y la imagen producida por el cristalino aparece en la pantalla de retina.

Marco Teórico

### Imagen en una superficie refractora esférica

La Figura 1 muestra los rayos de luz que viajan de un medio a otro, separados por una superficie curva de radio  $R$ , de forma similar a la primera superficie de la córnea. El índice de refracción del segundo medio,  $n_2$ , es mayor que el índice de refracción del primer medio,  $n_1$ . La relación entre la distancia del objeto ( $o$ ) y la distancia de la imagen ( $i$ ) viene dada por la ecuación de refracción para superficies esféricas:

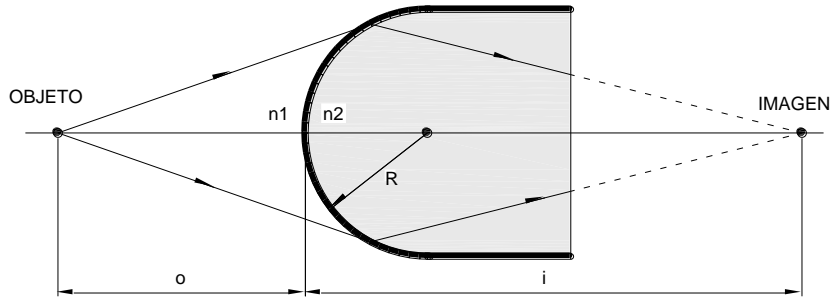


Figura 1: Imagen en dioptrio esférico

$$\frac{n_1}{o} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad (\text{Ec. 1})$$

Siendo “ $o$ ” e “ $i$ ”, las distancias objeto e imagen respectivamente, mostradas en la figura.

Si  $n_1 = 1$  (aire) y  $n_2 = n_{\text{vidrio}}$ , para un objeto ubicado a distancia infinita, se reduce a:

$$i = \frac{n_{\text{vidrio}}}{n_{\text{vidrio}} - 1} R_1 \quad (\text{Ec. 2})$$

### Imagen en superficie refractora plana

La interfaz vidrio-agua en la parte posterior de la lente de la córnea es plana. La Figura 2 muestra los rayos de luz divergentes a medida que emergen de un medio (con índice de refracción  $n_2$ ) a otro medio (con índice de refracción  $n_3$ ). Como puede verse en la figura,  $n_3$  es menor que  $n_2$ . La relación entre la distancia objeto ( $o$ ) y la distancia imagen ( $i$ ), se obtiene haciendo en la Ec 1,  $R = \infty$ :

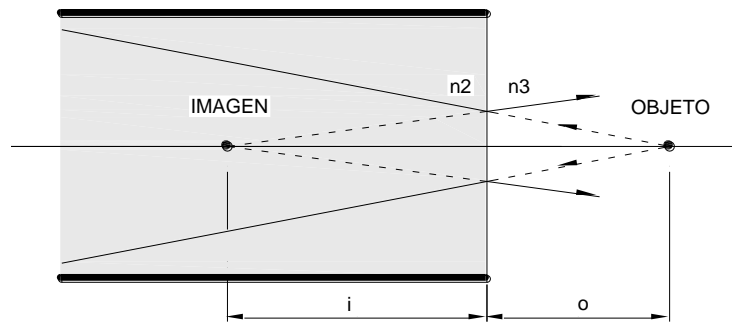


Figura 2: Imagen en dioptrio plano

$$i = -\frac{n_3}{n_2} o \quad (\text{Ec. 3})$$

Las distancias objeto e imagen se miden desde la interfaz vidrio/agua. Convenciones de signos:  $i$  es negativo en este caso porque está adelante de la superficie.

### La ecuación del fabricante de lentes en el cristalino

El cristalino está representado por una lente delgada que tiene la misma curvatura en ambas superficies y puede ser tratada como un único componente.

La ecuación del fabricante de lentes "relaciona la longitud focal de una lente ( $f$ ) a su índice de refracción ( $n_{\text{lente}}$ ), la curvatura de sus superficies ( $R$ ), y el índice de refracción del medio que lo rodea

( $n_{medio}$ ). Para una lente delgada biconvexa con la misma curvatura en ambos lados, la Ecuación del Fabricante de Lentes, se simplifica a:

$$\frac{1}{f} = \left[ \frac{n_{lente}}{n_{medio}} - 1 \right] \left[ \frac{2}{R} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

### C. Desarrollo

#### EQUIPO

- (1) Modelo físico de ojo humano
- (2) Accesorios del modelo: córnea, cristalino y retina.
- (3) Fuente de luz y objetos iluminados.
- (4) Agua

#### PROCEDIMIENTO

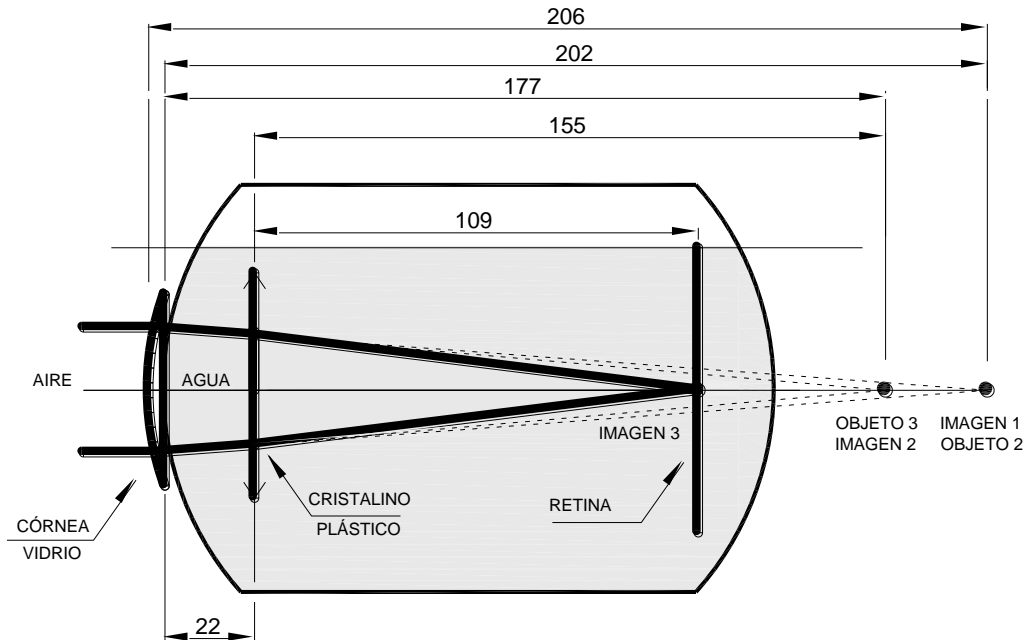
1. Llene el modelo de ojo con agua y establezca una "visión normal", utilizando una lente de  $120 \text{ mm}$  en la ranura de cristalino. Haga que el modelo de ojo mire a un objeto distante. La imagen debe estar enfocada en la pantalla retina.
2. Dibuje un esquema de ésta configuración que muestre la forma de las superficies de la lente y la retina pantalla. En su diagrama, indique los diferentes medios (aire, vidrio, agua y plástico) a través de los que viaja la luz. Represente la luz que viene del infinito con rayos paralelos al eje óptico.
3. Para la córnea,  $n_{vidrio} = 1,524$  y  $R_1 = 7,10 \text{ cm}$ . Calcule la distancia ( $i_1$ ) de la imagen 1 formada por la superficie esférica. Indique en su esquema donde se ubica la imagen. ¿Es importante que la imagen no esté en el interior del vaso?
4. La imagen 2 se forma por la interfaz plana donde la luz viaja del vidrio al agua. La imagen formada por la superficie curva (Imagen 1) se convierte en el objeto de la superficie plana (Objeto 2). El objeto 2, ¿se encuentra adelante o atrás de la superficie plana? La distancia del objeto ( $o_2$ ), ¿es positiva o negativa? La lente de la córnea es de  $0,40 \text{ cm}$  de espesor; calcular  $o_2$ . Utilice la ecuación 2 con  $n_3 = n_{agua} = 1,33$  para calcular la distancia de la imagen ( $i_2$ ) de la Imagen 2. Debe encontrar que  $i_2$  es positivo; ¿significa esto que la Imagen2 está adelante o atrás de la superficie plana? Agregue la Imagen 2 en el esquema.
5. El número marcado en el mango de la lente del cristalino es su distancia focal en el aire. Dado que el objetivo está rodeada de agua, su longitud focal en el modelo de ojo no es  $120 \text{ mm}$ . Utilice la ecuación 4 para calcular el radio de curvatura,  $R_3$ , de las superficies de la lente de " $120 \text{ mm}$ " lente. Suponiendo que  $n_{plastic} = 1,58$ . ¿Qué valor se debe utilizar para  $n_{medio}$ ?
6. Calcule la longitud focal,  $f_3$ , del cristalino en agua.
7. La imagen formada por la superficie plana de la cornea (imagen 2) se convierte en el objeto de la lente del cristalino (Objeto 3). ¿la distancia del objeto ( $o_3$ ) es positiva o negativa? La distancia desde la superficie plana de la lente de la córnea para el centro del cristalino es de  $2,2 \text{ cm}$ , calcule  $o_3$ . (Para la lente delgada cristalina, todas las distancias se miden desde el centro de la lente.) Utilice la fórmula de los focos conjugados de una lente delgada para calcular la distancia de la imagen,  $i_3$ , de la imagen. Agregue la Imagen 3 en el dibujo.
8. ¿Dónde está la Imagen 3? ¿Puede verla?
9. Mida la distancia desde la lente del cristalino a la pantalla retina. ¿Cómo es la distancia en comparación con el resultado del paso 8?

## D. Resultados

A continuación se presenta el esquema con las distancia imagen y objeto obtenidas en cada superficie refractora.

La distancia medida desde el cristalino a la pantalla retina es 10,5 cm. La diferencia con respecto a la posición imagen calculada se atribuye a la curvatura de la pantalla retina.

$R_1$	710 mm
$n_{\text{vidrio}}$	1,524
$i_1$	206 mm
$o_2$	-202 mm
$n_3 = n_{\text{agua}}$	1,33
$i_2$	177 mm
$d$	22 mm
$o_3$	155 mm
$n_{\text{aire}}$	1
$n_{\text{plástico}}$	1,58
$f_3$ en aire	120 mm
$R_3$	139 mm
$f_3$ en agua	370 mm
$i$	109 mm



## E. Conclusiones

Una de las formas más reconocidas para abordar la adquisición de competencias en el ámbito de la física, es el trabajo experimental. En este caso se ha planteado una experiencia de óptica geométrica en un sistema biológica, el ojo humano. Si tenemos en cuenta, que gran parte de las problemáticas actuales requieren la labor de equipos interdisciplinarios, el estudio de este tipo de aplicaciones en la formación básica de todas las carreras de ingenierías adquiere especial relevancia.

En la experiencia se puede observar la formación de imágenes, reconocer las ecuaciones de la óptica que son de aplicación, determinar analíticamente la posición de la imagen final, cotejarla con la experimental, hacer pronósticos sobre el tipo de imagen esperada y los signos correspondientes a la propagación de la luz en las diferentes interfases que atraviesa. En los valores que se informan en este trabajo se observa una alta coherencia entre el valor teórico y el valor experimental. El estudio podría ser continuado modificando las condiciones "normales" en que se planteo este trabajo, incorporando lentes cilíndricas entre la lente cornea y la lente cristalino que simulen un problema de astigmatismo o bien cambiando la posición de la pantalla retina problemas de "exceso o poca convergencia", así como también modificando otras variables experimentales .

## F. Bibliografía

1. Puell Marín Ma. C., Óptica Fisiológica, El sistema óptico del ojo y la visión binocular. [http://eprints.ucm.es/14823/1/Puell\\_%C3%93ptica\\_Fisiol%C3%B3gica.pdf](http://eprints.ucm.es/14823/1/Puell_%C3%93ptica_Fisiol%C3%B3gica.pdf) (marzo de 2013).
2. Pasco, Instruction Manual 012-13032A, Human Eye Model, [ftp://ftp.pasco.com/support/Documents/English/OS/OS-8503/Human%20Eye%20Model%20Manual\(OS-8503\).pdf](ftp://ftp.pasco.com/support/Documents/English/OS/OS-8503/Human%20Eye%20Model%20Manual(OS-8503).pdf) (marzo de 2013).
3. Resnick R, Halliday D, 1966, "Física" Parte II, Compañía Editorial Continental S.A, México.
4. Parisi M, 2001, "Temas de Biofísica", McGraw-Hill Interamericana de Chile Ltda.