

PRÁCTICA Nº 8

Astigmatismo, parte 2:

Visión del ojo astigmata sin neutralizar

OBJETIVO

Construir un modelo de ojo reducido astigmático sin neutralizar en el banco óptico para observar la formación de imágenes de diversos objetos.

MATERIAL

- Banco óptico con soportes
- Fuente luminosa
- Pantalla
- Diafragma circular de 8 mm
- Diafragmas con tres agujeros dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero
- Objeto en forma de cruz
- Lentes de prueba esféricas y cilíndricas
- Sistema de colimación formado por lentes de $f' = 25$ cm y $f' = 2$ cm.

FUNDAMENTO TEÓRICO

El astigmatismo ocular es una condición refractiva que aparece cuando alguna de las superficies de nuestro ojo (principalmente la primera superficie de la córnea) no es esférica, de forma que no se puede determinar un único radio de curvatura para todos los meridianos. En estas circunstancias, consideramos para su estudio los dos meridianos de máxima y mínima potencia (los meridianos principales), a lo largo de las cuales sí es posible definir un radio de curvatura.

Así pues, la imagen de un objeto puntual situado en el infinito dada por un sistema astigmático no es un punto, sino que la luz pasa por dos zonas de máxima concentración perpendiculares entre sí, que son las focales de Sturm, y cada una de ellas corresponde a un meridiano principal. La forma de este pincel refractado recibe el nombre de conoide de Sturm (Figura 1).

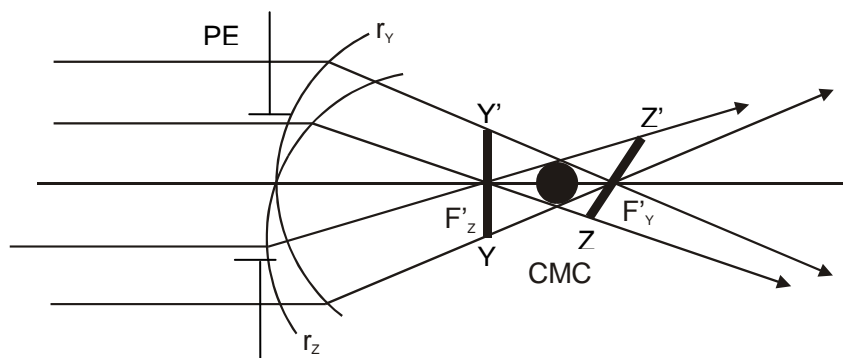


Figura 1: Esquema básico del conoide y las líneas focales de Sturm.

Focales de Sturm

El tamaño de las focales de Sturm viene dado por:

$$\overline{yy'} = \phi_{pe} \cdot \left| \frac{A_T}{P_{ocz}} \right|; \quad \overline{zz'} = \phi_{pe} \cdot \left| \frac{A_T}{P_{ocy}} \right| \quad (1)$$

donde: $\overline{yy'}$ es el tamaño de la línea vertical (asociada al meridiano horizontal f'_z),

$\overline{zz'}$ es el tamaño de la línea horizontal (asociada al meridiano vertical f'_y),

ϕ_{pe} es el diámetro de la pupila del ojo,

P_{ocz} y P_{ocy} son las potencias de los meridianos principales,

A_T es el astigmatismo total del ojo: $A_T = P_{ocy} - P_{ocz}$.

El diámetro del círculo de mínima confusión es:

$$\phi_{CMC} = \phi_{pe} \cdot \frac{|A_T|}{P_{ocz} + P_{ocy}} \quad (2)$$

donde ϕ_{CMC} es el diámetro del círculo de mínima confusión,

ϕ_{pe} es el diámetro de la pupila del ojo,

P_{ocz} y P_{ocy} son las potencias de los meridianos principales,

A_T es el astigmatismo total del ojo: $A_T = P_{ocy} - P_{ocz}$,

y su posición es x' se despeja de la ecuación:

$$\frac{1}{f'_Y} + \frac{1}{f'_Z} = \frac{2}{x'_{CMC}} \quad (3)$$

donde f'_Y es la longitud de la focal de Sturm vertical,

f'_Z es la longitud de la focal de Sturm horizontal,

x'_{CMC} es la posición del círculo de mínima confusión.

Cuando la retina no coincide con la posición de las focales de Sturm o en el CMC, es decir tenemos un astigmatismo compuesto, la imagen retiniana es una elipse (Figura 2), y el tamaño de sus ejes vendrá dado por:

$$\xi_V = \phi_{pe} \cdot \frac{|R_Y|}{P_{ocy} + R_Y}; \quad \xi_H = \phi_{pe} \cdot \frac{|R_Z|}{P_{ocz} + R_Z} \quad (4)$$

Donde ξ_V y ξ_Z representan los tamaños de los dos ejes,

R_Y y R_Z son las refracciones de los meridianos principales, y

P_{ocz} y P_{ocy} son las potencias de los meridianos principales.

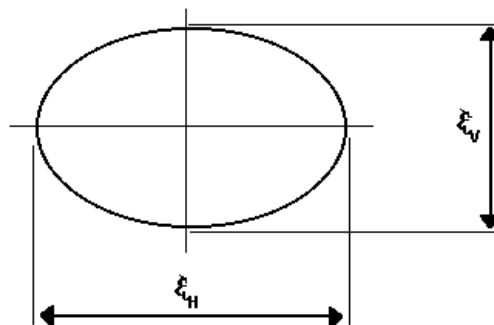


Figura 2: Dimensiones de la elipse de confusión de un astigmatismo compuesto.

Clasificación del Astigmatismo

El valor del astigmatismo ocular total se obtiene a partir de la expresión:

$$A_T = P_{ocY} - P_{ocZ} = R_Z - R_Y, \quad (5)$$

pudiendo establecer a partir de esta expresión una primera clasificación según sea la orientación del meridiano de menos potencia:

- DIRECTO o a FAVOR de la REGLA, si el meridiano de menor potencia se encuentra en una posición entre 30° y -30° . Es decir, que $A_T = P_{ocY} - P_{ocZ} = R_Z - R_Y > 0$.
- INVERSO o en CONTRA de la REGLA, si el meridiano de menor potencia se encuentra entre 60° y 120° . Es decir, que $A_T = P_{ocY} - P_{ocZ} = R_Z - R_Y < 0$.
- OBLICUO si el meridiano de menor potencia se halla en cualquier otra posición.

Por otra parte, dependiendo de la posición del conoide respecto de la retina, la imagen retiniana (o círculo de confusión) observada puede ser una línea, un círculo o bien una elipse, con lo que podemos clasificar el astigmatismo según el siguiente esquema basado en la figura 3:

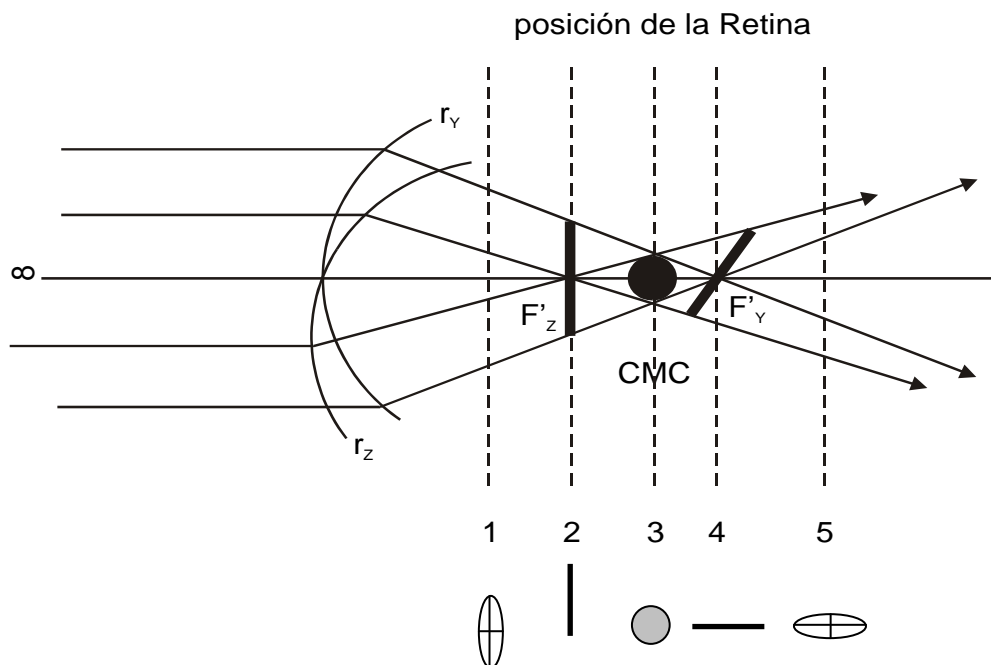


Figura 3: Tipos de círculos de confusión en la retina a lo largo del conoide de Sturm.

- Retina en posición 1: hipermetrope compuesto (inverso).
- Retina en posición 2: hipermetrope simple (inverso).
- Retina en posición 3: mixto isodíptrico (inverso).
- Retina en posición 4: miópico simple (inverso).
- Retina en posición 5: miópico compuesto (inverso).

Fórmula Óptica del Astigmatismo

Para conocer cuál es el valor de la potencia en cada meridiano veamos el siguiente ejemplo donde se simula un astigmatismo directo a partir de una lente cilíndrica de dioptrías D_{cil} (DC) y una lente esférica de dioptrías D_{esf} (DE).

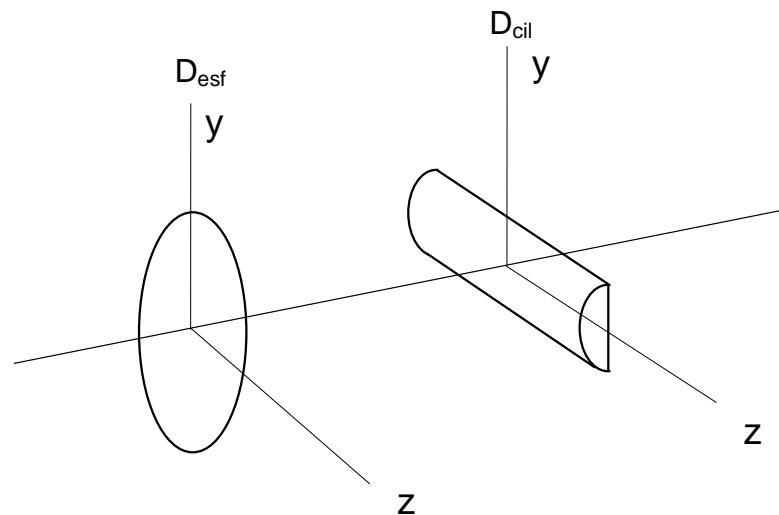


Figura 4: Esquema básico de apoyo para el cálculo de la fórmula óptica del astigmatismo.

En este caso la lente cilíndrica sólo afecta al meridiano y , puesto que es en ese plano donde existe el radio de curvatura. Se cumplirá por tanto que la potencia para cada meridiano será:

$$\text{Meridiano } z: P_{ocz} = 0 + D_{esf}$$

$$\text{Meridiano } y: P_{ocy} = D_{cil} + D_{esf}$$

$$\alpha = 180^\circ$$

Para poder obtener la fórmula óptica del astigmatismo, necesitaremos conocer el valor de las refracciones en cada meridiano (R_y , R_z), las cuales dependen del valor

de las potencias en cada meridiano (P_{ocy} , P_{ocz}) y de la potencia del ojo emétrepe (P_0) utilizado en la práctica:

$$\begin{aligned} R_Y &= \left(\frac{1}{H' Ret_{oc}} - \frac{1}{H' Ret_o} \right) + (P_0 - P_{ocy}) \\ R_Z &= \left(\frac{1}{H' Ret_{oc}} - \frac{1}{H' Ret_o} \right) + (P_0 - P_{ocz}) \end{aligned} \quad , \quad (6)$$

donde $H' Ret_{oc}$ corresponde a la longitud axial del ojo astigmático, y $H' Ret_o$ a la del ojo emétrepe.

A partir de las refracciones R_Y y R_Z , se deduce la correspondiente fórmula óptica:

$$(esf) (cil) \alpha = (R_Y) (R_Z - R_Y) \alpha_Y$$

De este modo se expresa la refracción ocular como una combinación óptica equivalente a un sistema formado por una lente esférica y una lente cilíndrica.

Ejemplo:

Supongamos que simulamos un ojo emétrepe en el banco óptico de: $P_0 = 5$ D y que por tanto la $H' Ret_{oc} = l_{axo} = \frac{1}{5} = 0.20$ m, si ahora desplazamos la retina a $l_{ax} = 10$ cm de la lente y generamos una astigmatismo de tal manera que $P_{ocy} = 5$ D, $P_{ocz} = 10$ D (A_T inverso), podemos calcular las refracciones:

$$\begin{aligned} R_Y &= \left(\frac{1}{l_{ax_{oc}}} - \frac{1}{l_{ax_0}} \right) + (P_0 - P_{ocy}) = \left(\frac{1}{10 \cdot 10^{-2}} - \frac{1}{20 \cdot 10^{-2}} \right) + (5 - 5) = +5 \text{ D} \\ R_Z &= \left(\frac{1}{l_{ax_{oc}}} - \frac{1}{l_{ax_0}} \right) + (P_0 - P_{ocz}) = \left(\frac{1}{10 \cdot 10^{-2}} - \frac{1}{20 \cdot 10^{-2}} \right) + (5 - 10) = 0 \text{ D} \end{aligned}$$

– Generamos ahora la fórmula óptica de este astigmatismo:

$$A_T = P_{ocy} - P_{ocz} = R_Z - R_Y = -5 \text{ D} \Rightarrow \text{inverso } \alpha = 90^\circ$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_Y = D_{esf} \\ R_Z = D_{cil} + D_{esf} \end{cases} \Rightarrow A_T \equiv +5D_{esf} - 5D_{cil} : (90^\circ)$$

\Rightarrow astigmatismo hipermetrópico simple inverso de grado elevado

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Dividiremos las 2 sesiones prácticas del astigmatismo en tres partes:

1. Conoide de Sturm.
2. Imagen retiniana del ojo esquemático astígmata.
3. Simulación de astigmatismos.

En esta segunda parte, solamente nos centraremos principalmente en la caracterización de las imágenes retinianas del ojo astígmata esquemático sin neutralizar de diversos tipos de objetos.

Fase 1: Montaje del ojo astígmata y caracterización del conoide de Sturm

En primer lugar, situaremos un objeto puntual en el infinito colocándolo en la focal objeto de una lente colimadora ($f' = 25 \text{ cm}$) y construiremos un ojo reducido astigmático con la lente esférica y otra cilíndrica juntas (en el mismo soporte), junto con una pantalla que actuará de retina. Es importante tener un astigmatismo directo o inverso sobre el banco óptico para la realización de la práctica. Si no es así, rota la lente plano-cilíndrica dentro de su soporte hasta que los meridianos principales estén en una posición correcta.

A partir de lo realizado en la parte 1, coloca la pantalla-Retina en las 5 posiciones de la Figura 3, y calcula las fórmulas ópticas de los 5 tipos de astigmatismo que generas.

TAREAS A REALIZAR Y ENTREGAR (ver hoja de resultados al final):

- El valor de R_Y y R_Z para cada una de las posiciones 1, 2, 3, 4 y 5 utilizando las ecuaciones 6-9.
- Nombra el astigmatismo que se obtiene para cada una de 5 las posiciones y escribe a continuación la fórmula óptica del astigmatismo que simulamos cada vez. (NOTA: para ello estudia el ejemplo que se presenta en la introducción teórica.)

- Calcula las dimensiones de la elipse de mínima confusión en los tipos 1 y 5 de astigmatismo compuesto que has generado. Compara todas las medidas con las obtenidas teóricamente a partir de la ecuación correspondiente.

Fase 2: Conoide de Sturm usando un diafragma compuesto de 3 puntos

Como ejercicio complementario para comprender el conoide de Sturm y los cinco tipos generados de astigmatismo, situaremos delante y pegado a la lente que simula el ojo, el diafragma con tres agujeros situados en los vértices de un triángulo equilátero. Considera como objeto el diafragma de 8 mm.

TAREAS A REALIZAR Y ENTREGAR (ver hoja de resultados al final):

- Dibuja lo que ocurre con la disposición del triángulo a medida que vas pasando por las cinco posiciones de la pantalla, que es lo mismo que recorrer el conoide de Sturm.

Fase 2: Caracterización de la imagen retiniana del ojo astígmata sin neutralizar

Tomemos ahora el diafragma de 8 mm pegado al ojo y un objeto en forma de cruz que colocaremos en el infinito usando la lente colimadora como otras tantas veces.

TAREAS A REALIZAR Y ENTREGAR (ver hoja de resultados al final):

- Dibuja la forma que se obtiene para la cruz en las posiciones 1, 2, 3, 4 y 5, tratando de explicar que es lo que ha ocurrido en cada caso.
- Compara los valores experimentales y teóricos de las dimensiones horizontal y vertical de la imagen retiniana obtenida con los 5 tipos de astigmatismo para el objeto extenso en forma de cruz.

Fase 3: Simulación de astigmatismo

Con la ayuda de lentes astigmáticas, induciremos monocularmente astigmatismos en nuestro propio ojo. Observa la imagen de un test horario lejano indicando qué ocurre a medida que vamos girando la lente astigmática.

CUESTIONES

- 1) ¿Qué aspectos te han parecido más complicados a la hora de montar y caracterizar ópticamente el ojo astigmata esquemático?
- 2) Explica gráficamente el porqué de las diferentes formas de la imagen de la cruz a lo largo de las cinco posiciones de retina estudiadas.
- 3) Explica brevemente cuál es el efecto que produce el giro de la lente cilíndrica colocada delante de tu ojo cuando observas el test horario.
- 4) Si observaras a través de una lente esferocilíndrica en visión monocular un test horario del cual ves nítidamente la línea vertical a -50 cm, y la línea horizontal a -20 cm, ¿qué tipo de astigmatismo ocular te habrá provocado esa lente?+
- 5) Se pretende diseñar artificialmente sobre banco óptico en aire un modelo de ojo formado por 2 lentes delgadas ($P_C = 5 \text{ D}$ y $P_L = 2 \text{ D}$) y una pantalla semitransparente como retina. Los parámetros iniciales para que se verifique la condición de emetrópía son: distancia córnea-lente $d_0 = 4 \text{ cm}$, y longitud axial (distancia córnea-pantalla) $l_{ax0} = 16.12 \text{ cm}$. Si anteponeamos a la córnea una lente de contacto esfero-cilíndrica de potencia (+3) (+3) (90°), ¿qué tipo de astigmatismo ocular hemos generado?

HOJA DE RESULTADOS

NOMBRE:.....

DÍA:
 HORA:

Fórmula óptica y astigmatismo generado

posición	R_y	R_z	D_{esf} D_{cil} ; α	Astigmatismo
1				
2				
3				
4				
5				

Parámetros de la elipse de confusión en los astigmatismos compuestos (1 y 5)

Tipo 1	$\phi = 8\text{mm}$	
	experimental	teórico
ξ_H		
ξ_V		
Tipo 5	$\phi = 8\text{mm}$	
	experimental	teórico
ξ_H		
ξ_V		

Diafragma compuesto de 3 puntos

posición	1	2	3	4	5
	1 2 ○ ○ 3 ○				

IMAGEN RETINIANA DEL OJO ASTÍGMATA

a) Objeto extenso en forma de cruz

posición	Dibujo
1	
2	
3	
4	
5 -	