

PRÁCTICA Nº 7

Astigmatismo, parte 1:

Visualización y caracterización del conoide de Sturm

OBJETIVO

Construir un modelo de ojo esquemático astigmático sin neutralizar en el banco óptico para visualizar y caracterizar el conoide de Sturm asociado con el astigmatismo generado.

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).

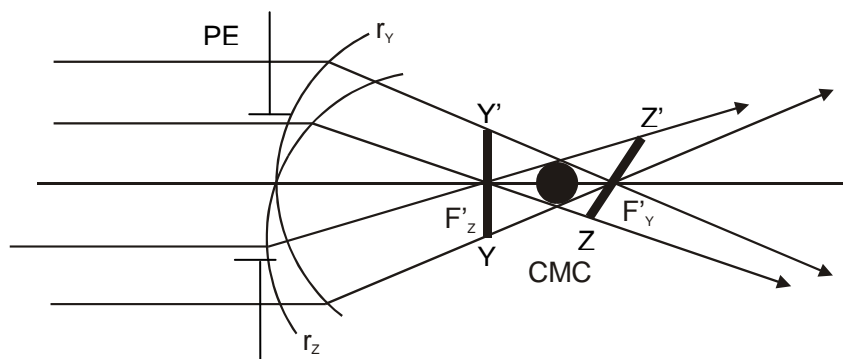


Figura 1: Esquema básico del conoide y las líneas focales de Sturm.

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.

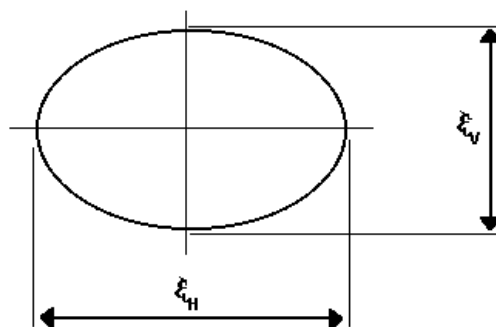


Figura 2: Dimensiones de la elipse de confusión de un astigmatismo compuesto.

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:

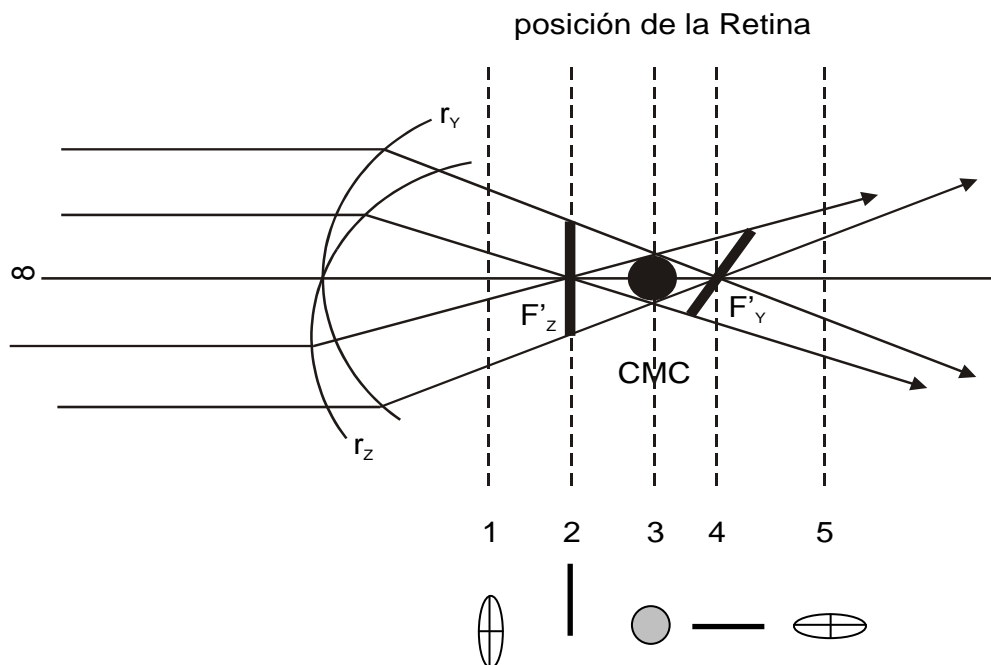


Figura 3: Tipos de círculos de confusión en la retina a lo largo del conoide de Sturm.

- 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).

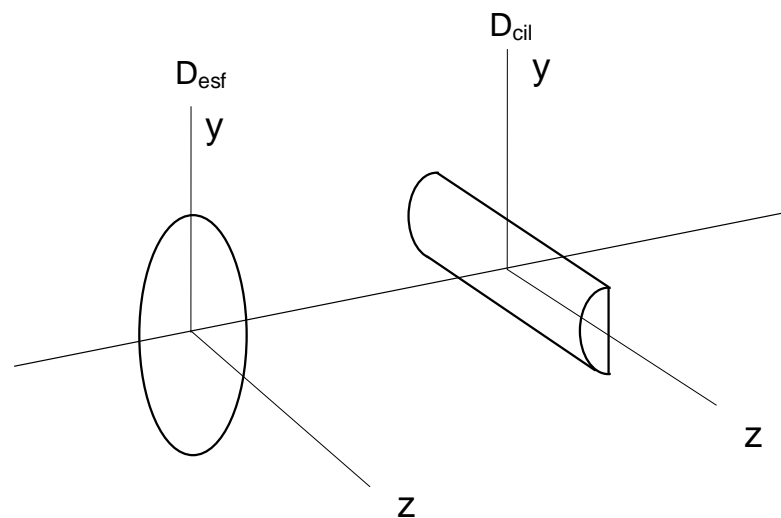


Figura 4: Esquema básico de apoyo para el cálculo de la fórmula óptica del astigmatismo.

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:

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

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 primera parte, solamente nos centraremos en el conoide de Sturm y su caracterización a partir del astigmatismo generado en el ojo esquemático.

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

En primer lugar, situaremos un objeto puntual en el infinito colocándolo en el foco objeto de una lente colimadora ($f' = 25$ 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.

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

- El valor de la l_{axo} que se obtiene si sólo se utiliza la lente esférica.
- El valor de las potencias generadas para cada meridiano (P_{ocy} y P_{ocz}) e indicar si el Astigmatismo que has obtenido es Directo o Inverso.

Como puedes comprobar, si se desplaza la pantalla a lo largo del banco óptico se pueden observar las líneas focales de Sturm y el círculo de mínima confusión (CMC).

Fase 2: Caracterización del conoide de Sturm

Vamos a medir las posiciones y dimensiones de las líneas focales de Sturm y el círculo de mínima confusión (CMC). Elige el diafragma circular de 8 mm y colócalo pegado al ojo esquemático. Desplaza la pantalla para estudiar el conoide de Sturm.

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

- Los tamaños de las líneas focales de Sturm y el círculo de mínima confusión.
- Las posiciones de las líneas focales de Sturm y el círculo de mínima confusión.
- Compara todas las medidas con las obtenidas teóricamente a partir de las ecuaciones correspondientes (1, 2 y 3).
- Dibuja un esquema del montaje, donde sitúes las lentes utilizadas, la posición y forma de las focales de Sturm y el CMC.

Fase 3: Cálculo de la fórmula óptica del astigmatismo generado

Coloca la pantalla-Retina en las 5 posiciones de la Figura 3.

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 2, 3 y 4 utilizando las ecuaciones 6-9.
- Nombra el astigmatismo que se obtiene para cada una de 3 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.)

CUESTIONES

- 1) ¿Qué aspectos te han parecido más complicados a la hora de montar y caracterizar ópticamente el ojo astigmata esquemático?
- 2) ¿Existiría alguna diferencia en la posición del conoide de Sturm si variara el diámetro de la pupila de entrada? ¿Y en el tamaño? Razona la respuesta.
- 3) ¿Qué pasaría en todo lo realizado si se colocara el objeto puntual a una distancia cercana, no proveniente del infinito?

HOJA DE RESULTADOS

NOMBRE:.....

DÍA:
 HORA:

CONOIDE DE STURM

Astigmatismo generado

Valor de: $P_{ocy} =$

$P_{ocz} =$

Tipo de Astigmatismo:

Esquema del montaje con las focales de Sturm y el CMC

Parámetros del conoide

	$\phi = 8\text{mm}$	
	experimental	teórico
yy'		
zz'		
f'_y		
f'_z		
X'_{CMC}		
ϕ_{CMC}		

Fórmula óptica y astigmatismo generado

posición	R_y	R_z	$D_{est} D_{cil}; \alpha$	Astigmatismo (A_T)
2				
3				
4				