



UGR

Universidad
de Granada

Grupo de prácticas: _____

Pareja/Subgrupo: _____

Manual de Prácticas de Instrumentación Optométrica

José Juan Castro Torres y Francisco Pérez Ocón



Grado en Óptica y Optometría
Curso 2014-2015
(2ª Edición)

copi**centro**
EDITORIAL



Manual de Prácticas de

Instrumentación Optométrica

Grado en Óptica y Optometría

Curso 2014-2015
(2ª Edición)



Autores:

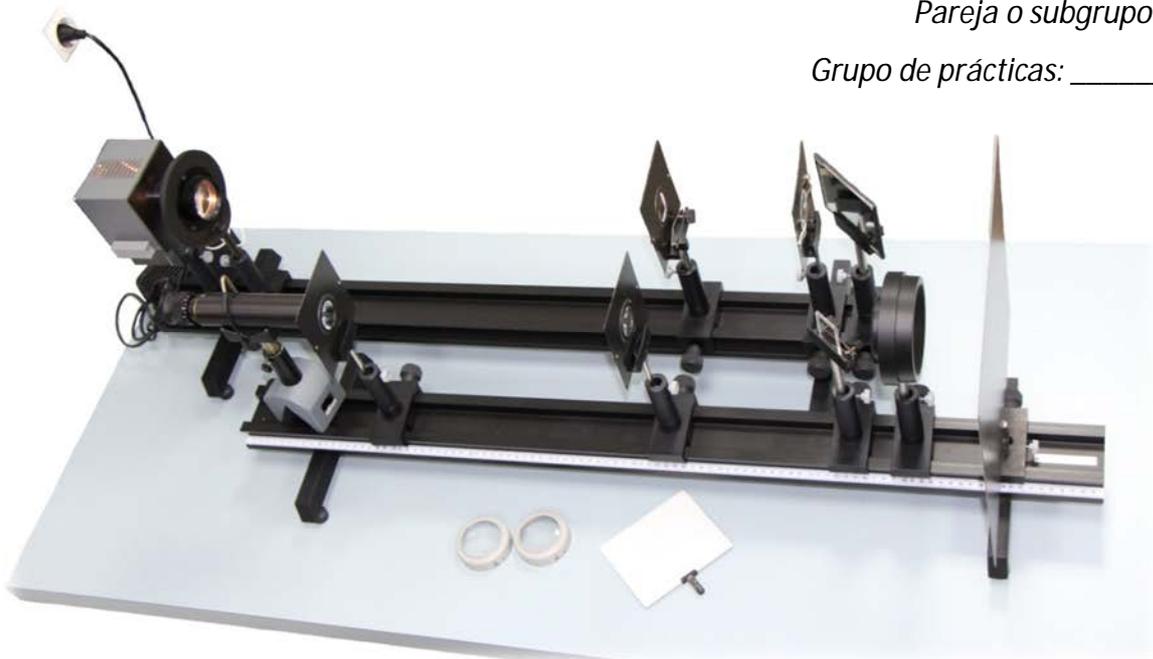
José Juan Castro Torres

Francisco Pérez Ocón

Alumnos

Pareja o subgrupo: _____

Grupo de prácticas: _____



CUADRANTE DE PRÁCTICAS

Práctica 1. Retinoscopio.

Práctica 2. Oftalmoscopio.

Práctica 3. Optómetro.

Práctica 4. Biomicroscopio.

Práctica 5. Frontofocómetro.

Pareja o subgrupo	SESIÓN y prácticas a realizar				
	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5
1	1	2	3	4	5
2	2	3	4	5	1
3	3	4	5	1	2
4	4	5	1	2	3
5	5	1	2	3	4

© José Juan Castro Torres
Francisco Pérez Ocón

Manual de Prácticas de Instrumentación Optométrica (2ª Edición)

Depósito Legal: GR- 1550-2013

ISBN: 978-84-15814-35-1

Imprime: Copicentro Granada S.L.

Infografía y Fotografía (salvo casos indicados): José J. Castro

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa de los autores

Granada, Abril de 2015

Se editó e imprimió la segunda edición de este manual en el año 2015, año proclamado por la ONU como Año Internacional de la Luz y las Tecnologías basadas en luz.



**INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015**

ÍNDICE

Prólogo	1
Práctica 1. Retinoscopio	3
Práctica 2. Oftalmoscopio	13
Práctica 3. Optómetro	23
Práctica 4. Biomicroscopio	31
Práctica 5. Frontofocómetro	45
Bibliografía	53
Anexo I. Elementos ópticos y auxiliares	55
Anexo II. Laboratorio de prácticas. Situación	59

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”

Albert Einstein

PRÓLOGO

Estimado alumno. Este libro pretende ser un manual y una guía de prácticas para la asignatura *Instrumentación Optométrica* del Grado en Óptica y Optometría de la Universidad de Granada, en la que los autores imparten docencia. Se ha puesto especial interés en mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje entre el profesor y sus alumnos, haciendo los guiones más dinámicos e interactivos, facilitando así el trabajo autónomo del alumno, estando de este modo en sintonía con las directrices del Espacio Europeo de Educación Superior.

Cada una de las prácticas consiste en diseñar y montar un instrumento optométrico de banco, estudiándolo y analizándolo en profundidad. Todas las prácticas incluidas en este trabajo están estructuradas de modo que se indica el objetivo u objetivos a alcanzar con el desarrollo de la práctica, seguida de una introducción, para dar paso a la realización práctica que permitirá el montaje del instrumento optométrico. Por último, existe una sección de cuestiones y ejercicios donde el alumno o alumnos (si forman pareja de prácticas) podrán llevar a cabo su trabajo autónomo, pero también podrán trabajar en equipo, realizando un trabajo cooperativo (en parejas o grupos), donde deberán indicar sus resultados experimentales, llevar a cabo una discusión de los mismos y aplicar los conocimientos adquiridos. Esta sección de actividades está diseñada para que se pueda trabajar sobre ella, anotando los resultados en tablas y respondiendo a preguntas concretas, en las que se deberá explicar o interpretar un resultado, indicar las partes de un instrumento optométrico, calcular ciertos parámetros o demostrar una expresión.

Esperamos que se saque el máximo provecho posible a este trabajo. Para ello, invitamos al alumno a que participe y disfrute mientras adquiere conocimientos y habilidades.

Los autores,

José Juan Castro Torres

Francisco Pérez Ocón

Práctica nº 1

RETINOSCOPIO

OBJETIVO

El objetivo de esta práctica es el diseño y la construcción de un retinoscopio de banco. Además, se estudiará el principio básico de la retinoscopia y de los movimientos de los reflejos retinianos en ojos emétopes, miopes e hipermetropes, con el uso de un ojo artificial.

INTRODUCCIÓN

El retinoscopio es el instrumento optométrico más sencillo, eficaz y objetivo que existe para la determinación objetiva de la refracción de un ojo. Se necesita experiencia para llevar a cabo, de forma exitosa, la técnica en la práctica clínica. Básicamente, un retinoscopio es un sistema de iluminación que emite luz al ojo de un sujeto. El observador, estudia la velocidad, el brillo y el sentido del reflejo que se produce de esta luz en la retina del sujeto.

Sobre un banco óptico se dispondrá un ojo artificial y se iluminará con un sistema de iluminación. Variando angularmente dicho sistema, se observarán los movimientos de los reflejos de la luz en el ojo artificial. Variando las características de dicho ojo, podremos simular emetropía, miopía e hipermetropía, modificando su eje axial o interponiendo lentes delante del ojo artificial, de esta forma, podremos analizar el comportamiento de los reflejos en los diferentes casos. Mediante el uso de lentes de neutralización, podremos determinar el estado de refracción de los ojos contruados.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Se dispone de dos bancos ópticos situados perpendicularmente y unidos por una base giratoria que conforman los dos brazos del sistema. En un extremo del banco se sitúa el ojo artificial. En un primer lugar simularemos un ojo emétopo, interponiendo entre la lente principal y el fondo de ojo (pantalla) el anillo de PVC pequeño.

En el ángulo que forman los dos bancos ópticos, se coloca una lámina separadora o semiespejo formando un ángulo de 45° con respecto al eje del ojo artificial y el banco más largo (Figura 1.1). En el extremo donde vamos a fabricar el sistema de iluminación (brazo largo del banco óptico) colocamos la fuente luminosa y a continuación el condensador. Vamos a trabajar con los tres tipos de espejos equivalentes de un retinoscopio: espejo plano, espejo cóncavo de focal corta y espejo cóncavo de focal larga. Para construir cada uno de ellos, procederemos de la siguiente forma:

- a) ESPEJO PLANO: se coloca el condensador y la fuente de forma que el sistema óptico no forma imagen real, es decir, la fuente debe estar colocada dentro de la distancia focal del condensador (Figura 1.1.a). Se desea tener un haz divergente (equivalente a un espejo plano).
- b) ESPEJO CÓNCAVO DE FOCAL CORTA: se desplaza el condensador para formar una imagen del filamento de la fuente delante del ojo artificial, por lo que se conseguirá un haz convergente, equivalente a un espejo cóncavo de focal corta (Figura 1.1.b). Para buscar la imagen del filamento ayúdese de una pantalla.
- c) ESPEJO CÓNCAVO DE FOCAL LARGA: desplazamos un poco más el condensador para formar una imagen del filamento de la fuente detrás del ojo artificial, obteniendo de nuevo un haz convergente, pero de menor convergencia que en el caso anterior (equivalente a un espejo cóncavo de focal larga).

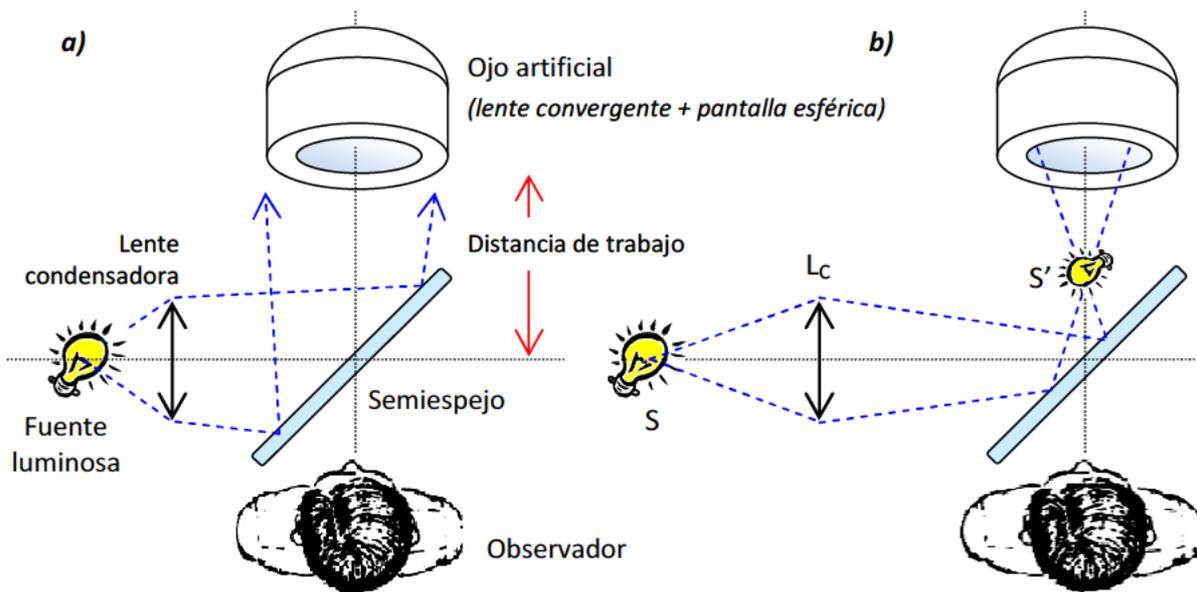


Figura 1.1. Esquema del ojo artificial y del sistema de iluminación del retinoscopio (de banco óptico) en configuración de (a) espejo plano y de (b) espejo cóncavo de focal corta.

El procedimiento general de la práctica consiste en girar el semiespejo de forma que introduzcamos la luz proyectada en el ojo artificial y estudiaremos los movimientos de los reflejos producidos en la retina del ojo artificial. El observador habrá de situarse lo más cerca posible del semiespejo, de forma análoga a como cuando lo hace con un retinoscopio real. La distancia (sobre la prolongación del banco óptico) entre la posición del semiespejo y el extremo del banco óptico donde se encuentra el ojo artificial es de (50 ± 2) mm, con lo que podrá conocer la distancia de trabajo. Tenga especial cuidado en que el haz de luz proyectado incida de forma correcta sobre el ojo. Estudiaremos los siguientes casos:

1. Para un ojo emétrope, poniendo el anillo corto entre la lente y la pantalla-fondo de ojo.
2. Simulando un ojo miope, aumentando la longitud axial del ojo, o lo que es lo mismo, añadiendo el anillo ancho al ojo artificial.
3. Simulando un ojo hipermétrope, quitando el anillo y acoplado directamente la pantalla-fondo de ojo con la lente principal (sin anillos).



Figura 1.2. Retinoscopio de banco y disposición de los elementos sobre el banco óptico.



Figura 1.3. A la izquierda, reglillas de esquiopía. En el centro, lentes de $-2D$ y $+2D$ que se pueden acoplar al ojo artificial. A la derecha, jinetillo y diferentes portalentes con las lentes problema.

Una vez que se estudia de manera cualitativa cada uno de los casos con cada una de las iluminaciones, se analizarán diferentes ametropías con la configuración de espejo plano, que es la que usualmente utilizamos en el Gabinete Optométrico. Simularemos un ojo miope, mediante la construcción de un ojo emétrepe con el anillo pequeño e induciendo la ametropía mediante una lente positiva de potencia conocida ($+2D$) que se puede acoplar al portalentes del ojo (Figura 1.3). Observaremos cómo se mueven ahora los reflejos con respecto del movimiento de la lámina separadora. Intentaremos neutralizar los reflejos retinoscópicos con las reglas de

esquiascopía (Figura 1.3). Se repetirá el procedimiento, pero esta vez simulando un ojo hipermetrope, acoplando la lente de -2,0 D al ojo artificial.

La neutralización consiste en llevar el punto remoto del sujeto a la pupila de entrada del retinoscopio (Figura 1.4). Para ello tendremos que ir colocando, delante del ojo artificial, diferentes lentes de diferentes focales hasta conseguir la neutralización. Sabremos que estamos en el momento de la neutralización cuando no se observen los movimientos de la luz reflejada y dicha luz aparezca y desaparezca de forma abrupta. Efectivamente este fenómeno se puede explicar observando la figura 1.4, donde se representa un ojo con su punto remoto en R_1 . En la neutralización, R'_1 es la imagen de R_1 a través de la lente de neutralización, L_N , que se forma en la pupila del retinoscopio. Un ligero giro del retinoscopio haría que ahora la imagen de R_1 fuese R'_2 , por lo que la luz desaparecería (el observador se encuentra observando a través de la pupila P).

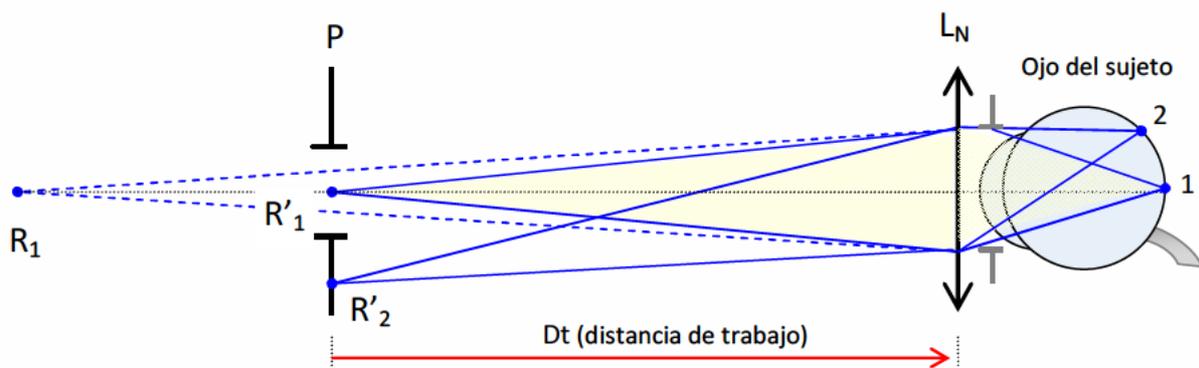


Figura 1.4. Condición de neutralización en un ojo amétrope con punto remoto en R_1 .

En la siguiente parte de la práctica colocaremos el ojo artificial emétrope. Trabajaremos con las lentes problema LP_1 , LP_2 y LP_3 situadas en sus correspondientes portales (Figura 1.3, a la derecha). Interponga en cada caso cada una de las lentes problema con su portales en el jinetillo con soporte que hay situado en el banco óptico, justo delante del ojo artificial, y estudie los reflejos retinoscópicos. Con el uso de las reglillas de esquiascopía (Figura 1.3) intente buscar la neutralización de los reflejos para cada lente (Figura 1.6). Con ello, en cada caso, podrá obtener la ametropía simulada en el ojo artificial y, por tanto, la potencia de la lente problema en cuestión. Tenga en cuenta que la lente problema LP_3 es una lente cilíndrica. Como ayuda, se le han practicado unas marcas a LP_3 que indican el eje de la lente cilíndrica, por lo que para el estudio de dicha lente deberán posicionar las marcas de forma horizontal y vertical (girando la lente sin sacarla del portales) y ver lo que ocurre en cada caso. De este modo estaría analizando los meridianos principales del ojo simulado.

La potencia de la lente compensadora de la ametropía será aquella que se obtiene de restar algebraicamente la potencia de la lente de trabajo (inversa de la distancia, en metros, entre el ojo artificial y el semiespejo) al valor de la potencia de la lente de neutralización, es decir:

$$\varphi_C = \varphi_N - \varphi_T$$

Se dispone además de un retinoscopio comercial (Figura 1.5) con el que se deben comprobar los resultados obtenidos, especialmente en los diferentes casos con lente problema.

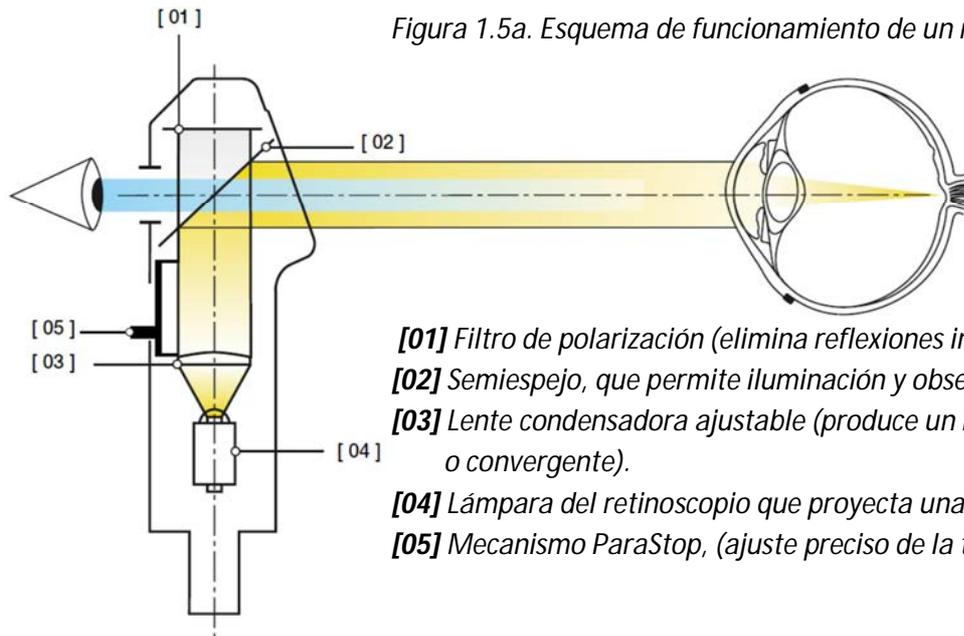


Figura 1.5a. Esquema de funcionamiento de un retinoscopio.

- [01]** Filtro de polarización (elimina reflexiones internas y luz dispersa).
- [02]** Semiespejo, que permite iluminación y observación simultánea.
- [03]** Lente condensadora ajustable (produce un haz colimado, divergente o convergente).
- [04]** Lámpara del retinoscopio que proyecta una franja luminosa.
- [05]** Mecanismo ParaStop, (ajuste preciso de la trayectoria del haz).



Figura 1.5b. Fotografías del retinoscopio comercial Heine Beta 200: cabezal (anverso y reverso, en configuración de espejo plano) y retinoscopio con el mango.

Fuente: Heine Optotechnik GmbH & Co.KG

CUESTIONES

1.1. En el montaje experimental hemos usado un ojo artificial, compuesto de un portalentes con una lente (actuando como córnea + cristalino), un anillo de PVC (que define la longitud axial del ojo) y una pantalla-retina con forma de casquete esférico. Sin embargo, si no dispusiéramos de dicho ojo artificial, ¿cómo lo simularía el ojo del sujeto?:

- Elementos que usaría:

- ¿Cómo simularía una ametropía?

1.2. Indique la distancia de trabajo (D_t) que ha utilizado en el desarrollo de la práctica, incluyendo la incertidumbre de la medida. Considere para ello que la distancia entre la posición del semiespejo y el extremo del banco óptico que contiene el ojo artificial es (50 ± 2) mm.

- $D_t = (\quad \pm \quad) \quad$

- ¿A qué potencia equivale esta distancia de trabajo? $\varphi_T = (\quad \pm \quad) \quad$

1.3. Indique los resultados obtenidos, para los tres tipos de espejo y en los casos de emetropía, miopía e hipermetropía en el caso que haya variado sólo la longitud axial del ojo artificial (intercambiando los anillos). Para ello, rellene la tabla que se encuentra a continuación:

- Distancia de trabajo: $D_t = (\quad \pm \quad) \quad$

Configuración	Estado refractivo	Características de los reflejos		
		Sentido	Intensidad	Velocidad
Espejo plano	Emétrope			
	Miope			
	Hipermétrope			
Espejo cóncavo de focal corta	Emétrope			
	Miope			
	Hipermétrope			
Espejo cóncavo de focal larga	Emétrope			
	Miope			
	Hipermétrope			

1.4. En configuración de espejo plano, indique los resultados obtenidos:

- Distancia de trabajo: $D_t = (\quad \pm \quad) \quad _$
- Potencia de trabajo: $\varphi_T = (\quad \pm \quad) \quad _$

1.4a) Ojo artificial emétrope al que se le ha acoplado una lente positiva de +2,00D o una lente negativa de -2,00D. Tenga en cuenta que la potencia de la lente de compensación, φ_C , no tiene por qué ser igual (en valor absoluto) a la de la lente acoplada, ya que se pueden producir errores experimentales que se propagan en los cálculos.

		Características de los reflejos			φ_N (D)	φ_C (D)
Lente acoplada al ojo artificial	Estado refractivo simulado	Sentido	Intensidad	Velocidad		
$\varphi = +2,00$						
$\varphi = -2,00$						

1.4b) Ojo artificial emétrope al que se le interponen diferentes lentes problema. Para la lente cilíndrica, indique los resultados para cada meridiano:

		Características de los reflejos			φ_N (D)	φ_C (D)	φ_{LP} (D)
Lente problema		Sentido	Intensidad	Velocidad			
LP1							
LP2							
LP3	MH: 180°						
	MV: 90°						

φ_N = potencia de la lente de neutralización; φ_C = potencia de la lente de compensación
 φ_{LP} = potencia de la lente problema

Para LP₃, ¿cuál es la fórmula regular de la potencia de la lente de compensación? ¿Y la potencia de la lente problema?

φ_C : _____ φ_{LP} : _____

Nota: Aunque haya indicado en este ejercicio la distancia de trabajo y la potencia correspondiente con la incertidumbre asociada, realice los cálculos de la potencia de la lente de compensación sin tener en cuenta estas incertidumbres. Sí las tendrá en cuenta en el ejercicio 2.

- 1.5.** Si la distancia entre el ojo del paciente y del observador fuera de 33cm, ¿cuál sería la potencia de la lente que neutralizaría un ojo emétrope?
- 1.6.** En esta práctica, ¿por qué debe situarse el observador lo más pegado posible al semiespejo? ¿Qué analogía encuentra con el retinoscopio real?
- 1.7.** Considere una distancia de 0,5m entre el ojo del paciente y del observador, y que la lente de neutralización es de +4,00D.
- ¿Cuál es la refracción del paciente? $\varphi_C =$ _____
 - ¿Y si fuera $\varphi_N = -4,00D$? $\varphi_C =$ _____
- 1.8.** Imagine que trabaja en un Centro Óptico y llega al gabinete optométrico una turista alemana con su hijo de 11 años que ha perdido las gafas y ninguno de los dos habla castellano. Tampoco pueden disponer de la refracción en gafa. Discuta qué método usaría para estudiar el estado refractivo del niño y por qué.

1.9. ¿Cuál es la razón por la que los reflejos invierten su movimiento con el espejo cóncavo? En concreto, ¿con cuál de los dos espejos cóncavos? Razónelo a través de una marcha de rayos de las configuraciones de espejo plano y cóncavo de focal corta.

1.10. Indique las dificultades con las que se ha encontrado en la realización de esta práctica y haga las sugerencias que estime oportunas para mejorar la misma.

Dificultades:

Sugerencias:

CÁLCULOS

Práctica nº 2

OFTALMOSCOPIO

OBJETIVO

El objetivo es construir, sobre el banco óptico, un oftalmoscopio directo y otro indirecto. Una vez construido se analizarán las propiedades, el funcionamiento y algunas características básicas. (campo iluminado, aumentos, posición del observador). Se compararán los resultados con un oftalmoscopio comercial al observar el fondo de ojo de los compañeros de clase y del ojo artificial.

INTRODUCCIÓN

El oftalmoscopio es un instrumento optométrico cuya principal aplicación es observar el fondo de ojo de un sujeto (Figura 2.1). Consta de un sistema de iluminación (para enviar luz sobre la retina) y un sistema de observación. Existen dos tipos de oftalmoscopio: el directo y el indirecto. En el oftalmoscopio directo el observador observa directamente el fondo de ojo del sujeto, mientras que en el oftalmoscopio indirecto se observa una imagen intermedia de la retina formada por una lente oftalmoscópica que forma parte del sistema. Sobre un banco óptico se construirá un oftalmoscopio directo. Para ello, se posicionará un ojo artificial emélope y se construirá un sistema de iluminación que proyecte una apertura o diafragma sobre el fondo del ojo. Se trabajará con diferentes pupilas de sujetos y distintas posiciones del observador. Se analizarán las condiciones de observación y el campo retiniano observado (iluminado). Posteriormente se modificará el sistema anterior para construir un oftalmoscopio indirecto con ayuda de una lente oftálmica. Con este nuevo sistema se analizará su comportamiento óptico, haciendo especial hincapié en la posición del observador en el lugar adecuado para evitar el viñeteo y no perder campo de visión por esta causa. Modificando las características del ojo artificial, se evaluarán los problemas de refracción de los ojos simulados (miopía o hipermetropía) según el tamaño de la imagen observada.

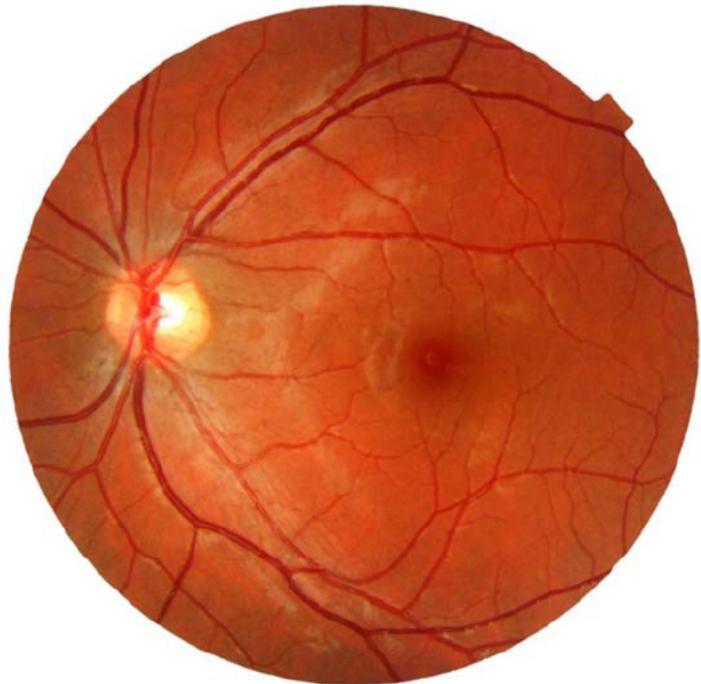


Figura 2.1. Retinografía de un ojo izquierdo realizada con un retinógrafo basado en la oftalmoscopia indirecta. Autor: José J. Castro.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

A) Oftalmoscopio directo.

En el brazo más corto del banco óptico y lo más cerca posible del semiespejo, se posiciona el ojo artificial en configuración de emétrope, colocando el anillo pequeño entre la lente y la pantalla-retina. En el brazo más largo del banco se fija la lámpara, el condensador y un diafragma iris variable (Figuras 2.2 y 2.3). El condensador proporciona una fuente aproximadamente puntual, S' , que es la imagen de la fuente extensa S a través de dicha lente. A continuación del diafragma, se sitúa la lente de proyección de forma que su foco objeto coincida con el diafragma (con ayuda de un telescopio de banco o conociendo la focal de la lente). Por último se posiciona la lámina divisora o semiespejo formando 45° con ambos ejes ópticos del sistema. La imagen de la fuente a través de la lente de proyección, S'' , ha de formarse sobre el semiespejo (Figura 2.2), consiguiendo de este modo que el campo iluminado coincida con el campo observado. Para encontrar las imágenes de la fuente luminosa a través de las lentes, ayúdese de la pantalla auxiliar proporcionada en esta práctica. Si la intensidad de la fuente luminosa es demasiado alta y no consigue discriminar dichas imágenes debido al deslumbramiento, puede bajar a 6V el voltaje de la fuente de potencia. Para continuar la práctica, recuerde posicionar el regulador de voltaje en 12V para volver a la situación inicial. Una vez colocado el ojo artificial y el sistema de iluminación se observará la retina a través de la lámina separadora y se analizará el comportamiento del oftalmoscopio para diferentes posiciones del observador (en este caso, variando la posición del ojo artificial, no la del observador), en particular en lo relativo a los viñeteos. Estimaremos el diámetro iluminado del campo de observación en la retina del sujeto gracias al retículo situado en el fondo de ojo, formado por circunferencias concéntricas equidistantes 2,5mm (Figura 2.4), por lo que la sensibilidad de las medidas sobre el fondo de ojo será de 2,5mm. Se compararán estos resultados con los obtenidos, al menos, con otras dos posiciones del ojo artificial. La distancia entre la posición del semiespejo y el extremo del banco óptico en el que se encuentra el ojo artificial es de (60 ± 2) mm.

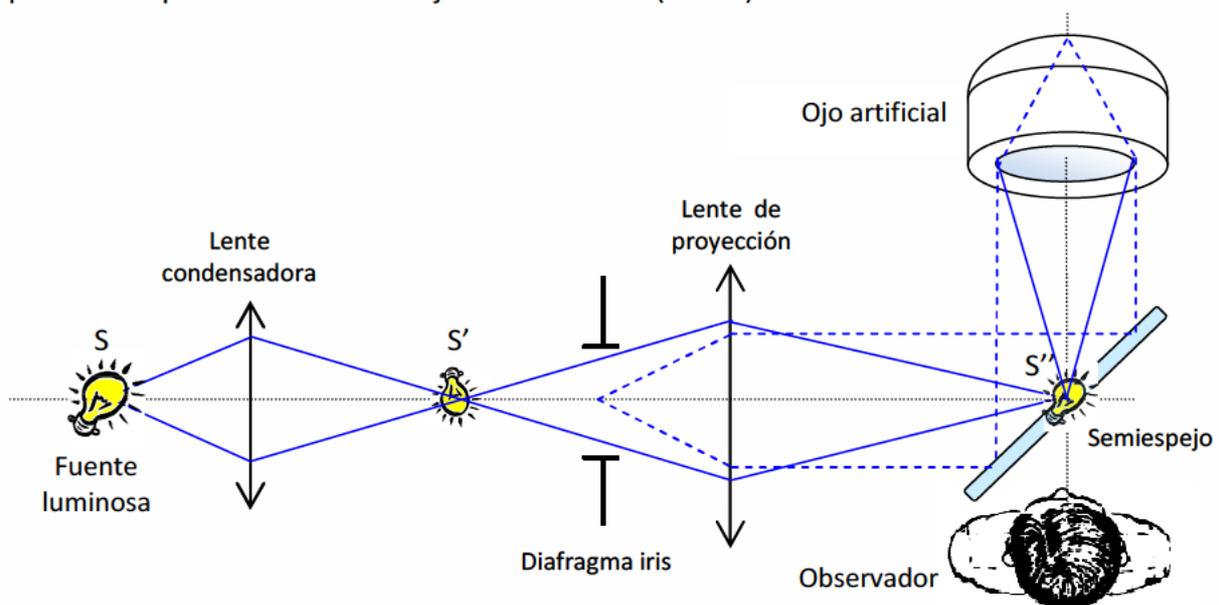


Figura 2.2. Esquema general e un oftalmoscopio directo.

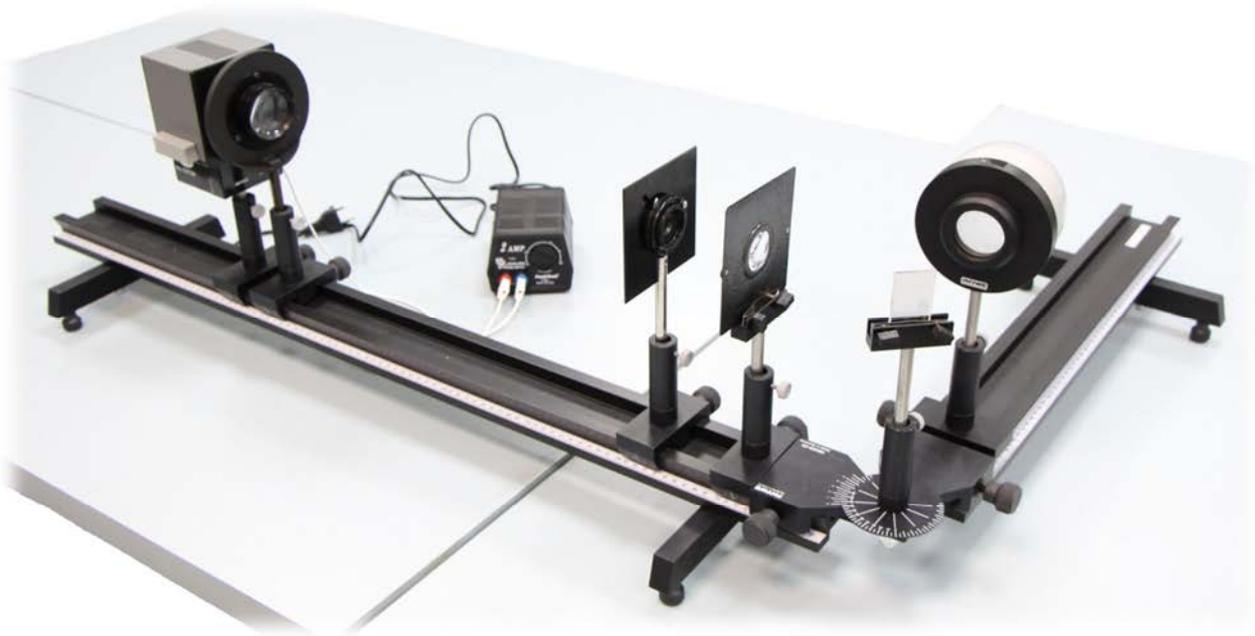


Figura 2.3. Disposición real de elementos para un oftalmoscopio directo.

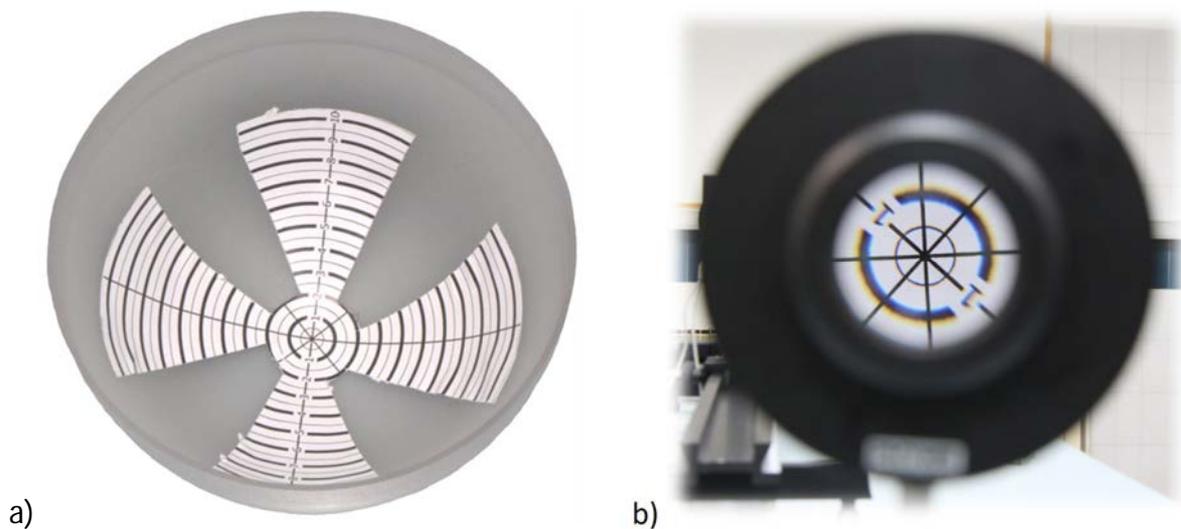


Figura 2.4. a) Reticulo con círculos concéntricos en el fondo de ojo artificial (pantalla-retina), con divisiones de 2,5mm. b) Reticulo del fondo de ojo a través del sistema óptico del ojo artificial.

B) Oftalmoscopio indirecto.

El siguiente paso será estudiar el oftalmoscopio indirecto. Para ello se usa la lente de 50mm de focal, que actuará como lente oftalmoscópica. En estas condiciones la lente proyectará la imagen de la retina en su plano focal. A continuación el observador se colocará en la posición donde no haya viñeteo para observar la imagen retiniana (en realidad se desplazará el ojo artificial), esto es, se situará donde se forma la imagen de la pupila del sujeto a través de la lente oftálmica. En esta situación, las dos pupilas (sujeto y observador) son conjugadas. Es importante situarse en el lugar adecuado para evitar el viñeteo y no perder campo de visión por esta causa.

Será necesario, probablemente, modificar el sistema de iluminación de forma que la imagen del diafragma se siga formando en la retina cuando está colocada la lente oftálmica. Para ello se modificará la posición de la lente de proyección consiguiendo que la imagen del diafragma se sitúe en el foco objeto de la lente oftalmoscópica. Se puede retocar la posición del condensador para formar la imagen del filamento en la lente de proyección (iluminación Köhler). En estas condiciones se analizarán las principales propiedades del oftalmoscopio indirecto, en concreto:

- a. Comprobaremos que la nitidez de la imagen depende de la distancia a la que esté colocado el observador y de su capacidad de acomodación.
- b. Estimaremos el campo retiniano y lo compararemos con los obtenidos con el oftalmoscopio directo.
- c. Regularemos el tamaño del diafragma de la fuente y estudiaremos dónde está el diafragma de campo y de apertura.

En la figura 2.5 se muestran algunos ejemplos de oftalmoscopios indirectos, en este caso binoculares, así como varias lentes (y filtros) usadas en este tipo de oftalmoscopia.

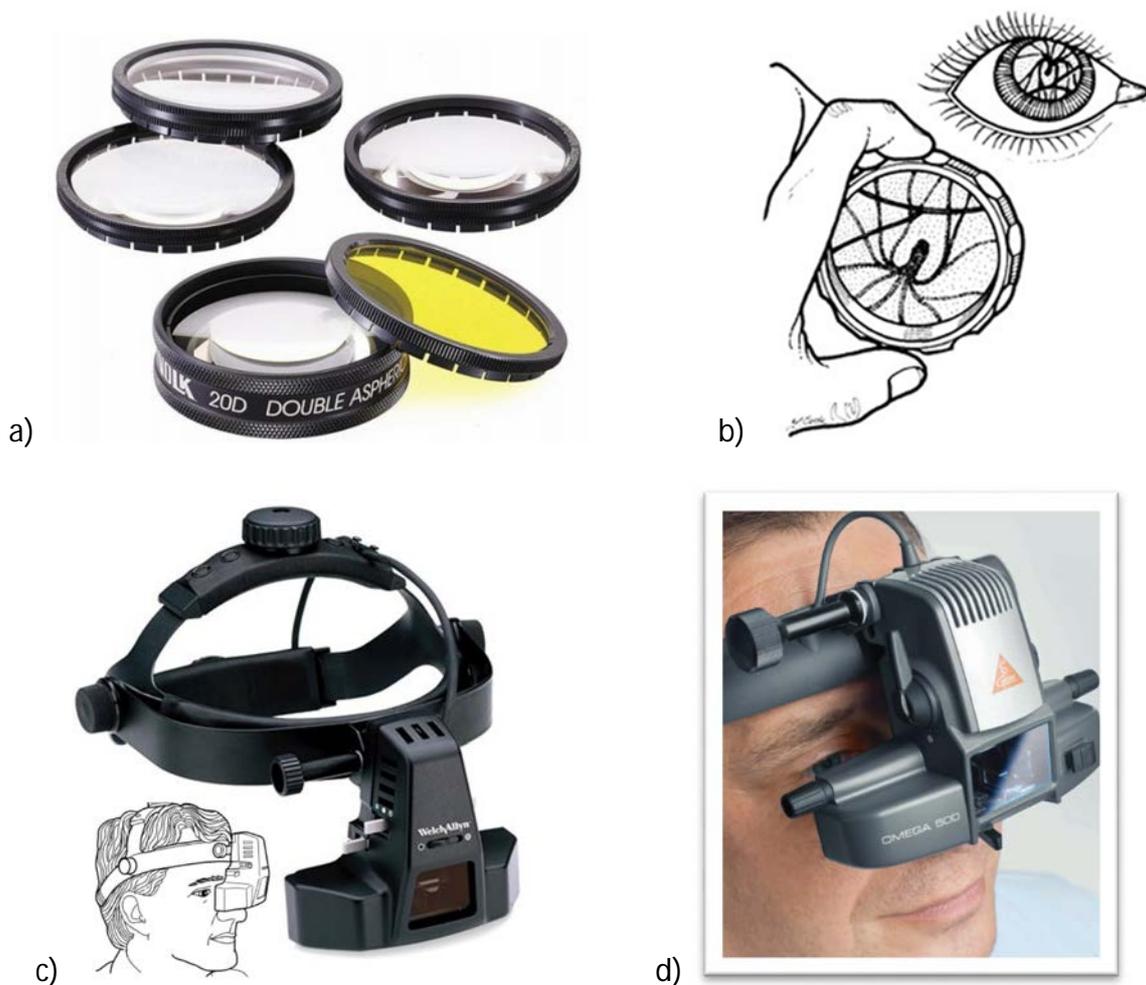


Figura 2.5. a) Lentes oftalmoscópicas comerciales (Volk Optical Inc.) usadas en oftalmoscopia indirecta y (b) cómo posicionarlas. Abajo, dos modelos comerciales de oftalmoscopio indirecto binocular: c) BIO (Welch Allyn Inc.) y d) Omega 500 (Heine Optotechnik GmbH & Co.KG).

En caso de no poder observar el fondo de ojo de manera adecuada por reflejos parásitos, intentaremos eliminar estos reflejos de la fuente girando o desplazando lateralmente el ojo artificial. El semiespejo o lámina separadora se encuentra a una distancia de 60mm del extremo del brazo óptico que soporta el ojo artificial. Por último, con la ayuda de un oftalmoscopio directo comercial (Figura 2.6) observaremos el fondo de ojo de un compañero y el del ojo artificial. Debemos tener cuidado y no iluminar durante periodos prolongados, optando por iluminaciones medias para evitar molestias al compañero.

En resumen, lo más importante en esta práctica es reconocer el diferente comportamiento de los oftalmoscopios (directo e indirecto), en particular en lo relativo a los aumentos, tamaño de campo, viñeteos y características de la iluminación, siendo capaces de entender el funcionamiento de los oftalmoscopios comerciales (Figura 2.6).

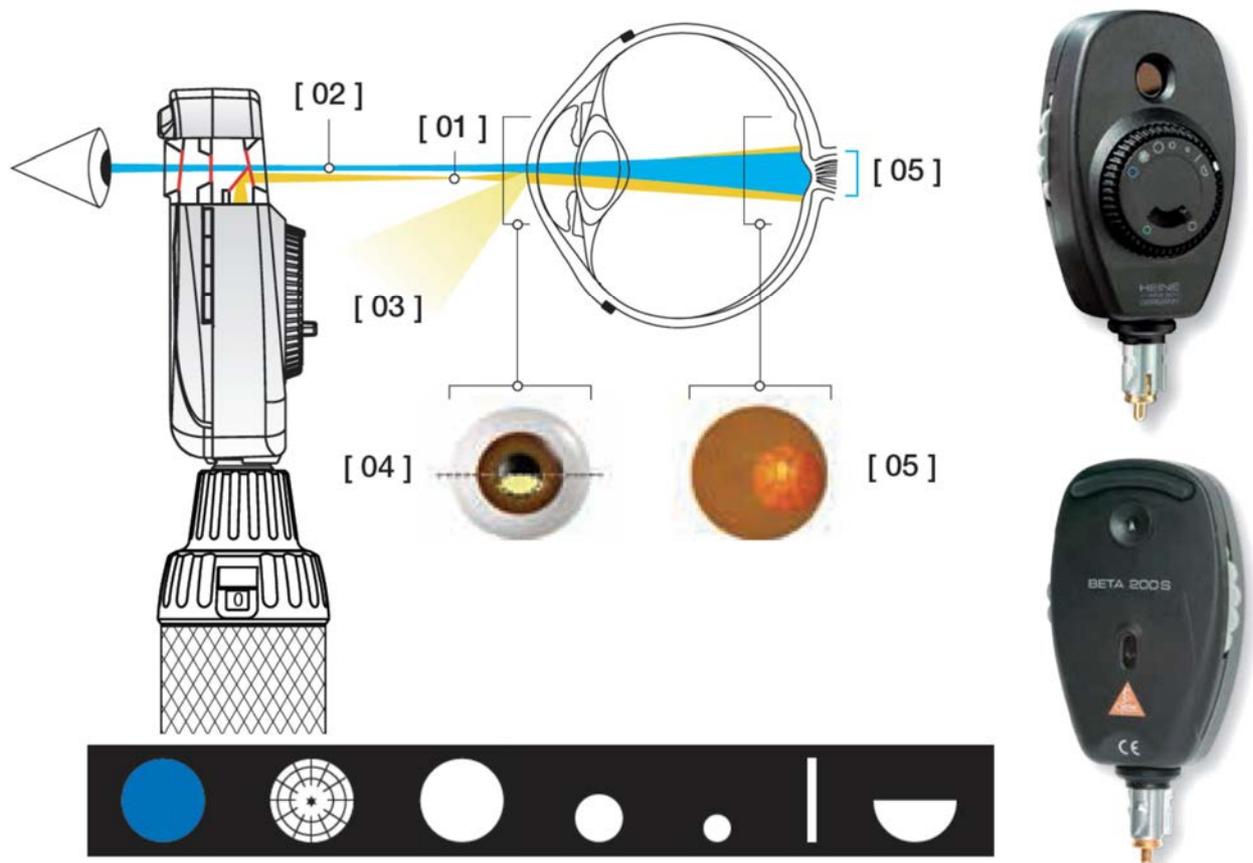


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un oftalmoscopio. **[01]** Imagen de la fuente luminosa, S'. El haz luminoso es elíptico. **[02]** Camino óptico de observación. **[03]** Reflejos corneales eliminados por desviación del haz luminoso. **[04]** El haz luminoso elíptico entra por la mitad inferior de la córnea. El haz luminoso de iluminación es separado del haz luminoso de observación, que llega al observador (principio de Gullstrand). Los reflejos corneales son desviados del haz de observación debido a la curvatura de la córnea. **[05]** Una vez el haz luminoso atraviesa la cámara anterior, el haz se abre e ilumina una gran área de la retina.

Se aprecia además una fotografía del cabezal (anverso y reverso) de un oftalmoscopio Heine Beta 200S y los modos de observación (diafragmas, optotipos y filtros). Fuente: Heine Optotechnik GmbH & Co.KG



Figura 2.7. Oftalmoscopia indirecta llevada a cabo en el Gabinete Optométrico. Fotografías: José Juan Castro.

CUESTIONES

- 2.1. En un oftalmoscopio directo ¿qué tipo de diafragma (apertura o campo) es el diafragma del sistema de iluminación?, ¿por qué?
- 2.2. ¿Quién suele tener más aumentos, un oftalmoscopio directo o uno indirecto? Justifíquelo.
- 2.3. En la presente práctica, tanto en el oftalmoscopio directo como en el indirecto, cuando se indica que se analice el sistema para diferentes posiciones de observador, se especifica que se haga moviendo el ojo artificial en lugar de que el observador se mueva. ¿Por qué? ¿Qué analogía hay con un caso real de observación con un oftalmoscopio comercial?
- 2.4. En los cálculos de la zona iluminada de la retina mediante retinoscopia, se suele considerar un ojo normal estándar, de longitud axial de 22mm aproximadamente, que corresponde a una longitud dióptrica ocular de $R'=60$ Dioptrías. ¿Podría considerar ese valor para el ojo artificial que estamos usando en esta práctica? Si no es así, ¿qué longitud dióptrica tendría?
- 2.5. ¿Qué ocurriría si la zona iluminada de la retina fuese menor que el campo observado?

- 2.6.** En un oftalmoscopio directo, la extensión de la zona iluminada de la retina viene dada por la expresión 2.1, mientras que el campo observado se calcula usando la ecuación 2.2. Discuta y demuestre analíticamente por qué en esta práctica el campo observado coincide con la zona iluminada de la retina.

$$\phi' = \phi \frac{(R - X)}{R'} \quad (2.1)$$

$$\rho'_m = \frac{\phi (R - D)}{2 R'} \quad (2.2)$$

donde: ϕ es el diámetro pupilar del ojo examinado, R es la refracción ocular, R' es la longitud dióptrica ocular, X es la inversa de la distancia en metros del ojo a la fuente luminosa; D es la inversa de la distancia en metros del ojo a la pupila del oftalmoscopio; ϕ' es el diámetro de la zona iluminada de la retina; y ρ'_m es el radio del campo de iluminación media.

- 2.7.** En el oftalmoscopio indirecto, discuta por qué razones no se podría usar la lente de +2,00 D que se acopla al ojo artificial como lente oftalmoscópica.

- 2.8. Calcule el diámetro de la zona iluminada, el campo observado de la retina ($2\rho'_m$) y el aumento introducido por el oftalmoscopio (expresión 2.3) y rellene la tabla para las diferentes distancias de observación con las que ha trabajado. No olvide calcular la incertidumbre asociada. Considere la longitud dióptrica R' una magnitud constante.

$$\Gamma' = \frac{R'}{4(1 - dR)} \quad (2.3)$$

donde d es la distancia del ojo examinado a la pupila del oftalmoscopio.

<i>Oftalmoscopia directa</i>				
Distancia (mm)	Campo observado* (mm)	ϕ' (mm)	$2\rho'_m$ (mm)	Γ'
_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____
_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____
_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____	_____ ± _____

*Se refiere al campo observado experimentalmente. Indique la incertidumbre de la medida.

2.9. Calcule el aumento visual para el oftalmoscopio indirecto que ha usado en esta práctica.

$$\Gamma' = \frac{R'}{4}(1 + a\varphi'_0) \quad (2.3)$$

$\varphi'_0 =$ _____ ; $R' =$ _____ ; $a =$ (_____ \pm _____) _____ ;

2.10. En oftalmoscopia indirecta (Figura 2.7), ¿qué limitaciones tendría un óptico-optometrista para observar de forma óptima la retina?

CÁLCULOS

Práctica nº 3

OPTÓMETRO

OBJETIVO

El objetivo de la práctica es construir un refractómetro u optómetro objetivo de enfoque, estudiar sus propiedades y comprender su funcionamiento, ampliándolo a cualquier tipo de refractómetro u optómetro.

INTRODUCCIÓN

El uso de los optómetros se ha extendido en los últimos años. Su utilidad es la de determinar el estado refractivo del sujeto. Sin embargo, los resultados obtenidos con este instrumento deben ser considerados como un dato más en el estudio de la refracción de un sujeto, ya que dicha refracción dependerá además de sus necesidades visuales, su estado de acomodación, etc. Existen muchos tipos de optómetros: Badal, Young, optómetros objetivos automáticos o autorrefractómetros (Figura 3.1), etc., pero aunque los principios en los que se basan cada uno de ellos son diferentes, todos tienen una finalidad común. Básicamente, las partes de un optómetro son: un sistema de proyección que produce la imagen de un test en la retina del sujeto y un sistema de observación que intenta evaluar la calidad de esta imagen. Para conseguir una imagen nítida en la retina es necesario enfocar, mediante un objetivo de proyección. Cuando se ha conseguido esta imagen nítida se dispone de información suficiente para evaluar el estado refractivo del ojo del sujeto.

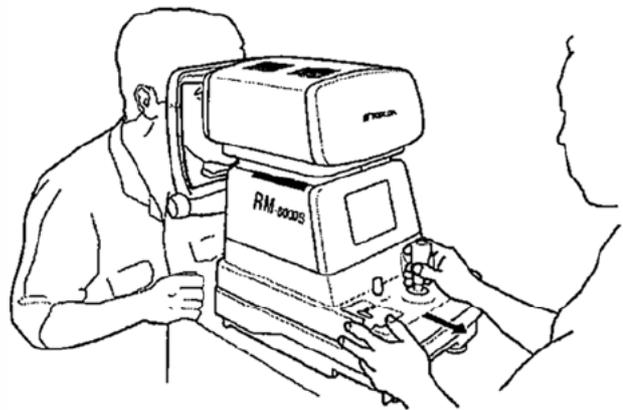


Figura 3.1. Modelo comercial de optómetro objetivo automático o autorrefractómetro. Se observa el posicionamiento del sujeto a estudiar y del examinador. Fuente: Topcon Corporation.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Para la construcción del optómetro de banco se necesitará construir un ojo artificial, un sistema de proyección y un sistema de observación. Para el sistema de proyección se cuenta con una fuente de iluminación, una lente condensadora, un test (diapositiva), una lente de proyección y un espejo. Inicialmente se ajustará el sistema de proyección para que se forme una imagen del test sobre la retina del ojo artificial. Del mismo modo, se ajustará el sistema de observación para ver nítida la imagen del test sobre la retina del ojo artificial. Este ojo artificial estará formado por una lente y una pantalla (retina), de modo que si se varía la distancia entre el sistema óptico del ojo y la pantalla, se podrán simular ojos emétopes, miopes, hipermétropes, e incluso, con lentes apropiadas, astigmáticos. En cada caso, se volverá a enfocar la imagen proyectada del test y se modificarán las características del sistema de observación para ver la imagen nítida. A esto se le llama "poner el optómetro en estación". Posteriormente, mediante el uso de lentes, se calibrará el optómetro construido.

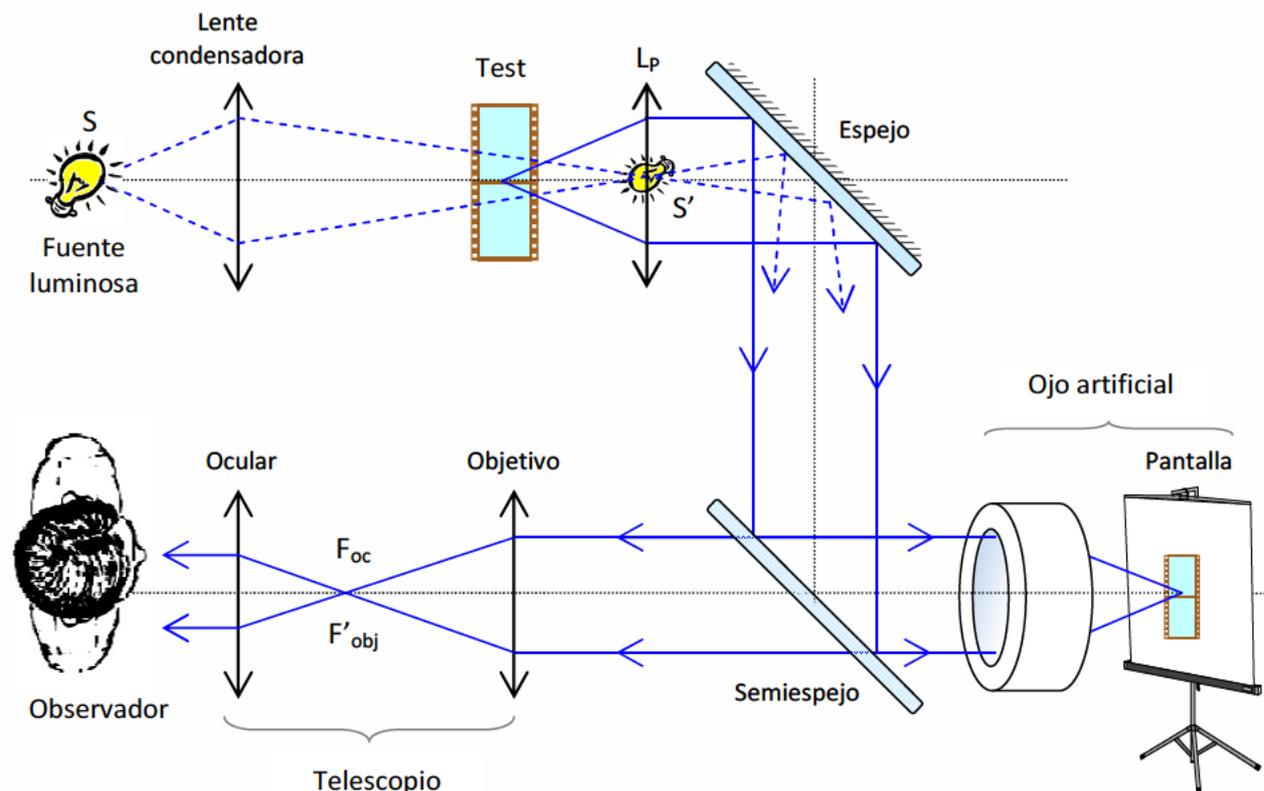


Figura 3.2. Esquema general del refractómetro objetivo de esta práctica, en posición inicial (o de cero) con la marcha de rayos para un ojo emétrope.

En un extremo del otro brazo del banco construimos el sistema de iluminación y de proyección (Figuras 3.2 y 3.3) que, como todos, consta de una fuente luminosa, un condensador, el test que se desea proyectar y el objetivo de proyección. Se comienza construyendo un sistema de iluminación Köhler, por lo que el condensador debe formar la imagen del filamento de la fuente luminosa sobre la pupila de entrada del objetivo de proyección. Este sistema sería un sistema de iluminación Köhler modificado puesto que el objeto en este caso no se encuentra pegado a la

lente condensadora, sino en el plano focal objeto de la lente de proyección. En un extremo del banco óptico se sitúa la fuente luminosa, a continuación la lente condensadora, el objeto (test), y, posteriormente, el objetivo de proyección según el sistema de iluminación Köhler descrito. Se usará como objetivo de proyección una lente de focal $f_p=150\text{mm}$. Tena especial cuidado en posicionar el objeto de forma correcta, para que la orientación sea la misma que la indicada en la cuestión 3.3.

Para completar el sistema de proyección se usará un espejo en el mismo brazo del banco, orientado a 45° , y una lámina separadora (o semiespejo), también a 45° , pero en el otro banco óptico (donde se situará el sistema de observación) que permitirá proyectar la imagen del test sobre el ojo artificial (Figuras 3.2 y 3.3). Es conveniente que el objetivo de proyección quede lo más próximo posible al espejo por lo que, al contrario que en otras prácticas, en ésta, deberíamos llevar a cabo el montaje en sentido contrario al habitual, es decir, construir el sistema de proyección desde el objetivo hacia la fuente.

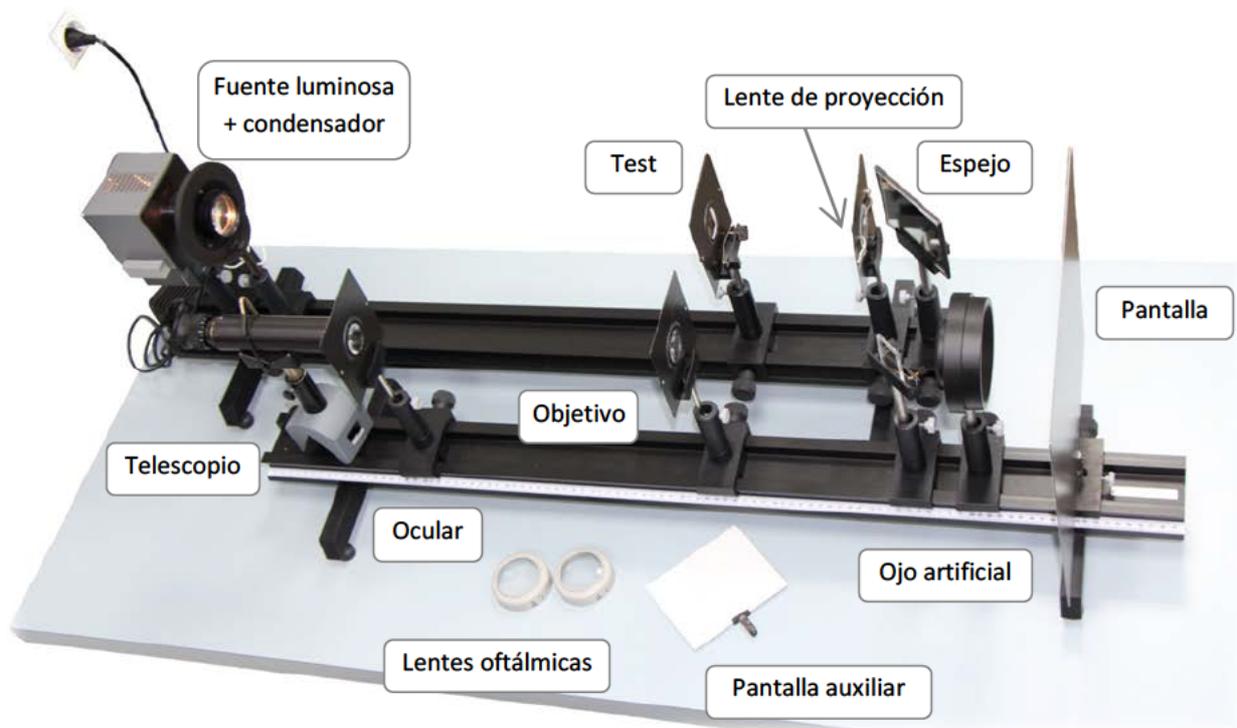


Figura 3.3. Disposición real de los elementos del optómetro de Fotografía: José J. Castro

Justo después de la lámina separadora se construirá el ojo artificial. Se posiciona la pantalla que hará de retina en el foco imagen de la lente que hará de sistema óptico del ojo. Para ello, nos ayudaremos de un telescopio de banco previamente puesto a punto (enfocado al infinito). La lámina semitransparente a 45° deberá quedar lo más cercana posible al ojo artificial. Posteriormente se construye el sistema de observación, consistente en un objetivo que produce una imagen intermedia de la retina y un ocular que permite ver esta imagen con nitidez (Figura 3.2). La distancia entre el ojo artificial y el objetivo de observación debe ser igual que la distancia

entre el ojo y la lente de proyección (trazando el camino óptico a través de la lámina separadora y el espejo). También sería conveniente que las focales de la lente de proyección y la del objetivo del sistema de observación fueran iguales porque en estas condiciones, el optómetro tiene la propiedad de garantizar que los desplazamientos del test serán iguales que los del ocular, lo que hace más simple su manejo. Si en estas condiciones se ve nítidamente la imagen del test en la retina a través del ocular, el optómetro está en estación para un ojo emétrope.

Una vez construido el optómetro, se comienzan las medidas experimentales. Inicialmente se simularán dos ametropías esféricas: miopía e hipermetropía. Para ello se usarán las dos lentes oftálmicas, de potencias $-2,0$ D y $+2,0$ D, que permiten acoplarse al sistema óptico del ojo artificial. Coloque una de las dos lentes para simular la ametropía en cuestión. Lógicamente la imagen sobre la pantalla-retina se desenfocará, puesto que el optómetro está puesto en estación para un ojo emétrope. A continuación se mueve la pantalla hasta volver a enfocar sobre ella la imagen del test. Se retira la lente oftálmica, resultando el ojo artificial con la ametropía simulada. Siguiendo este procedimiento, ¿con qué lente de las dos simularía un ojo miope? ____ ¿Y uno hipermetrópe? _____. Con este ojo se lleva de nuevo el optómetro a estación. Esto se hace desplazando el test y el ocular hasta conseguir ver de nuevo nítidamente la imagen del test en la retina. Se debe tener en cuenta que, teóricamente, el desplazamiento del test y del ocular son el mismo. A partir de la focal de la lente de proyección y de la distancia del ojo a esta lente se calculará el desplazamiento teórico del test y se comparará con el realizado experimentalmente. Se repite todo el procedimiento para la otra lente oftálmica que se acopla al sistema óptico del ojo artificial, y también para otras lentes oftálmicas de las que se dispone en esta práctica, de potencias: $+3,5$; $+2,75$; $+1,25$; $-1,5$; y $-3,0$ dioptrías. Asegúrese de que la lente oftálmica se sitúe de manera correcta, por lo que uno de los compañeros de prácticas deberá sujetar la lente manualmente y pegada a la óptica del ojo artificial, mientras que el otro busca la imagen enfocada y lleva el optómetro a estación. Puesto que las lentes oftálmicas de esta práctica son, en su mayoría, minerales, extreme el cuidado y su atención en el manejo de las mismas.

Con todos estos datos se podrá obtener el calibrado del optómetro, gracias a la expresión 3.1, y, por tanto, se podrá calcular el estado refractivo de cualquier ojo en función del desplazamiento del test. Por último, se construirá un ojo con una ametropía desconocida, para lo que se usará la lente oftálmica problema que se proporciona. Habrá que buscar la imagen nítida que proporciona dicha lente problema y luego retirarla, generando así la ametropía desconocida. Con la función de calibrado anterior se obtendrá su graduación midiendo el desplazamiento del test necesario para que el refractómetro vuelva a estar en estación, es decir que se vea nítidamente el test en la retina del ojo.

CUESTIONES

- 3.1.** Se pretende analizar, mediante el uso de un optómetro, el estado refractivo de un ojo amétrope. Demostrar que el inverso de la ametropía del ojo, $1/R$, es una función lineal de la inversa del desplazamiento z del test, $1/z$, y además depende de la distancia focal de la lente de proyección y de su distancia al ojo analizado, según la expresión 3.1, donde z es el desplazamiento del test, f'_p es la distancia focal de la lente de proyección, R es la refracción del ojo examinado y d la distancia de la lente de proyección al ojo. Ayúdese del esquema de la Figura 3.4:

$$\frac{1}{R} = f'_p - d - \frac{f'^2_p}{z} \quad (3.1)$$

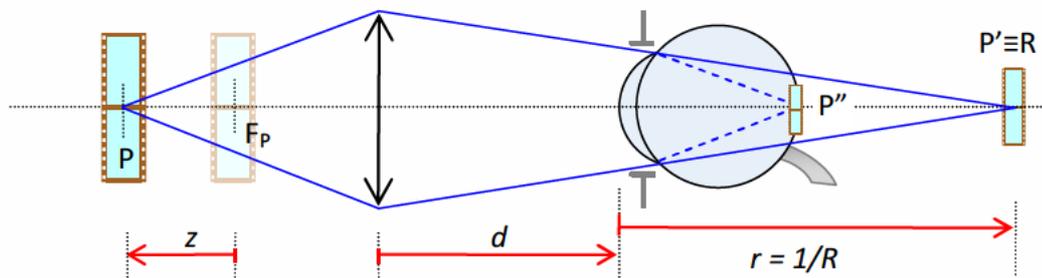
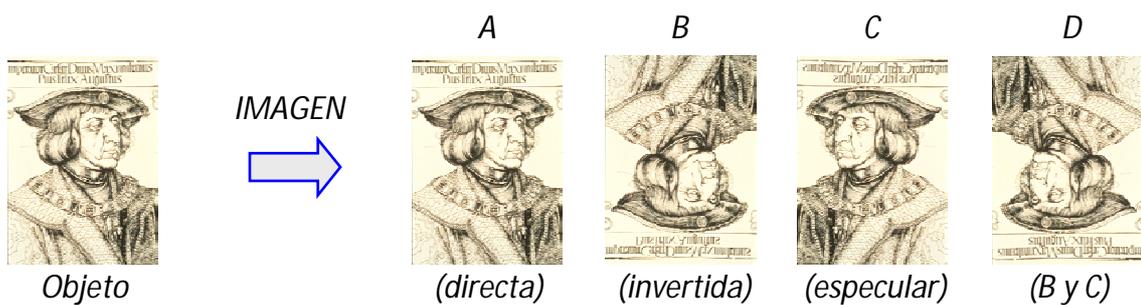


Figura 3.4. Esquema simplificado de un optómetro puesto en estación para un ojo amétrope de refracción R , tras un desplazamiento z del test. En la figura P es el test, P' es la imagen del test a través de la lente de proyección (que ha de caer sobre el punto remoto del ojo a analizar) y P'' es la imagen del test sobre la retina.

3.2. Obtenga la función $R=R(z)$ a partir de la expresión 3.1, así como la función de propagación de errores, $\Delta[R(z)]$.

3.3. Partiendo del optómetro en estación y para un ojo emétrepe, con respecto al objeto inicial (la diapositiva del Emperador *Maximiliano I de Alemania*), discuta de qué tipo es su imagen (real o virtual) y su orientación (directa o inversa, especular o no) a través de cada elemento óptico. Justifique los cambios de orientación a través de los distintos elementos ópticos del sistema. Ayúdese de la notación A, B, C y D indicada en el esquema para describir cada paso.



		Orientación
1	Imagen del objeto a través de la lente de proyección $\rightarrow O'$	
2	Imagen de O' a través del espejo $\rightarrow O''$	
3	Imagen de O'' a través de la parte espejada de la lámina separadora $\rightarrow O'''$	
4	Imagen de O''' a través del sistema óptico del ojo artificial $\rightarrow O''''$	
5	Imagen de O'''' a través del ojo artificial y del sistema de observación $\rightarrow O^V$	
6	Imagen de O^V a través del telescopio astronómico $\rightarrow O^VI$	

3.4. A partir de los datos experimentales, representar gráficamente $1/R$ en función de $1/z$ y demostrar que es una recta cuya pendiente es $-f'_p{}^2$. Considere que la expresión 3.1 corresponde a una ecuación de una recta de la forma $y = \alpha x + \beta$, en la que: $x = 1/z$; $y = 1/R$. Realice el correspondiente ajuste lineal (análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados) e indique los coeficientes de la recta. Preste especial atención a las unidades y signos. Compare con los resultados teóricos.

Distancia de la lente de proyección al ojo artificial: $d = (\quad \pm \quad) \quad \text{_____}$

Potencia de la lente de proyección: $f'_p = 150\text{mm} \Rightarrow \varphi'_p = \quad \text{_____} \text{D}$

		Resultados experimentales	
Lente oftálmica $R \text{ (D)}$	$1/R$ (m)	z (mm)	$1/z$ (m^{-1})
+2,0 D		_____ ± _____	_____ ± _____
-2,0 D		_____ ± _____	_____ ± _____
		_____ ± _____	_____ ± _____
		_____ ± _____	_____ ± _____
		_____ ± _____	_____ ± _____
		_____ ± _____	_____ ± _____
		_____ ± _____	_____ ± _____

	$\alpha = -f'_p{}^2$	$\beta = f'_p - d$
Experimental	(_____ ± _____) _____	(_____ ± _____) _____
Teórico	-0,0225m ²	_____ _____



Insertar o representar aquí la gráfica

- 3.5.** A partir de la función de calibrado del optómetro construido, obtenga la ametropía que ha simulado en el ojo artificial, con la incertidumbre asociada, y también la potencia que tendría la potencia de la lente oftálmica.

$$z = (\quad \pm \quad) \text{ mm} = (\quad \pm \quad) \text{ m}$$

$$R = (\quad \pm \quad) \text{ D}$$

- 3.6.** Discuta la diferencia que hay entre las dos situaciones siguientes y qué ametropía se simularía en cada caso:
- Un ojo real y emétrope, al que se le coloca delante una lente de +3,0D.
 - El ojo artificial emétrope del optómetro de esta práctica, al que se le coloca una lente de +3,0D, se mueve la pantalla hasta de nuevo enfocar la imagen sobre ella y se retira la lente.

CÁLCULOS



Práctica nº 4

BIOMICROSCOPIO

OBJETIVO

Construir un biomicroscopio de banco (para lo que se construirá una lámpara de hendidura y un sistema de observación) y medir los aumentos y el campo de observación.

INTRODUCCIÓN

El biomicroscopio es un instrumento optométrico diseñado para observar la parte anterior del globo ocular (córnea y conjuntiva), el menisco lagrimal, la cámara anterior y el cristalino, así como diferentes anejos como los párpados, las pestañas, las cejas, las vías lacrimales o las glándulas de Meibomio. En Optometría se usa para descartar cualquier tipo de patología ocular y también para examinar el menisco lagrimal y analizar la adaptación de lentes de contacto. Además, este dispositivo puede utilizarse para observar el fondo del ojo, con el uso de lentes oftalmoscópicas de focal corta, aunque no está diseñado específicamente para ello, pues ya se dispone del oftalmoscopio que es el instrumento específico para esta labor.

El biomicroscopio está formado por dos partes fundamentales: un sistema de iluminación y proyección (lámpara de Hendidura) y un sistema de observación (microscopio binocular). En la figura 4.1.a se observa una fotografía durante un examen ocular con biomicroscopio y las partes del mismo. En la figura 4.1.b y 4.1.c se muestran varias fotografías de dos modelos comerciales de biomicroscopio.



Figura 4.1.a. Durante un examen con el biomicroscopio y partes del mismo.

Fuente: A.D.A.M. Inc. ADAM.

La lámpara de hendidura forma la imagen de una rendija iluminada (hendidura luminosa) sobre el ojo del paciente, iluminando la región de interés, y, mediante el microscopio binocular (de no muchos aumentos y con sistema inversor) se observa dicha región. La modificación de aumentos del microscopio se lleva a cabo con ayuda de varios telescopios de Galileo, intercalados en el objetivo del microscopio, para poder modificar los aumentos. Esto se lleva a cabo mediante un revólver con varios objetivos, gracias al cual se pueden variar los aumentos del microscopio y el tamaño del campo observado. Por simplicidad, en esta práctica el microscopio será monocular y sin sistema de inversión.



Figura 4.1.b. Dos modelos comerciales de biomicroscopio. El que aparece en la fotografía de la derecha se encuentra en el laboratorio de prácticas, en desuso, por lo que podrá examinar sus partes e incluso desmontarlo para identificar los distintos elementos.



Figura 4.1.c. Detalle del microscopio (sistema de observación) de un biomicroscopio comercial.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Se dispone de dos brazos de un banco óptico. En un brazo del banco óptico se construirá el sistema de iluminación y proyección (lámpara de hendidura). El sistema de iluminación consta de una fuente luminosa, un condensador y un objeto a proyectar, en este caso una rendija o hendidura. El sistema de proyección será un objetivo de proyección, formado por una única lente. El sistema de iluminación será del tipo Köhler, por lo que el condensador formará la imagen de la fuente luminosa sobre la pupila de entrada del objetivo de proyección (Figura 4.2). A su vez, el objetivo de proyección, formará la imagen de la rendija sobre la pantalla de proyección (córnea del ojo a estudiar). Para ello, puede ayudarse del objeto (diapositiva) montado en un soporte con un jinetillo (Figura 4.3). El ojo del sujeto, estará en el otro brazo del banco óptico, así que, como en los biomicroscopios comerciales, necesitaremos un espejo y un semiespejo para conseguir la proyección de la rendija sobre la córnea del sujeto. Si no se dispone de semiespejo, se puede proyectar la imagen de la rendija directamente con el espejo sobre la pantalla. En la Figura 4.2 se puede apreciar el esquema general del biomicroscopio de banco que se montará en esta práctica, mientras que en la Figura 4.4 se muestra una fotografía del montaje experimental.

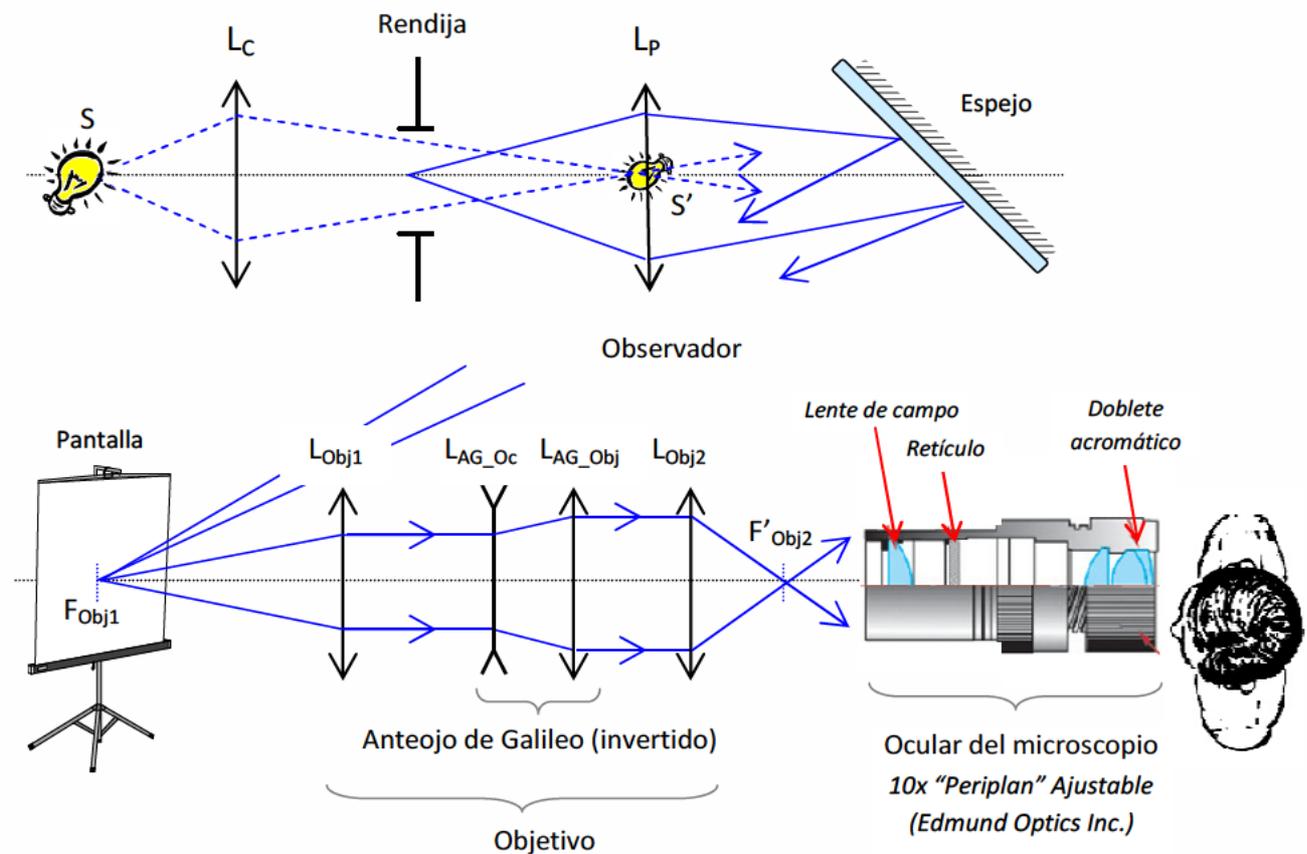


Figura 4.2. Esquema general del biomicroscopio de banco construido en esta práctica.

El retículo micrométrico o micrómetro del ocular es de 1mm, y su escala: 1mm/100 divisiones.

Debido a las limitaciones de tamaño de los bancos ópticos, se aconseja separar con una distancia suficiente el condensador del objetivo de proyección. La fuente luminosa y el espejo deberían estar situados en los extremos del brazo del banco, y el objetivo de proyección, próximo al espejo. Del mismo modo, y en el otro brazo del banco óptico, la pantalla debería estar en un extremo y el ocular en el otro (tenga en cuenta que ocular debe tener un pequeño margen de movimiento para ver con el microscopio la zona iluminada del ojo (pantalla). Fíjese que se dispone de una pequeña pantalla en la que aparece la fotografía de un ojo, pero en la que se puede mostrar también papel milimetrado, lo que ayudará a la toma de medidas (Figura 4.5.a). También se dispone de una pantalla de mayores dimensiones donde, además de presentar la fotografía de un ojo, se ha emplazado un superficie hemiesférica transparente simulando una córnea (Figura 4.5.b), que ha sido rayada para imitar una cicatriz u otras alteraciones corneales.



Figura 4.3. Objeto auxiliar para encontrar la imagen de la hendidura sobre la pantalla.



Figura 4.4. Fotografía donde se muestra la disposición real de los elementos sobre el banco óptico.

A continuación de la pantalla y del semiespejo (si se dispone de él), se construirá el sistema de observación (microscopio). En primer lugar se procede a construir el objetivo del microscopio ayudándonos de un telescopio de banco, previamente puesto a punto. Se posiciona la primera lente del objetivo, L_{Obj1} , de modo que su focal coincida con la posición de la pantalla (es decir, se construye un colimador cuyo objeto es la pantalla), por lo que la primera forma la imagen de la

pantalla en el infinito (Figura 4.2). La segunda lente del objetivo del microscopio, L_{Obj2} , se sitúa separada de la primera (aproximadamente 40 o 50 cm) para dejar espacio y poder intercalar, a posteriori, el anteojo de Galileo. Esta lente, produce una imagen intermedia de la pantalla en su plano focal, F'_{Obj2} . Posteriormente se posiciona el ocular de 10x para poder observar. Si todo está correctamente posicionado, se podrá ver de forma nítida la pantalla (ojo simulado o papel milimetrado) y la imagen luminosa de la rendija (hendidura). A partir de este momento, las lentes L_{Obj1} y L_{Obj2} , y el ocular del microscopio, permanecerán en la misma posición para el resto de la práctica.

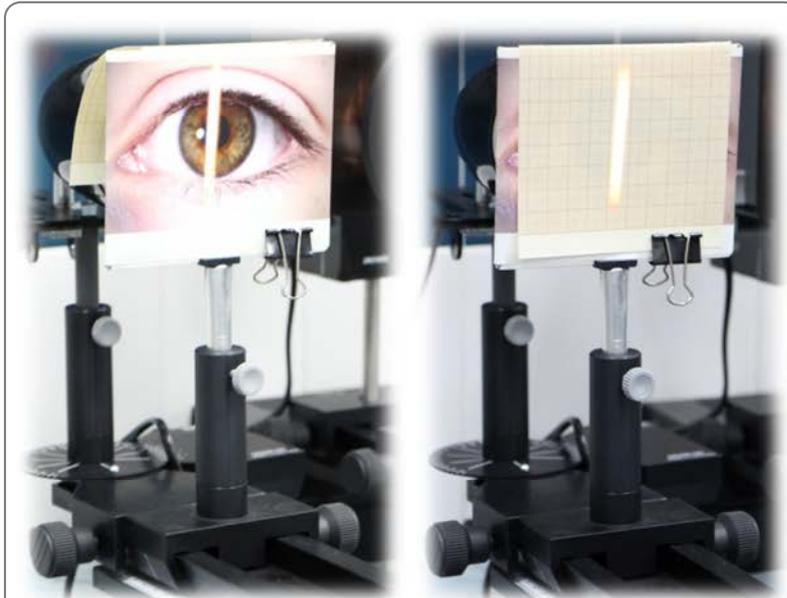


Figura 4.5.a. Pantalla pequeña con fotografía de un ojo y a la que se puede superponer un papel milimetrado (ayúdese de la pinza para que el papel queda perpendicular).



Figura 4.5.b. Pantalla con fotografía de un ojo y hemiesfera transparente que simula la córnea.

Ahora vamos a calcular los aumentos del microscopio (producto del aumento lateral del objetivo por el aumento visual del ocular). Con ayuda del micrómetro del ocular (1mm/100divisiones) medimos el aumento lateral del objetivo y, conociendo el aumento visual del ocular (10x), se puede estimar el aumento total del microscopio. Mirando la pantalla a través del ocular, también se podrá estimar el tamaño del campo real de observación.

Posteriormente se introducen las dos lentes que formarán el anteojo de Galileo, emplazadas entre las dos lentes del objetivo del microscopio. Se dispone para ello de una lente divergente de -100mm de distancia focal y dos lentes convergentes de 150 y 300mm. Por tanto, se pueden construir un objetivo de microscopio para cada anteojo de Galileo. Se tendrían pues, 5 opciones, en las que se estaría incluyendo los correspondientes anteojos de Galileo invertidos. Se tendría un objetivo de microscopio sin anteojo de Galileo, otros dos objetivos con la lente divergente y la lente convergente de 150mm (anteojo directo e invertido) y otros dos con la lente divergente y la lente convergente de 300mm de focal (anteojo directo e invertido). Para cada par de combinaciones, se aconseja empezar con el anteojo de Galileo invertido, ya que resulta más fácil de enfocar la imagen. Para el anteojo de Galileo (directo) correspondiente, bastará con

4.4. El ocular usado en esta práctica (Figura 4.6) es de 10x. El modelo y las características del mismo se indican en la siguiente tabla. Indique qué puede ser cada parámetro y a qué se refiere cuando en el modelo se especifica que es un ocular de microscopio DIN y "Periplan".

<i>10x DIN Periplan-Adjustable Microscope Eyepiece (Edmund Optics Inc.)</i>		
<i>Magnification</i>	10x	
<i>Effective Focal Length EFL (mm)</i>	25.0	
<i>Field Stop Diameter (mm)</i>	21.0	
<i>Eye Relief (mm)</i>	14.5	
<i>Diameter of Compatible Reticle (mm)</i>	21.0	

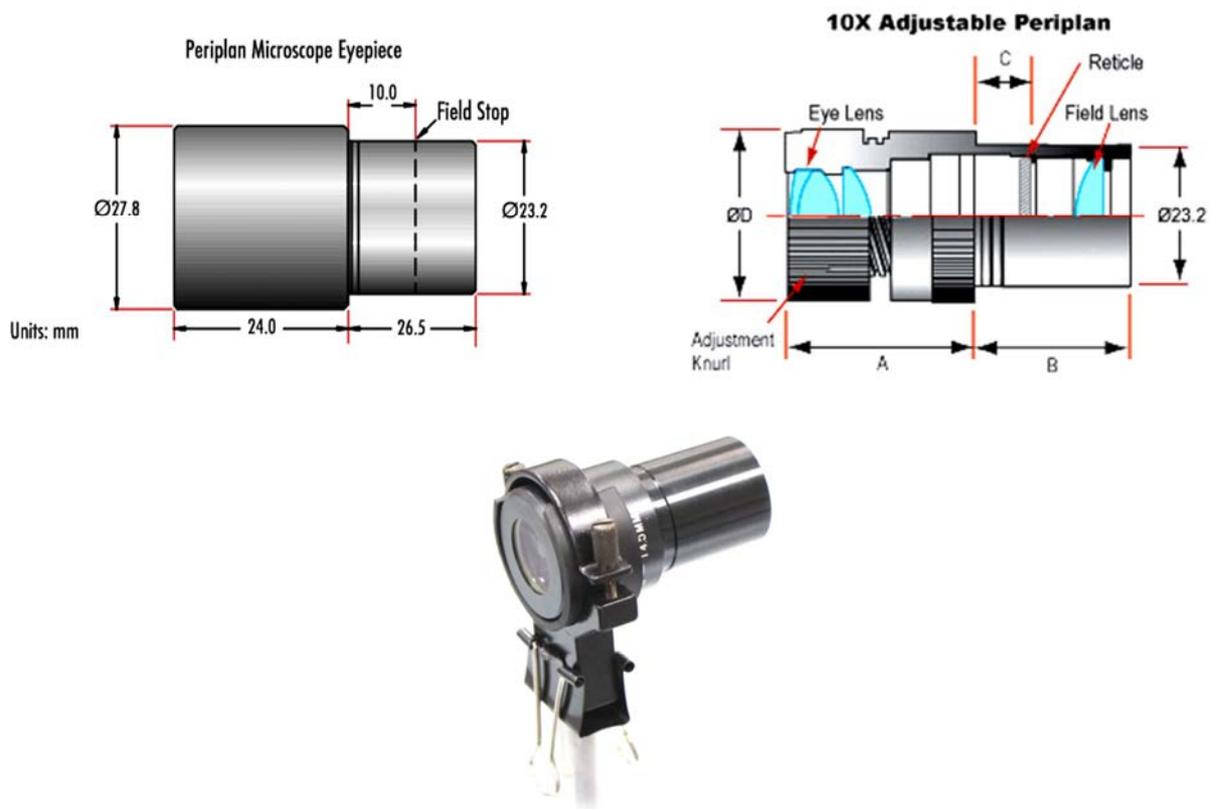


Figura 4.6. Dimensiones del ocular usado en esta práctica (Edmund Optics Inc.) y fotografía del mismo montado sobre el vástago.

4.5. Rellene la tabla siguiente con los resultados experimentales obtenidos en esta práctica (tamaño del objeto, campo observado) y realice los cálculos necesarios para obtener el aumento lateral del objetivo y el aumento total del microscopio. Exprese los valores con la incertidumbre asociada.

Anteojo de Galileo					
f'_{oc} (mm)	f'_{obj} (mm)	Objeto y (mm)	β'_{obj}	Γ'_m	Tamaño del campo observado (mm)
-	-	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___
-100	300	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___
300	-100	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___
-100	150	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___
150	-100	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___	___ ± ___

Considere que el tamaño de la imagen intermedia que proporciona el objetivo del microscopio es de $y' = 1mm$, sin incertidumbre asociada.

4.6. Considerando el caso del objetivo del microscopio formado por las dos lentes convergentes (sin anteojo de Galileo), calcule el aumento teórico del microscopio. Deberá considerar el objetivo como un sistema óptico compuesto y calcular el aumento lateral que introduce. A partir del aumento teórico del microscopio, calcule el correspondiente aumento total en los diferentes casos de anteojo de Galileo, y rellene la tabla siguiente:

Anteojo de Galileo			
f'_{oc} (mm)	f'_{obj} (mm)	$\Gamma'_{Anteojo}$	Γ'_m teórico
-	-	-	___ ± ___
-100	300		___ ± ___
300	-100		___ ± ___
-100	150		___ ± ___
150	-100		___ ± ___

4.7. Obtenga y exprese aquí las funciones de propagación de error que haya necesitado en los ejercicios anteriores.

- 4.8.** Al emplazar la pantalla con la fotografía del ojo y la córnea simulada (Figura 4.5b), al observar a través del ocular del microscopio, ¿cómo enfocarías para ver las distintas partes del ojo simulado, sin mover los elementos del sistema de observación? ¿Cómo se enfocarías con un biomicroscopio comercial?
- 4.9.** Se incluye en las páginas siguientes dos ejercicios/problemas del biomicroscopio. Analice y comente las analogías y las diferencias del biomicroscopio planteado en los ejercicios y el biomicroscopio de banco montado en el laboratorio.

CÁLCULOS

PROBLEMAS / EJERCICIOS

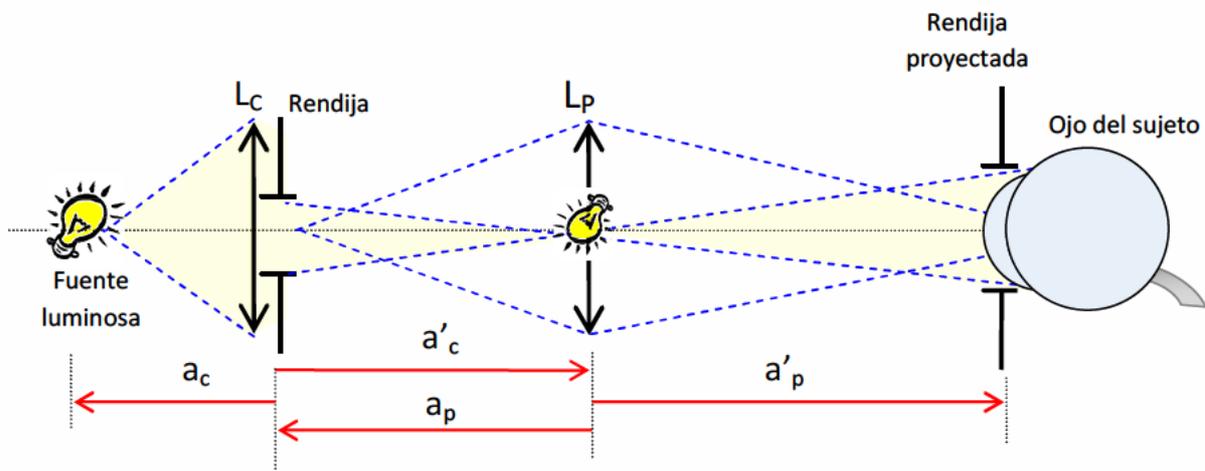
1.- Tenemos un biomicroscopio ocular de las siguientes características:

- **Sistema de iluminación-proyección:** fuente luminosa de luminancia 10^3 nit; objetivo de proyección de 100mm de distancia focal y diámetro 30mm; lente condensadora de 50mm de focal; rendija de 2x1mm; y tamaño de la imagen de la rendija de 4x2mm.
- **Microscopio ocular:** objetivo 1x; apertura numérica de 0,2; longitud óptica de tubo de 160mm.

Se pide:

- a) Determinar la posición de los elementos del sistema de iluminación-proyección y la iluminancia en el ojo del sujeto suponiendo que su factor de reflexión es 1.
- b) Si sabemos que el microscopio trabaja en condiciones de mínimo aumento útil, determinar el ocular utilizado y calcular la profundidad de enfoque debida a la acomodación.

a) Realizamos un esquema del sistema de iluminación-proyección:



Donde L_c es la lente condensadora y L_p es la lente de proyección (objetivo de proyección). Conocemos el tamaño de la rendija objeto (2x1mm) y también el tamaño de la rendija proyectada (4x2mm) que es la imagen de la rendija objeto a través de la lente de proyección. Por tanto, podemos calcular el aumento lateral del objetivo de proyección (β') y, por tanto, la relación entre la a'_c y a_c . Hay que tener en cuenta que la lente de proyección invierte la imagen de la rendija, por lo que y' será negativa. Veamos:

$$\beta' = \frac{y'_r}{y_r} = \frac{-4\text{mm}}{2\text{mm}} = -2 = \frac{a'_p}{a_p}, \text{ de donde } a'_p = -2a_p$$

Como conocemos la focal de la lente de proyección ($f'_p=100\text{mm}$), sustituimos la relación anterior en la ecuación de Gauss y se tiene:

$$-\frac{1}{a_p} + \frac{1}{a'_p} = \frac{1}{f'_p} \rightarrow -\frac{1}{a_p} + \frac{1}{-2a_p} = \frac{1}{f'_p} \rightarrow a_p = -\frac{3}{2}f'_p = -150\text{mm}$$

Con lo que $a'_p = -2a_p = +300\text{mm}$

Se cumple además que $a'_c = -a_p$, por lo que $a'_c = +150\text{mm}$.

La focal de la lente condensadora es conocida ($f'_c=50\text{mm}$), por lo que usando la ecuación de Gauss:

$$-\frac{1}{a_c} + \frac{1}{a'_c} = \frac{1}{f'_c} \rightarrow a_c = \frac{f'_c a'_c}{f'_c - a'_c} = \frac{50\text{mm} \cdot 150\text{mm}}{50\text{mm} - 150\text{mm}} = 75\text{mm}$$

Por tanto, ya tenemos las posiciones de todos los elementos del sistema de iluminación-proyección (lámpara de hendidura). Ahora nos piden la **iluminancia** en el ojo del sujeto, es decir, el flujo luminoso que recibe el ojo del sujeto por unidad de área. Por tanto, el dato que nos dan de la reflectancia del ojo del sujeto es irrelevante. Si nos hubieran pedido la **luminancia** del ojo del sujeto, es decir, el flujo luminoso que emite el ojo del sujeto por unidad de área y de ángulo sólido, entonces sí usaríamos el coeficiente de reflexión del ojo del sujeto, ya que esa luminancia dependería de la iluminancia (es decir, del flujo luminoso que recibe) y de la reflectancia del ojo (el flujo luminoso que refleja con respecto al que incide).

$$\text{Vamos a calcular la iluminancia en el ojo el sujeto: } E'_p = \frac{\pi \tau L}{4N^2 \left(1 - \frac{\beta'_p}{\beta'_p}\right)^2}$$

$$\text{El número de diafragma viene dado por: } N = \frac{f'_p}{\phi_{PE}} = \frac{f'_p}{\phi_{obj}} = \frac{100\text{mm}}{30\text{mm}} = 3.33$$

El aumento lateral pupilar, β'_p , vale 1, ya que, el objetivo de proyección está formado por una sola lente, por lo que la propia lente es diafragma de apertura, pupila de entrada y pupila de salida.

El aumento lateral del objetivo de proyección, lo hemos calculado anteriormente: $\beta' = -2$. Consideramos además una transmitancia del sistema óptico: $\tau = 1$.

$$E'_p = \frac{\pi \tau L}{4N^2 \left(1 - \frac{\beta'_p}{\beta'_p}\right)^2} = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 10^3 \text{nit}}{4 \cdot 3,33^2 \left(1 - \frac{(-2)}{1}\right)^2} = 7,87 \text{ lux}$$

Aunque no nos lo piden, estamos en condiciones de calcular la luminancia del ojo del sujeto. Sería:

$$L_{ojo} = \frac{E'_p}{\pi} \rho_{ojo} = \frac{7,87 \text{ lux}}{\pi} \cdot 1 = 2,51 \text{ nit}$$

b) En este segundo apartado nos piden, en primer lugar, el ocular utilizado sabiendo que el microscopio trabaja en condiciones de mínimo aumento útil. El aumento útil del microscopio viene limitado por la apertura numérica: $500AN \leq |\Gamma'| \leq 1000AN$, y como $AN=0,2$, se tiene que $100 \leq |\Gamma'| \leq 200$. Como el microscopio trabaja en condiciones de mínimo aumento útil: $|\Gamma'| = 500AN = 500 \cdot 0,2 = 100$. El aumento del microscopio ha de ser negativo, ya que no tiene sistema inversor: $\Gamma' = -100$.

Como conocemos el aumento lateral del objetivo de microscopio (1x), y este aumento ha de ser negativo ($\beta'_{obj} = -1$), y el aumento total del microscopio viene dado por $\Gamma' = \Gamma'_{oc} \cdot \beta'_{obj}$, podemos conocer el aumento visual del ocular:

$$-100 = \Gamma'_{oc} \cdot (-1) \rightarrow \Gamma'_{oc} = 100$$

Por tanto, la focal del ocular será: $\Gamma'_{oc} = \frac{250}{f'_{oc}} \rightarrow f'_{oc} = \frac{250}{\Gamma'_{oc}} = \frac{250}{100} = 2,5mm$

Otro parámetro que nos piden es la profundidad de enfoque debido a la acomodación. Como en el caso de la lupa, la profundidad de enfoque venía dada por $\Delta_e = f_m'^2 A_m$, siendo A_m la amplitud de acomodación del observador que usa el microscopio y f'_m , la focal (en metros) que tendría una lupa que se comportase como este microscopio, es decir, $f'_m = (f'_{obj} f'_{oc}) / t$. Por tanto, la profundidad de enfoque, en metros, debida a la acomodación (de un sujeto emétrope con PR en el infinito y punto próximo PP a 0,25m):

$$\Delta_e = f_m'^2 A_m = \left(\frac{0,25}{\Gamma'}\right)^2 A_m = \left(\frac{0,25}{\Gamma'}\right)^2 \left(\frac{1}{PR} - \frac{1}{PP}\right) = \left(\frac{0,25}{-100}\right)^2 \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{-0,25m}\right) = 2.5 \times 10^{-5}m = 0,025mm$$

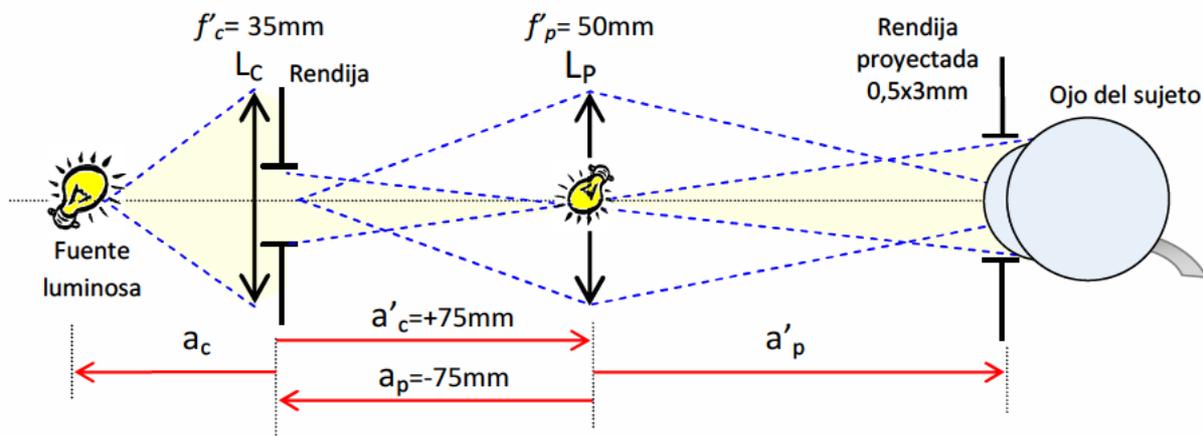
Nótese que en esta ecuación, dado que la amplitud de acomodación viene expresada en Dioptrías (o m^{-1}) todas las distancias que se introduzcan han de ser en metros para que dicha ecuación sea dimensionalmente correcta.

2.- Tenemos un biomicroscopio ocular de las siguientes características:

- **Sistema de iluminación-proyección:** objetivo de proyección de 50mm de distancia focal; lente condensadora de 35mm de focal; tamaño de la imagen de la rendija de 0,5x3mm; y distancia de la rendija a la lente de 75mm.
- **Microscopio ocular:** sistema inversor formado por un prisma de índice 1,5; objetivo 2x con intervalo de longitud óptica de 170mm, AN=0,1 y ocular 10x.

Determinar: a) tamaño de la rendija; b) distancia focal del objetivo del microscopio; c) campo imagen del microscopio.

a) En primer lugar vamos a determinar el tamaño de la rendija, o lo que es lo mismo, el tamaño del objeto en el sistema de proyección. Dibujamos un esquema e identificamos distancias:



Primero, calculamos la distancia entre el ojo del sujeto (donde se forma la imagen de la rendija) y el objetivo de proyección. Para ello usamos la ecuación de Gauss:

$$-\frac{1}{a_p} + \frac{1}{a'_p} = \frac{1}{f'_p} \rightarrow a'_p = \frac{f'_p a_p}{f'_p + a_c} = \frac{50mm(-75mm)}{50mm - 75mm} = 150mm$$

Ahora podemos calcular el aumento lateral del objetivo de proyección y, por tanto, el tamaño de la rendija:

$$\beta' = \frac{a'_p}{a_p} = \frac{+150\text{mm}}{-75\text{mm}} = -2 = \frac{y'_r}{y_r} \rightarrow y_r = \frac{y'_r}{\beta'}$$

Como tenemos dos dimensiones de la rendija, y teniendo en cuenta que la imagen de la rendija a través del objetivo de proyección es invertida:

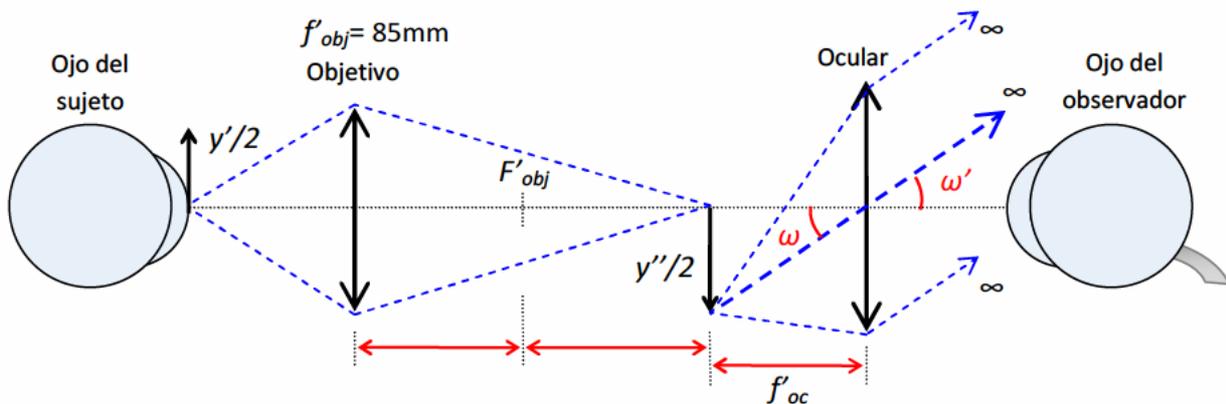
$$y_{r1} = \frac{y'_{r1}}{\beta'} = \frac{-0,5\text{mm}}{-2} = 0,25\text{mm} ; \quad y_{r2} = \frac{y'_{r2}}{\beta'} = \frac{-3\text{mm}}{-2} = 1,5\text{mm}$$

Por lo que el tamaño de la rendija es 0,25x1,25mm.

b) Vamos ahora al microscopio. Como conocemos el aumento lateral del objetivo del microscopio (2x, es decir, $\beta'_{obj} = -2$) y la longitud óptica de tubo, se tiene:

$$\beta'_{obj} = -\frac{t}{f'_{obj}} \rightarrow f'_{obj} = -\frac{t}{\beta'_{obj}} = -\frac{170\text{mm}}{-2} = 85\text{mm}$$

c) Para calcular el campo imagen, nos fijamos en el siguiente esquema del microscopio:



Consideramos el rayo que parte del extremo de la semi-imagen intermedia, $y''/2$, que pasa por el centro del ocular, de modo que ese rayo no sufriría desviación. Este rayo, delimitaría un triángulo rectángulo de ángulo ω junto con la semi-imagen intermedia y la distancia focal objeto del ocular. Para este rayo, $\omega = \omega'$, y el campo imagen, que es el parámetro que nos piden, sería $2\omega'$. Faltaría determinar la focal del ocular y tendríamos el campo imagen. Nótese que para los otros dos rayos dibujados en el esquema y que parten del extremo de la semi-imagen intermedia, ya no se cumpliría que $\omega = \omega'$, lo que sí se cumpliría es que a la salida del ocular, los tres rayos serían paralelos, formando un ángulo ω' con el eje óptico.

$$\Gamma'_{oc} = \frac{250}{f'_{oc}} \rightarrow f'_{oc} = \frac{250}{\Gamma'_{oc}} = \frac{250}{10} = 25\text{mm}$$

No conocemos el tamaño de la semi-imagen intermedia, pero sí el tamaño de la rendija proyectada sobre el ojo del sujeto, es decir, cuya diagonal es $y'_r = \sqrt{0,5^2 + 3^2} = 3,04\text{mm} = y$, que sería objeto para nuestro microscopio. Conocemos además el aumento del objetivo, por lo que la imagen intermedia tendrá un tamaño: $y' = \beta'_{obj} y = (-2) \times 3,04\text{mm} = -6,08\text{mm}$.

$$\text{Para el triángulo: } \text{tg}\omega = \text{tg}\omega' = \frac{|y''/2|}{f'_{oc}} = \frac{|-6,08\text{mm}|/2}{25\text{mm}} = 0,1216 \rightarrow \omega' = 6,93^\circ \rightarrow 2\omega' = 13,87^\circ$$

Práctica nº 5

FRONTOFOCÓMETRO

OBJETIVO

Construir dos tipos de frontofocómetro (de observación y de proyección) y medir la potencia de diferentes lentes oftálmicas.

INTRODUCCIÓN

El frontofocómetro es un instrumento óptico cuya finalidad es la medida de las potencias de vértice posterior de lentes oftálmicas. Esta potencia se define como la inversa de la distancia (en metros) entre el vértice posterior de la lente oftálmica y su foco imagen (Figura 5.1). Presenta la ventaja de que proporciona la posición del foco imagen de la lente respecto al vértice posterior, sin necesidad de conocer la posición del plano principal imagen (H'). Por tanto, la medida de esta potencia realmente no proporcionaría la focal imagen de la lente oftálmica, sino su focal de vértice posterior. En la actualidad, existen muchos tipos de frontofocómetros, pero en esta práctica sólo se van a construir sobre el banco óptico los dos tipos de frontofocómetro más extendidos: el de proyección y el de observación. En la Figura 5.2 se muestra un frontofocómetro de observación usado normalmente en los gabinetes optométricos y talleres ópticos.

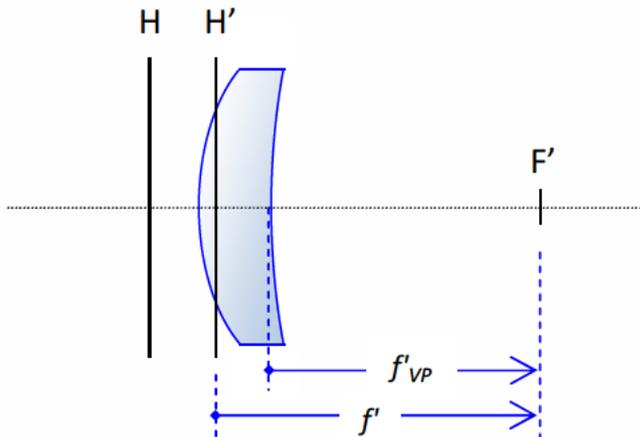


Figura 5.1. Distancia focal de vértice posterior, f'_{VP} , de una lente oftálmica.



Figura 5.2. Frontofocómetro comercial

En la figura 5.3 se muestra el esquema general del frontofocómetro de observación, en el que el test T se observará nítidamente (a través del telescopio, previamente puesto a punto) cuando éste se encuentre en el plano focal objeto de la lente colimadora L_C . Lo mismo sucederá en el caso del frontofocómetro de proyección: en la pantalla se observará la imagen del test T cuando el objetivo de proyección L_P recoja los haces colimados que salen de la lente colimadora L_C .

Cuando se introduzca la lente problema, tanto en el caso del frontofocómetro de observación como en el de proyección, la imagen final quedará desenfocada. Para volver a enfocar la imagen será necesario mover el test T una determinada distancia, z . Mediante las expresiones 5.1 y 5.2, se podrá calcular la focal (de vértice posterior) de la lente problema, f'_p , o su potencia, ϕ'_p una vez conocida la focal de la lente colimadora, f'_c , o su potencia, ϕ'_c .

$$f'_p = \frac{(f'_c)^2}{z} \Leftrightarrow \phi'_p = (\phi'_c)^2 \cdot z \quad (5.1)|(5.2)$$

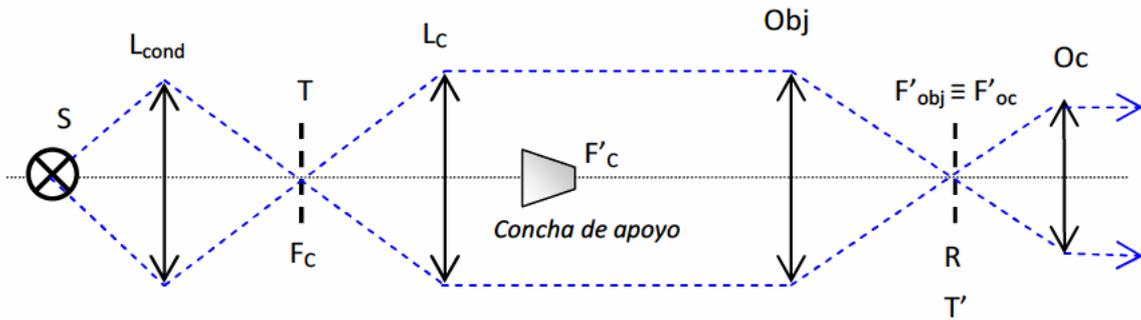


Figura 5.3. Esquema general de un frontofocómetro de observación puesto a punto (anteojo enfocado al infinito y sin lente oftálmica).

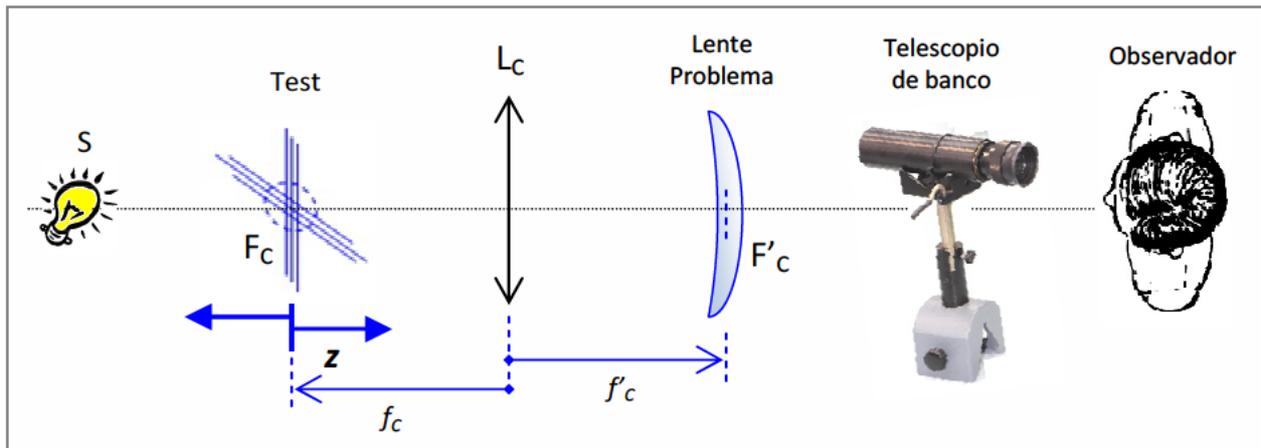


Figura 5.4. Esquema del frontofocómetro de observación una vez introducida la lente problema.

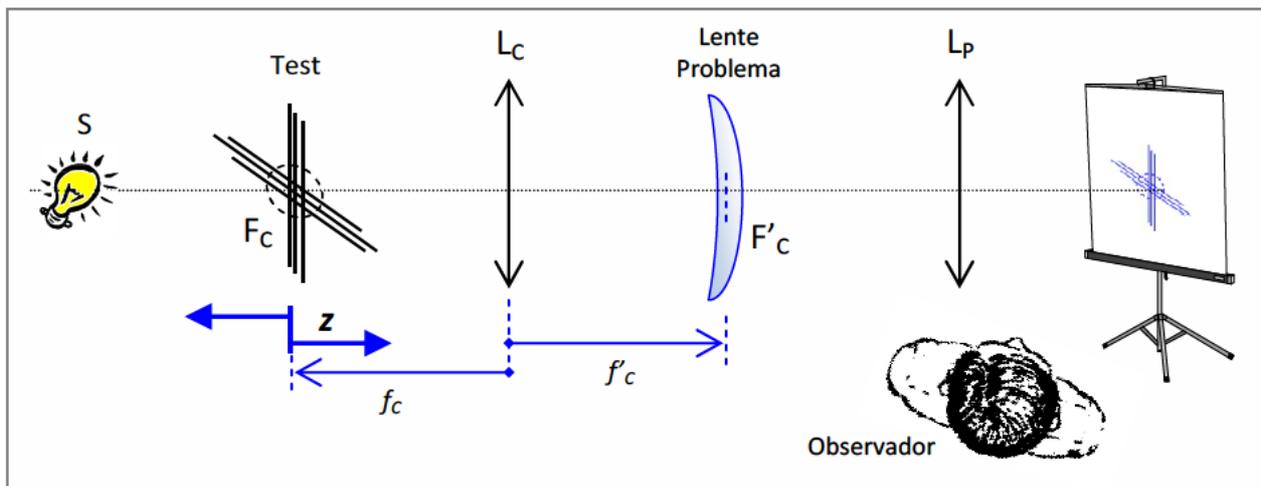


Figura 5.5. Esquema del frontofocómetro de proyección una vez introducida la lente problema.

REALIZACIÓN PRÁCTICA

Se llevará a cabo la construcción de un frontofocómetro de observación y otro de proyección. Para cada uno de ellos, se medirá la potencia de una determinada lente problema. Usaremos para ello cuatro lentes oftálmicas de potencia desconocida, cada una de las cuales en un portalentes y un jinetillo (Figura 5.6), que deberá posicionar en el banco óptico en una posición determinada y orientada de forma correcta, tal y como lo haría con un frontofocómetro comercial (con su cara cóncava en la concha de apoyo). Tenga en cuenta que dichas lentes pueden ser tanto esféricas como cilíndricas, información que tendrá que proporcionar en las cuestiones, y que la potencia y la focal son referidas al vértice posterior de la lente oftálmica. Escoger como lente colimadora la de distancia focal de 200mm.



Figura 5.6. Lentes oftálmicas problema.

A) Frontofocómetro de observación.

En la fotografía de la Figura 5.7 se muestra la disposición real de los elementos en el frontofocómetro de observación. Sobre el banco óptico se coloca la fuente luminosa y el test T (montando en un soporte giratorio). Tras él, se posiciona la lente que se usará como lente colimadora y se construye el colimador, con la ayuda del telescopio de banco previamente puesto a punto. A continuación, se introduce la lente oftálmica problema en el plano focal imagen de la lente colimadora (Figura 5.4). De este modo, al observar a través del telescopio de banco, observaremos que la imagen está desenfocada. Se procede entonces a mover el test T hasta tener enfocada la imagen. Una vez enfocada, medimos la variación de la distancia sufrida por el test, z . Con el uso de las expresiones 5.1 y 5.2 se calcularán tanto la focal como la potencia de la lente oftálmica problema.

B) Frontofocómetro de proyección.

En la fotografía de la Figura 5.8 se muestra la disposición real de los elementos en el frontofocómetro de proyección. La estructura inicial es la misma que la del frontofocómetro de observación. Como antes, se construye un colimador pero esta vez, a continuación, colocamos una lente de proyección para ver la imagen del test nítida sobre una pantalla. Una vez enfocada la imagen, colocamos la lente problema en el plano focal imagen de la lente colimadora. Ahora, al observar la pantalla de proyección, observaremos que la imagen está desenfocada (Figura 5.5). De la misma forma que operamos en el experimento anterior, movemos el test T , una distancia z , hasta ver su imagen nuevamente enfocada en la pantalla de proyección. Con las mismas expresiones de antes (5.1 y 5.2) se calcularán la focal y la potencia de cada lente problema.



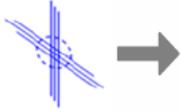
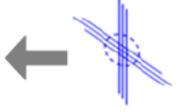
Figura 5.7. Disposición real de los elementos del frontofocómetro de observación.



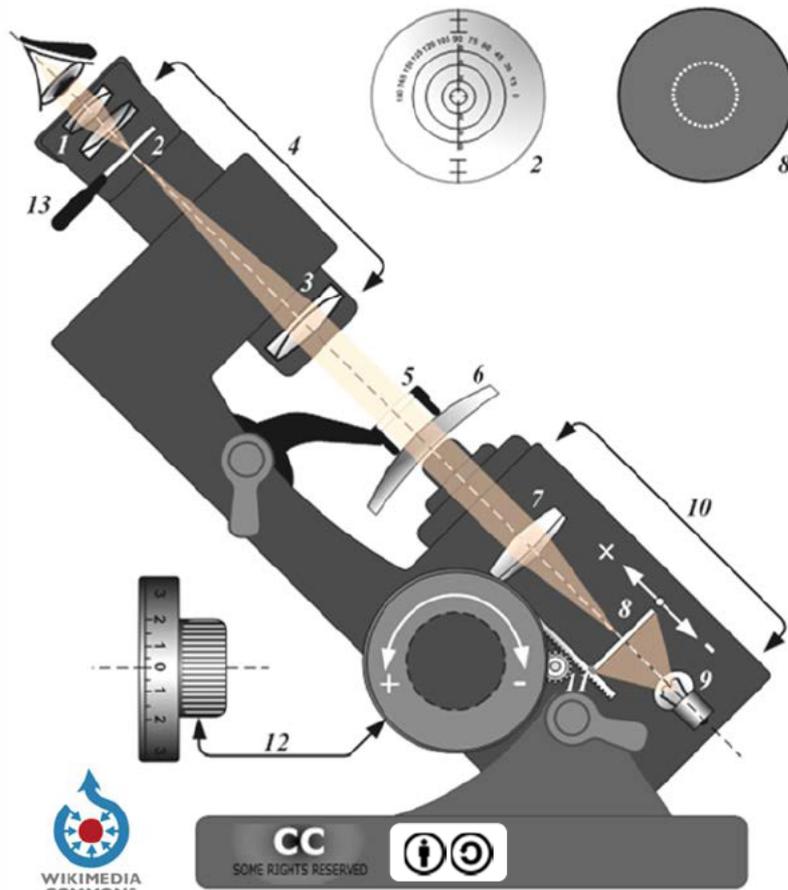
Figura 5.8. Disposición real de los elementos del frontofocómetro de proyección.

CUESTIONES

5.1. Con respecto al test T, ¿el desplazamiento z es siempre en el mismo sentido? Rellene la tabla.

<i>Desplazamiento del test</i>	<i>Signo (positivo/negativo)</i>	<i>Situación</i>
		
		

5.2. En el siguiente esquema de un frontofocómetro comercial, asigne el número correspondiente en dicho esquema a cada uno de los elementos que se indican en la lista.



Tipo de frontofocómetro:

- _____
- ___ : Rueda de enfoque de potencia
 - ___ : Retículo (para marcar ejes)
 - ___ : Mecanismo (inclinación fronto)
 - ___ : Objetivo (sistema de observación)
 - ___ : Telescopio Kepleriano
 - ___ : Colimador
 - ___ : Ocular
 - ___ : Pestaña fija-lentes
 - ___ : Fuente luminosa
 - ___ : Retículo-Test
 - ___ : Sistema de iluminación-proyección
 - ___ : Lente oftálmica problema



Imagen con licencia *Wikimedia Commons*. Autor: *Tamasflex*

5.3. Con los dos tipos de frontofocómetro construidos sobre el banco óptico, ¿se podría medir la potencia de lentes astigmáticas? Si es así, ¿cómo lo haría?

5.4. Discuta las ventajas e inconvenientes de utilizar como lente colimadora una de focal larga. ¿Se podrían medir lentes de cualquier focal? ¿Por qué?

5.5. Obtenga la función de propagación de errores (la incertidumbre de la magnitud) para las expresiones 5.1 y 5.2 considerando que tanto la focal como la potencia de la lente colimadora no tienen incertidumbre asociada.

$$f'_P = \frac{(f'_C)^2}{Z} \quad \Leftrightarrow \quad \varphi'_P = (\varphi'_C)^2 \cdot Z \quad (5.1)|(5.2)$$

➤ $\Delta f'_P =$

➤ $\Delta \varphi'_P =$

5.6. La distancia focal de la lente colimadora usada en el montaje del frontofocómetro es de 200mm, pero el fabricante de las lentes indica este dato con una incertidumbre, debida al proceso de fabricación, de $\pm 5\%$ del valor de dicha focal. Indique el valor de esta focal, tanto en milímetros como en metros, así como la potencia, con sus incertidumbres asociadas. No olvide expresar los valores con el número correcto de cifras significativas.

➤ $f'_C = (200 \pm \text{___})\text{mm} = (\text{___} \pm \text{___})\text{m}$

➤ $\varphi'_C =$

5.7. Rellene la tabla con los resultados experimentales obtenidos, con los dos tipos de frontofocómetro, para las 4 lentes problema, y calcule tanto la focal como la potencia de cada lente, con su incertidumbre asociada (haga los cálculos). Indique, si es el caso, la fórmula regular de la potencia de la lente.

<i>A) Frontofocómetro de OBSERVACIÓN</i>				
Lente problema	z (mm)	f' (mm)	φ' (D)	Fórmula regular
LP ₁	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₂	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₃	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₄	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	

<i>B) Frontofocómetro de PROYECCIÓN</i>				
Lente problema	z (mm)	f' (mm)	φ' (D)	Fórmula regular
LP ₁	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₂	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₃	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	
LP ₄	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	____ ± ____ ____ ± ____	

¿A qué cree que pueden ser debidas las diferencias, si las hay, entre uno y otro tipo de frontofocómetro?

CÁLCULOS

BIBLIOGRAFÍA

- Boj P.J., García A. y García J.R.: "Instrumentos Oftálmicos y Optométricos". Alicante: *Universidad de Alicante*, 1993.
- Casas, J. "Óptica". Zaragoza: *Justiniano Casas Peláez*, 1994.
- Heine. "Heine Hand-held Ophthalmic Instruments". HEINE Optotechnik GmbH & Co. KG. Herrsching, Germany.
- Henson D.B.: "Optometric Instrumentation". London: *Butterworths*, 1996. Capítulo 10.
- Martínez Corral, M., Furlan, W.D., Pons, A. y Saavedra, G. "Instrumentos Ópticos y Optométricos. Teoría y Prácticas". Valencia: *Universitat de València*, 1998.
- Marcén J. y Nicolás I.: "Instrumentos Optométricos". *Universidad Complutense de Madrid*, 1992.
- Smith G. y Atchison D. A.: "The Eye and Visual Optical Instruments". *Cambridge University Press*. 1996.
- WelchAllyn. "A Guide to the Use of Diagnostic Instrument in Eye and Ear Examinations". *Welch Allyn, Inc.* New York, USA, 2006.
- <http://www.edmundoptics.com>
- <http://www.heine.com>
- <http://www.welchallyn.com/default.htm>

ANEXO I: ELEMENTOS ÓPTICOS Y AUXILIARES

FUENTE LUMINOSA

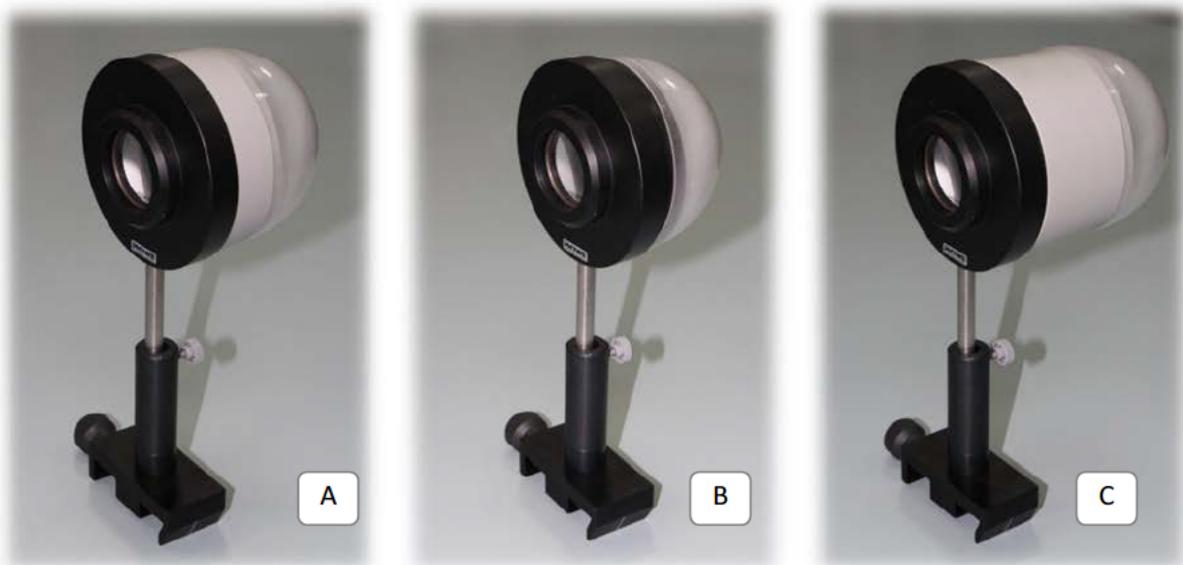
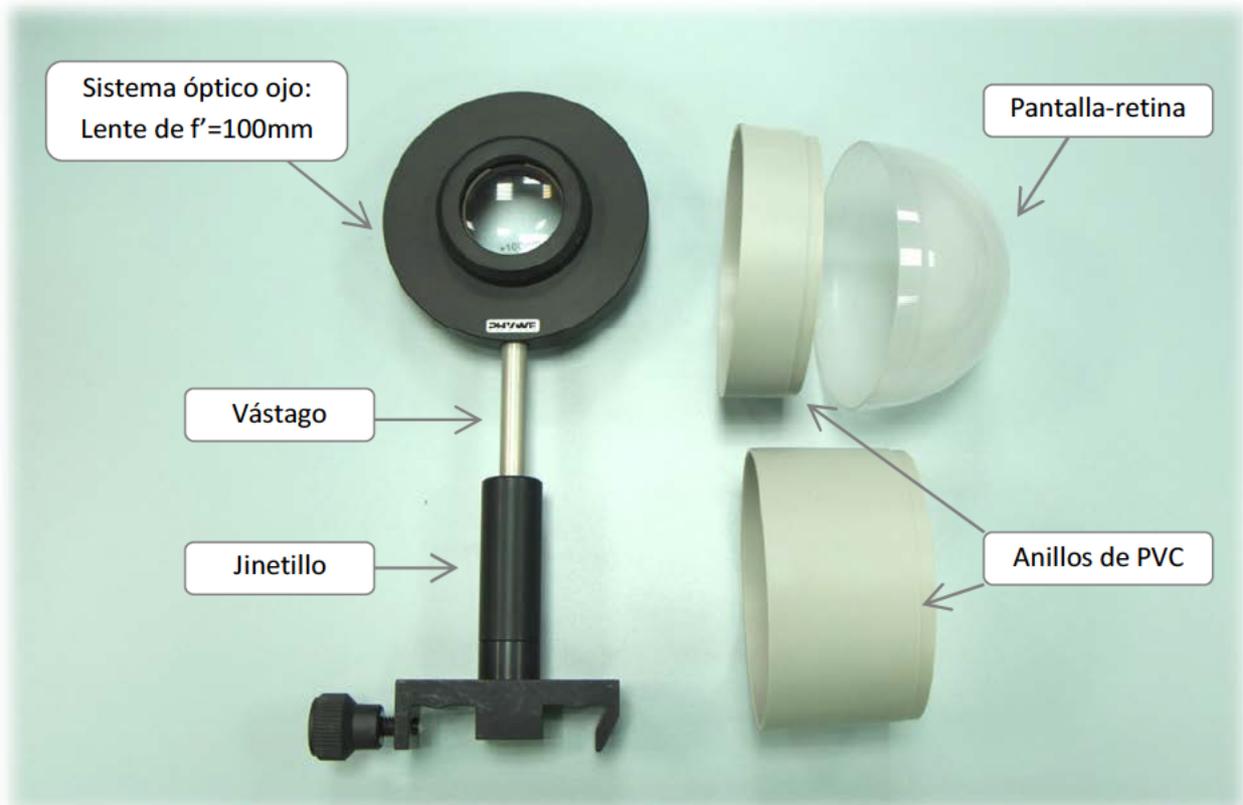
En todas las prácticas se usa una fuente luminosa, que además tiene una fuente de alimentación con la que se puede controlar la intensidad luminosa variando el voltaje. Para la correcta realización de las prácticas, este voltaje deberá ser de 12V, aunque en determinados momentos, y con el fin de no deslumbrarnos, se podrá disminuir momentáneamente para encontrar imágenes. La fuente suele tener asociado un condensador o lente condensadora de 60mm de distancia focal.



*Fuente luminosa, condensador y fuente de alimentación.
Fotografías: José J. Castro.*

OJO ARTIFICIAL

El ojo artificial que se usará en las prácticas consta de un sistema óptico formado por una lente convergente de 100mm de distancia focal y su portalentes (córnea + cristalino), diversos anillos de PVC (que proporcionarán distintas longitudes axiales del ojo) y un pantalla semiesférica que actuará como retina, cuya superficie interna es rugosa, para simular la rugosidad de la retina.



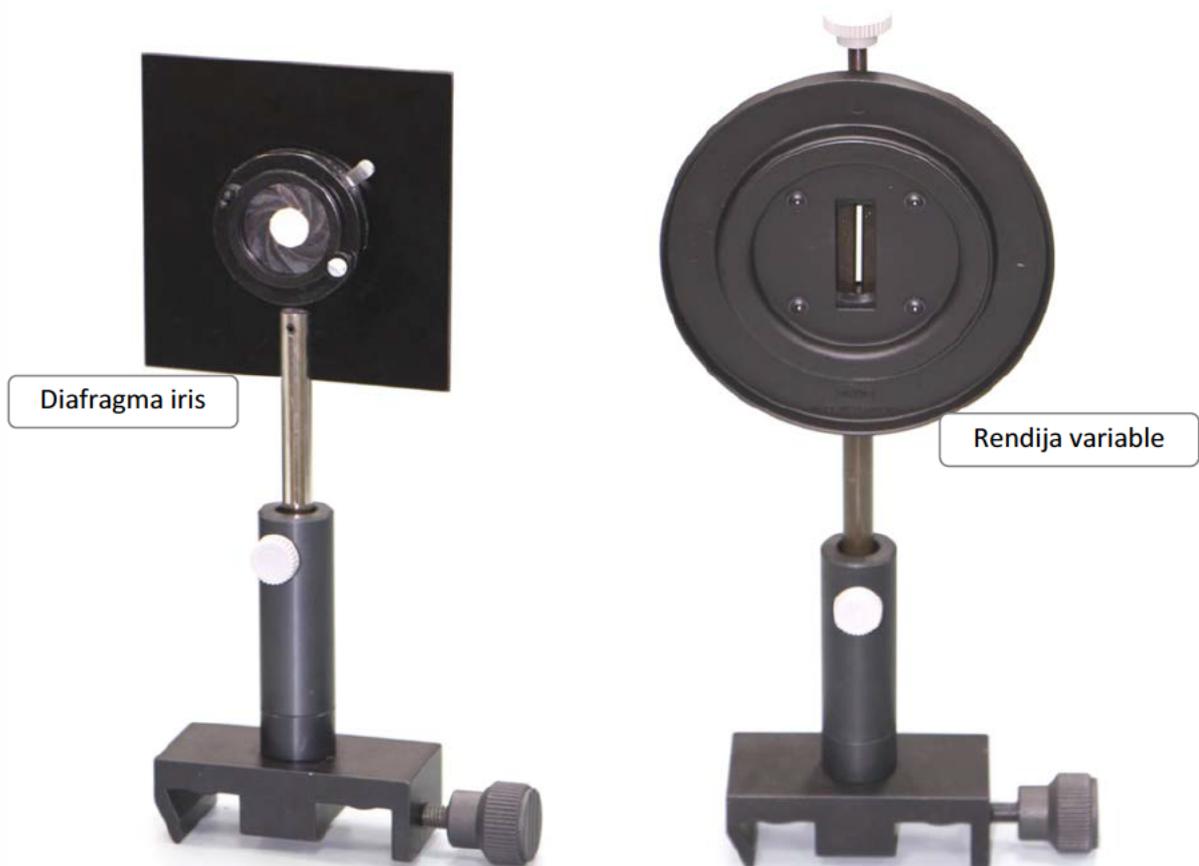
Ojo artificial en configuración de: A) emétrope; B) hipermétrope; C) miope.

Fotografías: José J. Castro

LENTE QUE SE ACOPLAN AL OJO ARTIFICIAL



DIAFRAGMA IRIS Y RENDIJA VARIABLE



SEMIESPEJO O LÁMINA DIVISORA Y ESPEJO



En la fotografía del centro se observa el semiespejo montado en un portaobjetos y en una rótula de banco óptico, que permite girar un brazo del banco óptico, orientándolo a un ángulo determinado con respecto al otro brazo del banco.

ANEXO II: LABORATORIO DE PRÁCTICAS. SITUACIÓN

Las prácticas se llevan a cabo en el laboratorio de *Óptica Instrumental*, donde se encuentran los laboratorios y gabinetes optométricos (sótano del Edificio de Matemáticas), en la Facultad de Ciencias. La puerta del final es una Salida de Emergencia. Tanto esa puerta como la de acceso, están dotadas de barras antipánico para poder salir en caso de emergencia.



Laboratorios de Óptica y Gabinetes de Optometría. Facultad de Ciencias



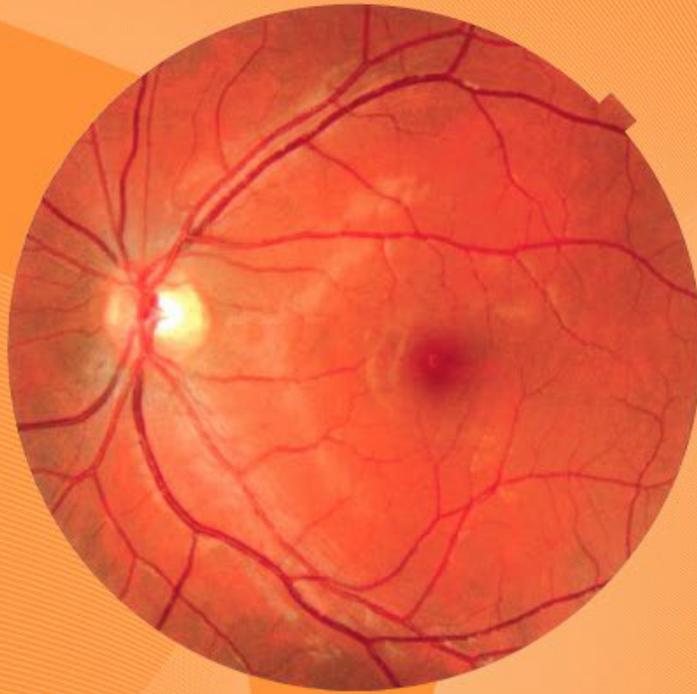
Puerta de acceso al laboratorio

Laboratorio de Óptica Instrumental



*Laboratorio de Óptica Instrumental.
Situación de la Salida y del extintor.*





ugr | Universidad
de Granada



copiCentro
EDITORIAL

