

# Óptica-Lentes

Nerea Arosa Riveiro y Daniel Vázquez Lago

Febrero 2024

## ÍNDICE

---

### Índice

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>3</b>
<b>2. Determinación distancia focal en lentes delgadas convergentes</b>	<b>3</b>
2.1. Método objeto-imagen . . . . .	4
2.2. Método de autocolimación . . . . .	6
2.3. Método de Bessel . . . . .	7
2.4. Conclusiones . . . . .	9
<b>3. Determinación distancia focal en lentes delgadas divergentes</b>	<b>10</b>
<b>4. Ojo artificial</b>	<b>13</b>
4.1. Cálculo de las focales . . . . .	13
4.2. Lupa . . . . .	14
4.3. Microscopio . . . . .	15
4.4. Telescopio . . . . .	17
<b>5. Datos</b>	<b>20</b>
5.1. Metodo objeto-imagen . . . . .	20
5.2. Método de la autocolimación . . . . .	21
5.3. Método de Bessel . . . . .	22
5.4. Focal de lente divergente . . . . .	23
5.5. Focales para la lupa . . . . .	24

---

## 1. Introducción y objetivos

El objetivo de nuestra práctica es entender el funcionamiento de las lentes en el contexto de la Óptica Geométrica. Una vez comprendamos esto lo pondremos en práctica a través de los instrumentos ópticos clásicos como pueden ser los microscopios o los telescopios.

Para comenzar con esta práctica cabe comprender qué es una **lente**. Una lente es un dispositivo óptico que nos permite modificar la trayectoria de un haz de luz dispersándolo o enfocándolo por medio de la refracción. Es por ello que al emitir radiación, punto **objeto**, esta pasa por una lente y se concentra toda en un punto denominado **imagen**. Podemos afirmar de esta forma que las lentes son objetos esenciales para poder ver<sup>1</sup>.

La **distancia focal** es la distancia que hay entre el eje óptico<sup>2</sup> y el foco<sup>3</sup>. Esta distancia nos sirve para caracterizar la lente y saber que tipo de imágenes forma y por consiguiente para que sirven. En esta práctica utilizaremos lentes delgadas. Para calcular la distancia focal utilizaremos la ecuación *Aproximación para lentes delgadas*:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \quad (1.1)$$

En esta ecuación entran en juego las distancias y las focales:

- $s'$ : distancia desde el centro de la lente a la imagen.
- $s$ : distancia desde el centro de la lente al objeto.
- $f'$ : distancia focal imagen. Además  $f$ , la distancia focal objeto, cumple la relación  $f' = -f$ .

Otra aplicación útil de esta ecuación es expresarla en función de las curvaturas de las lentes:

$$-D + D' = F' \quad (1.2)$$

En este caso:

- $D'$ : curvatura imagen, equivalente a  $D' = 1/s'$ .
- $D$ : curvatura objeto, equivalente a  $D = 1/s$
- $F'$ : inversa distancia focal imagen  $F' = 1/f'$ .

Estas curvaturas se relacionan mediante una recta de pendiente uno que no va a pasar por el origen de coordenadas.

## 2. Determinación distancia focal en lentes delgadas convergentes

Primero mediremos la focal de una lente convergente siguiendo tres métodos: objeto-imagen, autoclimación y el método de *Bessel*. Para ello utilizaremos dos lentes:

<sup>1</sup>La retina del ojo funciona como una lente que nos permite ver formándose las imágenes en ella.

<sup>2</sup>El plano principal de la lente que se corresponde con el centro de la misma.

<sup>3</sup>El foco en términos de planos se encuentra en el plano imagen.

## 2.1 Método objeto-imagen

---



Figura 2.1: La de la izquierda es la lente divergente y la de la derecha la convergente

Tenemos que

$$\begin{aligned} E7 &\Rightarrow \text{Lente divergente} \\ DA14 &\Rightarrow \text{Lente convergente} \end{aligned} \tag{2.1}$$

### 2.1. Método objeto-imagen

El método objeto-imagen para obtener la focal de una lente es el método mas sencillo de todos. En este caso lo que haremos será colocar un objeto delante de una focal, y con la ayuda de un plano, ver donde se proyecta la imagen más nítida. Es decir, lo que haremos será buscar pares de puntos  $(s, s')$ . Como queremos hacer un estudio moderadamente riguroso, haremos varias medidas para varias distancias. En concreto lo que haremos será seleccionar una distancia objeto  $s$  fija y calcularemos varias distancias-imagen  $s'$  (en concreto 5 por distancia). Para cada medida lo que haremos será rotar levemente la lente y el objeto, y volver a buscar la imagen más nítida. Como uno se puede fijar en las tablas de datos ([4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [9](#)) vemos que existe bastante discordancia entre unas medidas y otras. Esto es porque al rotar los elementos ópticos realmente la medida  $s$  y la distancia real  $s$  puede variar varios milímetros.

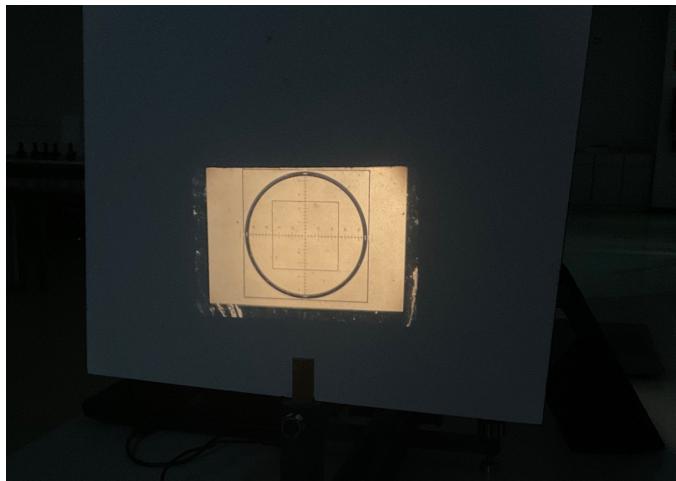


Figura 2.2: Imagen que se veía en el método objeto-imagen

## 2.1 Método objeto-imagen

---

Como podemos ver esto genera ciertas variaciones bastante grandes en las medidas  $s'$ . Como al final esta diferencia al rotar se incluyen en la propia variación de  $s'$ , no vamos a hacer ninguna estimación de la incertidumbre por la rotación, ni siquiera la vamos a incluir en  $s(s)$ . Lo que haremos es asumir que está incluida en la incertidumbre de tipo B de  $s_B(s')$ . La fuente principal de esta incertidumbre de tipo B vendrá de esta rotación. Por esta misma razón hicimos 6 medidas en vez de las 5 que se exige: para tomar 3 medidas con una rotación y 3 con otra, tratando de minimizar el posible error al hacer mas medidas con una posición concreta.

Además de esta tendremos que incluir una incertidumbre de tipo A. Aunque estudiar la distribución de probabilidades de cada medida llevaría un profundo análisis que se aleja completamente de la intención de esta memoria y de esta práctica, supondremos que cada medida sigue una distribución de probabilidad cuadrada. Esto es una medida  $d$  tendrá una probabilidad igual de estar entre los valores  $(d - a/2, d + a/2)$ , siendo  $a$  la dimensión del aparato, en nuestro caso  $a = 1$  mm. La incertidumbre de una medida que siga esta distribución de probabilidades tendrá una incertidumbre  $s = a/\sqrt{12}$ . Es decir, cada medida que hagamos tendrá una incertidumbre intrínseca de  $s_A = 0,31$  mm. Como podemos ver esto difiere de la  $s(s)$  y  $s(s')$  de las tablas 5.1, y es porque en realidad  $s = d - f$ ,  $s' = d' - f$ , por lo que habrá que hacer propagación de incertidumbres de una diferencia.

Antes de continuar, simplemente mencionaremos la razón para asumir la distribución de probabilidad rectangular. El argumento para asumir esta distribución de probabilidad es simple: lo único que podemos hacer al observar una medida es decir si está en el intervalo  $(a - d/2, a + d/2)$ . Asumir cualquier otro tipo de distribución implica que sabemos algo más del sistema, que en realidad, no sabemos. Usando la teoría de la información: es la que maximiza el desconocimiento del sistema para las condiciones dadas.

Ahora sí, vamos a estudiar los resultados. El cálculo de la focal lo hicimos por dos métodos: usando una regresión lineal y usando la ecuación 2.3. El cálculo usando la regresión lineal es sencillo: a partir de los datos  $(s, s')$  obtenemos  $(D, D')$ . Entonces si representamos los datos como:

$$D = a + D' \quad (2.2)$$

está claro que  $a = 1/f$ , o lo que es lo mismo,  $f = 1/a$ , tal que  $s(f) = (f^2)s(a)$ . El resultado de la focal por este método (que llamaremos  $f^{(1)}$ ) lo podemos ver en 2.4, y la representación gráfica en la figura 2.3. El segundo método es simplemente considerar la ecuación 2.3, tal que para cada par  $(s, s')$  obtengamos un  $f'$ . Entonces solo tendremos que hacer la media de las 6 focales obtenidas. El resultado ( $f^{(2)}$ ) con este método se ve en 2.5.

$$f' = \frac{s's}{(s' + s)} \quad (2.3)$$

$f^{(1)} = 16,109$ (cm)	$s(f^{(1)}) = 0,061$ (cm)	(2.4)
-------------------------	---------------------------	-------

$f^{(2)} = 16,106$ (cm)	$s(f^{(2)}) = 0,050$ (cm)	(2.5)
-------------------------	---------------------------	-------

Ahora procederemos a comentar estos resultados. En primer lugar podemos decir que ambos métodos arrojan un resultado prácticamente idéntico, salvo por la incertidumbre. En cualquier caso no debemos asustarnos: es normal que la incertidumbre usando 2.3 sea mayor, ya que este método considera no solo la

## 2.2 Método de autocolimación

incertidumbre de  $s(s')$ , también tiene en cuenta  $s(s)$ . En el caso de la regresión no lo hemos hecho, ya que  $s(D) \ll s(D')$ . Además de esto tiene mas sentido ya que el segundo método considera cada experimento como un experimento individual, para luego hacer la media; mientras que el primero considera todo el experimento como un conjunto. Hemos presentado además de estos datos el valor de  $f$  y  $s(f)$  en la tabla 10, para cada experimento por separado, y por onde númerico.

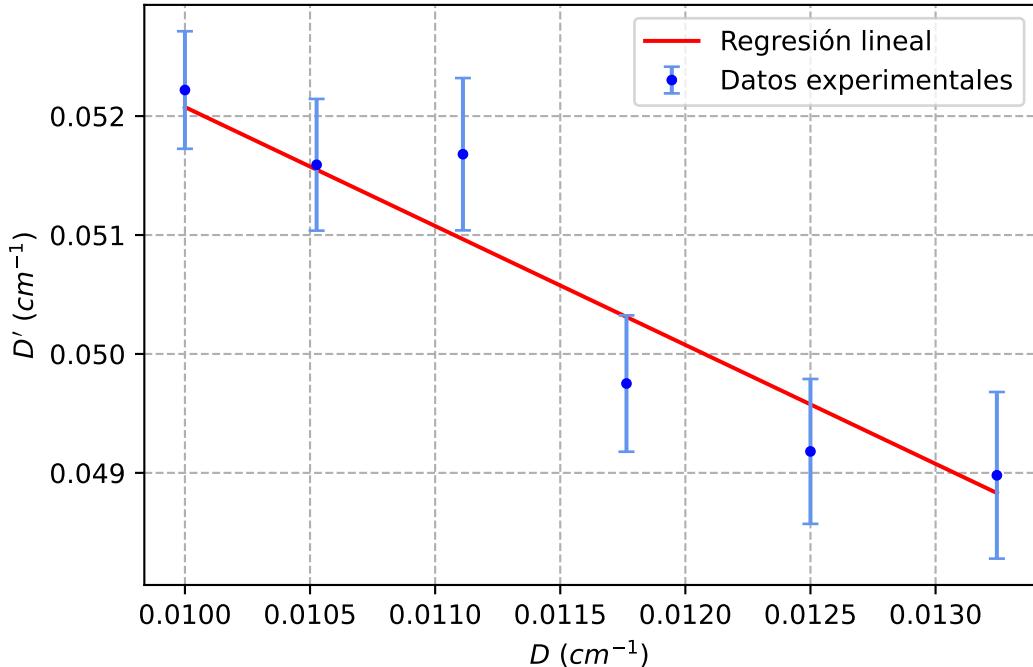


Figura 2.3: regresión lineal  $D = a + D'$  con los datos experimentales.

La única pregunta que podemos hacernos es: ¿Existe alguna manera de mejorar la precisión?. Tras la realización del estudio yo diría que una evaluación más específica de  $d, d'$  y  $l$  (puntos del objeto, imagen y lente en la regla) sería la principal mejora a hacer otros años. Como podemos ver la rotación crea una diferencia muy grande, por lo que evaluar mejor esos pocos milímetros y tenerlos en cuenta, no solo mejorará la precisión de las medidas, si no que arrojará un valor de la focal mucho mas correcto, sin tanto error.

## 2.2. Método de autocolimación

Mientras que el método de objeto-imagen es el procedimiento mas sencillo desde un punto de vista teórico (no matemático), el de autocolimación es el método mas sencillo matemáticamente. Como sabemos un objeto situado en el plano focal objeto de una lente crea una imagen en el infinito (los rayos salen paralelos de la lente). Al poner un espejo tras la lente, de tal modo que los rayos se reflejen, y colocar una pantalla antes de la lente, veremos el objeto perfectamente definido en esta pantalla.

¿Cómo sabremos cuando el objeto esta en el plano focal objeto? Pues cuando dicha imagen se vea nítida, es decir, sea la imagen final del sistema óptico. Si el objeto llega a no estar en un punto donde no se viera nítida, podríamos concluir que no esta en el plano focal. Entonces tendremos que el plano focal vendrá dada por la distancia entre objeto-lente. Así obtenemos la tabla 11. Si hacemos la media de todos los

## 2.3 Método de Bessel

---

datos de la focal podemos obtener que:

$$f = 16.60 \text{ (cm)} \quad s(f) = 0.18 \text{ (cm)} \quad (2.6)$$

donde la incertidumbre ha sido la combinación de la incertidumbre de tipo A (esto es, la que es originada por la precisión del aparato, mencionada en el apartado anterior) y la incertidumbre de tipo B, esto es, la que viene por el hecho de realizar diversas medidas, que son, a nuestro juicio, independientes.

Para mejorar esta práctica podríamos hacer es ser capaces de mantener el espejo plano fijo, ya que debido a las características de la práctica tenemos que sujetarlo con la mano, perdiendo precisión en la medida. Lo mismo para la pantalla. Esto podría hacer muy complicado medir el punto exacto donde se ve nítido, aumentando la variabilidad del experimento, como se reflejan en los datos, donde la focal puede ser 17.1 cm en una medida o 15.5 en otra. Esto se refleja en la incertidumbre.

### 2.3. Método de Bessel

Vamos a poner la pantalla y el objeto a una distancia fija que llamaremos  $a$ . Observamos que en este caso tendremos que poniendo la lente convergente en dos posiciones obtendremos una imagen nítida. La estancia entre las dos posibles posiciones le llamaremos  $e$  y cumple :

$$f' = \frac{a^2 - e^2}{4a} \quad (2.7)$$

Vamos a deducir esta ecuación a partir de la ecuación de las lentes y teniendo en cuenta que  $a = s' - s$ :

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \Rightarrow s' = \frac{f' \cdot s}{f' + s} = \frac{f'(s' - a)}{f' + s' - a} \Rightarrow s'^2 - s'a + f'a = 0 \quad (2.8)$$

Ahora resolvemos la ecuación de segundo grado y obtenemos que:

$$s' = \frac{a \pm \sqrt{a^2 - 4f'a}}{2} \quad \Delta = a^2 \geq 4f'a \Rightarrow a \geq 4f' \quad (2.9)$$

de aquí podemos deducir la *condición que debe verificar a para que se vea la imagen (nítida)*,  $a > 4f$ . Si tenemos que  $e$  es la distancia entre las posiciones de la lente  $e = s'_+ - s'_-$  entonces cogemos las dos soluciones y las restamos:

$$\left. \begin{array}{l} s'_+ = \frac{a + \sqrt{a^2 - 4f'a}}{2} \\ s'_- = \frac{a - \sqrt{a^2 - 4f'a}}{2} \end{array} \right\} \quad \text{Soluciones de la ecuación} \quad e = s'_+ - s'_- = \sqrt{a^2 - 4f'a} \quad (2.10)$$

Aquí tenemos un esquema de nuestro montaje:

Una vez que hemos demostrado la ecuación 2.7, solo queda realizar las medidas y obtener los datos. Para tomar los datos seleccionaremos 5 distancias de  $a$ , y para cada una de las medidas de  $a$  tomaremos varios datos de  $e$ . Aunque se nos pidieran datos de  $e$  por cada medida nosotros realizamos mas medidas ya que al principio nos estaban variando mucho los resultados. Por esa razón podemos ver 4 valores de  $e$  en la

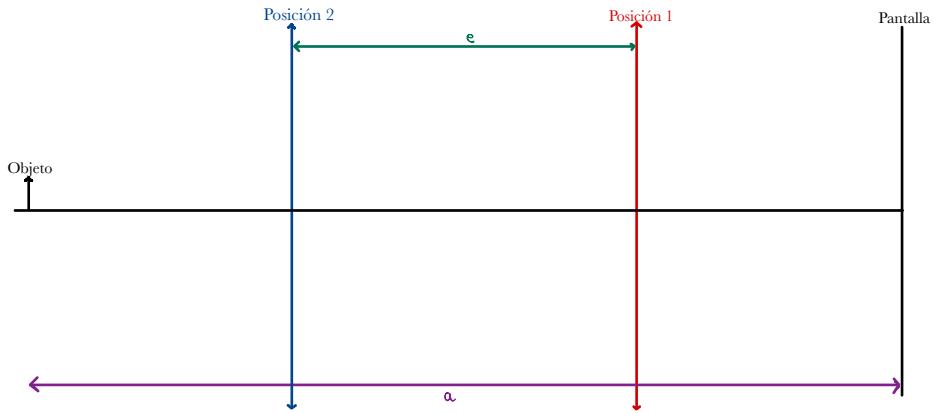


Figura 2.4:  $e$  distancia entre posibles posiciones de las lentes.  $a$  es la distancia objeto-pantalla.

tabla 12 y 5 en las demás (tablas 13, 14, 15, 16).

Para calcular las focales, al igual que en el método objeto-imagen (2.1) decidimos hacerlo mediante la media y usando una regresión cuadrática, tal que si:

$$e^2 = -4ba + a^2 \quad (2.11)$$

es obvio que  $b = f$ ,  $s(b) = s(f)$ . Podemos ver la representación gráfica en la figura 2.5, tal que los datos cuadran bastante bien con la regresión cuadrática. El cálculo de las incertidumbres siguió el mismo proceso que en el apartado 2.1. Asumimos una distribución de probabilidades rectangular para cada medida ( $\sigma = 0,1/\sqrt{12}$  cm). La única incertidumbre de  $a$  es de tipo A, ya que en realidad aunque hayamos puesta 5 medidas se puede considerar una única medida. Para  $e$  habrá dos, una de tipo A (la que se puede ver en la tabla, intrínseca para cada medida) y una que procede de las diferentes medidas de  $e$ . Por eso  $s(\bar{e}) \gg s(\bar{a})$ , y podemos asumir en la regresión cuadrática que la única incertidumbre se encuentra en el eje  $y$ . Cabe destacar que  $a$  y  $e$  es en realidad procedente de la diferencia entre dos medidas de distancia, por eso  $s(a), s(e) = \sqrt{2}\sigma$  (como se puede ver en las tablas).

A continuación presentamos los valores finales de las focales, tanto por el método cuadrático ( $f^{(1)}$ ), donde asumimos que todo es un experimento en su conjunto; como por el método promediado, donde cada medida es un experimento (véase tabla 17), y el resultado es el promedio de cada uno de estos experimentos ( $f^{(2)}$ ).

$$f^{(1)} = 16,355 \text{ (cm)} \quad s(f^{(1)}) = 0,011 \text{ (cm)} \quad (2.12)$$

$$f^{(2)} = 16,348 \text{ (cm)} \quad s(f^{(2)}) = 0,015 \text{ (cm)} \quad (2.13)$$

Como podemos ver, la incertidumbre por método cuadrático ( $s(f^{(1)})$ ) es menor que por el método promediado ( $s(f^{(2)})$ ). Esto es porque para el calculo cuadrático hemos ignorado  $s(a)$ . Por el resto el resultado es prácticamente idéntico.

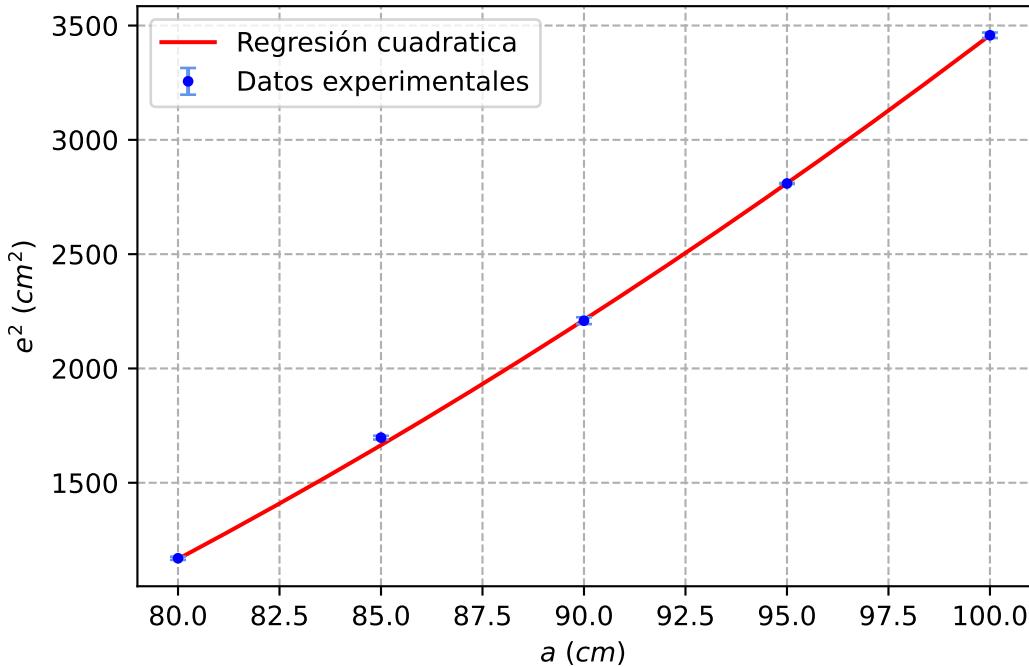


Figura 2.5: Regresión cuadrática  $e^2 = -4fa + a^2$

## 2.4. Conclusiones

Las preguntas que debemos hacernos ahora es: **¿Son los 3 resultados compatibles entre sí? ¿Hay diferencias relevantes? De haberlas, ¿Por qué las hay? ¿Existe alguna manera de reducirlas?**. Para contestar estas preguntas vamos a agrupar estos datos para que resulte más visual en la tabla 1. Como podemos ver los 3 métodos arrojan medidas ciertamente distintas, aunque en el mismo orden de

	f(cm)	s(f) (cm)
<b>Objeto-Lente</b>	16.109	0.061
	16.106	0.050
<b>Autocolimación</b>	16.60	0.18
<b>Bessel</b>	16.355	0.011
	16.348	0.015

Cuadro 1: Tabla de equivalencias

magnitud. No usamos un test estadístico para comparar los datos ya que consideramos que rebasa los contenidos de esta práctica, aunque lo ideal sería usar un test estadístico de Student.

Desde un punto de vista estadístico las medidas no son compatibles entre sí, ya que hemos realizado muchas medidas para diferentes experimentos, y los resultados arrojan valores ciertamente diferentes. Ni siquiera están incluidos, entre ellos, en sus rangos ( $\bar{f} - s(f)$ ,  $\bar{f} + s(f)$ ), aunque si están muy próximos.

La pregunta que nos hacemos ahora es, **¿Por qué las hay? ¿Es un error de medida? ¿Acaso la teoría no es suficiente para predecir la focal?** La respuesta a todo esto la damos a continuación. Como podemos ver la

---

cantidad de datos tomados hace que de haber un error de medida tuviera que ser un error no puntual, si no un error realizada a lo largo de *todas* las medidas. Es posible, pero improbable. Sin embargo, de haberlo cometido poco podemos hacer, mas que rehacer el experimento y verificar paso por paso lo realizado.

Ni siquiera mejorar la precisión de los datos, por ejemplo anotando mejor la posición pantalla-lente debería mejorar los resultados. Evidentemente influye, y probablemente mejorando ciertas cosas puntuales los resultados sean mas conclusivos. Entonces ¿Cuál puede ser la razón? Quizás pueda sorprender, pero personalmente creo que la diferencia entre resultados arroja una gran verdad sobre la óptica geométrica: que es una aproximación a la realidad.

Como sabemos la óptica geométrica no es mas que la generalización de la aproximación esférico-paraxial de la propagación de la luz que viene del infinito, sin embargo nuestras ondas esféricas no vienen del infinito, ni son ondas aisladas como presupone esta teoría (existen interferencias con otras ondas, el aire...). Sin embargo no es mas que eso: una aproximación. De hecho podemos ver que los resultados arrojados son, aproximadamente, correctos. Por tanto es completamente normal que diferentes métodos arrojen resultados distintos pero aproximados, porque es una teoría-aproximativa, al igual que lo es, por ejemplo, la relación de dispersión de Cauchy. Nadie espera que el vidrio verifique esa relación perfectamente, pero que si nos arroje unos valores relativamente decentes. Esto es exactamente igual.

En resumen: podrían mejorarse los experimentos y las medidas, pero no la teoría. La teoría paraxial puede servir como aproximación, pero nada mas que eso. Debido a las imperfecciones de la teoría factores como la focal cambian con el experimento, al tener que acercar mucho o poco el objeto a la lente.

Sin embargo una vez realizada la segunda parte de la práctica (cálculo de aumentos angulares), donde la teoría es capaz de predecir el valor experimental hace dudar acerca de la anterior afirmación. Es entonces dudoso lo comentado, y por tanto mas probable que se haya cometido un error en la medida por parte de los experimentadores.

### 3. Determinación distancia focal en lentes delgadas divergentes

Para poder comenzar debemos tener en cuenta que una lente divergente va a formar imágenes virtuales de objetos reales. Para poder *verlas* tenemos que utilizar más de una pantalla, ¿por qué? porque estas se formarán **antes** de la lente. Es por ello que además de la lente divergente necesitaremos una convergente.

Para llevar a cabo las medidas primero colocaremos el objeto y la lente convergente en el banco óptico. Observamos como se forma una imagen invertida en la pantalla<sup>4</sup>.

El segundo paso será **interponer la lente divergente** entre el objeto y la convergente. Ahora movemos el objeto hasta que se vea nítido de nuevo. Así que haremos su trazado para visualizarlo mejor (figura 3.3). Cabe destacar que el trazado está hecho de lente a lente para que se vea mejor.

En el primer paso obtuvimos una posición del objeto que se corresponderá con la posición de la imagen de

---

<sup>4</sup>Tal y como se hizo en la determinación de la focal en lentes convergentes.

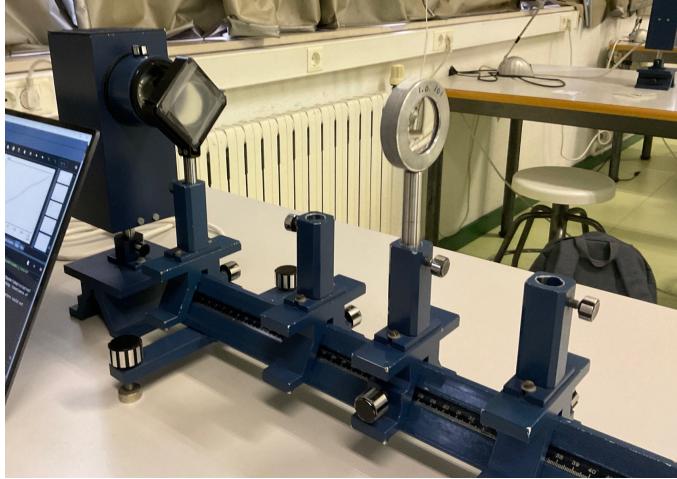


Figura 3.1: Lente DA101 lente convergente

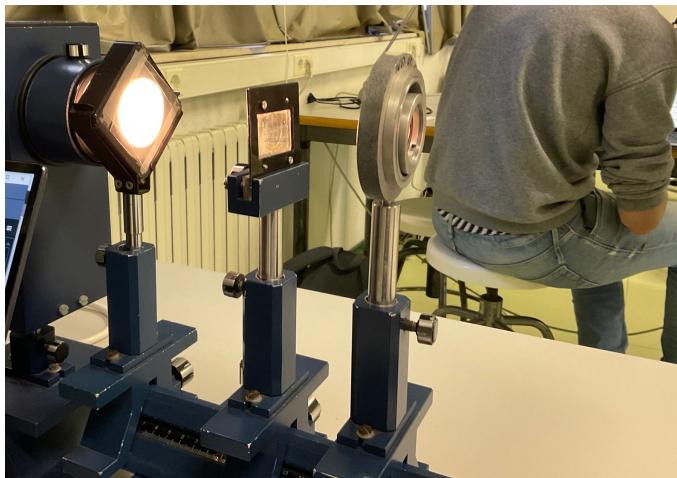


Figura 3.2: Lente DA55 convergente tmb

la lente divergente<sup>5</sup>. Ahora colocamos la lente divergente y medimos la distancia objeto-lente divergente<sup>6</sup>. Llamaremos a esta distancia, objeto-lente divergente(desenfocado),  $s'$ , ¿por qué?. Para contestar esta pregunta será necesario observar el dibujo de nuevo. Esto es por el hecho de que la imagen de la lente divergente estará en el punto donde está el objeto de la convergente<sup>7</sup>. Anotamos ahora la distancia objeto-lente divergente(enfocada) y la llamaremos  $s$ . Concluimos así que  $s'_{divergente} = s_{convergente}$  la imagen de la lente divergente será el objeto de la lente convergente.

De este modo podemos obtener dos valores de la focal de la lente divergente (al igual que en la de la convergente), usando una regresión lineal o calculando directamente la media. Obtenemos entonces que:

$$f^{(1)} = -21,52 \text{ (cm)} \quad s(f^{(1)}) = 0,89 \text{ (cm)} \quad (3.1)$$

<sup>5</sup>La imagen de la lente convergente siempre va a aparecer en la pantalla puesto que tanto como la lente como la pantalla no se van a mover.

<sup>6</sup>Tengamos en cuenta que la imagen resultante ahora mismo esta desenfocada puesto que no variamos la distancia objeto.

<sup>7</sup>Recordamos que las lentes divergentes crean imágenes virtuales de objetos reales.

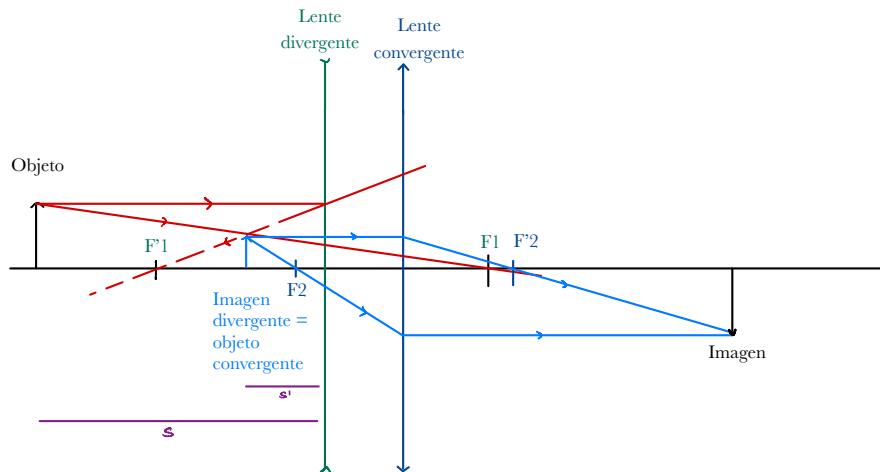


Figura 3.3: Trazado de rayos del sistema compuesto por dos lentes

$$f^{(2)} = -20,6 \text{ (cm)} \quad s(f^{(2)}) = 1,9 \text{ (cm)} \quad (3.2)$$

donde el signo menos es porque la focal de la lente divergente se encuentra a la “izquierda” de la lente, esto es, en la *dimensión objeto*, donde asignamos a todas las distancias un valor negativo. Podemos ver la regresión en la figura 3.4.

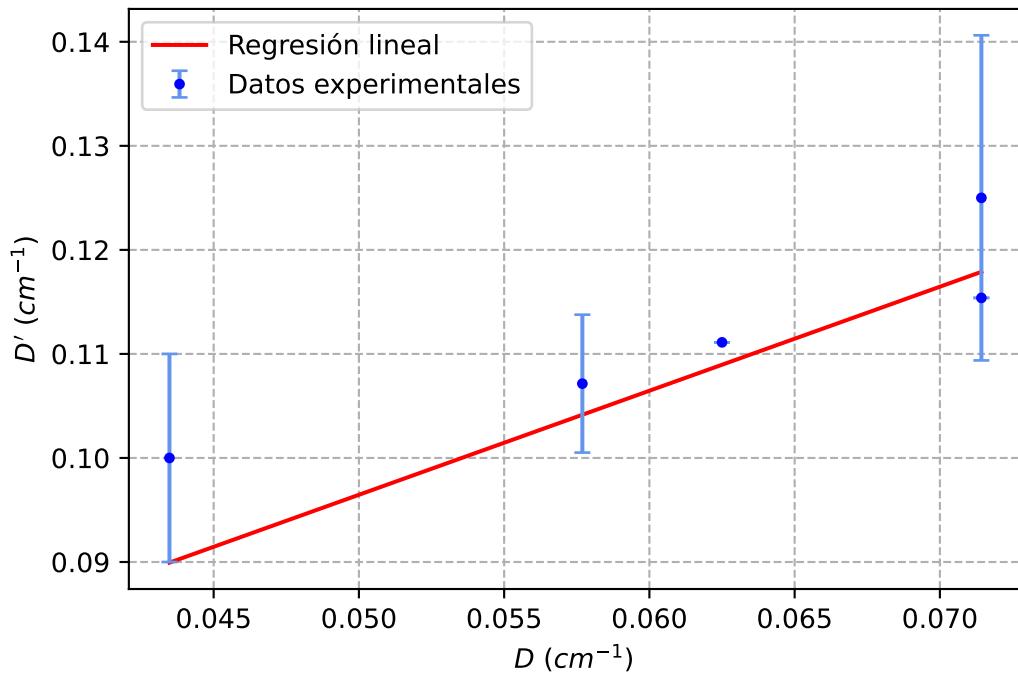


Figura 3.4: regresión lineal para el cálculo de la focal de la lente divergente.

## 4. Ojo artificial

Es lógico que el ojo humano tiene una longitud fija, pues la distancia entre córnea-cristalino con la retina es constante. Es decir, la distancia lente y plano imagen. Pero ¿a qué viene esto?. La focal de los ojos es un valor variable puesto que si fuese constante sólo podríamos ver imágenes a una distancia concreta. ¿Cómo varía la focal de la lente? Mediante un proceso llamado **acomodación** en la que el ojo gracias a los músculos que están en él actúan sobre el cristalino modificando su curvatura y de esta forma la focal.

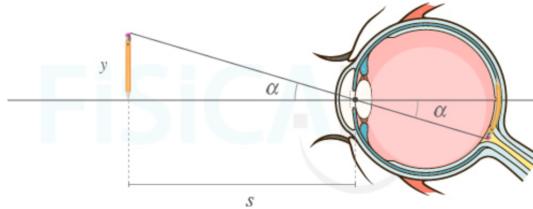


Figura 4.1: Esquema del funcionamiento de un ojo. Página:*FisicaLab*

Este percibe los objetos proyectando su imagen sobre la retina. A partir de la imagen anterior, podemos intuir que si queremos aumentar el nivel de detalle con que percibimos un objeto, debemos aumentar el ángulo  $\alpha$ , para que la imagen que llega a la retina sea mayor. Podemos conseguir esto disminuyendo la distancia  $s$ . El nivel máximo de detalle que podemos obtener de manera natural al observar un objeto vendría limitado, en aproximación paraxial, por un ángulo visual  $\alpha_i$  tal que:

$$\tan(\alpha_i) \approx \alpha_i = \frac{y}{x_p} \quad (4.1)$$

Donde  $x_p$  es el **punto próximo** que es el punto más cercano que un ojo sano puede enfocar. En un ojo adulto de visión normal está alrededor de 25cm. Para comprobar esto fuimos a una parte iluminada del laboratorio e intentamos enfocar la luz en la palma de la mano de forma experimental.

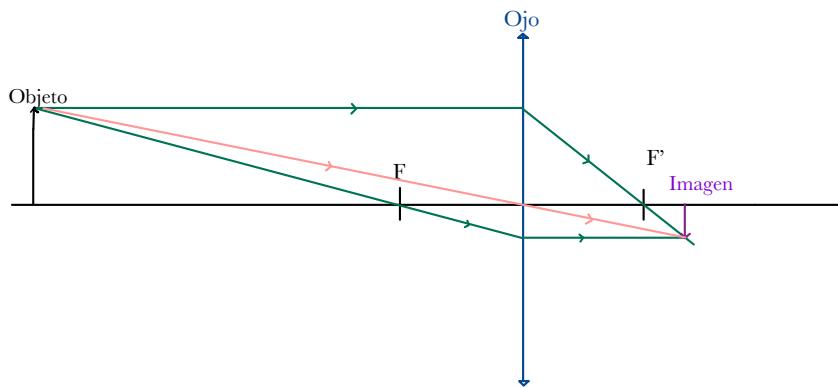


Figura 4.2: Trazado de rayos para el ojo humano

### 4.1. Cálculo de las focales

Para el cálculo de las focales hemos usado el método objeto-imagen anteriormente descrito. Hemos usado el segundo método descrito en dicho apartado, usando el mismo procedimiento para el cálculo de las incertidumbres. Realizadas 3 medidas obtenemos 3 focales (tablas 24 y 25) para las cuales hacemos la media ponderada, obteniendo:

$$f_1 = 10,15 \text{ (cm)} \quad s(f_1) = 0,19 \text{ (cm)} \quad (4.2)$$

$$f_2 = 5,21 \text{ (cm)} \quad s(f_2) = 0,13 \text{ (cm)} \quad (4.3)$$

No escribimos los datos experimentales de las distancias objeto-imagen ya que alargar mas la zona de los datos empeoraría la calidad de la memoria, y no aportaría nada.

## 4.2. Lupa

Una lupa es una **lente convergente** que al colocarla cerca del ojo nos permite ver una imagen ampliada del objeto. Es por esta razón que deberíamos colocar el objeto a una distancia menor que la focal de la lupa<sup>8</sup> y cerca del ojo. Despues dicha imagen funciona de objeto para nuestro ojo que formará la imagen en la retina.

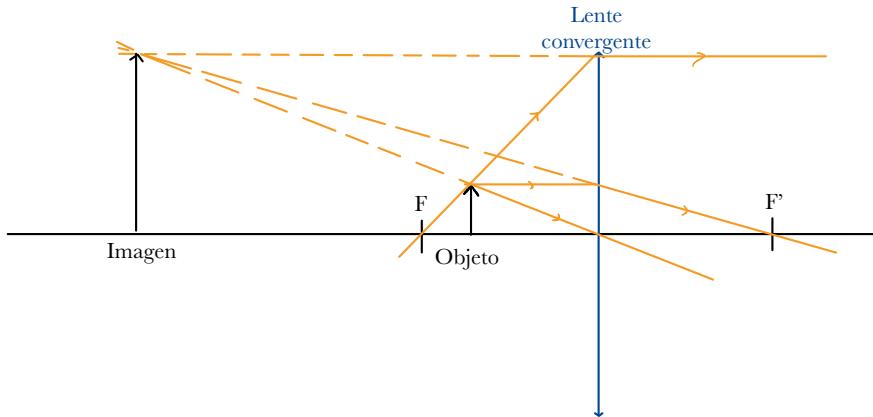


Figura 4.3: Trazado de rayos para la lupa

**¿Por qué Sherlock Holmes acercaba su ojo a la lupa y el objeto que quería ver a la misma?**  
 Lo que hace la lupa es, precisamente, aumentar ese ángulo  $\alpha$ . Como dijimos una lupa no es más que una lente convergente. Las lentes convergentes, como por ejemplo, la biconvexa, son capaces de crear imágenes virtuales, derechas y ampliadas de un objeto, cuando este se sitúan entre el foco y la propia lente. Si pegas tu ojo a una lente convergente y sitúas el **objeto a una distancia de la lente igual a su distancia focal**, puedes obtener una **imagen ampliada** cuyo ángulo subtendido en la retina  $\alpha_F$  viene dado por:

$$\tan(\alpha_F) \approx \alpha_F = \frac{y}{f'} \quad (4.4)$$

Por tanto se debe cumplir  $\alpha_f > \alpha_i$ . De esta forma definimos el **aumento**,  $\beta$ , como el cociente de las tangentes o lo que viene a ser lo mismo el cociente entre tamaños:

---

<sup>8</sup>De esta forma aparecerá una imagen virtual y aumentada del objeto

$$\beta_{exp} = \frac{\text{tamaño imagen retina lupa}}{\text{tamaño imagen retina sen lupa}} \quad (4.5)$$

$$\beta_{teo} = 1 - \frac{d_0 - d}{f'} \quad (4.6)$$

En función de estas ecuaciones:  $d$  es la distancia entre el ojo y la lupa;  $d_0$  ka distancia entre la imagen final y el ojo;  $a$  la distancia entre objeto y lupa. Nuestro objetivo es que  $f'$  sea **mínima** para ello s' y a **tienen que tender a cero**.

$\beta_t$	$s(\beta_t)$	$\beta_{exp}$	$s(\beta_{exp})$
4.289	0.037	4.006	0.031
3.994	0.034	3.989	0.032
3.659	0.030	3.645	0.030
2.861	0.021	2.956	0.024
2.457	0.017	2.896	0.028

Cuadro 2: Datos para la medida número 1

Los resultados, como podemos ver, son muy buenos. Los resultados arrojados por la teoría aproximan en gran medida los resultados experimentales. Como podemos ver existen ciertas discrepancias (sobre todo en la mas grande y la mas pequeña) que se pueden deber a errores de medida... Sería de esperar que los aumentos mas grandes deberían ser los que peores resultados arrojen, pero no es el caso. Podemos afirmar con cierto rigor que la teoría paraxial que permite calcular el aumento angular de las lentes es ciertamente predictiva, a diferencia de lo que vimos en apartados anteriores.

### 4.3. Microscopio

El microscopio es un instrumento óptico formado por dos lentes convergentes.

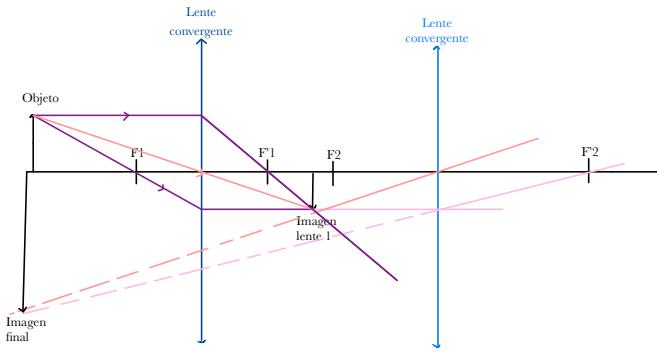
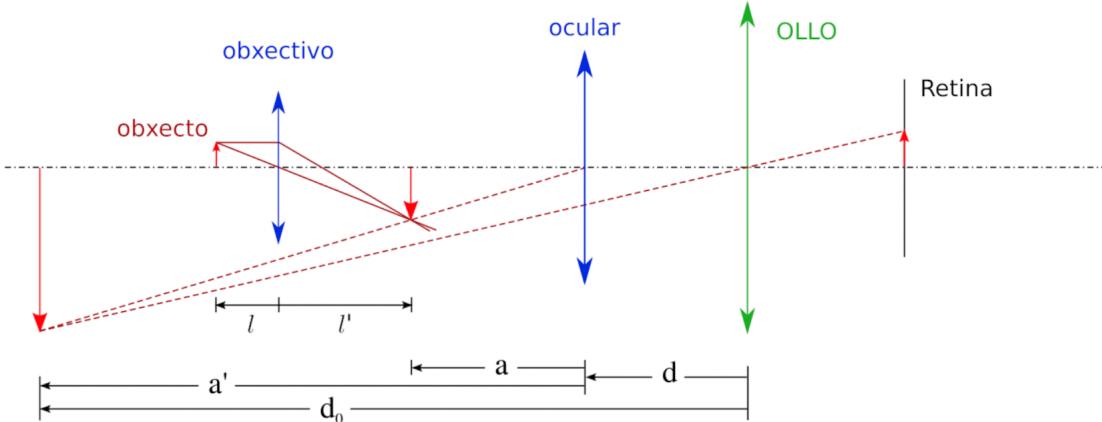


Figura 4.4: Trazado de rayos de un microscopio.

Estas dos lentes poseen un nombre, la primera será el **objetivo**. Esta está encargada de formar una imagen real y aumentada. La siguiente es el **ocular**. Esto lo podemos ver en la imagen 4.5.



(imaxé: Carlos Montero)

Figura 4.5: Imagen sacada del guión.

En este dibujo tenemos que:  $l$  es la distancia entre el objetivo, y  $l'$  la distancia entre objetivo e imagen que forma el objetivo.

$$\beta_{exp} = \frac{\text{tamaño imagen retina microscopio}}{\text{tamaño imagen retina sen lupa}} \quad (4.7)$$

$$\beta_{teo} = \frac{l'}{l} \left( 1 - \frac{d_0 - d}{f'} \right) \quad (4.8)$$

En el laboratorio se nos dice que utilicemos la lente con menor focal de objetivo y la de mayor focal como ocular, ¿por qué? La razón está clara si vemos la imagen 4.5 o la imagen 4.4. Si colocásemos la lente con la focal mas grande al final, dado que  $s' = s/(s/f + 1)$ , tendríamos que la primera imagen podría aparecer tras la segunda lente. Al colocar la lente de la focal pequeña al principio nos aseguramos que la primera imagen surja antes de la focal, y por tanto que aparezca el trazado de rayos de las imágenes, consiguiendo un gran aumento angular.

$\beta_t$	$s(\beta_t)$	$\beta_{exp}$	$s(\beta_{exp})$
5.67	0.55	7.00	0.29
8.1	1.3	9.45	0.28
3.72	0.23	3.867	0.074
1.936	0.087	1.914	0.056
1.364	0.061	1.329	0.029

Cuadro 3: Valores de los aumentos angulares experimentales y teóricos

Como podemos ver en estas tablas tenemos aumentos angulares superiores a los del apartado anterior, y como podemos ver esto hace que las diferencias sean mas grandes. Sin embargo también crecen las incertidumbres, y no baja la calidad de la medida. De hecho que sea capaz de predecir, aproximadamente, el valor de aumentos angulares grandes es un gran indicativo. No sería descabellado sentenciar que la teoría posee un valor predictivo muy grande. Quizás si consideraramos más términos en la aproximación teórica el resultado arrojado sería mucho mejor.

#### 4.4. Telescopio

Este aparato será simplemente experimental. Para empezar definiremos lo que es un telescopio. Un telescopio es un objeto que nos permite ver objetos que están muy lejos. La forma de hacerlo es disminuyendo el ángulo bajo el cual se ven<sup>9</sup>. Este está formado por dos lentes convergentes llamadas objetivo y ocular separadas a una distancia igual a la suma de las focales. Hacemos un trazado de rayos para enseñar como se ven los objetos con el mismo (figura 4.6). Si suponemos que el objeto está en el infinito tenemos que el trazado de rayos cambia (figura 4.7).

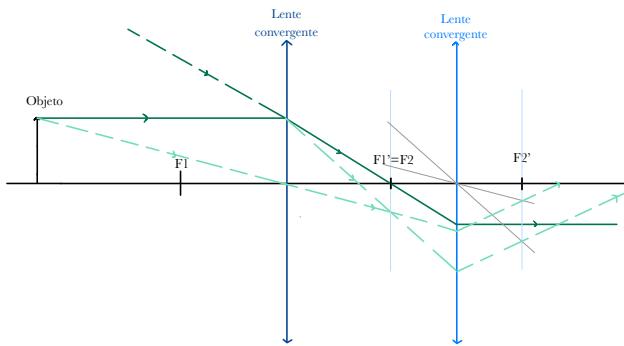


Figura 4.6: Trazado de rayos de un telescopio

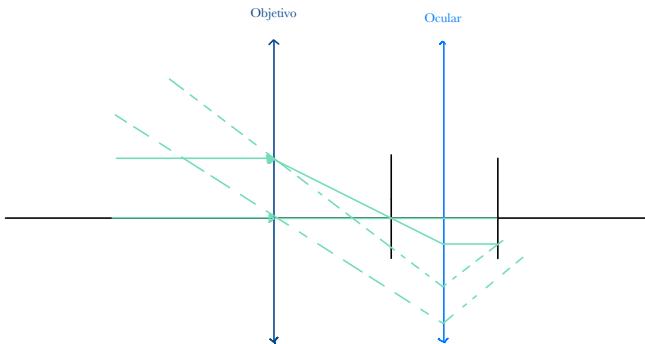


Figura 4.7: Trazado con la luz procedente del infinito

El telescopio en este caso ya lo tenían montado en el laboratorio. Nuestro objetivo era enfocar el mismo. ¿Cómo se enfoca? Nos fijamos en un punto muy lejos, en nuestro caso una torre de alta tensión del *Monte Pedroso* y vamos ajustándolo hasta que la imagen se vea nítida<sup>10</sup>.

Su funcionamiento obedece al principio de la magnificación de las imágenes, o sea, a la alteración de los patrones de la luz visible para agrandar lo observado, del mismo modo que funcionan los binoculares, sólo que mucho más potente. Para ello, emplea lentes convergentes de tipo convexo, a través de los cuales refracta la luz proveniente de aquello que deseamos ver. Lo más común es utilizar los telescopios

<sup>9</sup>Al contrario que ocurre con las lupas puesto que con ellas aumentamos el ángulo

<sup>10</sup>Ojo, no hay que asustarse puesto que la imagen se va a ver del revés.

#### 4.4 Telescopio

---



Figura 4.8: Esquema del funcionamiento de un telescopio. Página:*Space place*

para ver elementos muy lejanos y por ello tiene gran importancia en la Física Astronómica.

## Referencias

- [1] *Space place*. Página web; Como funcionan los telescopios.
- [2] *Concepto*. Página web; Definición de telescopio y microscopio.
- [3] *Tratamiento de datos físicos*. Luis Varela Cabo, Faustino Gómez Rodríguez, Jesús Carrete Montaña; Test de  $\chi^2$  pág.178-180
- [4] *Fisicalab*. Página web; Definción de lupa y Ojo humano.
- [5] *Guía de Técnicas III, Óptica*

---

## 5. Datos

### 5.1. Método objeto-imagen

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
75.50	0.04	20.60	0.04
75.50	0.04	19.50	0.04
75.50	0.04	20.70	0.04
75.50	0.04	19.80	0.04
75.50	0.04	21.50	0.04
75.50	0.04	20.40	0.04

Cuadro 4: Datos para la medida número 1

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
80.00	0.04	20.00	0.04
80.00	0.04	20.90	0.04
80.00	0.04	19.50	0.04
80.00	0.04	20.90	0.04
80.00	0.04	19.90	0.04
80.00	0.04	20.80	0.04

Cuadro 5: Datos para la medida número 2

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
85.00	0.04	20.50	0.04
85.00	0.04	19.60	0.04
85.00	0.04	20.80	0.04
85.00	0.04	19.60	0.04
85.00	0.04	20.50	0.04
85.00	0.04	19.60	0.04

Cuadro 6: Datos para la medida número 3

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
90.00	0.04	19.90	0.04
90.00	0.04	18.90	0.04
90.00	0.04	19.70	0.04
90.00	0.04	18.70	0.04
90.00	0.04	20.00	0.04
90.00	0.04	18.90	0.04

Cuadro 7: Datos para la medida número 4

## 5.2 Método de la autocolimación

---

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
95.00	0.04	19.00	0.04
95.00	0.04	19.90	0.04
95.00	0.04	18.90	0.04
95.00	0.04	19.90	0.04
95.00	0.04	18.90	0.04
95.00	0.04	19.70	0.04

Cuadro 8: Datos para la medida número 5

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
100.00	0.04	19.50	0.04
100.00	0.04	18.90	0.04
100.00	0.04	19.60	0.04
100.00	0.04	18.60	0.04
100.00	0.04	19.50	0.04
100.00	0.04	18.80	0.04

Cuadro 9: Datos para la medida número 6

f (cm)	s(f) (cm)
16.071	0.029
16.213	0.028
16.256	0.028
15.926	0.029
16.099	0.029
16.072	0.029

Cuadro 10: Datos de las focales para el método 2.

### 5.2. Método de la autocolimación

d (cm)	s(d) (cm)	l (cm)	s(l) (cm)	f (cm)	s(f) (cm)
33.40	0.03	50.00	0.03	16.600	0.041
19.90	0.03	36.50	0.03	16.600	0.041
35.70	0.03	52.00	0.03	16.300	0.041
59.80	0.03	75.30	0.03	15.500	0.041
24.40	0.03	40.20	0.03	15.800	0.041
15.00	0.03	32.00	0.03	17.000	0.041
27.60	0.03	44.60	0.03	17.000	0.041
39.00	0.03	56.20	0.03	17.200	0.041
46.00	0.03	62.90	0.03	16.900	0.041
31.40	0.03	48.50	0.03	17.100	0.041

Cuadro 11: Datos para el método de la autocolimación

**5.3. Método de Bessel**

a (cm)	s(a) (cm)	e (cm)	s(e) (cm)
100.00	0.04	59.00	0.04
100.00	0.04	58.00	0.04
100.00	0.04	59.00	0.04
100.00	0.04	59.00	0.04
-	-	-	-

Cuadro 12: Datos para la medida número 1

a (cm)	s(a) (cm)	e (cm)	s(e) (cm)
95.00	0.04	53.00	0.04
95.00	0.04	53.00	0.04
95.00	0.04	53.00	0.04
95.00	0.04	53.00	0.04
95.00	0.04	53.00	0.04

Cuadro 13: Datos para la medida número 2

a (cm)	s(a) (cm)	e (cm)	s(e) (cm)
90.00	0.04	46.00	0.04
90.00	0.04	47.00	0.04
90.00	0.04	47.00	0.04
90.00	0.04	48.00	0.04
90.00	0.04	47.00	0.04

Cuadro 14: Datos para la medida número 3

a (cm)	s(a) (cm)	e (cm)	s(e) (cm)
85.00	0.04	41.00	0.04
85.00	0.04	42.00	0.04
85.00	0.04	41.00	0.04
85.00	0.04	41.00	0.04
85.00	0.04	41.00	0.04

Cuadro 15: Datos para la medida número 4

a (cm)	s(a) (cm)	e (cm)	s(e) (cm)
80.00	0.04	34.00	0.04
80.00	0.04	34.00	0.04
80.00	0.04	34.00	0.04
80.00	0.04	35.00	0.04
80.00	0.04	34.00	0.04

Cuadro 16: Datos para la medida número 5

## 5.4 Focal de lente divergente

---

f (cm)	s(f) (cm)
16.356	0.062
16.358	0.018
16.364	0.084
16.258	0.051
16.345	0.045

Cuadro 17: Datos para la medida número 6

### 5.4. Focal de lente divergente

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
9.00	0.04	14.00	0.04
9.00	0.04	14.00	0.04
8.00	0.04	14.00	0.04

Cuadro 18: Datos para la medida número 1

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
9.00	0.04	17.00	0.04
10.00	0.04	18.00	0.04
9.00	0.04	17.00	0.04

Cuadro 19: Datos para la medida número 2

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
8.00	0.04	14.00	0.04
8.00	0.04	13.00	0.04
8.00	0.04	15.00	0.04

Cuadro 20: Datos para la medida número 3

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
10.00	0.04	23.00	0.04
10.00	0.04	24.00	0.04
10.00	0.04	22.00	0.04

Cuadro 21: Datos para la medida número 4

s (cm)	s(s) (cm)	s' (cm)	s(s') (cm)
9.00	0.04	16.00	0.04
9.00	0.04	16.00	0.04
9.00	0.04	16.00	0.04

Cuadro 22: Datos para la medida número 5

## 5.5 Focales para la lupa

---

f (cm)	s(f) (cm)
-22.750	1.554
-20.222	2.829
-18.667	5.449
-17.692	3.133
-20.571	0.224

Cuadro 23: Datos para la medida número 6

### 5.5. Focales para la lupa

f (cm)	s(f) (cm)
10.117	0.304
10.217	0.094
10.130	0.032

Cuadro 24: Datos para la medida número 7

f (cm)	s(f) (cm)
5.163	0.056
5.343	0.185
5.112	0.024

Cuadro 25: Datos para la medida número 7