

## Prueba experimental (15 puntos)

### *Determinación de la distancia focal $f$ de una lente y del índice de refracción $n$ del vidrio del que está hecha*

Desde que se inventaron las lentes hace ya cinco siglos, han sido utilizadas tanto para observar objetos muy lejanos (Astronomía) como para observar objetos muy pequeños (Microscopía).

En esta prueba experimental se propone comprobar la denominada ley de las lentes y determinar las características fundamentales de una lupa (lente convergente).

#### **Material:**

- 1 lente convergente de vidrio (lupa con mango desmontable)
- 1 vela
- 2 soportes de madera para ambas
- cinta métrica
- pantalla de cartulina
- calibre con nonio
- 2 hojas de papel milimetrado
- pequeño material auxiliar (clips, palillos, papel cello, encendedor,...)

#### **Primer experimento: *Comprobación experimental de la ley de las lentes***

Desde muy pronto, físicos como Galileo y Newton descubrieron una ley que se verifica en las lentes, consecuencia de la ley de la refracción de la luz:

*“Cuando se forma la imagen de un objeto en una pantalla a través de una lente, la suma de las inversas de la distancia objeto,  $s$ , y de la distancia imagen,  $s'$ , es una cantidad constante, característica de dicha lente”.*

En la Figura 1 se indica el esquema del montaje experimental que proponemos, así como las distancias  $s$  y  $s'$ .

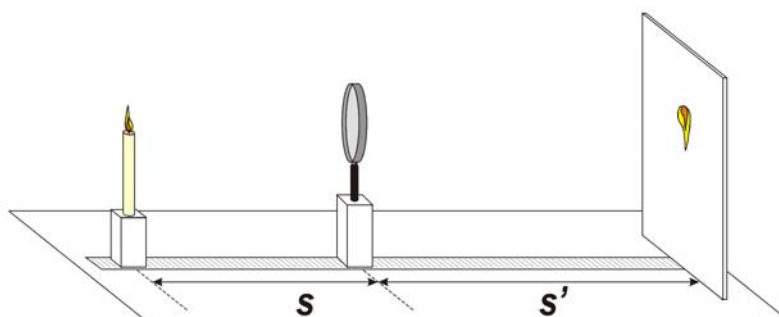


Figura 1: Esquema del montaje experimental.

#### **Operaciones a realizar:**

1. (2 puntos) Una vez encendida la vela, colocar la lente a una distancia  $s$  y desplazar la pantalla hasta conseguir una imagen nítida de la llama. En estas condiciones medir la

distancia  $s'$ . Repetir la operación otras 4 veces más con valores distintos de  $s$  y consignar los datos en las dos primeras columnas de la Tabla 1.

- (2 puntos) Hacer una representación gráfica en papel milimetrado de  $1/s'$  frente a  $1/s$ , y determinar la pendiente de la recta y la ordenada en el origen.

Tabla 1

$s$ (cm)	$s'$ (cm)	$1/s$ (cm <sup>-1</sup> )	$1/s'$ (cm <sup>-1</sup> )

- (1 punto) A partir de la ordenada en el origen, determinar el valor de la distancia focal  $f'$  de la lupa.
- (1,5 puntos) Estimar las incertidumbres tanto en la pendiente de la recta como en la ordenada en el origen y en la distancia focal, indicando el método seguido para ello.

**Segundo experimento: Determinación de la distancia focal por el método de Bessel**

Bessel ideó un procedimiento para determinar la distancia focal de una lente de manera más precisa, que consiste en lo siguiente: conocido un valor aproximado de la distancia focal (determinado, por ejemplo, por el método anterior), se fijan la vela y la pantalla a una distancia  $L$  mayor que cuatro veces la distancia focal. En estas condiciones, existen dos posiciones de la lente para las cuales se obtiene una imagen nítida de la vela, una de ellas de mayor tamaño que el objeto y otra de menor tamaño. Si llamamos  $D$  a la distancia que media entre estas dos posiciones, la distancia focal  $f'$  se determina mediante la siguiente fórmula:

$$f' = \frac{L^2 - D^2}{4L}$$

**Operaciones a realizar:**

- (1,5 puntos) Elegir la distancia  $L$  entre la vela y la pantalla. Determinar la distancia  $D$  entre las dos posiciones de la lente antes mencionadas con el mayor cuidado posible. Determinar con ayuda de la fórmula anterior el valor de  $f'$ .

Tabla 2

$L$ (cm)	$D$ (cm)	$f'$ (cm)

- (1 punto) Calcular la incertidumbre en  $f'$ .

**Tercer experimento: Determinación del índice de refracción  $n$  del vidrio**

Los constructores de lentes podían diseñarlas con la distancia focal deseada para la aplicación concreta. Se valían para ello de una fórmula, deducida también a partir de la ley de la refracción de la luz, que tiene en cuenta los radios de curvatura de sus superficies, así como del índice de refracción del material transparente del que están hechas.

En el caso que nos ocupa, la fórmula del constructor de lentes se reduce a:

$$\frac{1}{f'} = (n-1) \frac{2}{R}$$

donde  $R$  es el radio de curvatura de las superficies esféricas que constituyen las caras de la lente.

Operaciones a realizar:

7. (2 puntos) Con ayuda de la Figura 2 y del teorema de Pitágoras, determinar la expresión de  $R$  en función de las variables indicadas en la Figura 2.

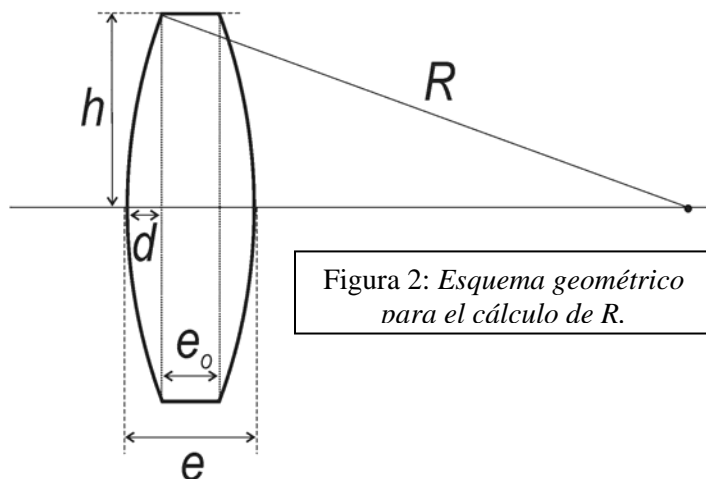


Figura 2: Esquema geométrico para el cálculo de  $R$ .

8. (2,5 puntos) Para la determinación experimental de  $h$ ,  $e$  y  $e_0$ , desmontar la lente desenroscando con cuidado el mango de la lupa y utilizar el calibre. Consignar los resultados en las tres primeras columnas de la Tabla 3. A partir de estos valores, determinar el valor de  $R$ , indicando su incertidumbre.

Tabla 3

$h$ (cm)	$e$ (cm)	$e_0$ (cm)	$R$ (cm)

9. (1,5 puntos) Aplicando la fórmula del constructor de lentes, determinar  $n$ , indicando también su incertidumbre.

## Solución de la prueba experimental

### Primer experimento:

**1. (2 puntos)** Colocar la lente entre la vela y la pantalla procurando que su centro se encuentre a la misma altura que la parte central de la llama. Para conseguirlo, se ajusta el mango de la lupa en el agujero del soporte, calzándolo con palillos. Se desplaza la pantalla sobre la cinta métrica hasta que la imagen de la llama aparece nítidamente. En estas condiciones se miden  $s$  y  $s'$  y se consignan los datos en las dos primeras columnas de la Tabla 1.

En la prueba se han distribuido dos tipos de lente: la lente A, de 7,5 cm de diámetro, y la lente B, de 9 cm. Cada alumno ha trabajado con una sola lente. En las Tablas 1A y 1B se proporcionan ejemplos de medida en cada caso.

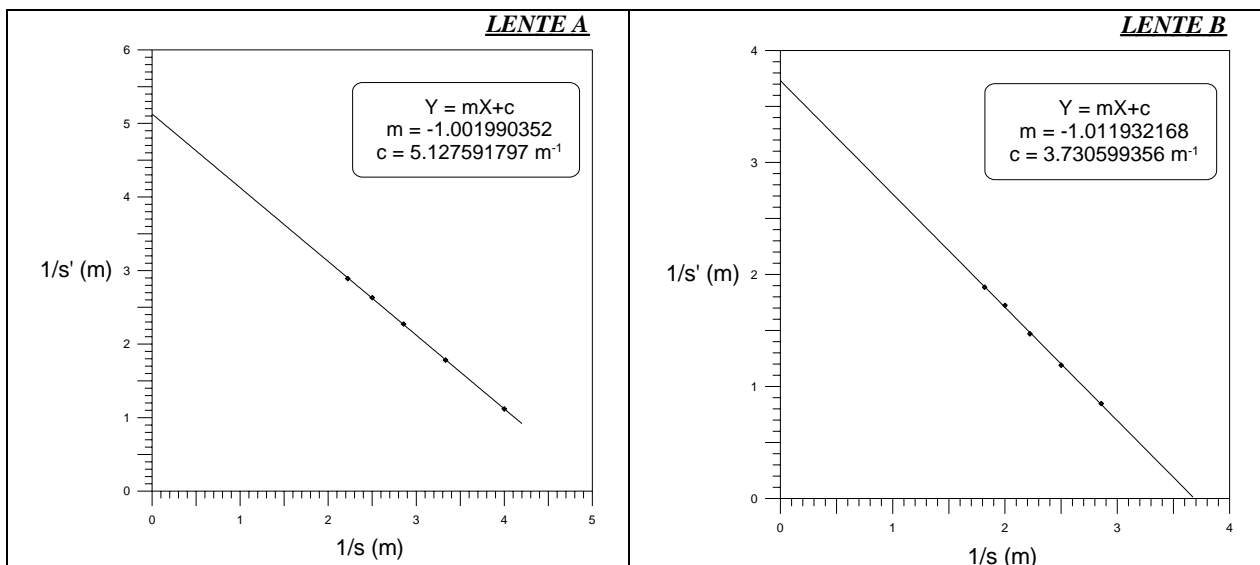


Tabla 1A				Tabla 1B			
$s$ (m)	$s'$ (m)	$1/s$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$1/s'$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$s$ (m)	$s'$ (m)	$1/s$ ( $\text{m}^{-1}$ )	$1/s'$ ( $\text{m}^{-1}$ )
0,25	0,894	4,00	1,12	0,35	1,180	2,86	0,85
0,30	0,561	3,33	1,78	0,40	0,840	2,50	1,19
0,35	0,440	2,86	2,27	0,45	0,680	2,22	1,47
0,40	0,380	2,50	2,63	0,50	0,580	2,00	1,72
0,45	0,346	2,22	2,89	0,55	0,530	1,82	1,89

2. (2 puntos) Se hace la correspondiente representación gráfica en papel milimetrado de  $1/s'$  frente a  $1/s$  (ver figuras adjuntas), y de ella se obtienen los siguientes datos:

Lente A:      pendiente = 1,01 ; ordenada en el origen =  $5,18 \text{ m}^{-1}$   
 Lente B:      pendiente = 0,98 ; ordenada en el origen =  $3,70 \text{ m}^{-1}$

3. (1 punto)  $f = \frac{1}{\text{ordenada en el origen}}$

$$f_A = 0,193 \text{ m} ; f_B = 0,270 \text{ m}$$

4. (1,5 puntos) Pendiente teórica – pendiente experimental de la recta

Lente A :       $1 - 1,01 = - 0,01$  (1% de desviación)  
 Lente B :       $1 - 0,98 = + 0,02$  (2% de desviación)

**Segundo experimento:**

Se fijan la vela y la pantalla a una distancia  $L$  entre ellas mayor que cuatro veces la distancia focal determinada anteriormente.

5. (1,5 puntos)

Tabla 2A			Tabla 2B		
L (m)	D (m)	f (m)	L (m)	D (m)	f (m)
1,00	0,478	0,193	1,30	0,52	0,273

**6. (1 punto)**

$$f = \frac{1}{4} \left( L - \frac{D^2}{L} \right) \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = 2 \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta D}{D} \right)$$

Las incertidumbres en la medida de L y D debidas al aparato (cinta métrica) podemos tomarlas igual a  $\pm 0,001$  m. Por lo tanto:

Lente A:  $L = 1$  m ;  $D = 0,478$  m ;  $\Delta f/f = \pm 0,006 \Rightarrow f_A = 0,193 \pm 0,001$  m

Lente B:  $L = 1,30$  m ;  $D = 0,520$  m ;  $\Delta f/f = \pm 0,005 \Rightarrow f_A = 0,273 \pm 0,001$  m

**Tercer experimento:**

Se determina  $n$  a partir de la *fórmula del constructor*:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R} \Rightarrow n = 1 + \frac{R}{2f}$$

**7. (2 puntos)** Por el teorema de Pitágoras, de la figura se deduce:

$$R^2 = h^2 + (R-d)^2 = h^2 + R^2 + d^2 - 2Rd \Rightarrow R = \frac{h^2 + d^2}{2d} ; \text{ con } d = \frac{e - e_o}{2}$$

**8. (2,5 puntos)** Se desenrosca el mango de la lupa y se miden  $h$ ,  $e$  y  $e_o$  con el calibre. Se consignan los resultados en las tres primeras columnas de la Tabla 3.

Tabla 3A				
h (cm)	e (cm)	$e_o$ (cm)	R (cm)	R (m)
3,735	0,906	0,226	20,69	0,2069

Tabla 3B				
h (cm)	e (cm)	$e_o$ (cm)	R (cm)	R (m)
4,465	0,972	0,282	29,07	0,2907

$$\frac{\Delta R}{R} = 2 \left( \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta d}{d} \right) = 2 \left( \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta e}{e} + \frac{\Delta e_o}{e_o} \right)$$

Las medidas de  $h$ ,  $e$  y  $e_o$  con el calibre llevan una incertidumbre de aparato de  $\pm 0,005$  cm. Por lo tanto:

Lente A:  $\Delta R/R = 0,06$  (6%) ; Lente B:  $\Delta R/R = 0,05$  (5%)

**9. (1,5 puntos)** Con la fórmula indicada al principio de este experimento se determina  $n$ :

Lente A:  $n = 1,54$  ;  $\Delta n/n = 0,07$

Lente B:  $n = 1,53$  ;  $\Delta n/n = 0,05$