



R.S.E.F.

Real
Sociedad
Española de
Física

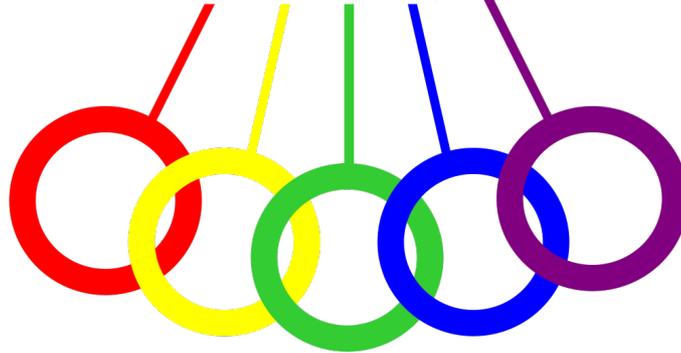


Universidad
Zaragoza

32 Olimpiada

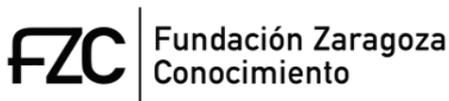
*ESPAÑOLA DE
FÍSICA*

FASE DE ARAGÓN



2ª PRUEBA

19 de marzo de 2021



Instituto Universitario de Investigación
en Ingeniería de Aragón
Universidad Zaragoza



LSC

Laboratorio Subterráneo de Canfranc



Instituto Universitario de Investigación
de Biocomputación y Física
de Sistemas Complejos
Universidad Zaragoza



Cátedra Inycom
Universidad Zaragoza



COFIS
Colegio Oficial de Físicos

Fundación
iberCaja



**GOBIERNO
DE ARAGON**

Departamento de Educación,
Cultura y Deporte

Problema experimental. La ley del cuadrado de la distancia en fotometría.

Modelo teórico.

La fotometría es el campo de la física que se encarga de determinar la capacidad de la luz para ser percibida por el ojo humano, es decir, estudia la capacidad que tiene la radiación electromagnética de estimular el sistema visual.

Para medir la cantidad de luz visible que emite una fuente luminosa se emplea una magnitud denominada *intensidad luminosa*, que es la energía por unidad de tiempo emitida por la fuente que llega a la unidad de superficie colocada a una distancia de 1 metro. Dicha energía está multiplicada por un factor que depende de la capacidad del ojo para percibir esa radiación. Así, la luz ultravioleta o infrarroja estaría multiplicada por un factor 0, mientras que la luz verde de 555 nm, para la que el ojo es más sensible, estaría multiplicada por un factor 1. La intensidad luminosa es una magnitud fundamental de la física (como la longitud, la masa o el tiempo) que tiene su propia unidad en el Sistema Internacional, la *candela* (cd).

En general, una fuente de luz no emite con la misma intensidad luminosa en todas las direcciones. En el caso de la luz led que utilizaremos en esta experiencia, la figura 1 muestra la distribución de intensidad en función del ángulo θ respecto del eje perpendicular al led, suministrada por el fabricante. Se puede ver que emite con máxima intensidad para $\theta = 0^\circ$ y la fracción de intensidad respecto de la máxima (expresada en porcentaje) disminuye al apartarse progresivamente de esa dirección..

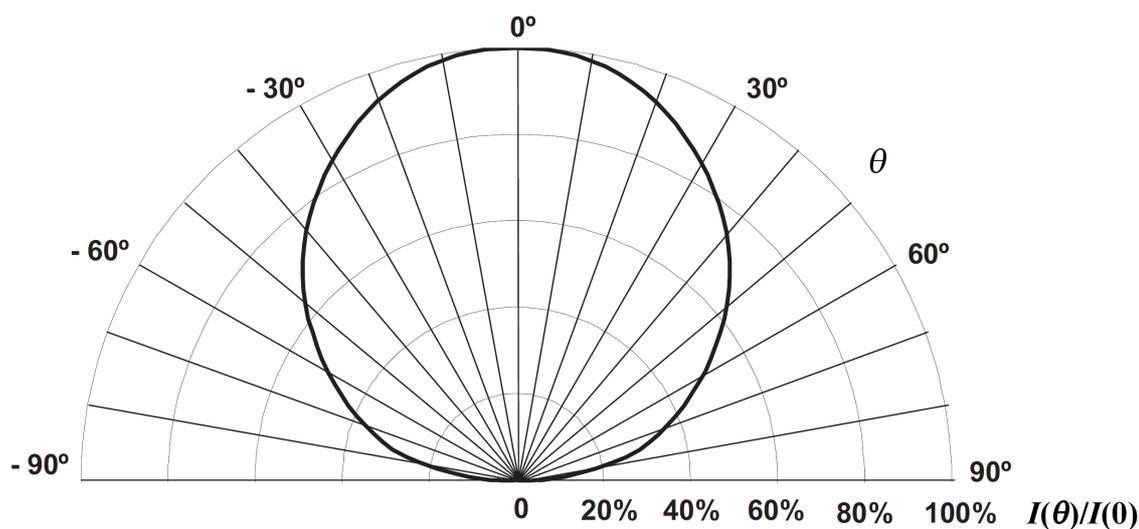


Fig. 1

La magnitud que nos indica la iluminación que recibe una superficie se denomina *iluminancia*. Su unidad en el sistema internacional es el *lux* ($1 \text{ lux} = 1 \text{ candela/m}^2$).

Cuando iluminamos perpendicularmente una superficie con una fuente de luz puntual se observa que la iluminancia disminuye al alejar la superficie de la fuente. Así, para una fuente que emite con intensidad luminosa $I(\theta)$ en una determinada dirección, la iluminancia E producida a una distancia d será

$$E = \frac{I(\theta)}{d^2}, \quad (1)$$

es decir, la iluminancia disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente.

El objetivo de esta práctica es la determinación de la intensidad luminosa de una fuente puntual (led) a partir de la medida de la iluminancia sobre una superficie colocada a distintas distancias de la fuente.

Montaje experimental.

En el laboratorio disponemos de una fuente de luz compuesta de un único led. El tamaño de dicho led es suficientemente pequeño para que se pueda considerar una fuente puntual cuando se observa a una distancia del orden de centímetros.

Para medir la iluminancia se utiliza un aparato denominado luxómetro (Fig. 2). Dispone de un fotorreceptor que convierte la energía luminosa en corriente eléctrica, y un lector que permite la lectura en una escala calibrada en lux.



Fig. 2

La fuente de luz led se sitúa en un extremo de un banco óptico. A la misma altura que la fuente, y a una distancia inicial de 50 cm, se coloca una pantalla con una señal en su centro y se orienta la fuente de modo que la distribución de luz quede centrada con la señal del centro de la pantalla. Con ello nos aseguramos de estar recibiendo la luz emitida en el eje de la fuente, con una intensidad $I(0)$. Se desplaza la pantalla a lo largo del banco, alejándola de la fuente para comprobar que el sistema está bien alineado (la mancha de luz queda siempre centrada en la pantalla al desplazar ésta por el banco).

Una vez alineado el sistema, se coloca el detector del luxómetro en la señal de la pantalla y se toma la medida de la iluminancia para diferentes posiciones de la pantalla.

Preguntas.

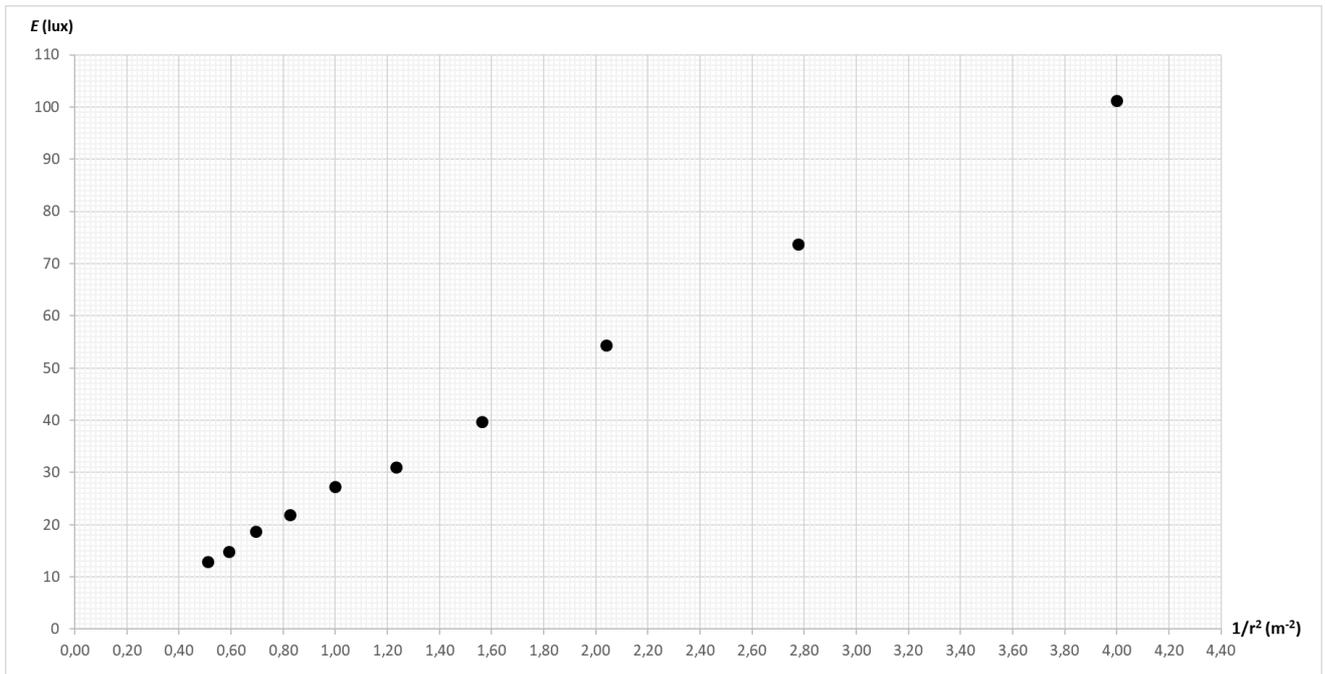
En la siguiente tabla se recogen los valores de iluminancia, E , medidos para diferentes posiciones del detector a diferentes distancias d de la fuente.

d (cm)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
E (lux)	101	73,8	54,4	39,7	31,1	27,3	21,9	18,7	14,9	12,9

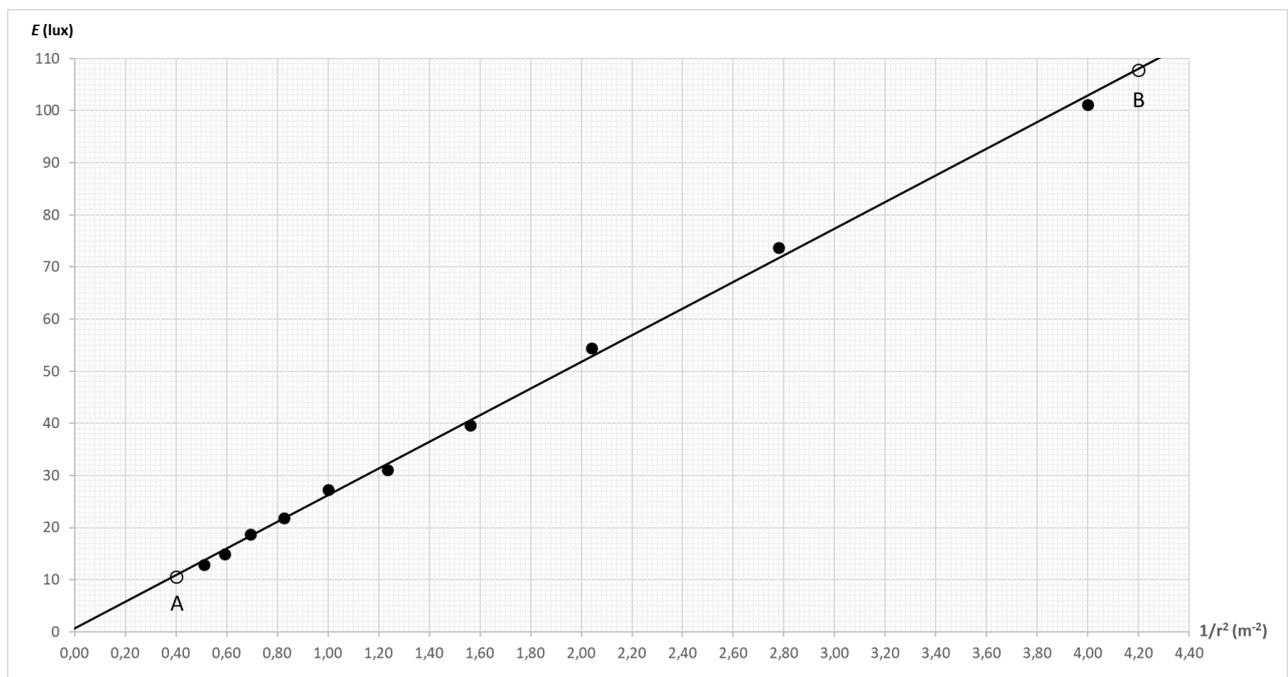
- Representa gráficamente en el papel milimetrado los puntos $(x, y) = (\frac{1}{d^2}, E)$.
- Ajusta los puntos experimentales a una línea recta.
- Determina la intensidad luminosa de la fuente en su eje, $I(0)$.
- Haz una estimación razonada de la incertidumbre (margen de error) de $I(0)$.
- A partir de la figura 1, determina la intensidad luminosa que emite la fuente de luz a 45° respecto de su eje, $I(45^\circ)$.

Problema experimental. Solución

a) A continuación se presenta la gráfica pedida, con el aspecto que tendría dibujada en papel milimetrado.



b) Para determinar de forma “manual” la recta que mejor se ajusta a los puntos experimentales se busca la recta que mejor pasa por los puntos, es decir, la que pasa lo más cerca posible de todos ellos y de forma que queden igual de dispersos a cada lado.



Tomamos dos puntos auxiliares alejados sobre esta recta (no puntos experimentales), por ejemplo A(0,4; 11) y B(4,2; 108). La pendiente de la recta es

$$p = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{108 - 11}{4,2 - 0,4} = 25,5 \text{ lux} \cdot m^{-2}$$

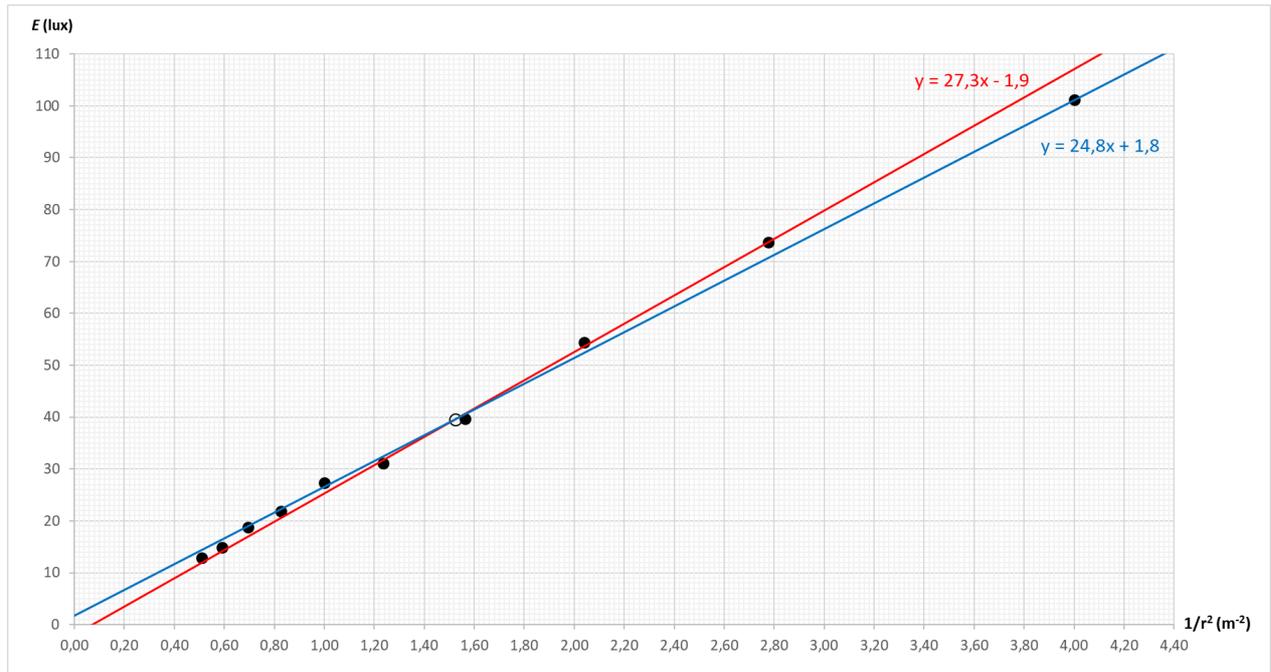
Un ajuste analítico por el método de *mínimos cuadrados* conduce a:

$$p = 25,6 \text{ lux} \cdot \text{m}^{-2}$$

- c) De acuerdo con la expresión (1) del enunciado, se espera que la dependencia de E con $1/r^2$ sea lineal, con pendiente

$$p = I(0) \quad \rightarrow \quad \boxed{I(0) = 25,5 \text{ lux} \cdot \text{m}^2 = 25,5 \text{ candelas}}$$

- d) La incertidumbre ΔI de $I(0)$ será la que se tenga en la determinación de la pendiente p . Para hacer una estimación de la incertidumbre Δp trazamos, de nuevo “a ojo”, las rectas que pasando por el “centro” de los puntos, $(\bar{x}, \bar{y}) = (10, 309)$ y, con pendientes máxima y mínima, se ajustan razonablemente a los puntos experimentales.



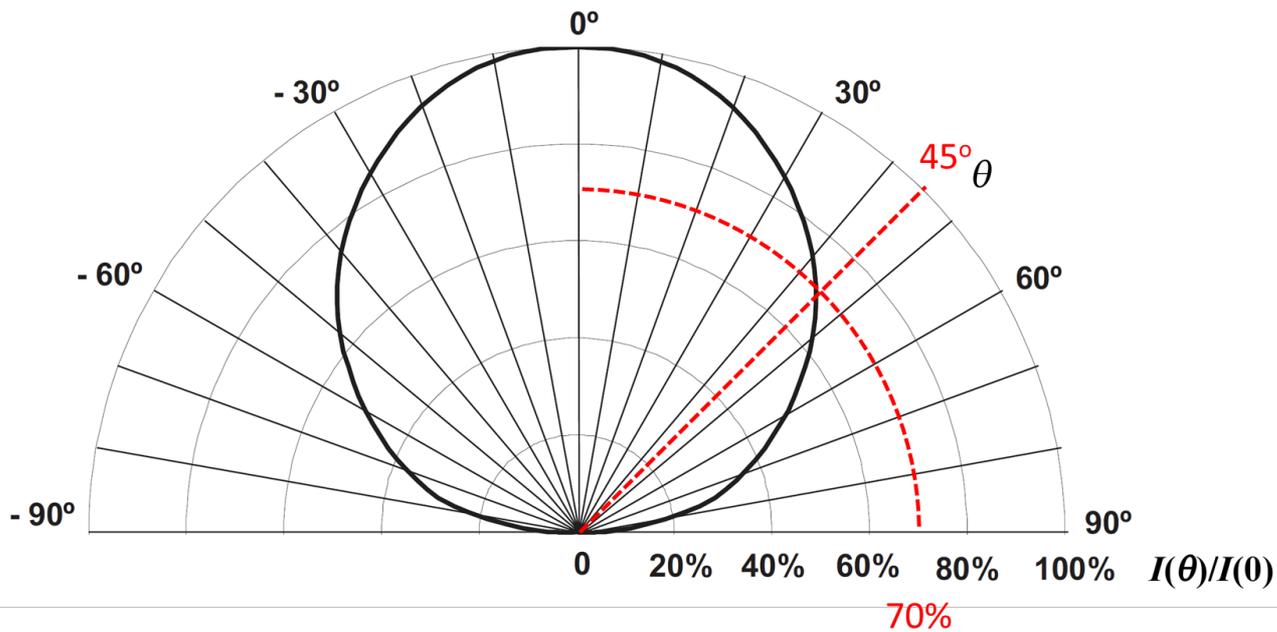
La incertidumbre estimada de la pendiente, Δp , vendrá dada por

$$\Delta p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{2} \quad \rightarrow \quad \Delta p = \frac{27,3 - 24,8}{2} = 1,25 \text{ cd}$$

Dado que sólo tenemos 10 puntos experimentales, la incertidumbre se da con una cifra significativa, salvo que dicha cifra sea 1, en cuyo caso se deben dar dos cifras significativas, de modo que la pendiente con su incertidumbre será

$$p = 25,5 \pm 1,2 \text{ cd} \quad \rightarrow \quad \boxed{I(0) = 25,5 \pm 1,2 \text{ cd}}$$

- e) A partir de la figura 1, la intensidad luminosa que emite la fuente de luz a 45° respecto de su eje, $I(45^\circ)$, vendrá determinada por el punto de corte de la curva con la línea de 45° .



Así,

$$I(45^\circ) / I(0) = 0,7$$

$$I(45^\circ) = 0,7 \cdot I(0) = 17,8 \text{ cd}$$