

# INTENSIDAD DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

## I OBJETIVO

Determinar la ecuación empírica entre la intensidad de la luz a través de la corriente eléctrica que produce un haz de luz al incidir en una celda fotoeléctrica y la distancia desde la fuente del haz de luz a dicha celda.

## II FUNDAMENTO TEORICO

En el estudio del transporte de energía por una onda de cualquier clase se establece que la intensidad de la onda (la energía media por unidad de tiempo y por unidad de área) es igual al producto de la densidad de energía media (energía por unidad de volumen) por la velocidad de la onda.

La densidad de energía almacenada en el campo eléctrico es:

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 \quad (1)$$

y la densidad de energía almacenada en el campo magnético es:

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (2)$$

En el caso de una onda electromagnética en el espacio libre,  $\mathbf{E} = c \mathbf{B}$ , de modo que podemos expresar la densidad de energía magnética en función del campo eléctrico, para dar la densidad de energía total:

$$\mathbf{u} = u_E + u_B = \epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{E B}{\mu_0 c} \quad (3)$$

La intensidad instantánea de la onda electromagnética en el vacío será:

$$\mathbf{S} = \mathbf{u} c = c \epsilon_0 E^2 = \frac{c B^2}{\mu_0} = \frac{E B}{\mu_0} \quad (4)$$

La intensidad promedio viene dada por la expresión

$$S_m = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_m^2 = \frac{1}{2} c B_m^2 / \mu_0 \quad (5)$$

Donde  $E_m$  y  $B_m$  son los valores de pico o amplitudes de las ondas eléctrica y magnética respectivamente. La ecuación (4) se puede generalizar en forma de una expresión vectorial:

$$\vec{\mathbf{S}} = \frac{\vec{\mathbf{E}} \times \vec{\mathbf{B}}}{\mu_0} \quad (6)$$

El vector  $\vec{\mathbf{S}}$  se denomina vector de Poynting en honor a su descubridor Sir John Poynting.

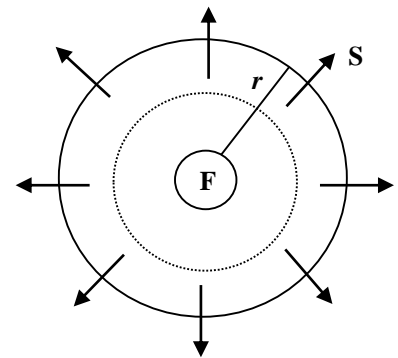
Como  $\mathbf{E}$  y  $\mathbf{B}$  son perpendiculares en una onda electromagnética, el módulo de  $\vec{S}$  es la intensidad instantánea de la onda y su dirección es la de propagación de la misma.

Sin embargo, no siempre la propagación de energía es unidireccional. Una bombilla eléctrica, por ejemplo, emite ondas electromagnéticas uniformemente en todas direcciones. Si la potencia eléctrica de la bombilla es  $P$ , sólo una fracción de ella,  $P_r$  se convierte en radiación electromagnética.

A una distancia  $r$  de la bombilla, la energía se distribuye uniformemente sobre una superficie esférica de área  $4\pi r^2$ . Por lo tanto la intensidad promedio es:

$$S_m = \frac{P_r}{4\pi r^2} \quad (7)$$

Como se ve, la intensidad  $S$  varía con la distancia como  $1/r^2$ . Esto es, la energía procedente del foco  $F$ , como se ve en la Figura 1, se distribuye en superficies cada vez mayores a mayores distancias del foco. En el actual experimento, hacemos incidir un haz de luz sobre una celda fotoeléctrica, generándose en ésta una determinada corriente eléctrica.



**Figura 1**

La corriente generada en la celda fotoeléctrica se debe a la energía absorbida de la radiación electromagnética; de modo que la corriente está relacionada directamente con la intensidad de la onda. Midiendo la corriente eléctrica para varias distancias de la fuente a la celda fotoeléctrica se determina empíricamente cómo varía la corriente eléctrica con la distancia de la fuente a la celda fotoeléctrica y, a través de este resultado, se evalúa la dependencia de la intensidad de la luz con la distancia al foco.

Dado que la intensidad de la luz es directamente proporcional a la intensidad de corriente, podemos escribir  $S = K I$  e igualando a la ecuación (7) tenemos:

$$K I = \frac{P_r}{4\pi r^2},$$

De donde, la relación entre la corriente y la distancia  $r$ , es:

$$I = \left( \frac{P_r}{4\pi K} \right) \frac{1}{r^2} \quad (8)$$

Esta ecuación revela que la corriente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente de luz a la fotocelda. La gráfica  $I$  vs.  $r$  es una hipérbola cuadrática, la cual se puede linealizar mediante la sustitución de variables:  $X = \ln r$  e  $Y = \ln I$ . Con estos cambios, la ecuación (8) se puede escribir como:

$$\ln I = \ln \left( \frac{P_r}{4\pi K} \right) - 2 \ln r$$

Donde vemos que la pendiente de la recta obtenida representa el exponente de  $r$  en la ecuación (8):

$$B = -2 \quad (9)$$

### III PROCEDIMIENTO

1. Calcule la potencia eléctrica de suministro de energía a la fuente de luz  $P$  (en W) midiendo el voltaje y la corriente de operación.
2. Instale el equipo como se muestra en la Figura 2. Asegúrese que el haz incida perpendicularmente a la celda fotoeléctrica.
3. Colocar el selector del amperímetro en el rango de los mA o  $\mu$ A dependiendo del tipo de fotocelda que disponga en su mesa de trabajo
4. Haga marcas cada 3 cm a lo largo de la línea recta que unen las posiciones de la fuente de luz y de la fotocelda. Marque posiciones de 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21..24. 27 y 30 cm medidas a partir de la posición de la fuente.
5. Colocar la celda fotoeléctrica en la posición  $r = 8$  cm y anote la corriente eléctrica que registra el amperímetro.

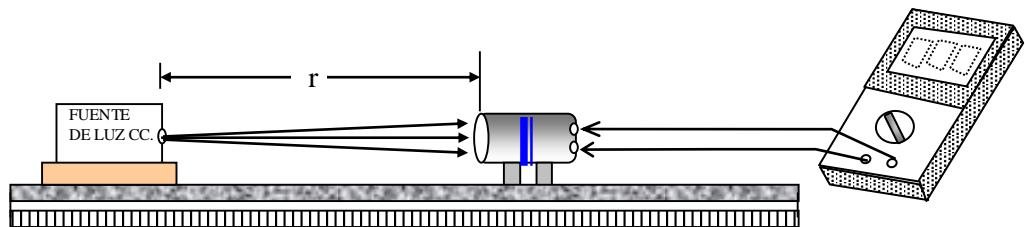


Figura 2: Equipo experimental

6. Repita el paso anterior las veces que sea necesario para obtener los datos  $r$ ,  $I$  (intensidad de la corriente), hasta completar la tabla 1, situando sucesivamente a la fotocelda en las posiciones marcadas.

#### IV DATOS EXPERIMENTALES

Especificaciones de la fuente de luz:  $I = \dots\dots\dots$   $V = \dots\dots\dots$   $P = \dots\dots\dots$

Tabla 1: Corriente vs. distancia

$i$	$r_i$ (cm)	$I_i$ ( )	$\ln r_i$	$\ln I_i$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

10				
----	--	--	--	--

## VI ANÁLISIS DATOS

### Método Gráfico

1. En papel milimetrado grafique  $I$  vs  $r$ . ¿Cuál es la ecuación general del gráfico obtenido?

.....

2. Grafique  $Y = \ln I$  vs.  $X = \ln r$ . ¿Qué tipo de gráfico obtiene?

.....

3. Calcule el intercepto y la pendiente en el gráfico anterior.

A = ..... B = .....

4. obtenga la ecuación empírica  $I$  vs.  $r$ .

.....

### Método Estadístico

5. Calcule por regresión lineal, la pendiente y el intercepto. Escriba también la ecuación empírica.

A = ..... B = .....

6. Escriba la ecuación  $\ln I$  vs  $\ln r$ .

.....

7. A partir de la ecuación anterior, obtenga la ecuación empírica  $I$  vs.  $r$ .

.....

8. Evalúe por comparación simple el error porcentual de B con respecto al valor predicho por la ecuación (9).

.....

## VII CUESTIONARIO

1. Con sus propias palabras, describa el significado físico del vector de Poynting.

.....

.....

.....

2. ¿Tienen igual aplicación las ecuaciones (5) y (7)? Fundamente.

.....

.....

3. ¿Puede considerarse como fuente puntual de radiación electromagnética el foco de luz utilizado en esta práctica? ¿Cómo justifica el uso de la ecuación (7) para este caso?

.....

.....

.....

# MILIMETRADO (1/1)