

Efecto Fotoeléctrico

Juan Carlos Rojas Velásquez*
Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
(Dated: 22 de agosto de 2023)

En el presente documento se presenta una aproximación experimental del efecto fotoeléctrico que tiene el fin de demostrar la dependencia entre la energía y la longitud de onda, y la independencia de la energía con respecto a la intensidad de la luz. Esto permitió un registro experimental de la constante de Planck $h = 4.123 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ y la función de trabajo asociada a la fotocelda utilizada de $\phi = 1.289 \times 10^{-19} \text{ J}$.

I. INTRODUCCIÓN

El efecto fotoeléctrico fue observada en primera instancia por el físico alemán Heinrich Hertz a finales del siglo XIX. Este fenómeno describe cómo los fotones de una cierta energía, asociada a su frecuencia, puede desprender electrones de los átomos de metales [4]. Esta manifestación física fue luego descrita por Albert Einstein a principios del siglo XX con la siguiente expresión matemática

$$h\nu = T_e + \phi \quad (1)$$

h la constante de Planck, ν la frecuencia del fotón incidente, T_e la energía cinética del electrón y ϕ es la “función de trabajo”, una energía que debe sobrepasar el fotón para poder que los electrones se desprendan. Esta cantidad depende del material sobre el que se trabaja [2].

II. METODOLOGÍA

A. Montaje

Para la realización del experimento se utilizó el montaje mostrado en la Figura 1. Y las conexiones mostradas en el diagrama esquemático de la Figura 2. En el experimento se utilizaron los siguientes dispositivos: Multímetro, caperuzas con LEDs de colores azul, verde, amarillo y rojo; fuente de voltaje, fotocelda con potenciómetro y amperímetro con sensibilidad de $0.5 \times 10^{-8} \text{ A}$.

B. Procedimiento

Antes de empezar con la toma de datos, se tuvieron que calibrar dispositivos de medición. Para el amperímetro: se desconectó de la fotocelda, se presionó el

botón rojo en él y luego se movió la perilla para que alineara con el cero marcado.

Para la primera fase del experimento: Demostrar la dependencia de la energía con el color, se fijó el voltaje de la fuente a 2V con el potenciómetro establecido en el mínimo de resistencia. Después de esto, se encontró el punto en el que el potenciómetro permitía que la corriente tuviese el valor de $I = 10 \times 10^{-8} \text{ A}$. Luego, se giró la perilla del potenciómetro aumentando la resistencia y haciendo paradas cada vez que la corriente presentaba un cambio de $\Delta I = -0.5 \times 10^{-8} \text{ A}$ para registrar los voltajes en cada parada hasta que la corriente fuera nula, resultando en 21 mediciones de voltaje. Este proceso se repitió para cada una de las caperuzas LED utilizadas.

Para la segunda fase del experimento: Independencia de la intensidad de la luz, se usó el mismo procedimiento mencionado anteriormente con la caperuza de color rojo rotada aproximadamente 45° sobre la fotocelda.

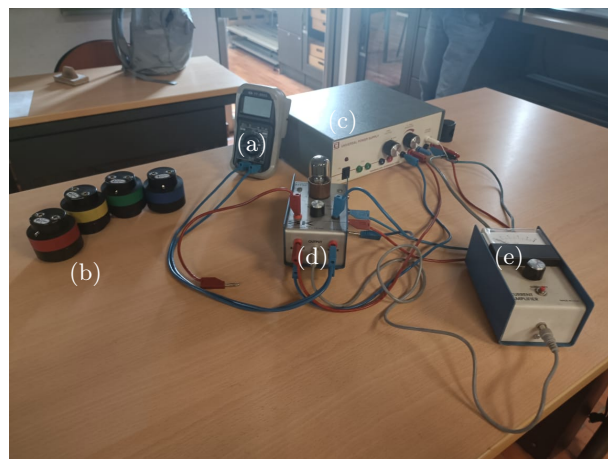


Figura 1. Montaje del experimento de efecto fotoeléctrico. En la figura se observan: un multímetro (a), caperuzas con LEDs de colores (de izquierda a derecha) rojo, amarillo, verde y azul (b), fuente de voltaje (c), fotocelda con potenciómetro (d) y amperímetro con sensibilidad de $0.5 \times 10^{-8} \text{ A}$ (e).

* Correo institucional: jc.rojasv1@uniandes.edu.co

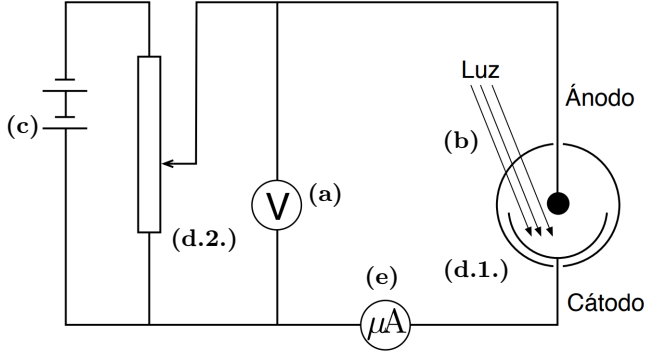


Figura 2. Diagrama esquemático de conexiones entre los dispositivos usados para la práctica. Multímetro (a), caperuza (b), fuente de voltaje (c), fotocelda (d.1.) y potenciómetro (d.2.). Figura obtenida de [3].

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Dependencia de la energía con el color

Corriente	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
$I[\times 10^{-8} A]$	[V]	[V]	[V]	[V]
10.00	0.774	0.65	0.29	0.17
9.50	0.776	0.65	0.30	0.18
9.00	0.778	0.65	0.31	0.19
8.50	0.779	0.66	0.32	0.19
8.00	0.780	0.66	0.32	0.19
7.50	0.781	0.66	0.33	0.20
7.00	0.782	0.66	0.33	0.20
6.50	0.783	0.66	0.34	0.21
6.00	0.784	0.67	0.35	0.22
5.50	0.785	0.67	0.36	0.22
5.00	0.786	0.67	0.37	0.23
4.50	0.787	0.67	0.37	0.23
4.00	0.788	0.67	0.38	0.24
3.50	0.789	0.68	0.39	0.25
3.00	0.789	0.68	0.40	0.25
2.50	0.790	0.68	0.41	0.26
2.00	0.791	0.68	0.42	0.27
1.50	0.792	0.68	0.44	0.28
1.00	0.793	0.68	0.46	0.29
0.50	0.794	0.69	0.48	0.31
0.00	0.795	0.69	0.51	0.33

Cuadro I. Datos medidos en el experimento de efecto fotoeléctrico. En cada columna de color del LED presenta el muestreo del valor del voltaje de frenado y la corriente que se produce. La incertidumbre de la medida del voltaje $\sigma_V = \pm 0.001V$ y la de la corriente $\sigma_I = \pm 0.25 \times 10^{-8} A$.

Al observar el Cuadro I se puede notar que las variaciones en el voltaje de frenado son mayoritariamente constantes, indicando que la relación entre el voltaje de frenado y la corriente producida por los fotoelectrones es puede ser descrita mediante una regresión lineal. Esto es esperado debido a la Ecuación (1) del efecto fotoeléctrico. De esta, dado que la energía potencial debida al voltaje se convierte en energía cinética, se puede deducir que la energía cinética máxima estará dada por

$$eV_f = h\nu - \phi. \quad (2)$$

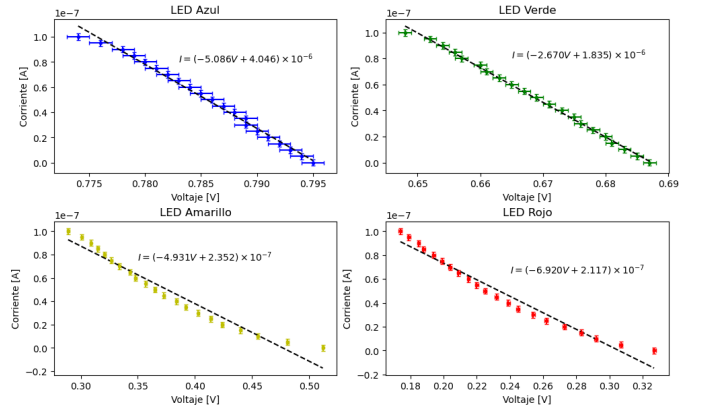


Figura 3. Gráficas de los datos tomados para los diferentes colores de LED y sus respectivas regresiones lineales.

La Figura 3 muestra el ploteo de los datos del Cuadro I. En cada una de las gráficas se hizo una regresión lineal de la forma

$$I(V) = mV + b$$

Igualando a la corriente y despejando el voltaje se tiene que

$$V = \frac{-b}{m} \quad (3)$$

por lo que se puede obtener el voltaje de frenado para cada uno de los LEDs. De las regresiones presentadas en la Figura 3 se obtuvieron valores para m y b que permitieron calcular los voltajes de frenado para cada color de LED los cuales se pueden ver en Cuadro II.

Una vez conocidos los voltajes de frenado para cada uno de los colores de los LED, se hizo una regresión de estos valores multiplicados por la carga del electrón ($e = 1.6022 \times 10^{-19} C$) contra la frecuencia de cada color que se presenta en la Figura 4.

	Azul	Verde	Amarillo	Rojo
$m \pm \Delta m [\times 10^{-6} \Omega^{-1}]$	-5.1 ± 0.1	-2.67 ± 0.03	-0.49 ± 0.02	-0.69 ± 0.03
$b \pm \Delta b [\times 10^{-6} A]$	4.046 ± 0.009	1.835 ± 0.002	0.235 ± 0.009	0.212 ± 0.007
$V_f \pm \Delta V_f [V]$	0.79 ± 0.01	0.687 ± 0.007	0.48 ± 0.03	0.31 ± 0.02

Cuadro II. Valores de m y b de las regresiones lineales para cada color de LED. Y sus respectivos voltajes de frenado V_f obtenidos del cálculo mostrado en la Ecuación (3)

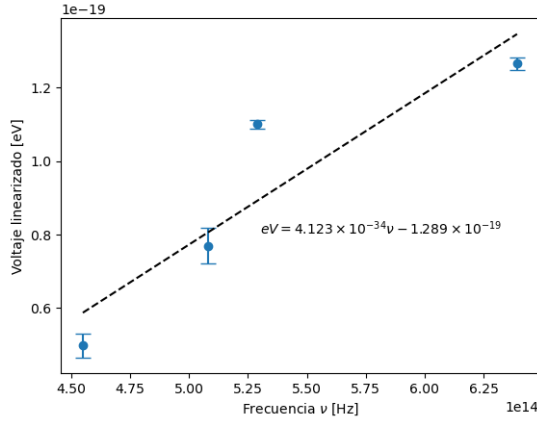


Figura 4. Gráfica de voltaje de frenado multiplicado por la carga del electrón (eV) contra frecuencia del fotón (ν).

Nótese que la regresión de la Figura 4 tiene la misma forma que la Ecuación (2) por lo que los valores del coeficiente y término independiente de la misma deben ser la constante de Planck y función de trabajo, respectivamente. Estos son entonces $h = (4.123 \pm 1.296) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ y $\phi = (1.289 \pm 0.696) \times 10^{-19} \text{ J}$. Las cuales son bastante parecidas a las dadas como guía en el laboratorio. [3]

B. Independencia de la intensidad de la luz

El Cuadro III muestra los datos obtenidos para las mediciones de voltaje para diferentes medidas de corriente hasta llegar a 0.00 A . Estos datos presentan un comportamiento similar a los datos de la columna Rojo del Cuadro I, lo cual es esperado debido a que este valor no debería ser dependiente de la intensidad de la luz que incide sobre el material metálico.

Caperuza roja rotada 45°	
Voltaje [V]	Corriente [$\times 10^{-8} \text{ A}$]
0.143	10.0
0.150	9.5
0.156	9.0
0.162	8.5
0.168	8.0
0.173	7.5
0.182	7.0
0.184	6.5
0.192	6.0
0.198	5.5
0.204	5.0
0.210	4.5
0.216	4.0
0.224	3.5
0.231	3.0
0.240	2.5
0.250	2.0
0.259	1.5
0.271	1.0
0.288	0.5
0.310	0.0

Cuadro III. Datos medidos para la caperuza de LED rojo rotada 45° sobre la fotocelda.

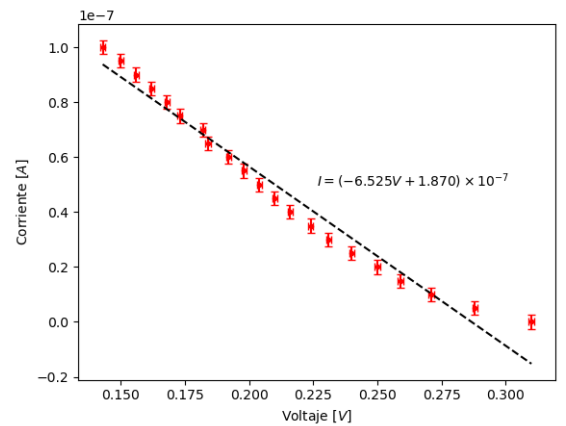


Figura 5. Gráfica de los datos tomados para la caperuza LED de color rojo y su respectiva regresión lineal.

Con los datos mostrados en el Cuadro III se hizo un ploteo de dispersión para calcular una regresión lineal, mostrada en la Figura 5. La programa usado arrojó la regresión

$$I(V) = (-6.525V + 1.870) \times 10^{-7}$$

la cual concuerda en buena manera con los datos del Cuadro II para los valores de la regresión hecha anteriormente para la caperuza roja sin rotar. Con lo cual evidencia una independencia entre la intensidad de la luz y la energía.

-
- [1] jcrojasv1. Modern Phy Lab, Aug. 2023.
 - [2] L. Liu and P. Solis. Determination of planck's constant using the photoelectric effect, 2007.
 - [3] J. Mejía and N. Berrío. *Guías de laboratorio. Física Moderna*. 2021.
 - [4] Wikipedia. Efecto fotoeléctrico — wikipedia, la enciclopedia libre, 2023. [Internet; descargado 12-junio-2023].

Apéndice A: Cálculo de errores

Para el cálculo de incertidumbre del modelo se tiene el siguiente código en Python que se puede encontrar en repositorio de GitHub [1].