
EFEECTO FOTOELÉCTRICO

EXPERIMENTOS EN FÍSICA MODERNA - PROF. ANGEL MIGUEL ARDILA VARGAS

Fabio Castellanos Lenes
Departamento de Física
Universidad Nacional de Colombia
fcastellanos@unal.edu.co

Sofía Guevara Montoya
Departamento de Física
Universidad Nacional de Colombia
soguevaram@unal.edu.co

Andres Felipe Vargas Londoño
Departamento de Física
Universidad Nacional de Colombia
anvargas1@unal.edu.co

22 de noviembre de 2021

Resumen

Se realizó un montaje experimental para probar el efecto fotoeléctrico midiendo características de voltaje y corriente de un fotorresistor de potasio. Se midieron voltajes de frenado para diferentes niveles de intensidad, a la vez que voltajes de frenado para diferentes longitudes de onda de la luz incidente. Con estos datos se realizó el debido análisis para comprobar que el voltaje de frenado es independiente de la intensidad, sino dependiente de la frecuencia, y se halló un valor experimental para la constante de Planck.

Objetivos

1. Determinar h , la constante de Planck.
2. Determinar la relación entre los distintos factores influyentes del fenómeno, como la frecuencia e intensidad de la radiación incidente, y el voltaje retardador del circuito.

Introducción

Albert Einstein postuló que la luz está constituida por un flujo de paquetes de radiación electromagnética, o bien partículas de luz, llamados fotones. Cuya radiación ha de ser proporcional a la frecuencia, siguiendo la siguiente ecuación [1]:

$$E = h\nu, \quad h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (1)$$

Dichos fotones pueden ser caracterizados tanto por su frecuencia como por su longitud de onda, debido a la siguiente relación:

$$\nu = c/\lambda \quad (2)$$

En el contexto de una colisión entre fotones provenientes de una luz monocromática de cierta intensidad y electrones

presentes en la superficie de una placa metálica, dichos electrones cambiarían su estado de reposo, para pasar a tener una energía cinética máxima dada por la siguiente ecuación [1]:

$$K_{max} = h\nu - \phi \quad (3)$$

Donde ϕ es llamada función trabajo del material, o sea la energía mínima requerida para producir fotoelectrones, que son electrones en movimiento producido por la radiación.

En general, entre mayor sea la intensidad de la luz, mayor será el número de fotones interactuando con electrones, sin embargo en la ecuación (3) se aprecia que esta energía cinética máxima no depende de la intensidad sino únicamente de la frecuencia de los fotones incidentes. Esto es, de cierta manera, un poco contraintuitivo y por ende será puesto a prueba experimentalmente.

Por otro lado, podemos aplicar un voltaje negativo para disminuir la energía cinética de los fotoelectrones, así pues, éstos llegarían al ánodo con energía

$$K = h\nu - \phi - eV \quad (4)$$

Para el caso en el que los fotoelectrones lleguen con energía cero al ánodo, o sea que la fotocorriente sea cero, tendremos entonces un valor de voltaje de frenado V_0 , y de esta manera, podemos despejar la constante de Planck, la cual será el valor de una pendiente, pues eV_0 tendrá una relación lineal con ν :

$$eV_0 = h\nu - \phi \quad (5)$$

Montaje y procedimiento

El experimento se realizó de la siguiente forma:

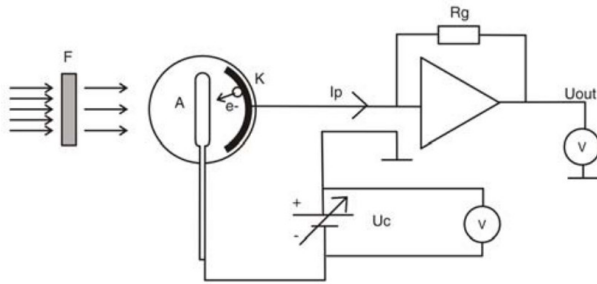


Figura 1: Esquema del experimento

Se tuvo una luz incidente que pasó por un filtro F para hacerla monocromática. Ésta llegó a un cátodo de potasio K que desprendió fotoelectrones cuya velocidad se vio disminuida por un contravoltaje U_c , hasta llegar al ánodo A. Se midió entonces esta fotocorriente I_p aumentada con un amplificador de corriente R_g y medida finalmente por el sensor CASSY.

El montaje en el laboratorio de este experimento fue el siguiente:

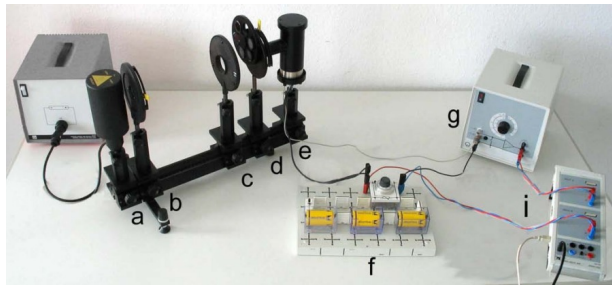


Figura 2: Montaje del experimento

a: Lámpara de mercurio. **b:** Diafragma de tipo iris. **c:** Lente, $f = 100\text{mm}$. **d:** Revolver con filtros de luz. **e:** Fotorresistor de potasio. **f:** Contravoltaje variable. **g:** Amplificador de corriente. **i:** Sensor CASSY.

La luz incidente vino de una lámpara de mercurio que se puso a calentar con anterioridad. La intensidad de ésta estuvo determinada por el diámetro del diafragma de tipo iris, el cual se configuró para 5 niveles de intensidad diferentes.

Se tiene un fotorresistor con un funcionamiento interno parecido al mostrado en la Figura 1. Éste está conectado a una fuente de voltaje variable a voluntad, además de a un amplificador de corriente que potencia la fotocorriente producida por los electrones en movimiento desde el cátodo al ánodo.

En el momento en que la luz incidente pasa el lente, es filtrada por uno de los 4 filtros diferentes: 405nm , 436nm , 546nm o 573nm con una incertidumbre de $\pm 2\text{nm}$. Así, llega una luz monocromática al fotorresistor de potasio, se liberan fotoelectrones que llegan al ánodo y producen una fotocorriente I que es aumentada por el amplificador de corriente. Estos datos son medidos e interpretados por el sensor CASSY para así tenerlos a disposición con un programa en el computador del laboratorio.

El experimento estuvo dividido en dos partes: voltaje de frenado para diferentes intensidades y voltaje de frenado para diferentes longitudes de onda.

En la primera parte, se fijó el filtro de 405nm para medir así cómo variaba el valor del V_0 para los 5 diferentes niveles de intensidad, o sea de cuán abierto estaba el diafragma de tipo iris para que así entrara más luz. Se configuró el voltaje para que inicialmente se tuviera una corriente igual a cero y el amplificador para que los cambios de corriente fueran significativos, y luego se varió el voltaje hasta llegar a apreciar unas rectas lineales.

En la segunda parte, se fijó el primer nivel de intensidad para medir así cómo variaba el valor de V_0 para los 4 filtros de luz. Se configuró de nuevo el voltaje para que inicialmente se tuviera una corriente igual a cero y el amplificador para que los cambios de corriente fueran significativos, y luego se varió el voltaje hasta llegar a apreciar unas rectas lineales. Con estos datos se realizó un análisis por tres métodos diferentes para hallar V_0 , posteriormente se encontró un valor experimental de h , la constante de Planck, con una regresión lineal y el uso de la ecuación (5).

Resultados y análisis

Voltaje de frenado para diferentes intensidades

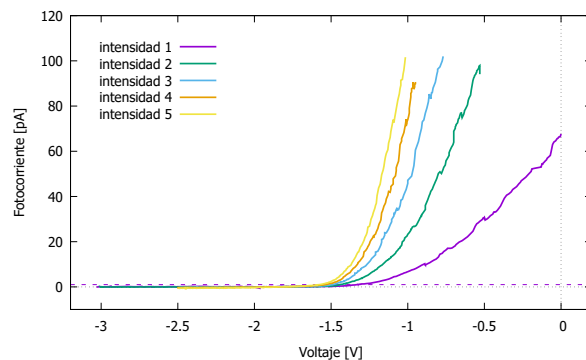


Figura 3: Fotocorriente versus voltaje para distintas intensidades y longitud de onda $\lambda = 405\text{nm}$

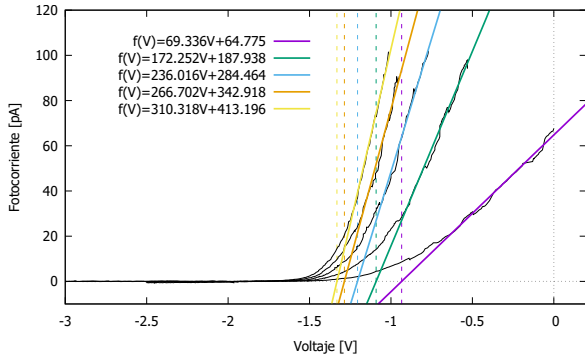
El voltaje de frenado V_0 [V] puede ser determinado usando un delta (δ) para el valor de la corriente, tan pronto esta supera dicho valor puede considerarse que se da el efecto

fotoelectrónico y se tiene una fotocorriente, haciendo esto para los datos mostrados en la Figura 3 y tomando $\delta = 1pA$, se encontraron los siguientes datos para el voltaje de frenado con incertidumbre de $\pm 0,005V$:

Intensidad	1	2	3	4	5
V_0	-1.33	-1.44	-1.48	-1.53	-1.57

Tabla 1: Voltajes de frenado según $\delta = 1pA$

Por otro lado puede hacerse una regresión lineal de los datos una vez se ha superado el voltaje de frenado y la corriente adquiere un comportamiento “lineal”, tomando el corte con el eje horizontal como el voltaje de frenado se encontró lo siguiente:

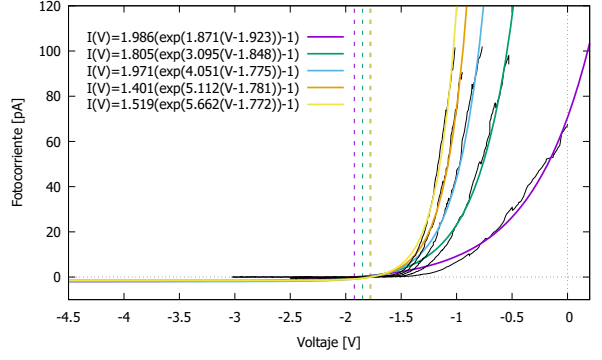


Inten	1	2	3	4	5
V_0	-0.934	-1.091	-1.205	-1.285	-1.331
Incer	0.006	0.003	0.003	0.003	0.002

Tabla 2: Voltajes de frenado según regresión lineal

$$I(V) = A(e^{B(V-C)}) - 1 \quad (6)$$

En (6) se muestra una expresión similar a la ecuación del diodo de Shockley. Usando [gnuplot](#), se realizó un ajuste de los datos suponiendo que obedecen la ecuación del diodo, se tomaron además valores iniciales para las constantes $A = 10$, $B = 7$ y $C = -1,5$ como se indica en [2]. En este caso es fácil ver entonces que para valores de V mayores a C la fotocorriente comienza a aumentar, de modo que C representa el voltaje de frenado, los valores arrojados por [gnuplot](#) para C a partir de los ajustes se muestran lo siguiente:



Inten	1	2	3	4	5
V_0	-1.923	-1.847	-1.774	-1.781	-1.771
Incer	0.044	0.033	0.027	0.024	0.021

Tabla 3: Voltajes de frenado según ajuste exponencial

El método para determinar V_0 a partir de un δ parece ser bueno ya que los valores no varían demasiado, sin embargo no se consideró fiable ya que el valor escogido para δ fue totalmente arbitrario, si se quisiera podría tomarse δ tal que coincida con los V_0 arrojados por el método exponencial, sin embargo se tomó $\delta = 1pA$ ya que los datos para la fotocorriente oscilaban bastante entre 0,05 y 0,9pA para voltajes retardadores “altos”. Es claro además en la Figura 3 que la fotocorriente empieza a aumentar antes de alcanzar los 1pA (marcado con línea punteada morada).

En el caso de las regresiones lineales no se obtuvo consistencia en los valores del voltaje de frenado, desconociendo además la relación porcentual de la variación entre intensidades no es posible realizar un análisis detallado de lo obtenido con este método.

Finalmente los resultados más prometedores fueron arrojados al emplear la ecuación de Schockley para el diodo, ya que 3 de ellos parecen coincidir muy bien, teniendo en cuenta que dichos valores coincidentes corresponden a los datos tomados para las intensidades 3, 4 y 5 (que parecen tener el menor error humano de entre las 5), podría considerarse que este método arrojó los valores mas consistentes. Es evidente entonces que al variar la intensidad de la radiación incidente no se generan cambios en el voltaje de frenado, lo cual contradice la teoría ondulatoria pero parece ir en acuerdo con lo teoría del comportamiento corpuscular de la radiación.

Voltaje de frenado para diferentes longitudes de onda

Los siguientes son los datos experimentales tomados para cuatro diferentes longitudes de onda.

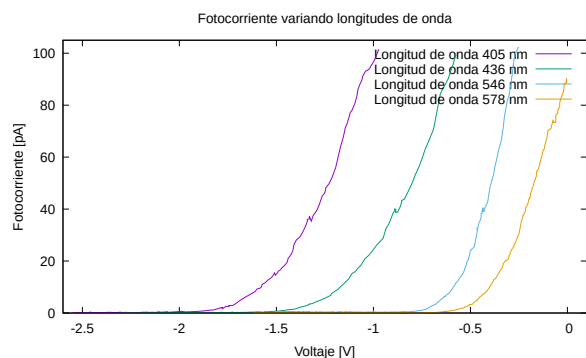


Figura 4: Datos experimentales con diferentes longitudes de onda

Para determinar el voltaje de frenado se usaron tres métodos y se evaluó cual es el más adecuado y qué se puede inferir de dicho voltaje de acuerdo a la longitud de onda.

1er Método

Para cada longitud de onda se grafica una línea paralela al eje y, para determinar cuándo comienza el efecto fotoeléctrico.

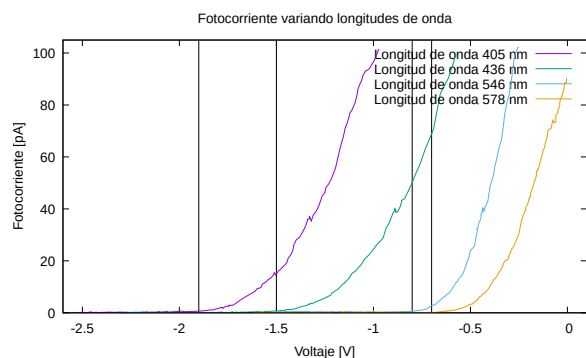


Figura 5: Datos experimentales con diferentes longitudes de onda con línea paralela para el voltaje de frenado

Con esto se tienen los siguientes voltajes de frenado:

	405 nm	436 nm	546 nm	578 nm
Voltaje de frenado [V]	-1.9	-1.5	-0.8	-0.7

Tabla 4: Voltajes de frenado según 1er método

2do Método

El segundo método es aproximar una recta que pase por los datos que presentan comportamiento lineal, hacer un ajuste lineal y tomar como corriente de voltaje al corte con el eje x. Las siguientes gráficas muestran ese método,

con su respectiva recta de acuerdo a la longitud de onda tomada.

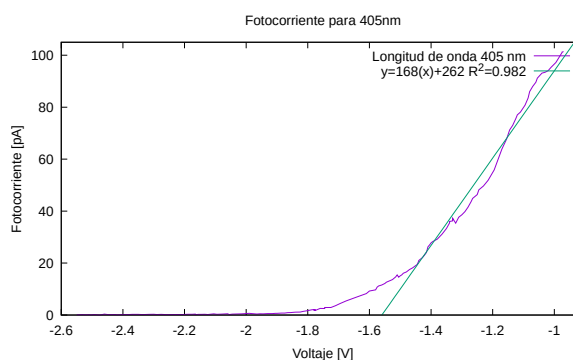


Figura 6: Recta para longitud de onda de 405 nm

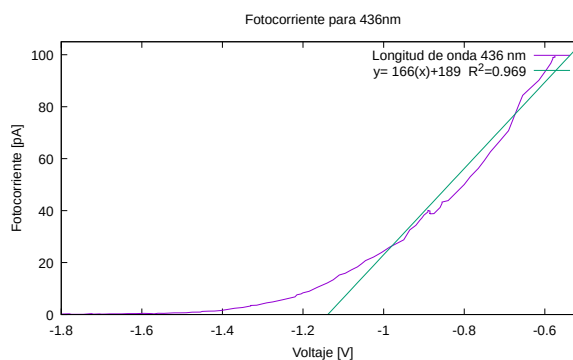


Figura 7: Recta para longitud de onda de 436 nm

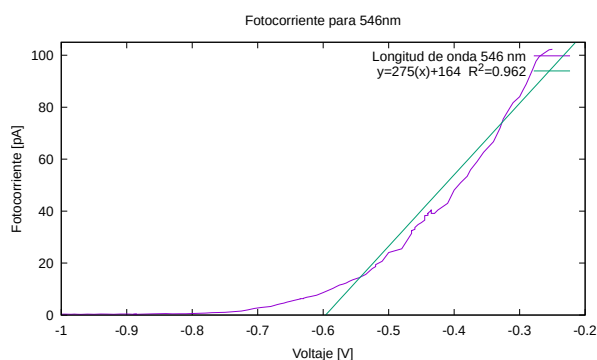


Figura 8: Recta para longitud de onda de 546 nm

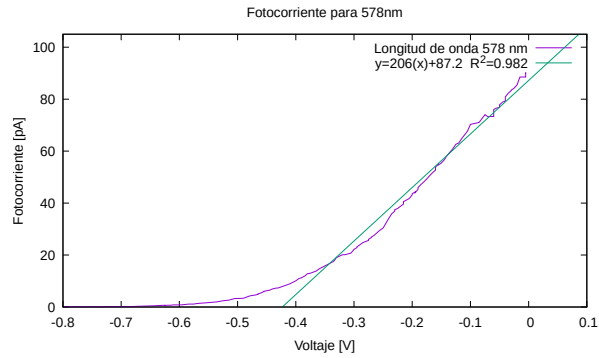


Figura 9: Recta para longitud de onda de 578 nm

Con el corte del eje x, se tiene que el voltaje de frenado con este método es:

	405 nm	436 nm	546 nm	578 nm
Voltaje de frenado [V]	-1.55	-1.11	-0.55	-0.42

Tabla 5: Voltajes de frenado según 2do método

3er Método

El tercer método es tomando la ecuación (6), con los datos experimentales como V y las constantes $A = 10$, $B = 7$ y C variaba de acuerdo a cada longitud, para que se acomodara mejor, según la guía del laboratorio. Realizando un ajuste con gnuplot se encuentran las constantes para cada longitud de onda.

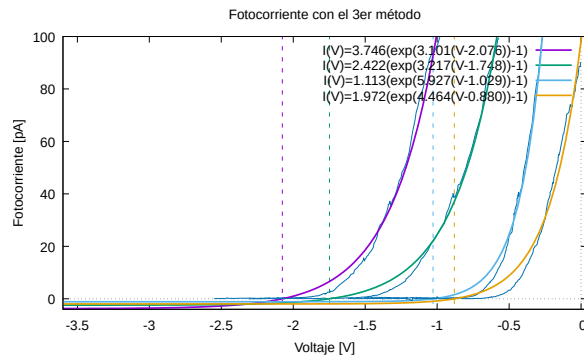


Figura 10: Ajuste con Gnuplot para el tercer método

Con lo anterior, se encuentra que los voltajes de frenado con este tercer método son:

	405 nm	436 nm	546 nm	578 nm
Voltaje de frenado [V]	-2.076	-1.748	-1.029	-0.880

Tabla 6: Voltajes de frenado según 3er método

Para este método se presenta un error del 17 % de la constante A según lo obtenido en Gnuplot, es por esto que se descarta este método. Analizando todos los datos es claro que difieren de gran manera respecto a los datos de la guía, por lo que es fácil notar que los datos no fueron correctamente tomados en el momento de la práctica.

Constante de Planck

Para hallar la constante de Planck se usó el segundo método, ya que son los más parecidos a los de la guía y parecen presentar el menor error humano, manteniendo también un error bajo para las constantes del ajuste

λ [nm]	ν [THz]	V_f [V]
405	741	1.55
436	688	1.11
546	549	0.55
578	523	0.42

Tabla 7: Datos para hallar la constante de Planck

Con ayuda de Gnuplot se graficó y halló la ecuación que lo describe.

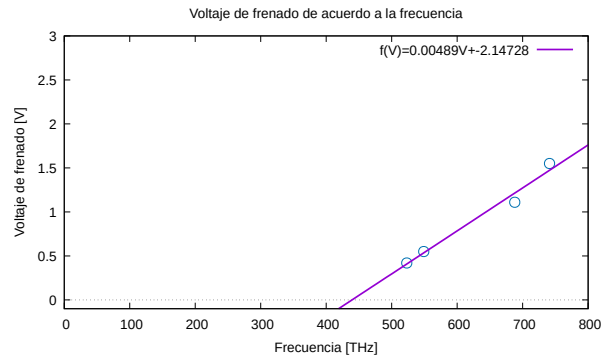


Figura 11: Ajuste con Gnuplot para hallar la constante de Planck

Según lo obtenido se tiene que la pendiente de la gráfica tiene un valor de $4,89 \times 10^{-15} \text{ Hz}$, multiplicándolo por el valor de la carga del electrón e , se tiene que la constante de Planck, según los datos experimentales, tiene un valor de $h = 7,8 \times 10^{-34} \text{ Js}$ con un error del 17 %

Conclusiones

De los datos obtenidos para intensidad de radiación variable, es claro entonces que el voltaje de frenado no depende la intensidad, contrario a lo esperado a partir de la teoría ondulatoria, mostrando así que la energía cinética de los electrones emitidos no depende de la intensidad.

Del estudio del fenómeno para longitud de onda variable se encontró que la magnitud del voltaje de frenado es directamente proporcional a la frecuencia de la radiación incidente, ya que mayores frecuencias provocan mayor

energía cinética que debe ser contrarrestada por una fuerza electromotriz mayor.

Referencias

- [1] R. M. Eisberg, R. Resnick, L. Cota Araiza, et al. *Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*. Mexico: Limusa, 1994.
- [2] LD Physics Leaflets. Planck's constant, counter voltage method. P6.1.4.4.