

# Efecto Fotoeléctrico

LUIS F. HORTA C.

FABIAN C. PASTRANA C.

SANTIAGO RAMIREZ V.

27 de mayo de 2018

## Resumen

*El tema a tratar en este trabajo es la comprobación del efecto fotoeléctrico a partir de un montaje compuesto de una fuente de luz blanca, un regulador de intensidad, un filtro para diferentes longitudes de onda y el material incidente. Se utilizaron los resultados postulados por Einstein para este fenómeno en el cual describe la energía cinética con la que salen los electrones adquirida por el haz de luz incidente en cierto material, llegando a la conclusión que la intensidad del haz no influye en el comportamiento energético de los electrones y, por ende, contradiciendo el modelo clásico que describía este fenómeno.*

## I. INTRODUCCIÓN

El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones de una superficie de un metal cuando radiación por primera vez en 1887 por Hertz en su trabajo de producción de las ondas electromagnéticas[3], el resultado de estas experimentaciones fue explicado en 1905 por Einstein usando la hipótesis de cuantos de luz. Ahora, este fenómeno, al ser de carácter cuántico tiene hechos que no se pueden explicar con la electromagnética, con una correcta frecuencia incide sobre un metal.[5] El fenómeno fue explicado clásicamente, lo cual abrió camino para una explicación cuantizada. En 1905 Einstein puso en duda la teoría clásica de la luz, propuso una nueva teoría y citó el efecto fotoeléctrico como una de las aplicaciones que podría probar cuál teoría era correcta. Einstein supuso que la cantidad de energía  $E$  del paquete o fotón está relacionado con su frecuencia  $\nu$  mediante la ecuación [2]

$$E = h\nu \quad (1)$$

Cuando se emite un electrón desde la superficie del metal, su energía es

$$K = h\nu - w \quad (2)$$

donde  $w$  es el trabajo necesario para sacar el electrón del metal y depende del tipo de metal. Algunos de los electrones están ligados más fuertemente que otros y algunos pierden energía en colisiones durante el trayecto; en el caso en el que el enlace sea el más débil y no existan pérdidas internas el foto-electrón emergerá con la energía cinética máxima  $K_{max}$ . Por tanto [2]

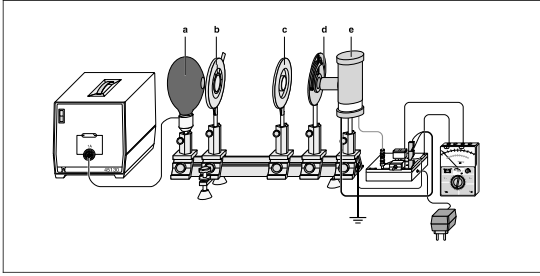
$$K_{max} = h\nu - w_0 \quad (3)$$

esta ecuación es conocida como la ecuación del efecto fotoeléctrico de Einstein. Entonces, se calcula el voltaje  $v_0$  para 5 longitudes de onda distintas en el cual no haya flujo de corriente, y así se halla la energía cinética máxima con la cual son emitidos los fotoelectrones, teniendo en cuenta que la superficie incidente es de potasio con una función trabajo de 2,25 eV, equivalente a  $3,56 \times 10^{-17}$  J [6].

## II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

La manera en la que se observa este fenómeno es gracias a una cámara de vacío, en la que se encuentran dos placas de metal, en las cuales se ve presente una diferencia de potencial. A una de estas placas de metal se irradia un rayo de luz monocromático, este desprende a los electrones del material. Debido a la diferencia de potencial presente entre las dos placas los electrones expulsados viajan a una de ellas, generando una corriente eléctrica la cual será leída por un amperímetro.

En la figura (1) se observa un bosquejo del montaje experimental, en donde se aprecia la complejidad de este.



**Figura 1:** Configuración del experimento[4]

En el componente *a* de la figura (1) tenemos el emisor de luz, en *b* se tiene el filtro de intensidad de luz, en *c* un lente para intensificar el rayo de luz, en el elemento *d* se puede cambiar la longitud de onda con la cual se va a irradiar a la placa metálica por medio de filtros especiales, y por último se encuentra la fotocelda (*e*) que es donde están las placas metálicas.

Con el montaje ya preparado se procede a la toma de datos. Se decidió que la primera parte del experimento se tomaría con una intensidad constante de luz. Para cada longitud de onda, 5 en total, se varia la dife-

rencia de potencial retardador hasta llegar a la corriente cero (el cambio del potencial se hace manualmente), estos datos son posibles gracias a la ayuda de un ordenador, el cual muestra en que momento parar de disminuir el potencial. Para la segunda parte del experimento se escogió a conveniencia uno de los filtros de longitud de onda, para que con este se variara la intensidad, y así poder comparar su resultado; al igual que en la primera parte las tomas de datos son posibles gracias a un ordenador.

Los resultados se muestran de forma gráfica, (*voltaje vs corriente*), donde el voltaje es aquel que se disminuye manualmente, y la corriente es la resultante de efecto fotoeléctrico, teniendo también en cuenta que el error de los filtros de longitud de onda es del 5%.

Del teorema de conservación de energía se tiene que los electrones con suficiente energía cinética inicial para llegar al ánodo, deberán vencer el potencial contrario, en el caso en donde no se cumpla se tiene que dar que:

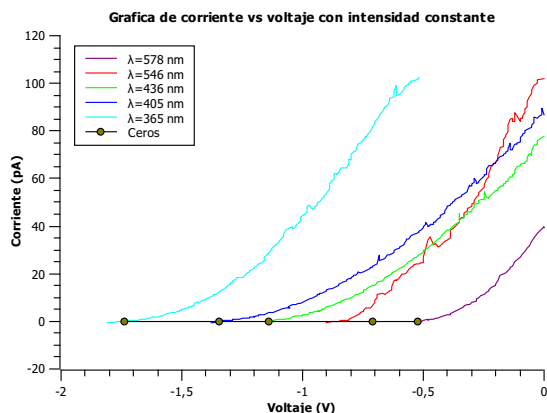
$$eV_0 = \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (4)$$

en donde el término de la izquierda corresponde a la energía impuesta por la diferencia de potencial, y el de la derecha a la energía cinética del electrón. Con la ecuación (4) es posible calcular con que energía es expulsado el fotoelectrón.

## III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la primera parte del experimento, en el cual se tomaron datos para distintas longitudes de onda  $\lambda$  y misma intensidad, se obtuvo la figura 2, en esta gráfica se ve claramente como  $\lambda$  afecta la corriente, es decir, a mayor frecuencia o energía del haz de luz mayor desprendimiento de electrones

se presenta en la placa y mayor es la energía cinética con la que son desprendidos estos foto-electrones.

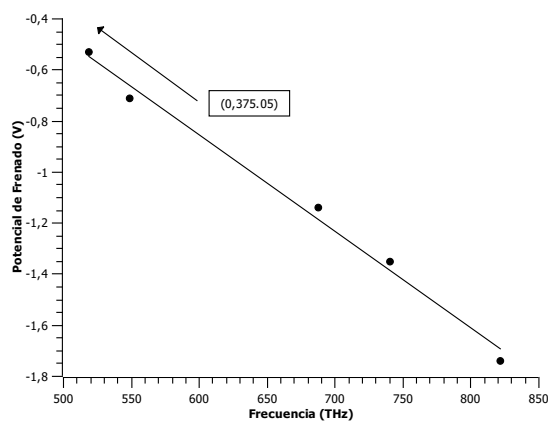


**Figura 2:** Gráfica de corriente en función del voltaje de retroceso para distinta longitudes de onda

Ahora, teniendo en cuenta la figura 3, se observa un comportamiento lineal inverso, así pues, acomodando la mejor recta a los datos, y encontrando su punto de corte con el eje  $x$ , se observa la presencia de que para una frecuencia distinta de cero no existe el efecto, es decir, que el material tiene una energía mínima para que los electrones puedan ser desprendidos por la luz incidente, en este caso esa frecuencia es de 375 THz, que equivale a una longitud de onda aproximada de 800 nm.

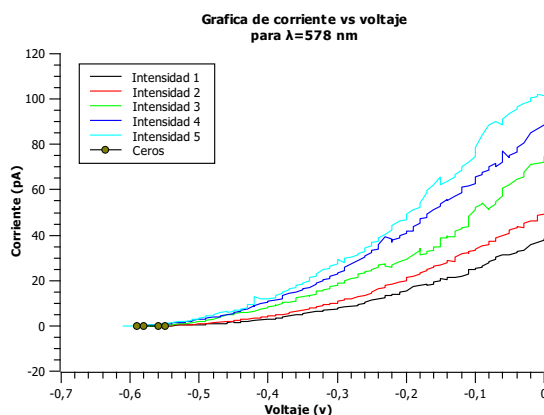
Clásicamente el efecto fotoeléctrico debería ocurrir para todas las frecuencias tomando en cuenta únicamente la intensidad incidente y no la energía, sin embargo, existe una frecuencia característica de corte  $\nu_0$  para lo cual frecuencias menores a esta, no ocurre el fenómeno sin importar qué tanta intensidad tenga el haz, este comportamiento indica claramente problemas en la teoría clásica para estas escalas.

En la segunda parte, donde se tomaron



**Figura 3:** Gráfica de voltaje de frenado en función de la frecuencia

medidas de corriente para distintas intensidades a una misma longitud de onda, ilustrado en la figura 4, se observa que a pesar de que la intensidad va en aumento, la energía cinética de los fotoelectrones converge a la misma, en la tabla 1 se ve que en un par de casos es igual, pero que aun así, las diferencias porcentuales no superan el 8 %, es decir, que la intensidad de la corriente no depende de la intensidad con la que se irradie la placa.



**Figura 4**

Clásicamente la teoría ondulatoria exige que el vector eléctrico oscilante  $E$  de la onda

luminosa aumente en amplitud conforme aumenta la intensidad del haz luminoso. Puesto que la fuerza aplicada al electrón es  $qE$ , se sugiere que la energía de los fotoelectrones también debería aumentar de acuerdo con el aumento de la intensidad del haz luminoso, sin embargo, los datos de la tabla 1 correspondiente a los ceros de la figura 4, muestra que la energía cinética máxima, es igual a  $eV_0$  es independiente de la intensidad de la luz [2]; con esto ya son dos hechos que la teoría clásica no predice bien, en otras palabras, el fenómeno no tiene explicación clásica.

**Tabla 1:** Ceros de la figura 4

Intensidad	Voltaje Crítico $\pm 0,01$ V
Intensidad 1	-0,55
Intensidad 2	-0,55
Intensidad 3	-0,56
Intensidad 4	-0,58
Intensidad 5	-0,59

Además, por la literatura, la predicción clásica nos dice que a bajas intensidades, debería haber un intervalo de tiempo medible entre el momento que la luz es encendida y el tiempo en que el electrón es liberado del metal, este tiempo es requerido para que el electrón absorba energía de la luz incidente antes de que adquiera suficiente energía para poder escapar de la placa, pero experimentalmente los electrones se liberan casi instantáneamente sin que ocurra este intervalo de tiempo, poniendo en tela de juicio la validez de la teoría clásica para estas escalas.[7]

A fin de cuentas, se presentaron tres problemas en los cuales las predicciones de la teoría clásica no eran congruentes con los resultados de la experimentación, así que,

utilizando la ecuación 3, que es de origen cuántico, se pudo corroborar que efectivamente a estas escalas la física se comporta cuantizadamente.

#### IV. CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos, en particular en la segunda parte del experimento se puede concluir que, la intensidad del rayo de luz emitido no tiene influencia alguna sobre la corriente generada en la placa.
- Para el caso de este experimento se observó que, para frecuencias menores a 375 hz el efecto fotoeléctrico no se da, lo cual dice que existe cierta energía mínima emitida por el rayo de luz para excitar los electrones, lo cual contradice la teoría clásica.
- Se comprobó que el efecto fotoeléctrico es verdaderamente un fenómeno cuántico, se comprobó la veracidad de la ecuación de Einstein y sus predicciones para este fenómeno.

#### REFERENCIAS

- [1] A. C. M. Jim Napolita, *Experiments in Modern Physics*. Second Edition. USA: ACADEMIC PRESS.
- [2] R. Eisberg, *Física Cuántica*. Limusa, México D.F (1983).
- [3] H. SEMAT, J. R. ALBRIGHT *Introduction to Atomic and Nuclear Physics*. fifth edition. U.S.A.: Rinehart and Winston. (1985)
- [4] LEYBOLD didadtcic, *Instruction Manual: Photoelectric Effect Apparatus* Leybold. (1989)

- [5] PASCO Scientific, *Instruction Manual: Photoelectric Effect Apparatus* Pasco. (1989)
- [6] H. Haken, H. C. Wolf, *Atomic and Quantum Physics: An Introduction to the Fundamentals of Experiment and Theory* Second Enlarged Edition. Springer.
- [7] Raymond A. Serway, John W. Jewett, Jr., *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* Ninth Edition. USA. BROOKS/COLE, CENGAGE Learning. (2014)