

# EFFECTO FOTOELÉCTRICO

Federico Dos Reis; Alfredo Daniel Sánchez

10 de abril de 2011

## Resumen

Los objetivos de la presente experiencia fueron la calibración de un monocromador y el estudio del efecto fotoeléctrico producido en un fototubo. Se determinaron la recta de calibración del monocromador, la constante de Planck, la cual dio un valor  $h = (1.68 \pm 0.05) \cdot 10^{-34} Js$  y la función de trabajo del cátodo  $\phi = (0.28 \pm 0.02) \cdot 10^{-19} J$ .

## 1. Introducción

Antes de describir la experiencia es conveniente exponer una breve explicación histórico-teórica del efecto fotoeléctrico. En 1887, investigando la descarga eléctrica entre dos electrodos usada como fuentes de ondas electromagnéticas, Heinrich Hertz observó que la intensidad de la descarga aumentaba cuando se iluminaba los electrodos con luz ultravioleta. Este efecto sugirió que las superficies iluminadas emitían más electrones. Un año más tarde, Wilhelm Hallwachs observó emisión electrónica cuando iluminaba las superficies de ciertos metales como el zinc, el rubidio, el potasio y el sodio. El proceso por el cual se liberan electrones de un material por la acción de la radiación se denomina *efecto fotoeléctrico*.

La emisión fotoeléctrica aumenta cuando aumenta la intensidad de la radiación que incide sobre la superficie del cátodo, ya que hay más energía disponible para liberar electrones; pero también se observa que depende de la frecuencia  $\nu$  de la radiación incidente. Esto significa que para cada sustancia hay una frecuencia mínima o umbral de frecuencia  $\nu_0$  de la radiación electromagnética por debajo de la cual no se producen fotoelectrones por más intensa que

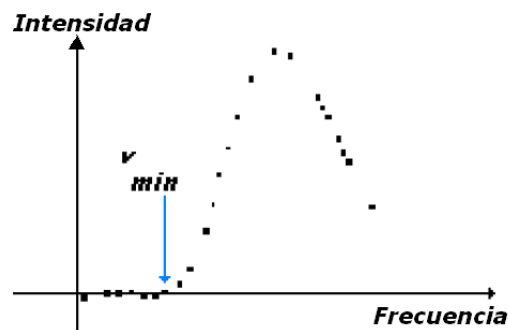


Figura 1: Corriente fotoeléctrica en función de la frecuencia de la radiación incidente.

sea la radiación. La figura 1 muestra la corriente fotoeléctrica en función de la frecuencia de radiación electromagnética incidente.

En los metales hay electrones que se mueven más o menos libremente a través de la red cristalina. Estos electrones no escapan del metal a temperaturas normales porque no tienen energía suficiente para sobrepasar la energía potencial coulombiana en la superficie del metal. Llamemos  $\phi$  a la energía necesaria para que un electrón escape de un metal dado. Luego, si el electrón absorbe una energía  $E$ , la diferencia  $E - \phi$  aparecerá como energía cinética  $E_k$  del electrón que escapa. Podemos escribir entonces:

$$E_k = E - \phi$$

Es evidente que si  $E < \phi$  no habrá emisión electrónica. En 1905 y basándose en el trabajo de Planck, Einstein propuso que:

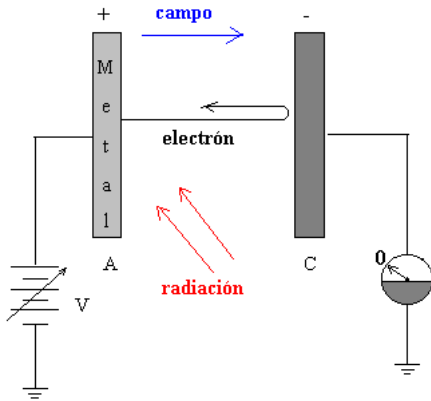


Figura 2: Esquema para la medición de  $E_k$ .

$$E_k = h\nu - \phi \quad (1)$$

donde  $h$  es la constante de Planck.

Para medir la  $E_k$  se puede emplear un dispositivo como el de la figura 2. Aplicando una diferencia de potencial  $V$  entre las caras A y C se retarda el movimiento de los fotoelectrones. Para un voltaje  $V_0$  determinado, la corriente indicada por el electrómetro cae a 0, lo cual indica que ni los electrones más rápidos llegan a la placa C.

Luego,  $E_{k,max} = eV_0$  y (1) se convierte en:

$$eV_0 = h\nu - \phi \quad (2)$$

Si la frecuencia de la onda incidente es  $\nu_0$  entonces los electrones son sacados del material pero su energía  $E_k = 0$ , por lo que (2) queda:

$$h\nu_0 = \phi \quad (3)$$

Si se estudia la dependencia entre la corriente fotoeléctrica y el voltaje aplicado entre las placas se observa un gráfico como el que se exhibe en la figura 3.

Puede observarse que a  $V = V_0$  no hay corriente fotoeléctrica<sup>[1]</sup>.

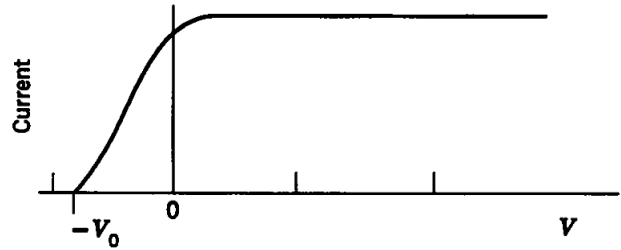


Figura 3: Dependencia de la fotocorriente y el voltaje aplicado entre el ánodo y el cátodo.

## 2. Descripción experimental

Para obtener la constante de Planck se desarrolló un dispositivo experimental basado en el de la figura 2. Se utilizó un monocromador de prismas Winkel-Zeiss/Gottingen. Previamente se lo calibró colocando lámparas de distintos gases y distinguiendo los espectros discretos. Para ver la calibración del monocromador consultar el Apéndice al final del trabajo.

En el efecto fotoeléctrico, se midieron corrientes del orden del  $\mu A$ . Para esto fue necesaria la utilización de un amplificador *Lock-in* (el modelo utilizado fue SR830). Se armó el dispositivo de la figura 4.

Al *LED* se lo alimentó con  $3 V_{rms}$  y con una frecuencia de modulación  $960,1 kHz$ . Desde una computadora se programó una rampa de tensión (para el output X1) que iba desde  $-10 V$  hasta  $10 V$ . Esto permitió observar el fenómeno y realizar una curva corriente  $I$  vs. tensión  $V$ . Luego, se disminuyó el intervalo de la rampa de voltaje para poder observar en detalle el valor  $V_0$  a partir del cual comienza a haber fotocorriente. Se verificó la repetitibilidad del experimento en iguales condiciones y se realizó para distintas longitudes de onda, cambiando los diodos *LED* y haciendo una selección con el monocromador.

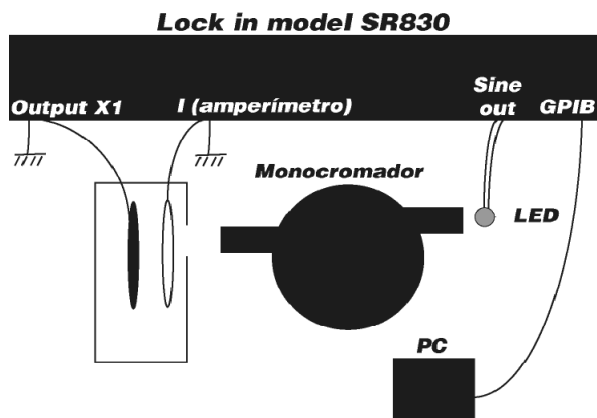


Figura 4: Dispositivo experimental para estudiar el efecto fotoeléctrico.

### 3. Resultados

Como se dijo anteriormente, uno de los objetivos de la experiencia fue determinar el valor de la constante de Planck  $h$ . Para ello primero fue necesario medir el valor de  $V_0$  para cada frecuencia con la que se excitó al foto tubo. Para medir el valor de  $V_0$  se realizaron mediciones de la foto corriente en función del voltaje aplicado entre el ánodo y el cátodo. En la figura 6 se muestra una de las mediciones para una longitud de onda  $\lambda = 450nm$ .

Puede apreciarse en esta medición que hay dos regiones de interés: una que tiene una tendencia de datos horizontal y otra con una tendencia de los datos sobre una recta oblicua. Se tomó como criterio asignar el valor de  $V_0$  al punto donde estas dos rectas hipotéticas se intersecan.

A partir de estas consideraciones se obtuvieron los valores de  $V_0$  para las frecuencias correspondientes. Dichos valores se exponen en el cuadro 1.

Con estos valores se realizó un ajuste lineal con el que se obtuvo la constante de Planck  $h$ , conociendo

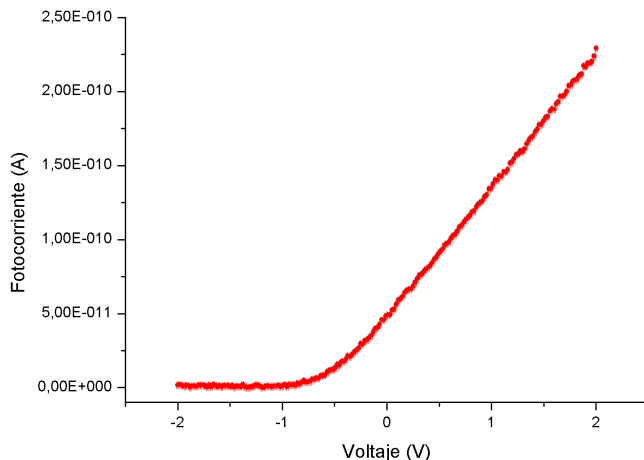


Figura 5: Medición de la foto corriente en función del voltaje entre el ánodo y el cátodo del foto tubo.

$V_0$ [V]	$\delta V_0$ [V]	$\nu$ [GHz]	$\delta \nu$ [GHz]
0.52	0.01	14.58	0.49
0.44	0.02	13.12	0.39
0.39	0.01	11.92	0.33
0.35	0.01	10.94	0.27
0.33	0.01	10.49	0.25
0.31	0.01	10.09	0.23
0.28	0.01	9.72	0.22
0.26	0.03	9.37	0.20

Cuadro 1: Valores obtenidos de  $V_0$  para las frecuencias de las ondas incidentes.

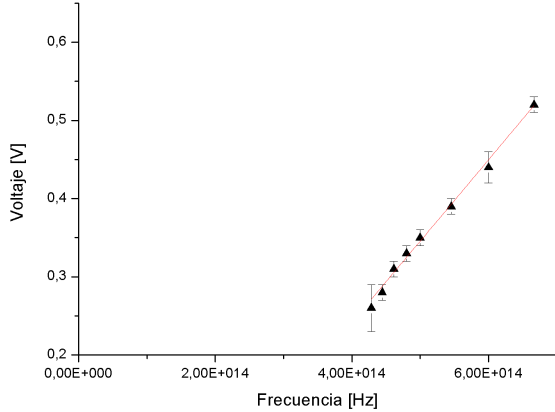


Figura 6: Ajuste lineal de los datos del valor de  $V_0$  en función de la frecuencia de la onda incidente.

a la vez el valor de la carga eléctrica fundamental  $e = (1,602176487 \pm 0,000000040) \cdot 10^{-19} C$ <sup>[2]</sup>. Dicho valor fue  $h = (1,68 \pm 0,05) \cdot 10^{-34} Js$ . Con el valor de la ordenada al origen multiplicado por el valor de la carga eléctrica fundamental se obtuvo el valor de la función de trabajo. Dicho valor fue  $\phi = (0,28 \pm 0,02) \cdot 10^{-19} J$ . En la figura 6 puede verse dicho ajuste.

Cabe destacar que la forma en que se halló la función de trabajo no era la más adecuada ya que la ordenada al origen del ajuste lineal no era del todo precisa. Una manera más adecuada de medir  $\phi$  era encontrar  $\nu_{min}$ , que es la frecuencia a partir de la cual deja de existir fotocorriente. De esta forma, con  $\phi = h\nu_{min}$  se pudo haber determinado  $\phi$ , aunque no se realizó esto por razones de tiempo.

## 4. Conclusiones

Se pudo calibrar el monocromador, aunque queda pendiente hacer un análisis más preciso de la rendija de entrada para reducir la incertidumbre en la longitud de onda. Se pudo observar el efecto fotoeléctrico

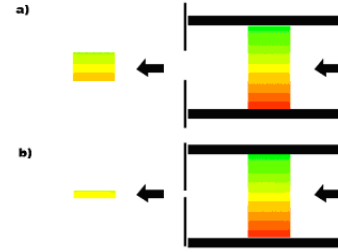


Figura 7: Se observa la salida del monocromador con la rendija ancha (a) y con la rendija más fina (b). En (b) se deja salir una parte menor del espectro.

y hallar la tensión a partir de la cual comenzaba a aparecer fotocorriente. A partir de esto se pudo determinar el valor de la constante de Planck, la cual dio en el orden de magnitud del valor tabulado. Además, se pudo hallar el valor de la función trabajo. La misma da un orden de magnitud menor que los valores tabulados. No se tuvo una hipótesis de a qué se debió esa diferencia.

## Referencias

- [1] Marcelo Alonso, *Fundamentos cuánticos y estadísticos*, Cap. 1, (1976).
- [2] <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>

## Apéndice

El monocromador posee un *dial* que selecciona longitudes de onda, que se movió y se observó a simple vista la salida del monocromador. En la figura 7 puede verse en detalle cómo variando la separación de las rendijas puede seleccionarse con mayor precisión los colores.

Al mismo tiempo, tiene una entrada de luz, con una rendija regulable, donde se colocó la lámpara. Con esta entrada se reguló la intensidad. La salida cuenta

máxima apertura de la rendija de salida, que fue de  $15\text{ nm}$ .

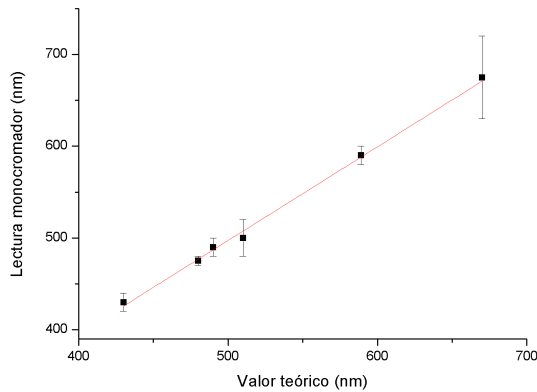


Figura 8: Gráfico de los valores observados en función de los valores tabulados de cada línea del espectro de  $(1,02 \pm 0,8)u.a$

con una regulación similar; esta rendija permite que se vean más o menos líneas del espectro. Para la calibración, en primer término, se mantuvo la rendija en su máxima apertura para ver más líneas y así ubicar la que se va a medir.<sup>1</sup>Luego, se ajusto la rendija y se vio en el *dial* cuándo comenzaba a aparecer a línea. Se lo movió hasta que se dejaba de verla. De estos dos valores (leídos del dial del monocromador) se tomaba como valor al promedio de los mismos y como incertidumbre a la diferencia sobre dos. Se realizó una curva de la longitud de onda tabulada de la línea de espectro medida versus el valor obtenido. En la figura 8 puede apreciarse un ajuste de dichas mediciones.

El *dial* del monocromador marca la frecuencia correcta con una incertidumbre que depende de la apertura de las rendijas y de la longitud de onda utilizada, pero que está acotada por la calibración realizada a

<sup>1</sup>Se consideró que la rendija de entrada servía para regular la intensidad y se la dejó lo más abierta posible. Fue un error porque además sirve para tener una entrada más finita. Y así hacer las líneas más delgadas y disminuir la incertidumbre (el ancho de cada banda). Eso no se tuvo en cuenta. Sólo se trabajó con la apertura de la rendija de salida.