

Carga específica del electrón

Claudia Cuellar Nieto.* and Noah Londoño**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 22 de octubre de 2023)

En este informe se presentan los resultados del experimento sobre la carga específica del electrón con el objetivo de medir la relación entre la carga neta y la masa del mismo. Ésto basándose en las propiedades de la carga y la fuerza magnética en la presencia de un campo en paralelo a la partícula. Por ello, se encontró el valor de dicha relación dadas dos relaciones diferentes entre las variables del sistema. Para la relación entre el voltaje y la corriente se encontró un valor de $(0,3 \pm 0,2) \times 10^{11} \text{C/kg}$; mientras que, para la relación entre corriente y número de vueltas en la trayectoria fue de $(1,55 \pm 0,35) \times 10^{11} \text{C/kg}$. Comparado con el valor teórico se encontró que ambas relaciones fueron precisas y exactas.

I. INTRODUCCIÓN

El físico J.J. Thomson es reconocido por descubrir la naturaleza corpuscular de la carga eléctrica en 1897, a través de experimentos con un tubo de vacío. Al exponer los rayos a campos eléctricos y magnéticos, observó que su comportamiento era constante, sin importar el tipo de gas en el tubo. Esto le permitió concluir que los rayos estaban compuestos por partículas cargadas, a las que llamó electrones.

$$\left| \hat{B} \right| = \mu_0 \frac{N}{L} I \quad (1)$$

Al disparar electrones desde el cátodo de una fuente de voltaje hacia la pantalla del tubo, con un voltaje conocido. Donde el tubo está inmerso en un campo magnético paralelo al tubo y es producido por un solenoide [1]. Éste puede aproximarse a una línea recta alargando la distancia de la figura. Por ende, se puede usar la ley de Ámpere para obtener la ecuación 1 en función de la magnitud del campo magnético.

$$\vec{F} = e \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

Siguiendo con la misma situación, la fuerza magnética que experimentará la carga puntual estará dada por el producto vectorial 2. Sin embargo, dado que el electrón no gana energía cinética del campo magnético, éste únicamente cambiará la dirección del movimiento del electrón. Por ello, la fuerza magnética que actúa sobre la partícula será la misma que en una trayectoria circular [2].

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 n^2 L^2 V}{\mu_0^2 N^2 I^2} \quad (3)$$

Teniendo en cuenta la longitud de la solenoide; la magnitud del campo magnético; y la relación entre la velocidad del electrón y el voltaje con el que es disparado

del tubo se puede determinar la relación entre la carga y la masa del electrón 3. El valor aceptado actualmente para dicha relación es $1,76 \times 10^{11} \text{ (C/kg)}$.

II. MONTAJE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del experimento se utilizó el montaje mostrado en la figura 1, donde ilustran los elementos usados para llevar a cabo la práctica: Fuente de voltaje (a); tubo de rayos catódicos (b); pantalla (c); bobina (d); y fuente de corriente (e). Para el tubo de rayos catódicos se ajustó el voltaje de disparo en 300.

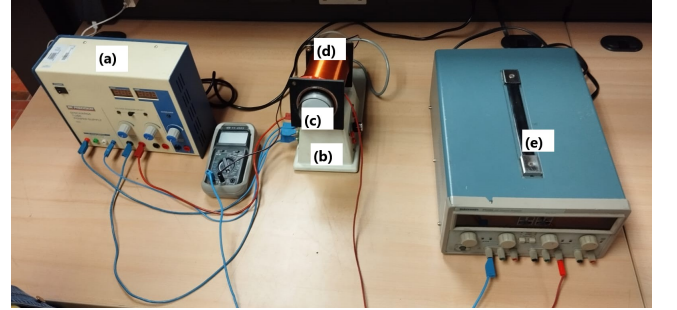


Figura 1. Montaje experimental para la toma de datos de la corriente dado un tubo de rayos catódicos. Dicho tubo hace que los electrones se desplacen en el vacío formando trayectorias helicoidales. Gracias a la dirección paralela del campo magnético los electrones tendrán una trayectoria helicoidal.

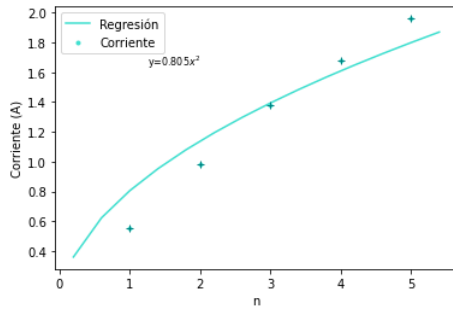
Dado que para este experimento se buscó un campo magnético solenoidal los electrones describirían trayectorias helicoidales. Gracias a esto, se tomaron distintos datos de la corriente; es decir, del campo magnético que enfocasen nítidamente el rayo de electrones en la pantalla. Así, se logró que los electrones describieran un número entero de vueltas de hélice antes de chocar con la pantalla. Luego, se registraron el el número de vueltas descritas por los electrones mientras se aumentaba la corriente.

* Correo institucional: c.cuellarn@uniandes.edu.co

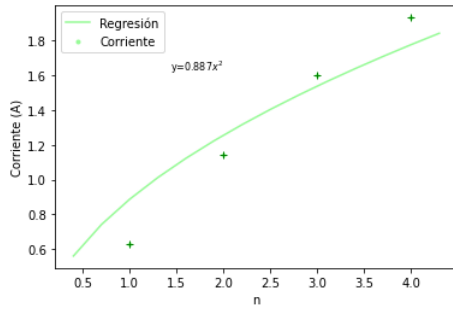
** Correo institucional: @uniandes.edu.co

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

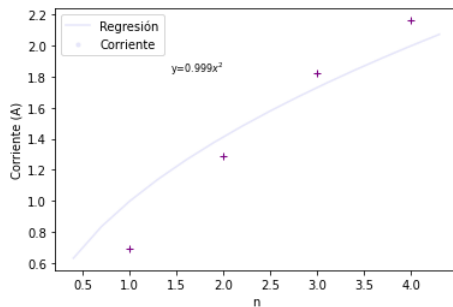
Gracias las constantes halladas para el montaje se lograron establecer las ecuaciones 1 y 3 para encontrar las relaciones para el campos magnético y la relación e/m . Dichas constantes fueron la longitud de la bobina ($l=0.15$ m), la longitud del tubo de rayos catódicos ($L=0.25$ m) y el número de espiras de la bobina ($N=570$).



(a) Relación entre corriente y vueltas enteras de la trayectoria para el valor de 300V.

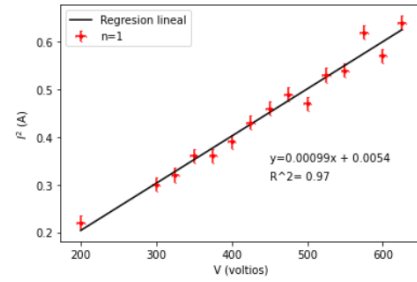


(b) Relación entre corriente y vueltas enteras de la trayectoria para el valor de 400V.

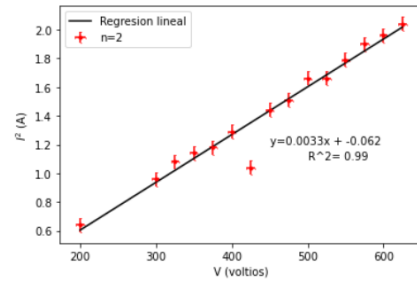


(c) Relación entre corriente y vueltas enteras de la trayectoria para el valor de 500V.

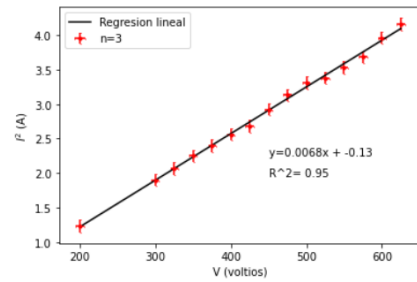
Figura 2. Regresiones que relacionan las vueltas enteras de la trayectoria del electrón dadas con la corriente generada bajo voltajes constantes. Ésta relación se presenta en la ecuación 3



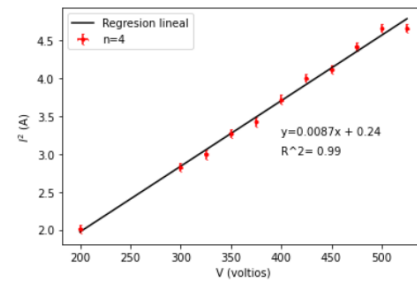
(a) Relación entre voltaje y corriente para una vuelta entera en la trayectoria.



(b) Relación entre voltaje y corriente para dos vueltas enteras en la trayectoria.



(c) Relación entre voltaje y corriente para tres vueltas enteras en la trayectoria.



(d) Relación entre voltaje y corriente para cuatro vueltas enteras en la trayectoria.

Figura 3. Diferentes regresiones lineales para cada vuelta entera de la trayectoria del electrón por su paso a través del tubo de rayos catódicos. Como se puede observar todas presentan una relación lineal dada la ecuación 3. Además, el punto de corte generado indica la corriente inicial relacionada al voltaje de corte. Éste último valor se determinó para el cual se empezó a observar la trayectoria del electrón.

Gracias a la relación entre el voltaje y la corriente graficamos dichos valores para obtener el promedio de ésta razón en cada vuelta entera en la trayectoria realizada por el electrón. Así, podemos establecer con el promedio de las pendientes de las regresiones para la figura () el valor de la ecuación 3. Por ello, el valor para la relación entre la carga y la masa del electrón será de $(1,55 \pm 0,35) \times 10^{11} C/kg$.

n	I_{prom} (A)	B ($\times 10^{-3} T$)
1	0.66	1.87
2	1.18	3.31
3	1.68	4.72
4	1.89	5.33

Cuadro I. Magnitudes para el campo magnético dado el número de vueltas realizada por el electrón y la corriente promedio registrada. Dichos valores cumplen con la relación 1, donde la magnitud del campo magnético resulta ser proporcional a la corriente dada una bobina selenoidal.

Además, se tomó el valor promedio para los valores de corriente utilizados y se calculó el campo magnético para cada vuelta entera en la trayectoria realizada por el electrón. Como se puede observar en el cuadro I al aumentar el número de vueltas en la trayectoria, también lo hace la magnitud del campo magnético. Ésto se debe a la relación proporcional entre el mismo y la corriente de la bobina, tal y como se expresa en la ecuación 1.

Nótese que las rectas presentadas en la figura 3 no pasan por el origen ya que presentan un punto de corte

propio del voltaje inicial dado para el tubo de rayos catódicos. Sin éste valor inicial no se lograría observar el electrón chocarse a la pantalla. Por lo tanto, la recta sí llega a cortar con el origen pero no de manera lineal, ya que generará un salto abrupto de cero al voltaje inicial.

Por otro lado, se encontró que mediante las gráficas de corriente vs n^2 se obtuvo que la relación entre la carga del electrón y la masa es de $(0,3 \pm 0,2) \times 10^{11} C/kg$. Lo cual, comparado con el valor real que se reporta en la literatura, es bastante preciso y exacto.

Una de las posibles fuentes de error puede ser la manipulación manual del voltaje y la corriente. Además, dados los grandes valores de voltaje utilizados la bobina se sobrecalentaba dado un pequeño intervalo de uso.

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, se logró estudiar la cinemática y dinámica de un electrón en el vacío dada la influencia de un campo magnético. Además, se halló el valor de la relación entre la carga y la masa del electrón dadas dos relaciones diferentes entre las variables del sistema. Para la relación entre el voltaje y la corriente se encontró un valor de $(0,3 \pm 0,2) \times 10^{11} C/kg$; mientras que, para la relación entre corriente y número de vueltas en la trayectoria fue de $(1,55 \pm 0,35) \times 10^{11} C/kg$. También, utilizando las relaciones entre la fuerza magnética y la trayectoria del electrón, se calculó la magnitud del campo magnético utilizado para cuatro vueltas en la trayectoria del electrón. Dichos valores fueron respectivamente 1,87, 3,31, 4,72 y $5,33 \times 10^{-3} T$.

-
- [1] A. Busso. La espira y el solenoide, 2003.
 - [2] U. de Valencia. Relación e/m del electrón.
 - [3] Universidad de los Andes. *Guía de laboratorio-Física moderna*, 2021.

APÉNDICE DE CÁLCULO DE ERRORES

Para la figura 2 se utilizó la regresión cuadrática 4 en el programa Jupyter notebook. Además, todos los cálcu-

los de incertidumbre se realizaron en el mismo ambiente de programación utilizando el método de mínimos cuadrados.

$$y = \alpha x^2 \quad (4)$$

Por otra parte, para la figura 3 se utilizó una regresión lineal ?? en el programa Jupyter notebook.

$$y = \frac{V}{I^2} x + b \quad (5)$$