

Informe 6: Curva Característica de un LED

Juana Valeria Pinzón* and Sergio Laverde**

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

(Dated: 8 de abril de 2024)

El presente informe aborda el estudio de los diodos emisores de luz (LEDs). Se explora el comportamiento de los LEDs en función del voltaje aplicado y la corriente que fluye a través de ellos, así como su capacidad para emitir luz. Se realiza la determinación de la constante de Planck mediante la relación entre la frecuencia de los fotones emitidos y el voltaje de encendido del LED. Los resultados obtenidos muestran curvas características exponenciales para cada LED, indicando su eficiencia luminosa y su tensión de encendido específica. Además, se establece una relación entre los voltajes de encendido y los colores emitidos por los LEDs, mostrando una relación inversa entre la longitud de onda y los voltajes de encendido. Se obtuvo como resultado para la constante de Planck un valor de $(4,4832 \pm 2,2176) \times 10^{-15} eV \cdot s$.

I. INTRODUCCIÓN

Los diodos son dispositivos semiconductores que permiten el flujo de corriente en una dirección. El funcionamiento de un diodo, incluyendo los LEDs, se fundamenta en su capacidad para permitir el flujo de corriente en una dirección y, en el caso específico de los LEDs, para emitir luz cuando se polarizan directamente.

La curva característica que describe la relación entre el voltaje aplicado y la corriente que fluye a través del diodo. Para diodos ideales, esta curva sigue el modelo de Shockley, que relaciona la corriente con el voltaje a través de la ecuación exponencial: $I = I_s \cdot (e^{(V/V_T)} - 1)$, donde I_s es la corriente de saturación y V_T es la tensión térmica. [4]

La determinación de la constante de Planck se basa en la relación entre la energía de los fotones emitidos por el LED y la frecuencia de la luz, lo que permite establecer una conexión entre el voltaje de encendido del LED y la constante de Planck. La constante de Planck (h) puede determinarse a partir de la relación entre la energía de los fotones emitidos por un LED y la frecuencia de la luz, mediante la ecuación $E = h \cdot f$. Utilizando la relación entre la energía del fotón y el voltaje de encendido del LED, se obtiene h . [2]

II. MONTAJE Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El montaje consistió en conectar un LED en serie con la resistencia y el amperímetro, un voltímetro entre las

terminales del LED y todo este conjunto conectarlo en paralelo con la fuente de voltaje variable y el reóstato como se muestra en la figura 1.

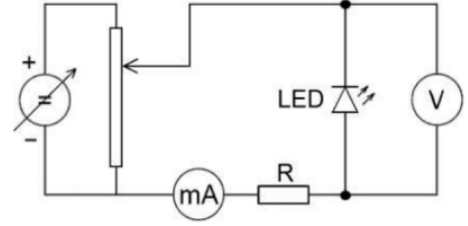


Figura 1. Esquema montaje experimental.[1]

Se muestra el circuito empleado donde se muestra la disposición de los elementos electrónicos.

La metodología experimental inicialmente consistió en verificar que el circuito esté correctamente instalado, para ello se fijó el valor máximo de resistencia del reóstato y con una corriente no mayor a $20mA$ y se varió el voltaje donde se observó un aumento apreciable de la corriente a un voltaje superior a $1V$. Confirmando la correcta disposición del LED en el circuito.

Seguido de esto, primero se midieron voltaje y corriente desde $0\mu A$ hasta $200\mu A$ en intervalos de $20\mu A$. A continuación de esto último se procedió a medir voltaje y corriente en intervalos de $0,1mA$ desde $0,2mA$ hasta alcanzar el doble del voltaje de encendido.

Se realizó la anterior metodología para 4 LEDs con sus respectivas longitudes de onda de los máximos de emisión con $FWHM = 330nm$: rojo ($659nm$), ámbar ($590nm$), verde (567) y azul ($469nm$).

* Correo institucional: j.pinzonr@uniandes.edu.co

** Correo institucional: s.laverdeg@uniandes.edu.co

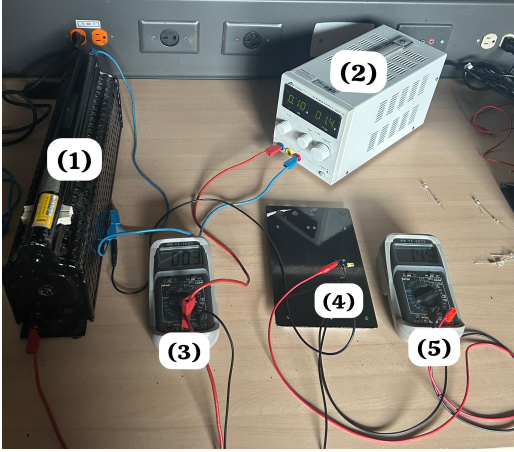


Figura 2. montaje experimental: En la imagen se puede observar un Reóstato (1), una fuente de voltaje continua (2), un amperímetro (3), 4 conjuntos de LEDs (Azul, Ambar, Rojo y Verde), resistencias (4) y un voltímetro (5).

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para la primer parte del análisis se procedió a graficar las curvas características de todos los LED (II, III, IV, V) en escala logarítmica como se muestra en la figura 3.

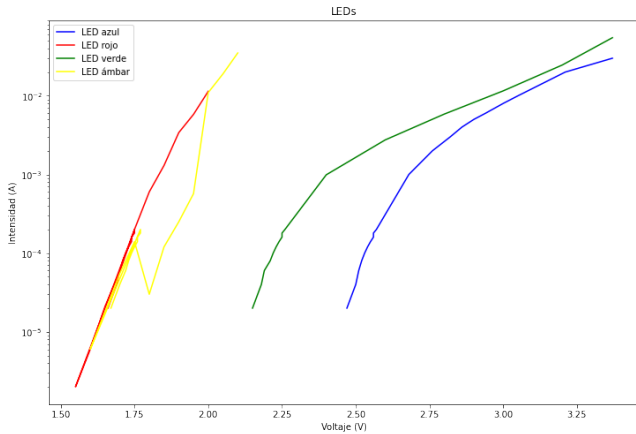


Figura 3. Curvas características de los 4 LED.

La grafica corresponde a intensidad de corriente en escala logarítmica vs voltaje para cada LED estudiado.

De la gráfica obtenida se puede observar que las curvas de todos los LEDs muestran un comportamiento exponencial. A medida que aumenta el voltaje, la corriente también aumenta, pero no de manera lineal. Esto se debe a las propiedades semiconductores de los LEDs. Además, cada LED tiene una tensión de encendido específica. Por debajo de esta tensión, el LED no emite

luz. Por ejemplo, el LED azul comienza a emitir luz alrededor de 2.15 V, mientras que el LED rojo lo hace a alrededor de 1.66 V. Por otro lado, la pendiente de cada curva indica la eficiencia luminosa del LED. Algunos LEDs son más eficientes en la conversión de energía eléctrica en luz visible que otros. Finalmente, los diferentes colores de LEDs tienen diferentes materiales semiconductores y bandas de energía. Esto afecta sus características eléctricas y, por lo tanto, sus curvas.

Por otro lado, el modelo teórico de Shockley describe la relación entre la corriente y el voltaje en un diodo semiconductor. Según este modelo, la corriente a través del diodo está relacionada exponencialmente con el voltaje aplicado. Las curvas que se muestran en la gráfica a pesar de que se presentan en una escala logarítmica, los valores obtenidos se asemejan al modelo teórico de Shockley para diodos, ya que a medida que el voltaje aumenta, la intensidad (corriente) también aumenta.

Esto coincide con la predicción del modelo de Shockley, donde la corriente aumenta exponencialmente con el voltaje.

Por otro lado, para obtener la constante de Planck, primero se calculó la frecuencia correspondiente de cada LED con la fórmula:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Los valores de λ usados son los correspondientes a cada color reportados en el cuadro I. Además, se establece la relación entre la frecuencia de la luz emitida y el voltaje de encendido dada por la ecuación 2:

$$eV_e = hf \quad (2)$$

Donde e es la carga del electrón. Posteriormente, escogiendo unidades relacionadas con electronvoltios (eV), se ajusta un modelo mediante regresión por mínimos cuadrados (VI) como se puede observar en la figura 4. La pendiente de esta gráfica nos proporcionó el valor de h el cuál fue:

$$h = (4,48315787 \pm 2,21761119) \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9896$$

El valor obtenido de R^2 indica que el modelo se ajusta considerablemente bien a los datos. Asimismo, comparamos el valor obtenido de h experimentalmente con el teórico para evaluar la precisión y exactitud del valor obtenido. El error absoluto del valor calculado (3) de la constante de Planck comparando con el valor esperado ($4.136667696 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$) es de aproximadamente $3.46 \times 10^{-16} \text{ eV} \cdot \text{s}$, lo que indica una alta exactitud en la determinación de la constante.

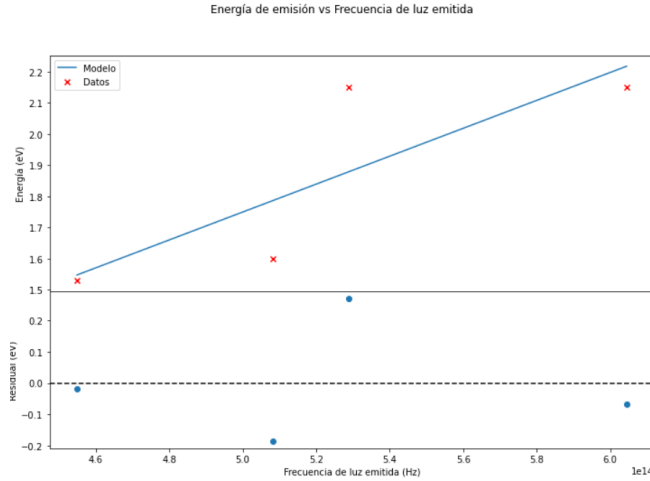


Figura 4. Voltajes medidos vs. frecuencia de la luz emitida. La gráfica muestra los datos experimentales y la regresión lineal obtenida. Además, se muestra un gráfico de residuos.

Sin embargo, en cuanto a precisión se evidencia una desviación estándar del 49 % del valor obtenido, lo que sugiere que no se obtuvo precisión en este caso.

LED	Longitud de onda	Voltaje de emisión
Rojo	659nm	1.53V
Ámbar	590nm	1.6
Verde	567nm	2.15
Azul	469nm	2.15

Cuadro I. Longitud de onda y voltajes de emisión de los LED estudiados.

En el laboratorio se midieron los voltajes de encendido de cada LED, los resultados se reportan en el cuadro I. Voltajes con los cuales se puede establecer una relación directa con los colores emitidos y sus correspondientes longitudes de onda.

Los resultados obtenidos indican que a medida que la longitud de onda disminuye, es decir, que el color de la luz emitida se desplaza hacia el extremo azul del espectro visible, los voltajes de encendido tienden a aumentar. Esto se evidencia al comparar los voltajes de emisión registrados en el cuadro I, donde el LED rojo, con la longitud de onda más larga (659 nm), presenta el voltaje más bajo (1.53 V), mientras que el LED azul, con la longitud de onda más corta (469 nm), tiene un voltaje de emisión más alto (2.15 V). Esta relación sugiere una correspondencia inversa entre la energía de la luz emitida y los voltajes de encendido, lo que es consistente con la teoría de la relación entre la energía de un fotón y su longitud de onda.

IV. CONCLUSIONES

En este informe sobre diodos emisores de luz (LEDs), se pudo observar su comportamiento en función del voltaje aplicado y la corriente que fluye a través de ellos. Se verificó que las curvas características de los cuatro LEDs siguen un comportamiento exponencial, mostrando una relación inversa entre los voltajes de encendido y las longitudes de onda de la luz emitida. Esto coincide con la teoría de la relación entre la energía de un fotón y su longitud de onda, como lo establece la ecuación 2.

Además, se logró determinar la constante de Planck (h) mediante la relación la frecuencia de los fotones emitidos y el voltaje de encendido del LED. El valor experimental obtenido para la constante de Planck fue de $4,483 \times 10^{-15} eV \cdot s$, con una incertidumbre de $2,218 \times 10^{-15} eV \cdot s$. La comparación con el valor aceptado de la constante de Planck mostró que se obtuvo una alta exactitud evidenciada por un error relativo de aproximadamente 8,38 %, pero no se obtuvo precisión debido a un valor considerablemente alto de desviación estándar de $2,22 \times 10^{-15} eV \cdot s$, aproximadamente el 49 % del valor obtenido.

Finalmente, al analizar los voltajes de encendido de los LEDs en relación con los colores emitidos y sus longitudes de onda, se confirmó una relación inversa entre la energía de la luz emitida y los voltajes de encendido.

V. CRITERIOS

- Precisión: $:= \frac{\sigma}{X_{exp}} \leq 0,1$
- Exactitud: $:= |X_{real} - X_{exp}| \leq 2,5 \cdot \sigma$

VI. APÉNDICE DE CÁLCULO

- Ajuste lineal por mínimos cuadrados[3]:

$$\begin{aligned} \mathbb{A}^T \mathbb{A} \vec{x}^* &= \mathbb{A}^T \vec{b} \\ Proj_{C(\mathbb{A})} \vec{b} &:= \mathbb{A} \vec{x}^* \end{aligned} \quad (4)$$

■ Incertidumbre de mínimos cuadrados[3]:

$$\begin{aligned}
 \hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n-p} (\vec{b} - \mathbb{A}\vec{x}^*)^T (\vec{b} - \mathbb{A}\vec{x}^*) \\
 Cov(\vec{x}^*) &= \hat{\sigma}^2 (\mathbb{A}^T \mathbb{A})^{-1} \\
 R^2 &= \frac{Cov(m, b)^2}{Var(m)Var(b)} \\
 \Delta x_i &= \sigma_{x_i} = \sqrt{Var(x_i)}
 \end{aligned} \tag{5}$$

VII. ANEXOS

Corriente (μ A)	Voltaje (V)
0.3	2.15
20	2.47
40	2.50
60	2.51
80	2.52
100	2.53
120	2.54
140	2.55
160	2.56
180	2.56
200	2.57

Corriente (mA)	Voltaje (V)
1	2.68
2	2.76
3	2.82
4	2.86
5	2.90
6	2.94
8	3.00
10	3.05
20	3.21
30	3.37

Cuadro II. Resultados para el LED Azul

Corriente (μ A)	Voltaje (V)
20	1.66
40	1.69
60	1.70
80	1.71
100	1.72
120	1.73
140	1.74
160	1.74
180	1.75
200	1.75

Corriente (mA)	Voltaje (V)
0.002	1.55
0.006	1.60
0.021	1.65
0.058	1.70
0.2	1.75
0.6	1.80
1.3	1.85
3.4	1.90
5.8	1.95
11.4	2.00

Cuadro III. Resultados para el LED Rojo

Corriente (μ A)	Voltaje (V)
20	2.15
40	2.18
60	2.19
80	2.21
100	2.22
120	2.23
140	2.24
160	2.25
180	2.25
200	2.26

Corriente (mA)	Voltaje (V)
0.2	2.26
0.99	2.4
2.75	2.6
5.85	2.8
11.55	3.0
24.6	3.2
54.7	3.37

Cuadro IV. Resultados para el LED Verde

Corriente (μ A)	Voltaje (V)
20	1.67
40	1.70
60	1.72
80	1.73
100	1.74
120	1.75
140	1.76
160	1.76
180	1.77
200	1.77

Corriente (mA)	Voltaje (V)
0.006	1.60
0.018	1.65
0.055	1.70
0.140	1.75
0.3	1.80
1.2	1.85
2.5	1.90
0.57	1.95
11	2.00
19	2.05
35	2.10

Cuadro V. Resultados para el LED Ámbar

[1] D. de Física de la Universidad de los Andes. Diodos. n.d.

[2] G. L. Pearson and J. R. Haynes. *The Bell System technical journal*. American Telephone and Telegraph Company, 1984.

[3] M. A. Segura Delgado. *Métodos Computacionales*. 2023.

[4] K. K. Simon Sze. *Physics of semiconductor devices*. Wiley-Interscience editorial, 2006.