

Curva característica de un LED y el cociente h/e

20 puntos

Un **LED** (Diodo Emisor de Luz o Light Emitting Diode, por sus siglas en inglés) es un dispositivo electrónico, hecho de un material semiconductor, que emite luz cuando circula por él una corriente I . Podemos decir, de manera sencilla, que la intensidad de la luz del LED depende de la corriente eléctrica que fluye por él. Existen diferentes tipos de LED que, de manera sencilla, los podemos clasificar por el color de la luz que emiten.

Contrario a dispositivos sencillos, el LED no obedece la Ley de Ohm. Es decir, la intensidad de la corriente I que fluye por el LED **no** es proporcional al voltaje V entre sus extremos. Se sabe que la relación (aproximada) que existe entre tales variables es

$$I = I_0 e^{V/V_0}, \quad (1)$$

donde I_0 y V_0 son cantidades que, en general, dependen del color del LED. A la relación anterior le podemos llamar la *curva característica* del LED en cuestión. El primer problema que usted resolverá será el hallar la curva característica de un LED rojo, es decir, tendrá que hallar los valores I_0 y V_0 del LED rojo. En un segundo ejercicio, usando también un LED azul, se le dará instrucciones para que pueda deducir el cociente h/e , donde h es la constante de Planck y e la carga del electrón.

Material:

- Una “tablita” con un circuito electrónico, cuyo funcionamiento se le explicará más abajo.
- Un desarmador para usarse en el potenciómetro de la tablita. Su uso se explicará también más abajo.
- Dos LEDS, uno que emite luz roja y otro que emite luz azul. Note que sin conectarse se ven transparentes. Note también que una de sus “patas” es más corta que la otra. La corta es el polo negativo y la larga el positivo.
- Un multímetro con cables (rojo y negro) con puntas metálicas (cubiertas) en uno de sus extremos. El uso del multímetro se explica más adelante.
- Dos cables con “caimanes”.
- Hojas de papel milimétrico.
- Regla, escuadras, lápiz, sacapuntas, goma y hojas para responder el problema.

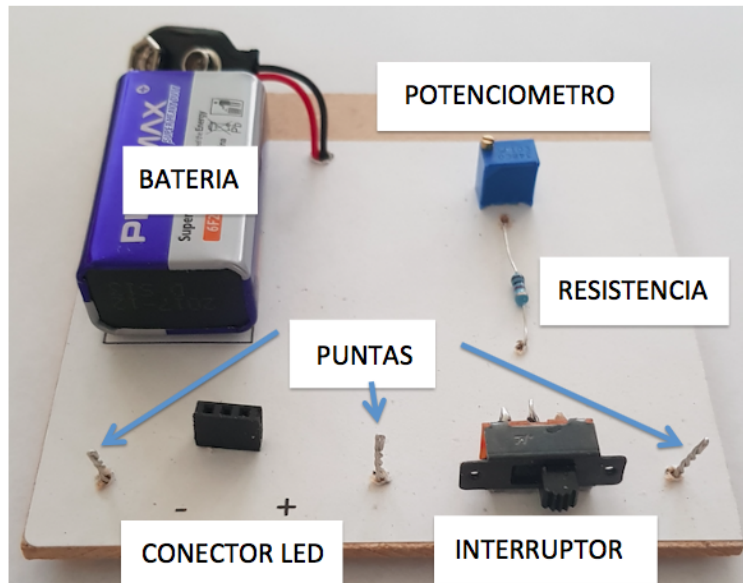


Figura 1

Descripción y uso del dispositivo electrónico (Tablita)

La tablita contiene 5 elementos electrónicos, vea la Figura 1:

- Una batería de 9 volts (aprox), con un “broche” para conectarla al circuito.
- Un potenciómetro, o resistencia variable. Note que tiene un pequeño tornillo en la parte superior. Girando este tornillo se puede variar la resistencia eléctrica del potenciómetro y, por lo tanto, la corriente que fluye en el circuito. El giro del tornillo lo realizará con el desarmador. **Este dispositivo es muy delicado. Realice los giros del tornillo con cuidado.**
- Una resistencia de 1000 Ohms, que sólo sirve para que la corriente en el circuito no sea muy alta. No tiene ningún uso en el experimento.
- Un interruptor (o switch) de corriente. Con el switch hacia la izquierda el circuito se cierra y la corriente fluye; con el switch a la derecha el circuito se abre y la corriente deja de fluir.
- Un conector para el LED. Note que se tienen marcados los polos eléctricos con los signos (-) y (+). En este conector usted fijará el LED, con la pata corta en el polo (-) (**extremo izquierdo**) y la larga en el (+) (**extremo derecho**) . Si los conecta al revés el LED no encenderá.
- Note que la tablita tiene tres “puntas” de alambre, una a la izquierda del conector del LED, otra en medio del conector y el interruptor, y la tercera a la derecha del interruptor. Su uso se explica abajo.

Antes de continuar, familiarícese con el dispositivo. Primero conecte el broche de la batería. Después conecte cualquiera de los LEDs. Asegúrese que la polaridad del LED esté bien conectada. Cierre el interruptor. Ahora gire el tornillo del potenciómetro. Debe observar que la luz del LED se hace más intensa cuando gire el tornillo en la dirección contraria a las manecillas del reloj. **Verifique que un LED emite luz roja y que el otro emite luz azul.**

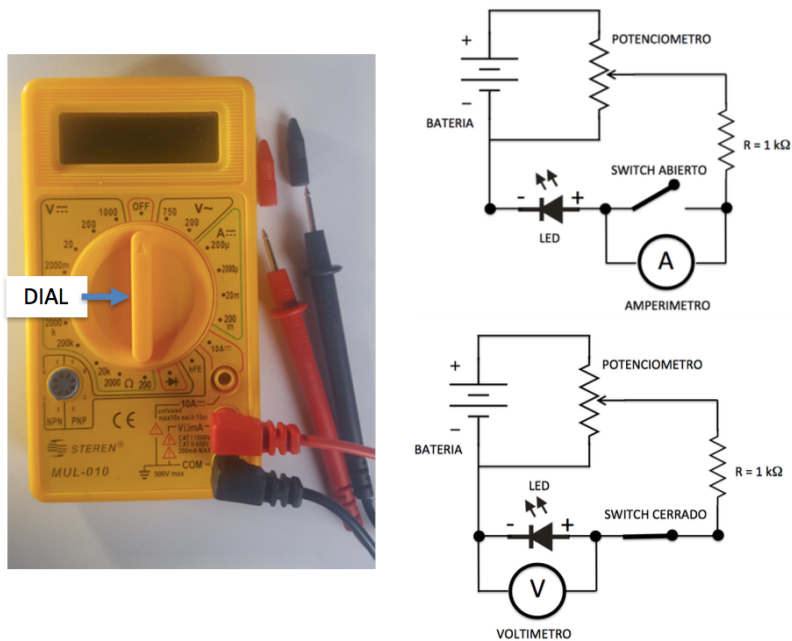


Figura 2

Descripción y uso del multímetro

En la Figura 2 se muestra como se conectan los cables negro y rojo al multímetro. Hágalo ahora. A partir de ahora no debe desconectarlos.

El multímetro se usará en este experimento, tanto como *voltímetro*, es decir, para medir voltajes, como *amperímetro*, es decir, para medir corrientes. Observe que en la parte central el multímetro tiene una perilla o *dial* que se puede girar para medir voltajes (V), corrientes (A) y resistencias (Ω).

- **Para medir voltajes**, coloque el dial en el número 20 de la sección V del multímetro. Esto quiere decir que puede medir voltajes desde $V = 0$ volts, hasta $V = 20$ volts. Recuerde que el voltaje se mide en *paralelo*. Para tales mediciones en la tablita, primero asegúrese que el interruptor (switch) esté **cerrado** y luego conecte el cable negro en la punta de la tablita que está a la izquierda del conector del LED, y el cable rojo en la punta que está enmedio del conector y el interruptor. Si lo desea puede usar los caimanes o simplemente asegúrese que las puntas del multímetro hagan contacto con las puntas de la tablita. Practique y observe que el voltaje cambia si usted gira el tornillo del potenciómetro. **Si el voltaje aparece con un signo negativo, no se preocupe, sólo invierta la conexión de las puntas y el signo cambiará. El voltaje que usted reportará será el valor absoluto.**

- **Para medir corrientes**, coloque el dial en el número 2000 μ de la sección A del multímetro. Esto quiere decir que puede medir corrientes desde $I = 0$ microamperes, hasta $I = 2000$ microamperes. Note que 1 microampere (μA) = 10^{-6} amperes (A). Recuerde que la corriente se mide en *serie*. Para esta medición, asegúrese que el interruptor (switch) esté **abierto** y luego conecte el cable negro en la punta de la tablita que está enmedio del conector y el interruptor; y el rojo en la punta que está a la derecha del interruptor. Practique y observe que la corriente cambia si usted gira el tornillo del potenciómetro. De nuevo, si aparece que la corriente es negativa, no se preocupe, anótela como positiva, o invierta las conexiones de los cables.

Pregunta 1 Medición de corrientes y voltajes del LED rojo**6 puntos**

Recuerde que la primera meta es hallar los valores de I_0 y V_0 , del LED rojo, de acuerdo a la ecuación (1). Note que al ir girando el potenciómetro, hallará que para cada valor de la corriente I le corresponde un valor del voltaje V . Realice suficientes mediciones de I y de V , tal que las corrientes que mida estén entre $5 \mu\text{A}$ y $1500 \mu\text{A}$. Describa brevemente el procedimiento de sus mediciones. Anote sus mediciones en la Tabla I.

Pregunta 2 Un cambio de variable ...**2 puntos**

La ecuación de la curva característica es,

$$I = I_0 e^{V/V_0}. \quad (2)$$

Realice un cambio de variable de la ecuación anterior, tal que se pueda escribir como la ecuación de una recta,

$$y = m x + b. \quad (3)$$

Identifique y , x , la pendiente m y la ordenada al origen b . En la Tabla I escriba los valores de las variables y y/o x que requirieron transformarse.

Pregunta 3 Análisis gráfico de la curva característica del LED rojo**5 puntos**

Usando los resultados del inciso anterior, realice un análisis gráfico de sus datos para calcular los valores de V_0 y de I_0 del LED rojo. Llame a estos valores $V_0^{(r)}$ y $I_0^{(r)}$. Reporte $V_0^{(r)}$ y $I_0^{(r)}$.

Pregunta 4 Analizando el LED azul**6 puntos**

El LED azul también obedece la ecuación (1), pero con sus propios valores de $I_0^{(a)}$ y de $V_0^{(a)}$, donde el superíndice (a) denota “azul”. Se puede comprobar que el valor de $V_0^{(a)}$ es aproximadamente igual a $V_0^{(r)}$, es decir $V_0^{(a)} = V_0^{(r)}$. Sin embargo, $I_0^{(a)}$ sí es muy diferente de $I_0^{(r)}$. El propósito de esta tarea es hallar el valor de $I_0^{(a)}$ del LED azul, con un método diferente al de la Pregunta 3.

Note lo siguiente: si usted mide I y V del LED azul (para una posición del potenciómetro) y conoce el valor de $V_0^{(a)}$, entonces puede calcular el valor de $I_0^{(a)}$ usando la ecuación (1). Este valor no será muy preciso, sin embargo, lo puede mejorar si calcula el promedio de varias mediciones de I y V . Reporte en la Tabla II sus mediciones y el valor de $I_0^{(a)}$ para cada medición. Reporte el valor promedio de $I_0^{(a)}$ del LED azul. Tendrá un bono en su calificación si calcula también la incertidumbre correspondiente.

De acuerdo a la mecánica cuántica, la luz emitida por el LED la podemos entender como fotones con energía $h\nu$, donde h es la constante de Planck y ν la frecuencia de la luz. Este fotón lo emite un electrón que “pierde” esa cantidad de energía que, a su vez, la obtiene de la energía eV que adquiere cuando el LED tiene una diferencia de potencial V . Se puede mostrar que si se tiene una misma corriente pasando por 2 LEDS diferentes, se tiene una relación aproximada,

$$e \left(V^{(a)}(I) - V^{(r)}(I) \right) = h \left(\nu^{(a)} - \nu^{(r)} \right) \quad (4)$$

donde $V^{(a)}(I)$ y $V^{(r)}(I)$ son los voltajes de los LEDS azul y rojo cuando se les pasa la misma corriente I ; y $\nu^{(a)}$ y $\nu^{(r)}$ son las frecuencias de la luz de los LEDS azul y rojo, respectivamente. Muestre que la expresión anterior se reduce a

$$eV_0 \left(\ln I_0^{(r)} - \ln I_0^{(a)} \right) = h \left(\nu^{(a)} - \nu^{(r)} \right). \quad (5)$$

Usando el hecho que la longitud de onda de LED azul es $\lambda^{(a)} = 430$ nm y que la del rojo es $\lambda^{(r)} = 635$ nm (1 nm = nanómetro = 10^{-9} m), encuentre el valor del cociente h/e .

Tabla I

Tabla II
