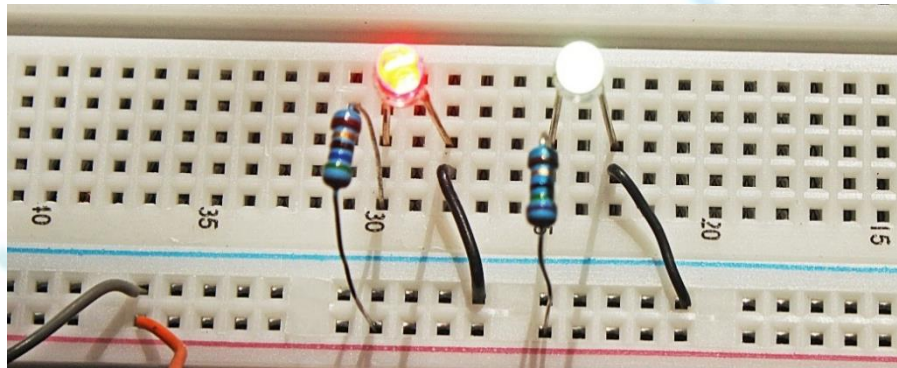


USO DE LED'S Y RESISTENCIAS



Erick Barrios Barocio; Roxette Ramírez Arvidez.
Óptica (v.2024)

Actualmente, una de las fuentes de luz más utilizadas, debido a su accesibilidad y su eficiencia, son los LED's. Sin embargo, son bastante sensibles a fluctuaciones eléctricas, por lo que, para tener un flujo de luz constante, hay que operarlo con las resistencias adecuadas.

Contenido

1	OBJETIVOS.....	1
1.1	Material.....	1
2	LÍMITE DE CORRIENTE DE LED'S.....	1
3	DISIPACIÓN DE POTENCIA.....	4
3.1	Caso Sencillo.....	4
3.2	Más allá de Resistencias.....	5
3.3	Hojas de Datos.....	5
4	REFERENCIAS.....	6

1 OBJETIVOS.

Aprender a implementar sistemas de iluminación LED's de forma apropiada para evitar dañarlos. Conocer como calcular los parámetros necesarios para seleccionar las resistencias adecuadas para evitar sobrecalentamiento del sistema.

1.1 MATERIAL.

LED's de colores. Resistencias. Fuente de alimentación de corriente directa (o pilas). Protoboard. Cables de conexión.

2 LÍMITE DE CORRIENTE DE LED'S.

Los LED's son dispositivos de iluminación muy eficientes, pero a la vez delicados, en particular son muy susceptibles a corrientes altas que pueden quemarlos. Para evitar estas situaciones es necesario limitar dicha corriente, y la mejor forma de hacerlo es con ayuda de una resistencia. Ahora, ¿qué resistencia se debe utilizar con un LED?

La respuesta parte de la Ley de Ohm,

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

Donde V es el voltaje, I la corriente y R la resistencia. Ahora, ¿Qué valores de voltaje y corriente se deben usar en la fórmula para obtener el valor de resistencia correcto? Para conocer el voltaje, se necesitan dos datos: el voltaje de nuestra fuente y el voltaje de alimentación del LED.

Supongamos que estamos utilizando dos baterías AA en serie (3V), las cuales queremos utilizar con un LED amarillo. Los LED's tienen una característica llamada "voltaje directo" ("forward voltage" en inglés), comúnmente indicada en las hojas de datos del LED como V_f . Este voltaje directo es el voltaje "perdido" en el LED cuando se opera a una cierta corriente de referencia, por lo general 20mA. V_f depende principalmente del color del LED, pero puede variar de un LED a otro. LED's estándar rojos, naranjas, amarillos y amarillo-verdes tienen valores de $V_f \sim 1.8V$, mientras que verdes, azules, blancos y UV de $V_f \sim 3.3V$. Así, la caída de voltaje de un LED amarillo es de 1.8V, y V en la ecuación 1 se encontrará sustrayendo el voltaje directo del LED del voltaje de la fuente:

$$3V \text{ (fuente)} - 1.8V \text{ (caída LED)} = 1.2V$$

Ahora necesitamos conocer la corriente I , que es la corriente que circulará por el LED. Los LED's tienen corrientes máximas continuas (comúnmente indicadas como I_f en las hojas de datos) con valores comúnmente entre 25-30mA. Sin embargo, para alargar la vida del LED, se recomienda usar corrientes de 20-25mA (ligeramente debajo de la corriente máxima) ^[1].

Es posible alimentar el LED con menos corriente, sin embargo, operar el LED cerca de su corriente máxima proporciona la irradiancia máxima, con el costo de la disipación de potencia (calor) y vida tanto de la batería como del LED. Así, 25mA es la corriente deseada a usar en la ley de Ohm.

$$1.2V = 25mA \cdot R$$

Resolviendo para R , se encuentra que: $R = 48\Omega = 1.2V/0.025A$

Sin embargo, en la práctica, solo existen valores de resistencias (en ese rango) de 33 Ω , 39 Ω , 47 Ω y 51 Ω con tolerancias típicas de $\pm 5\%$; además de que las más comunes (y económicas) están diseñadas para soportar potencias de $\frac{1}{4}$ Watt. Como el valor de resistencia de 48 Ω no es típico, se usará uno de 51 Ω tomando en cuenta que la tolerancia incluye el valor calculado. Para estar en la región de seguridad, se selecciona un valor mayor que el calculado. Así, el arreglo de conexión para prueba queda como en la Figura 1.

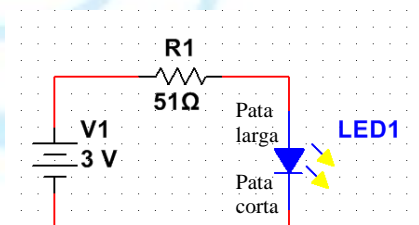


Figura 1. Diagrama básico de conexión de un LED.

¿Qué pasa si usamos una batería de 9V? Esto implica que la resistencia tendrá que tomar 7.2V

$$9V (\text{bateria}) - 1.8V (\text{LED amarillo}) = 7.2V$$

De donde $7.2V/25mA = 288\Omega$

Nuevamente, este valor no es común, por lo que se tiene que redondear a 300 Ω , que es una resistencia común.

¿Qué ocurre si agregamos más LED's? Cada LED requerirá de 25mA por lo que se requerirá encontrar cuanta corriente pueden proporcionar las baterías.

Aquí, hay que mencionar la existencia de efectos que producen que, cuando las baterías se operan cerca de su límite, su vida se acorta de forma acelerada, es decir, comúnmente esperaríamos que, si extraemos continuamente 1000mA de una batería, ésta duraría 1/10 de lo que duraría extrayendo 100mA; sin embargo, en la práctica, las baterías AA utilizadas a 1000mA solo durarán 1/20 de lo que duran a 100mA.

Continuando, si alimentamos cuatro LED's en paralelo, se requerirá de 100mA (cada LED necesita 25mA), lo cual todavía está dentro de las capacidades de una batería común. Para corrientes mayores a 500mA, se debe pensar en alimentación de una fuente permanente. En nuestro caso, se pueden agregar los cuatro LED's amarillos (Figura 2) cada uno con su resistencia de 51 Ω y alimentarlos con 2 baterías AA.

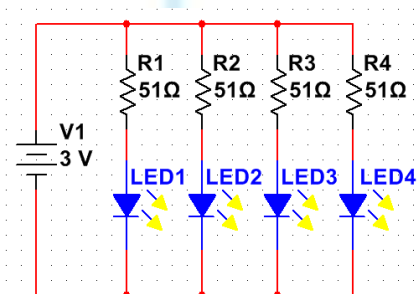


Figura 2. Diagrama básico de conexión de cuatro LED's en paralelo.

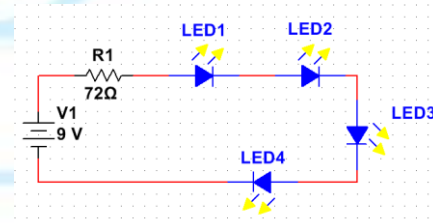


Figura 3. Diagrama básico de conexión de cuatro LED's en serie.

Retomando el ejemplo de la fuente de 9V y un LED, usar una resistencia para generar una caída de voltaje produce una disipación de energía en forma de calor.

Eso significa que con un solo LED se desperdicia energía en forma de calor en lugar de luz. Para aprovechar mejor dicha

energía, se pueden conectar cuatro LED's en serie (Figura 3) que toman 1.8V cada uno, es decir, tomarán $1.8V \times 4 = 7.2V$ de la batería, dejando solamente 1.8V, lo cual requiere solamente de una resistencia de 72Ω .

Es decir $9V - (1.8V \times 4) = 1.8V$

De donde $1.8V/25mA = 72\Omega$

Lo cual se redondea a 75Ω , que es el valor comercial más cercano.

En general para *LED's en serie*, se tiene la fórmula ^[1]:

$$\frac{(Fuente\ de\ Voltaje - (V_{LED} \times \#LED's))}{Corriente} = R. \quad (2)$$

¿Es posible poner 5 LED's en serie con una pila de 9V? Probablemente. El valor de 1.8V que hemos estado usando solamente es un valor de referencia, si el voltaje directo es exactamente 1.8V, podemos ver que el voltaje de la pila menos la caída de voltaje en todos los LED's da un sobrante de 0V, por lo que no será necesaria una resistencia que limite la corriente. Así, si es posible encender los 5 LED's.

Sin embargo, ¿qué ocurre si el voltaje directo es menor a 1.8V? Si el voltaje directo es ligeramente menor, todavía podemos evitar usar una resistencia, pero sobrecargaremos los LED's con más corriente de la máxima, lo cual puede acortar la vida de los LED's o quemarlos. Si el voltaje directo es mayor, los LED's generarán una baja irradiancia o ni siquiera encenderán. Como podemos ver, existen algunos casos en que es posible alimentar LED's en serie sin una resistencia, pero no es recomendable.

Como ejemplo final, tomemos un LED blanco y una fuente de 4.5V (tres baterías AA). Para un LED blanco, $V_f = 3.3V$ con una corriente de 25mA.

$$4.5V - 3.3V = 1.2V$$

Con lo que $1.2V/25mA = 48\Omega$

Que se redondea a 51Ω . En la Tabla 1 se muestran otros ejemplos para LED's de distintos colores con fuentes de voltaje comunes.

Tabla 1. Ejemplos de combinaciones de LED's y resistencias dependiendo del Voltaje utilizado.

Fuente de Voltaje	Color del LED	V_f (V)	# de LED's en serie	I_f (mA)	R Calc. (Ω)	R Práct. (Ω)	Fuente de Voltaje	Color del LED	V_f (V)	# de LED's en serie	I_f (mA)	R Calc. (Ω)	R Práct. (Ω)
3 V	Rojo, Amarillo, Amarillo-Verde	1.8	1	25	48	51	5 V	Rojo, Amarillo, Amarillo-Verde	1.8	1	25	128	150
4.5 V	Rojo, Amarillo, Amarillo-Verde	1.8	2	25	36	39	5 V	Rojo, Amarillo, Amarillo-Verde	1.8	2	25	56	56
4.5 V	Azul, Verde, Blanco, UV	3.3	1	25	48	51	9 V	Rojo, Amarillo, Amarillo-Verde	1.8	4	25	72	75
5 V	Azul, Verde, Blanco, UV	3.3	1	25	68	68	9 V	Azul, Verde, Blanco, UV	3.3	2	25	96	100

3 DISIPACIÓN DE POTENCIA.

Un aspecto que siempre es bueno tomar en cuenta cuando se diseñan circuitos, son las condiciones de operación y la supervivencia de los componentes en dichas condiciones. Algo muy importante es asegurar que los componentes trabajen por debajo de sus límites de operación en términos de corriente, voltaje y potencia, los cuales dependen de cada situación de uso. Así, es muy importante tener en mente las limitaciones de potencia al momento de seleccionar componentes.

3.1 CASO SENCILLO.

Supongamos que tenemos el arreglo mostrado en la Figura 4. ¿Qué tipo de resistencia de 100Ω se tiene que utilizar para que no se sobrecaliente?, ¿Se puede utilizar una resistencia de $1/4\text{ W}$ como la mostrada de la Figura 5? Para resolver estas preguntas, es necesario calcular la potencia que disipará la resistencia a través de la siguiente fórmula:

$$P = I \cdot V \quad (3)$$

Donde V es el voltaje, I la corriente y P la potencia, en la resistencia. La corriente es el flujo de carga eléctrica por el circuito y cuyas unidades son los *Amperes* = $1\text{ Coulomb por segundo}$ (el Coulomb es la unidad de carga eléctrica). El voltaje (potencial eléctrico) es la energía potencial por unidad de carga en el elemento en cuestión (la resistencia), con unidad de *Volt* = *Joule (energía) por Coulomb*, la cual se puede pensar como la cantidad de energía “consumida” en el elemento por unidad de carga que pasa por él. De esta forma, un Amper por un Volt es la cantidad de energía “consumida” en el elemento por unidad de carga, por el número de cargas que pasan por el elemento cada segundo ^[1]:

$$1\text{A} \times 1\text{V} = 1(\text{Coulomb}/\text{Segundo}) \times 1(\text{Joule}/\text{Coulomb}) = 1\text{ Joule}/\text{Segundo} = 1\text{Watt}$$

El Watt (W) es la unidad de potencia. Regresando al circuito, es necesario conocer la corriente y voltaje en la resistencia. Y para esto se utiliza la Ley de Ohm:

$$I = V/R = 9\text{V}/100\Omega = 90\text{mA}$$

Ahora, ya podemos calcular la potencia en la resistencia:

$$P = I \times V = 90\text{mA} \times 9\text{V} = 0.81\text{W}$$

Entonces, ¿es posible usar una resistencia de $1/4\text{W}$? No, porque de hacerlo, se sobrecalentaría y fallaría (quemaría). Para evitar esto, lo mejor es usar una resistencia de 1W , las cuales típicamente son más grandes, como en la Figura 6. Dado que una resistencia de 1W es físicamente más grande, es capaz de disipar una mayor cantidad de energía (calor). Aun así, se sentirá caliente al tacto, pero no fallará.

Una alternativa para manejar la disipación de potencia se puede implementar con el circuito mostrado en la Figura 7, donde la resistencia de 100Ω se dividió en cuatro de 25Ω , es decir, la disipación de potencia se repartió en cuatro resistencias. En este caso, la corriente a través de cada resistencia sigue siendo 90mA , pero dado que la resistencia es solo de un cuarto del valor original, la potencia disipada por cada una será de 0.2W . Por lo que, de esta forma, si será posible utilizar resistencias de $1/4\text{W}$.

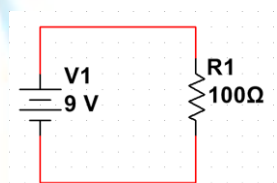


Figura 4. Circuito básico de una resistencia.



Figura 5. Resistencia de $1/4\text{W}$.

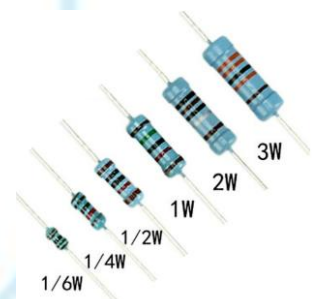


Figura 6. Tamaños de resistencias de acuerdo a su potencia tolerada.

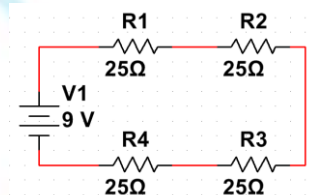


Figura 7. División de potencia en cuatro resistencias.

3.2 MÁS ALLA DE RESISTENCIAS.

Otra situación típica se encuentra en el diagrama de la Figura 8, en el cual una fuente de 9V alimenta un regulador lineal que los reduce a 5V y cuya carga requiere de hasta 1A. ¿Cómo se deduce la potencia en esta situación?

Los reguladores son como grandes resistencias variables que se ajustan automáticamente para mantener una salida de 5V constantes. Así, cuando la carga requiere de 1A completo, la potencia será de 5W, y la potencia de entrada dada por la fuente de 9V será de 9W. Es decir, el voltaje caído en el regulador será de 4V (a 1A), lo cual significa que el regulador disipa 4W, por lo que probablemente sea recomendable utilizar un disipador metálico para evitar que se queme.

En cada parte del circuito, la potencia seguirá estando dada por la ecuación 1; sin embargo, en el caso del regulador, la potencia disipada por él se obtiene de la diferencia de voltajes.

3.3 HOJAS DE DATOS.

Muchos reguladores cuentan con especificaciones sobre su corriente. Por ejemplo, el regulador común L7805ABV es un regulador lineal de 5V con encapsulado TO-220 con capacidad de 1.5A de salida y que soporta hasta 35V de entrada.

Este último dato nos haría creer que podemos conectar el regulador a una fuente de 35V y esperar 1.5A a la salida, lo cual significaría que el regulador radiaría $30V \times 1.5A = 45W$, sin embargo, el encapsulado no está diseñado para soportar dicha potencia. Si se busca con detenimiento en la hoja de datos, se encuentran las siguientes especificaciones:

- Rango de temperaturas de operación de la unión T_{op} : -40 a $125^{\circ}C$. Indica la temperatura máxima a la que puede operar la unión (la parte activa del circuito integrado) antes de que entre en “desactivación térmica”.
- Resistencia térmica unión-ambiente R_{thJA} : $50^{\circ}C/W$. Indica la temperatura que alcanza la unión cuando el regulador disipa una cierta cantidad de potencia estando al aire libre a temperatura ambiente. Por ejemplo, supongamos que queremos que el regulador trabaje sin exceder $60^{\circ}C$; si queremos mantener la temperatura de la unión a menos de $125^{\circ}C$, entonces el incremento máximo de temperatura que podemos permitir es $65^{\circ}C$. Si se tiene que $R_{thJA} = 50^{\circ}C/W$, entonces la máxima disipación de potencia que podemos permitir es $(65^{\circ}C) / (50^{\circ}C/W) = 1.3W$ de forma que el regulador no entre en desactivación térmica. Esto es menor que los 4W calculados anteriormente con una corriente de carga de 1A. De hecho, solo se puede tolerar $1.3A / 4V = 325mA$ de corriente de salida sin hacer que entre en desactivación térmica.
- Resistencia térmica unión-carcasa R_{thJC} : $5^{\circ}C/W$. Este dato es equivalente al anterior, pero cuando se utiliza un disipador de calor enganchado a la parte metálica del encapsulado. Por ejemplo, a una disipación de 4W, la temperatura de la unión se elevará solamente hasta $20^{\circ}C$, lo cual es aceptable.

Como se puede ver, a partir de estos datos se puede diseñar un circuito que tome en cuenta la conductividad térmica de los elementos del sistema. En muchas situaciones, es mejor utilizar elementos de montaje superficial, los cuales disipan mejor la energía ya que utilizan la misma placa del circuito como disipador de calor.

Las recomendaciones anteriores son muy generales, y pueden servir como guía para entender como es el consumo de energía en la mayoría de elementos pasivos y circuitos integrados. Sin embargo, existen limitaciones a esa forma de análisis particularmente a corrientes bajas o altas frecuencias donde pequeñas pérdidas que parecerían despreciables se pueden tornar importantes. Modelos más completos requieren de un estudio más profundo ^[1].

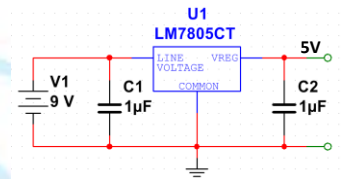


Figura 8. Diagrama básico de un regulador de voltaje.

4 REFERENCIAS.

- [1] P. Scherz, S. Monk. *Practical Electronics for Inventors*. McGraw-Hill, 3a ed. 2013. USA.

