

# ELECTRÓNICA ANALÓGICA. APLICACIONES ELEMENTALES.

Profesor: Ángel Millán León

I.E.S. "Virgen de Villadiego"

Peñaflor (Sevilla)

## *Índice de la Unidad Didáctica*

1. [INTRODUCCIÓN. HISTORIA DE LA ELECTRÓNICA.](#)
2. [ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA. ELECTRÓNICA ANALÓGICA.](#)
  - 2.1. [Ley de Ohm.](#)
  - 2.2. [Ley de Joule.](#)
  - 2.3. [Esquema abierto de un circuito electrónico.](#)
  - 2.4. [El diagrama tensión / intensidad \(V/I\).](#)
3. [COMPONENTES BÁSICOS EN ELECTRÓNICA.](#)
  - 3.1. [Resistencias.](#)
    - 3.1.1. [Resistencias variables o potenciómetros.](#)
  - 3.2. Componentes dependientes de un parámetro físico.
    - 3.2.1. [Resistencias dependientes de la luz \(L.D.R.\).](#)
    - 3.2.2. [Termistores N.T.C.](#)
    - 3.2.3. [Termistores P.T.C.](#)
    - 3.2.4. [Resistencias VDR o varistores.](#)
  - 3.3. [Almacenamiento de carga eléctrica: el condensador.](#)
    - 3.3.1. [Características generales de un condensador.](#)
    - 3.3.2. [Tipos de condensadores.](#)
    - 3.3.3. [Asociación de condensadores.](#)
  - 3.4. [Semiconductores. Unión P-N. Diodos.](#)
    - 3.4.1. [Diodo convencional.](#)
    - 3.4.2. [Diodo L.E.D.](#)
    - 3.4.3. [Diodo Zener.](#)
  - 3.5. [Semiconductores: el transistor.](#)
4. [OTROS COMPONENTES ELECTRÓNICOS.](#)
  - 4.1. [Fusibles.](#)
  - 4.2. [Interruptores, conmutadores y pulsadores](#)
  - 4.3. [Relés.](#)
5. [SIMULACIÓN DE CIRCUITOS CON CROCODILE TECHNOLOGY Y TINKERCAD.COM.](#)
6. [CIRCUITOS INTEGRADOS.](#)
  - 6.1. [Temporizador 555.](#)
  - 6.2. [Amplificador operacional 741.](#)

[Apéndice I: Leyes de Kirchhoff](#)

[Apéndice II: Conversión estrella-triángulo y triángulo-estrella](#)

[Apéndice III: Estudio teórico del transistor](#)

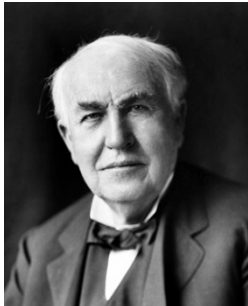
[Apéndice IV: Equivalente Thévenin de un circuito con transistor](#)

[Apéndice V: Pulse Width Modulation \(PWM\)](#)

## 1. INTRODUCCIÓN.

(Echa un vistazo a este vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=2jW33jZ6uhE>, de *Edgardo Castaño*)

En el mundo de hoy en día la Electrónica juega un papel fundamental. En las comunicaciones, en el transporte, en el hogar... encontramos infinidad de aplicaciones de esta rama de la Tecnología. Nada más que por ello, merece la pena su estudio.



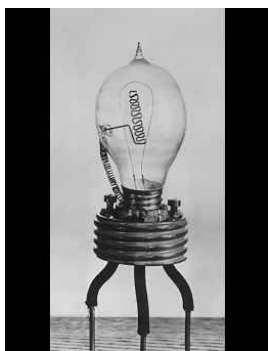
Thomas Alva Edison

La electricidad dio origen a la electrónica, que estudia y diseña dispositivos que utilizan pequeñas corrientes. No podemos hablar de historia de la electrónica hasta finales del siglo XIX: el comienzo se puede fijar, en 1883, cuando **Thomas Alva Edison** (sí, el mismo que inventó la bombilla) observó que al calentar un material metálico se producía una corriente eléctrica (a esto lo llamó **efecto termoiónico**).

En 1885, **Heinrich Hertz** observó que al circular una corriente alterna por un conductor, se crean **ondas electromagnéticas** a su alrededor, que dependen de la corriente que circula. Estas ondas habían sido predichas teóricamente por el físico **James Clerk Maxwell**, y se propagan (en el vacío) a la velocidad de 300.000 km/s.

Dos años más tarde, en 1887, Hertz también descubre el **efecto fotoeléctrico** (producción de una corriente eléctrica al iluminar con luz ultravioleta la superficie de ciertos metales).

En 1896, el físico **Joseph John Thompson** descubre el **electrón**. En 1899 **Nikola Tesla** patenta la radio, una revolución para las telecomunicaciones, y en la transmisión inalámbrica de la electricidad.



Válvula de Fleming

En 1904, **John Ambrose Fleming** inventa el **diodo termoiónico** o válvula Fleming, y la emplea para la *detección de las señales de radio* y para la *rectificación de corriente*.

En 1905, el físico alemán **Albert Einstein** explica el **efecto fotoeléctrico**.

En 1907, el ingeniero **Lee De Forest** inventó el **triodo** (o **Audion**, como él lo llamó), un dispositivo que permitía amplificar señales eléctricas. Poco a poco irán surgiendo componentes electrónicos, como el **tetrodo** o el **pentodo**.



Nikola Tesla

En 1920 se inventa un primer modelo de **magnetron** (aparato que produce microondas), en 1937 se inventa el **clístron**, y en 1940 el **magnetron de cavidad resonante**. Ambos elementos son fundamentales en la fabricación del **radar** (fundamental para la navegación aérea) y, más adelante, en los hornos microondas.

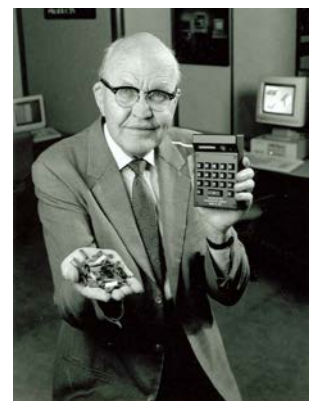


John Bardeen, inventor del transistor

En 1938 se sentaron las bases teóricas para la fabricación de los componentes **semiconductores**. Desde este momento y gracias a la constante investigación, los nuevos descubrimientos no han dejado de sorprender a la Humanidad.

En 1947, un equipo de investigación de los Laboratorios Bell compuesto por **John Bardeen**, **Walter Brattain** y **William Shockley** inventaron el **transistor**.

En 1958, **Jack Saint Clair Kilby** inventó el **circuito integrado** o **chip**, un soporte que contenía varios transistores. A partir de aquí, la evolución ha sido espectacular: el **microprocesador** (1971), el **ordenador personal** (1977), el **smartphone** (2007), etc.



Jack Kilby

## 2. ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA. ELECTRÓNICA ANALÓGICA.

Existe una clara diferencia entre **electricidad** y **electrónica**. Mientras que en la primera son frecuentes tensiones de 220 V (electricidad doméstica) o 380 V (electricidad industrial), y en pocos casos inferiores a los 12 V, así como intensidades del orden o superiores al amperio, en la **electrónica** hablamos de tensiones máximas de 12 voltios, e intensidades típicas del orden de los miliamperios (mA).

Por su parte, la **electrónica analógica** se ocupa del estudio de magnitudes que pueden tomar cualesquiera valores entre dos dados, uno mínimo y otro máximo. Así, por ejemplo, en un circuito electrónico analógico podemos encontrar, entre 0 y 5 voltios, cualesquiera valores: 3,2 V, 3,6 V, 4,9 V...

En contraposición, en un circuito electrónico **digital** (que veremos en el siguiente tema), sólo serían posibles los valores de 0 (0 lógico) y de 5 voltios (1 lógico), es decir, sólo son dos posibles estados (encendido / apagado, arriba / abajo, conectado / desconectado, etc.).

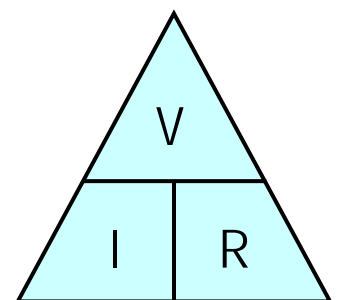
### 2.1. Ley de Ohm.

La **ley de Ohm** permite relacionar las tres magnitudes fundamentales de un circuito (voltaje, intensidad y resistencia) entre sí:

$$V = I \cdot R$$

Podemos leer esta expresión como sigue: *la diferencia de potencial en los extremos de un componente eléctrico/electrónico es igual a la intensidad que lo atraviesa multiplicado por la resistencia del componente.*

Para calcular cualquiera de las magnitudes, conocidas las otras dos, basta con despejar. Recuerda también la regla nemotécnica que vimos en el pasado curso para realizar los despejes (derecha).



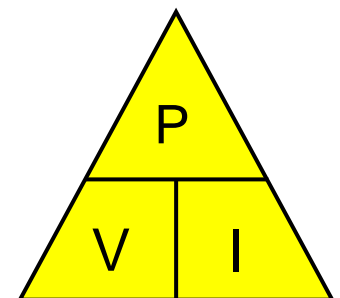
### 2.2. Ley de Joule.

En un circuito electrónico tiene también interés conocer la energía que se está consumiendo en cada instante. Esto es lo que se define como **potencia**. Podemos hablar de potencia en muchos entornos (mecánica, hidráulica, etc.). En cuanto a los sistemas eléctricos, tenemos la **ley de Joule**, que afirma lo siguiente:

$$P = V \cdot I$$

o sea: *la potencia consumida por un operador eléctrico o electrónico es igual al producto de la tensión que hay en sus extremos por la intensidad que lo atraviesa.*

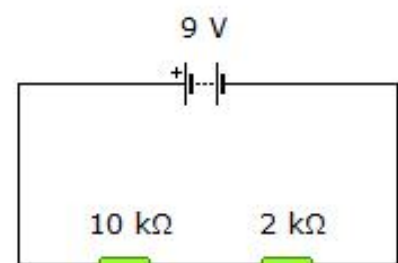
Al igual que en el caso de la ley de Ohm, podemos aplicar una regla nemotécnica para ayudarnos en los despejes. La tienes a la derecha.



### 2.3. Esquema abierto de un circuito electrónico.

Échale un vistazo al sencillo circuito de la figura de la derecha. Hasta ahora hemos venido utilizando esta forma de representar los circuitos porque nos daba una sensación de comodidad a la hora de visualizar.

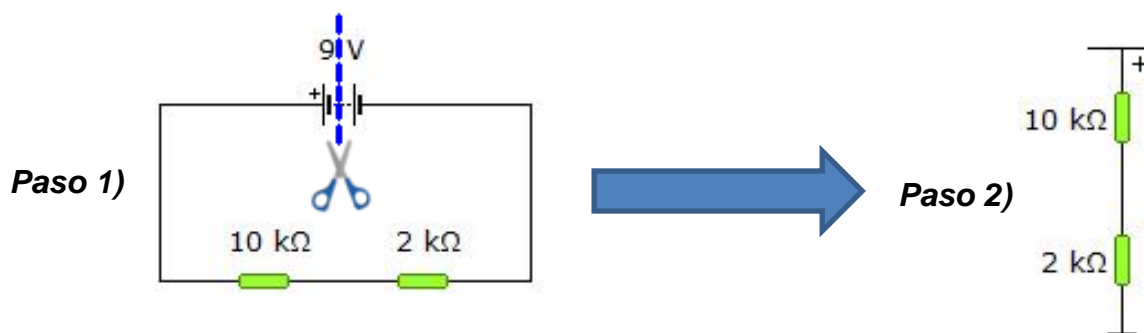
No obstante, en Electrónica resulta conveniente utilizar el que se conoce como **esquema abierto**. Pasar de uno a otro es muy sencillo, como vas a poder comprobar.



Para ello, vamos a hacer un proceso en cuatro pasos:

*Paso 1):* imagina que coges unas tijeras y "cortas" (mentalmente), el diagrama por la mitad de la pila

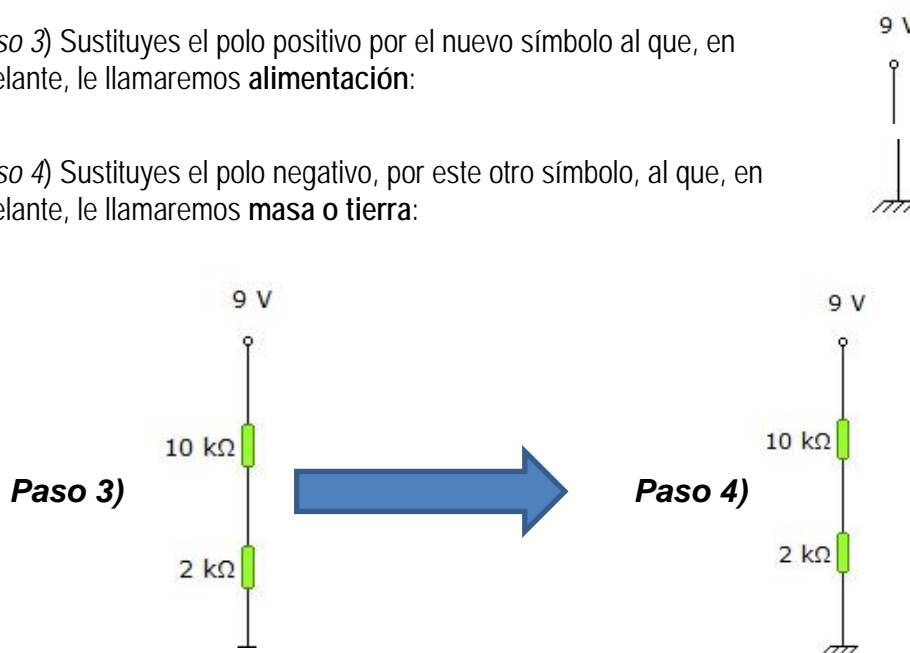
*Paso 2)* posteriormente, estiras lo que queda;



Como ves, el polo positivo de la pila ha quedado en la parte superior, estando el negativo en la parte inferior. Sigamos haciendo cositas:

*Paso 3)* Sustituyes el polo positivo por el nuevo símbolo al que, en adelante, le llamaremos **alimentación**:

*Paso 4)* Sustituyes el polo negativo, por este otro símbolo, al que, en adelante, le llamaremos **masa o tierra**:



A este último lo llamaremos, comúnmente, “**masa**” o “**tierra**”, y representa un punto del circuito en el que hay un potencial eléctrico igual a cero. Todo lo que esté conectado a él, evidentemente, tendrá el mismo potencial eléctrico.

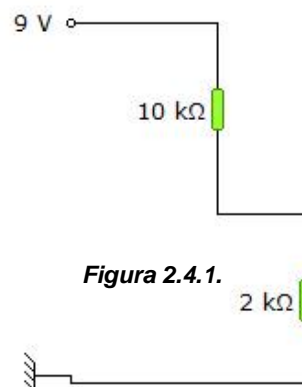
#### 2.4. El diagrama tensión / intensidad (V/I).

En los últimos cursos hemos puesto en juego un sistema de representación de los circuitos que os ayudaba bastante a visualizar qué sucedía con ciertas magnitudes, como el voltaje o la intensidad. Aunque requiere acostumbrarse a cierta visualización, favorece la comprensión de los circuitos. Vamos a verlo.

Imagina que coges el circuito de la página anterior (en su representación en esquema abierto), y lo dibujas de la forma que ves en la figura 2.4.1., como si fuera una “escalera”. Las resistencias representarán los “peldaños” de esa escalera y la distancia entre el positivo y el negativo del circuito, la “altura” total que salva nuestra “escalera”.

Pues bien, pensemos que cada escalón no corresponde a una altura física, sino a una diferencia de potencial (o tensión, o voltaje, ya sabes), justo la que existe en los extremos de cada componente.

Como ya sabes de cursos anteriores, esa diferencia de potencial será mayor en la resistencia de mayor valor, por lo que el primer peldaño, ciertamente, tendrá que ser mayor que el segundo (de hecho, si te



**Figura 2.4.1.**

para pensar, como la resistencia superior es cinco veces la inferior, el peldaño tendrá que ser, por tanto, cinco veces más grande). Si tenemos en cuenta esto, podríamos dibujar nuestra escalera como en la figura 2.4.2., incluyendo ya esta diferencia (lógica) entre los escalones.

Bueno, pues una vez asumido esto, pongamos sobre cada línea una flecha, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La flecha será ascendente si estamos representando una subida de potencial (fuente de alimentación, pila, etc.).
- La flecha será descendente si estamos representando una caída de potencial (que sucede en un receptor)
- A la izquierda de cada flecha representamos el valor de la diferencia de potencial (en voltios, milivoltios, etc.)
- A la derecha de cada flecha representamos la intensidad que atraviesa el elemento al que representa la flecha (independientemente de que sea un generador o un receptor).
- Para un circuito en paralelo, tendremos tantas escaleras como ramas tenga el mismo.

Con esto, nuestro circuito quedará representado por el diagrama V/I que aparece en la figura 2.4.3.

Por último, te dejo aquí unas indicaciones que te ayudarán a construir el diagrama V/I de cualquier circuito:

- La suma total de los peldaños de cada escalera tiene que ser igual a la del lado izquierdo de la escalera.
- La intensidad de corriente por un camino es la misma para cada componente.
- La suma de las intensidades por los diferentes caminos de un circuito en paralelo tiene que darnos igual a la de la pila.

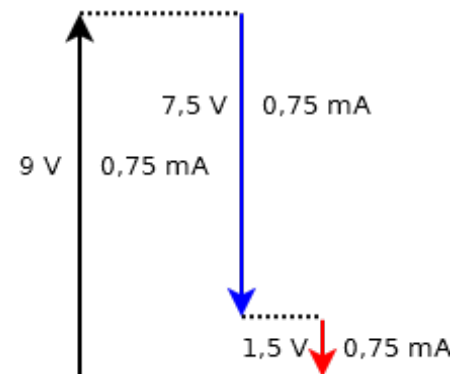


Figura 2.4.3.  
Diagrama V/I para un circuito serie

Te dejo también un ejemplo de diagrama V/I para un circuito en paralelo, construido a partir de nuestro ejemplo anterior (figura 2.4.4.).

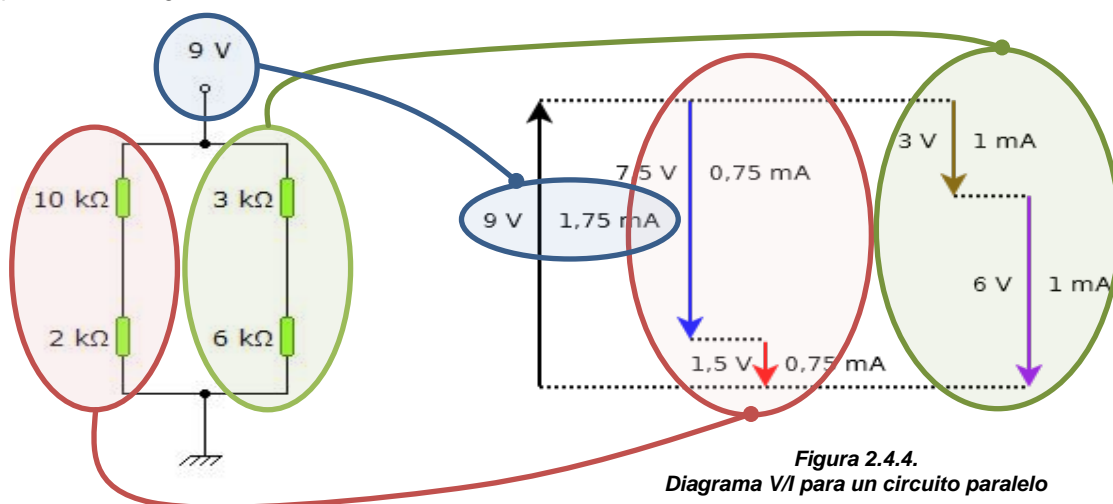
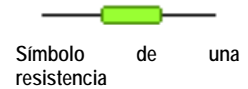


Figura 2.4.4.  
Diagrama V/I para un circuito paralelo

### 3. COMPONENTES BÁSICOS EN ELECTRÓNICA.

#### 3.1. Resistencias.

Una **resistencia** es un operador cuya principal función en un circuito es la **de limitar la intensidad de corriente** que lo atraviesa (con ello, ayudará a proteger otros elementos que haya en el circuito). A mayor valor de la resistencia que coloquemos, menor intensidad atravesará el circuito. Recíprocamente, a menor valor de resistencia, mayor intensidad circulará por el circuito.



Un circuito típico en el que se utiliza es el **divisor de tensión** (circuitos [5.1](#), [5.2](#), [5.3](#), [5.4](#)), muy empleado en electrónica.

**Tipos:** resistencias **fijas**, **variables** y **dependientes de parámetros físicos**.

**Medida:** la resistencia se mide en **ohmios ( $\Omega$ )**. Se utilizan también múltiplos:

Kiloohmio:  $1\text{ K}\Omega = 1.000\ \Omega$

Megaohmio:  $1\text{ M}\Omega = 1.000.000\ \Omega$



Aspecto de una resistencia comercial

En electrónica se suele utilizar la notación XKY ó XMY, en la que X e Y son dos números entre 0 y 9, leyéndose entonces X,Y kiloohmios o X,Y megaohmios. Por ejemplo, 2K3 y 4M7 los leeríamos, respectivamente, como 2,3 k $\Omega$  y 4,7M $\Omega$

#### Código de colores

Para conocer los valores de una resistencia se emplean habitualmente cuatro bandas de color. Cada una de ellas tiene un significado claro, y se corresponde con un código adoptado de forma internacional para que todos podamos conocer al instante el valor. Las tres primeras bandas están **equidistantes**, y la cuarta un poco más separada. Ésta debe colocarse siempre a la **derecha** para hacer la lectura del valor.

Cada color se corresponde con un número preestablecido. Las dos primeras bandas nos indicarán las dos primeras cifras del valor de la resistencia. La tercera banda nos indicará la cantidad de ceros que siguen a las dos cifras anteriores. Las cifras asociadas a cada color se recogen en la siguiente tabla:

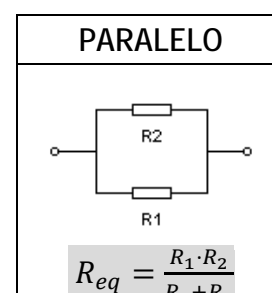
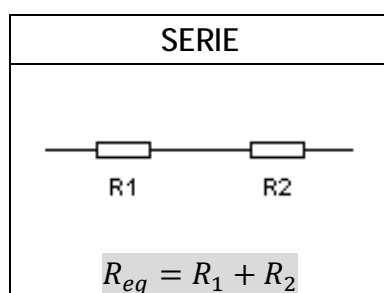
Negro	Marrón	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Azul	Violeta	Gris	Blanco
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**REGLA MNEMOTÉCNICA:** viene muy bien a veces inventarse una o varias palabras para acordarse de una secuencia: NeMaRoNarAm VerAzVioGriBla

La 4ª banda indica la **tolerancia** de la resistencia: porcentaje que puede variar el valor de la resistencia.

Marrón	Rojo	Dorado	Plateado	Incoloro
± 1%	± 2%	± 5%	± 10%	± 20%

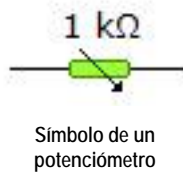
#### Recordatorio: asociación de resistencias en serie y en paralelo





### 3.1.1. Resistencias variables o potenciómetros.

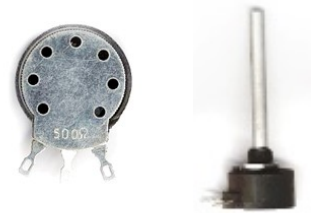
Son resistencias que se pueden ajustar manualmente entre 0 y el **valor nominal** que aparece indicado sobre ellas. Para ello, se acciona un mando o palanca que lleva incorporado.



Los valores máximos de los potenciómetros pueden ir desde unos pocos ohmios hasta los megaohmios ( $M\Omega$ ).

Gracias a ello, podremos ajustar la sensibilidad de determinados circuitos: modificar el umbral de disparo bajo luminosidad, sensibilidad a la temperatura, etc.

Podemos ver un ejemplo de uso de un potenciómetro en el [circuito 5.2](#).



Aspecto de potenciómetros comerciales

### 3.2. Resistencias dependientes de parámetros físicos.

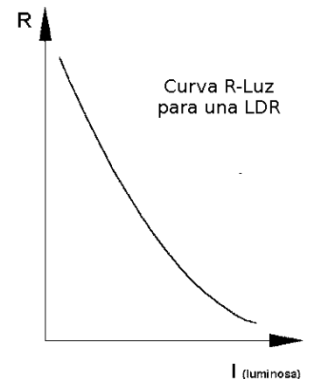
Son resistencias que varían con propiedades ambientales o del propio circuito en el que se encuentran: luz, temperatura, voltaje, etc. Hay varios tipos, los cuales pasamos a ver:

#### 3.2.1. Resistencias dependientes de la luz (L.D.R.).



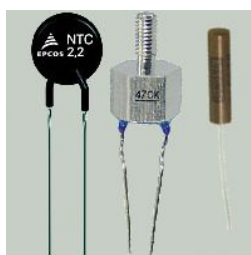
L.D.R. son las iniciales de "Light Dependent Resistor" (resistencia dependiente de la luz). Son resistencias cuyo valor cambia al ser iluminadas por luz (visible o no, como la infrarroja o la ultravioleta). Tienen las siguientes características:

- ✓ Su valor de resistencia depende de la luz que incide sobre ellas.
- ✓ Se fabrican de un material que en la oscuridad, no tiene apenas electrones libres, con lo que su resistencia es elevada. Sin embargo, si se ilumina, se libera cierto número de electrones, y así disminuye el valor de resistencia. Se dice entonces que el material es un **fotoductor**.
- ✓ El fabricante suministra en una hoja conocida como [datasheet](#) valores como: valor de la resistencia en la oscuridad total ( $R_D$ ); valor de la resistencia en iluminación ( $R_L$ ) a 1000 lux; tensión máxima admisible; potencia máxima. Puedes consultar datasheet de cualquier componente electrónico en la web: <http://www.datasheetcatalog.net>. Vemos una aplicación en el [circuito 5.3](#).



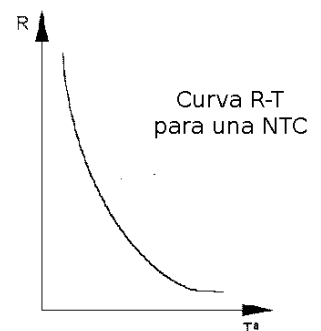
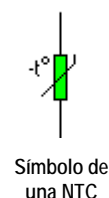
#### 3.2.2. Termistores N.T.C.

Los termistores son resistencias que son sensibles a la temperatura. Los termistores N.T.C. (**Negative Coefficient Temperature**, coeficiente de temperatura negativo) son resistencias cuyo valor se reduce a medida que se calientan.



El fabricante suministra en la datasheet una serie de valores extremos que tendremos en cuenta a la hora de trabajar con ellas (temperatura máxima, valor de la resistencia a 25°C, etc.).

Pueden emplearse como sensores de temperatura (por ejemplo, en un termo eléctrico). Un circuito de aplicación es el [5.4](#).

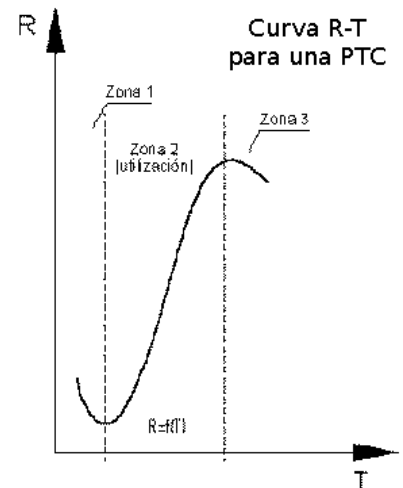




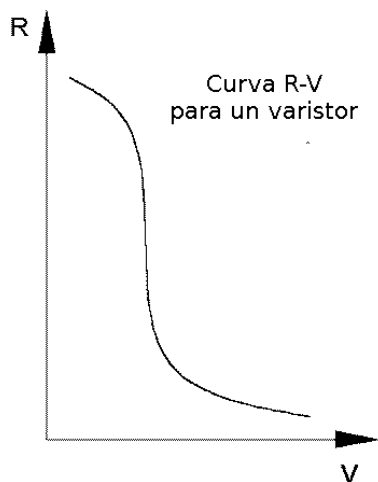
### 3.2.3. Termistores P.T.C.

P.T.C. son las siglas de **Positive Temperature Coefficient**, "Coeficiente de Temperatura Positivo". Son resistencias cuyo valor aumenta al aumentar su temperatura (observa la gráfica de la derecha, en la zona 2. Las zonas 1 y 3 son zonas NTC)

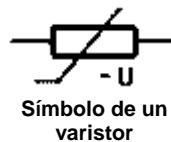
El símbolo es igual que el de las NTC, cambiando el "-" por un "+".



### 3.2.4. Resistencias VDR o varistores.



Un **varistor** es una resistencia cuyo valor óhmico depende de la tensión que se le está aplicando, decreciendo dicho valor a medida que aumenta dicha tensión (observa la gráfica de la izquierda)



Símbolo de un varistor



Varistor comercial

## 3.3. Almacenamiento de carga eléctrica: el condensador.

El **condensador** (o **capacitor**) es un operador destinado a la *acumulación de carga eléctrica*. Básicamente consiste en dos placas metálicas enfrentadas entre sí, entre las que se introduce un material aislante, que se llama **dieléctrico**, que aumenta la capacidad de almacenamiento de carga eléctrica.

Entre las placas se genera un voltaje, que permite que la carga eléctrica se separe: en una de las placas se guarda carga negativa y en la otra carga positiva.

El condensador queda caracterizado por la cantidad de carga que puede almacenar, es decir, por la magnitud conocida como **capacidad** (C), que se define como el cociente entre la carga acumulada y el voltaje al que situamos el condensador:

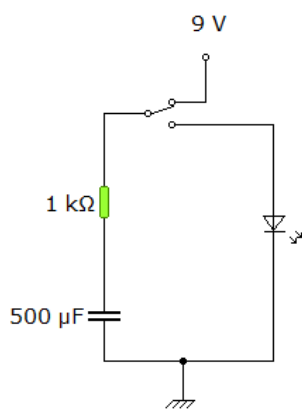
$$C = \frac{Q}{V}$$

La capacidad del condensador se mide en **faradios** (F), aunque el faradio es una unidad tan grande que se utilizan submúltiplos: microfaradio (1  $\mu\text{F}$ = $10^{-6}$  F), nanofaradio (1 nF= $10^{-9}$  F) y picofaradio (1 pF= $10^{-12}$  F).

### 3.3.1. Características generales de un condensador.

- ✓ Cuando funciona con **corriente continua**:
  - Se comporta como un **interruptor abierto**, una vez que está cargado.
  - Hasta entonces, se carga mediante una intensidad que va disminuyendo en el tiempo.
- ✓ Cuando funciona con **corriente alterna**, se comporta como un **interruptor cerrado**.
- ✓ Cede toda la energía cuando se descarga.

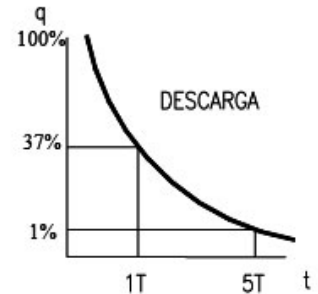
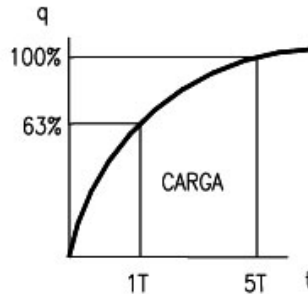
### 3.3.2. La constante de tiempo de un condensador



Observa el circuito de la figura. En la posición inicial, el condensador se está cargando a través de la resistencia de 1K. El producto de  $R \cdot C$  tiene unidades de *tiempo*, y nos indica cuánto tarda el condensador en estar lleno al 63% de su capacidad. A este valor se le llama **constante de tiempo**, y se la representa con la letra "T".

Transcurridas **5 constantes de tiempo**, podemos considerar el

condensador cargado. Lo mismo sucede en la descarga. Es por ello que se utilizan como [temporizadores](#) o retardadores.



### 3.3.3. Tipos de condensadores.

Los tipos de condensadores se diferencian por el tipo de dieléctrico utilizado en su construcción. Se recogen todos en la siguiente tabla, junto con el símbolo mediante el cual se representan:

TIPO DE CONDENSADOR	SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS Y UTILIDAD
<i>Convencionales</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Almacenamiento de carga eléctrica.</li> <li>✓ Tienen una capacidad fija.</li> <li>✓ Se utilizan con todo tipo de corrientes.</li> </ul>
<i>Electrolíticos</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Almacenamiento de carga eléctrica.</li> <li>✓ Su capacidad suele ser muy grande.</li> <li>✓ Están polarizados. Es peligroso invertir la polaridad. Los terminales están marcados.</li> <li>✓ Sólo se utilizan en corriente continua.</li> <li>✓ Es peligroso superar la tensión indicada.</li> </ul>
<i>Variables</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Almacenamiento de carga eléctrica.</li> <li>✓ Tienen un rango de capacidades.</li> </ul>

### 3.3.4. Asociación de condensadores.

Al igual que las resistencias, los condensadores también se pueden disponer tanto en serie como en paralelo, resultando entonces que dos o más condensadores resultan iguales a cierto *condensador o capacidad equivalente*. En cada caso, se calcula como nos indica la siguiente tabla. Observa que el cálculo es el mismo que para las resistencias, sólo que invirtiendo los términos.

Algunos condensadores comerciales

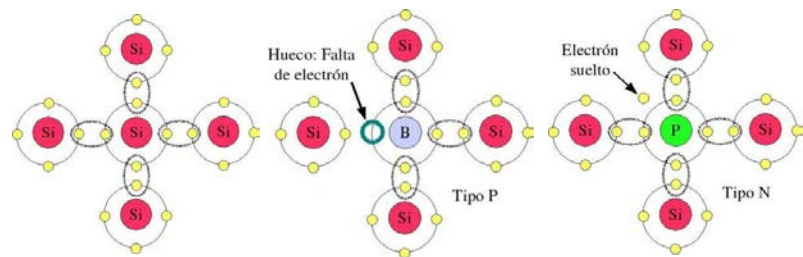


ASOCIACIÓN	CAPACIDAD EQUIVALENTE
<b>serie</b>	$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$
<b>paralelo</b>	$C_e = C_1 + C_2 + \dots$

### 3.4. Semiconductores. Unión P-N. Diodos.

Los **semiconductores** son materiales que están a medio camino entre los aislantes y los conductores. Un semiconductor puro se llama **semiconductor intrínseco**. Materiales como el silicio y el germanio forman cristales de semiconductores intrínsecos.

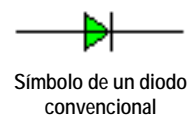
Si en un semiconductor intrínseco se introducen elementos como el boro, el galio o el indio (elementos del Grupo III de la tabla periódica), aumenta la conductividad eléctrica y se obtiene lo que se conoce como **semiconductor de tipo P**. El proceso de introducción de estos átomos se llama **dopado**.



Si en el semiconductor intrínseco se introducen elementos como fósforo, arsénico o antimonio (elementos del Grupo V de la tabla periódica), la conductividad también aumenta, y se obtiene lo que se conoce como **semiconductor de tipo N**. Ve algo más en este vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=4WK8l8vIAxY>

#### 3.4.1. Diodo convencional.

Al unir un semiconductor del tipo N con otro del tipo P, en la zona de contacto se produce una marcha de electrones de la zona N a la P, cargándose positivamente la zona N y negativamente la zona P. Aparece entonces un pequeño voltaje en el cristal, que en el silicio es de unos 0,7 V y en el germanio de unos 0,3 V.



Si se conecta la zona P a potencial positivo y la zona N a potencial negativo, la tensión exterior se opone a la tensión interior, favoreciendo el paso de electrones de la zona N hacia la zona P. Se dice entonces que la unión P-N se comporta en este caso como un **diodo en polarización directa**, dejando pasar la corriente (funcionaría como un interruptor cerrado). En caso contrario, se habla de **polarización inversa**, y la corriente no circulará.



Echa un vistazo a este vídeo para entender todo esto: <https://www.youtube.com/watch?v=bhSJwBV-Vms>

Podemos decir, que un **diodo** es una **unión P-N encapsulada**. Tiene dos terminales: uno positivo, llamado **ánodo (A)**, y otro negativo, llamado **cátodo (K)**, que se identifica con una línea en el cuerpo del diodo.

El diodo convencional tiene una aplicación típica, como es el **circuito rectificador** (ver [circuito 5.8](#)), que permiten transformar la corriente alterna en continua.

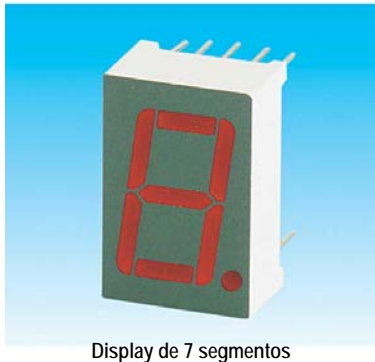
#### 3.4.2. Diodo L.E.D.

El **diodo LED (Light Emitting Diode)**, o simplemente **LED**, es en esencia un componente idéntico al diodo, sólo que tiene la propiedad de **emitir luz** de diferentes colores: amarilla, roja, verde, blanca, naranja, infrarroja, ultravioleta, etc.



Los ledes se emplean en señalización luminosa, televisores, monitores, smartphones, etc. Combinaciones adecuadas de ledes nos permitirán presentar datos. Un ejemplo es el visualizador o **display de siete segmentos** utilizado en las calculadoras o en los marcadores electrónicos. Necesitan tensiones diferentes (según el color) para funcionar. Conviene que no sean atravesados por más de 20 mA de intensidad, ya que pueden quemarse.





Display de 7 segmentos

### Resistencia de polarización de un LED.

Uno de los primeros problemas que nos vamos a encontrar en electrónica analógica es conectar un LED a una fuente de alimentación para que funcione correctamente:

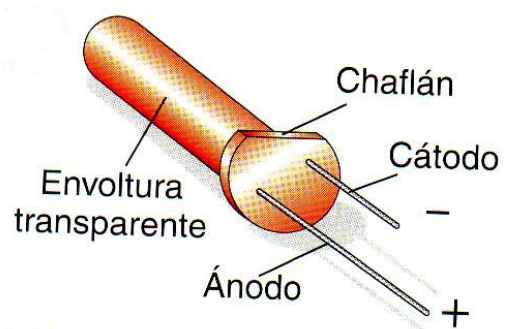
Echa un vistazo a este vídeo para comprender la fórmula: <https://youtu.be/C6d1hYmZhqo>. La fórmula en cuestión es:

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{m\acute{a}x}}$$

### Identificación de los terminales de un LED

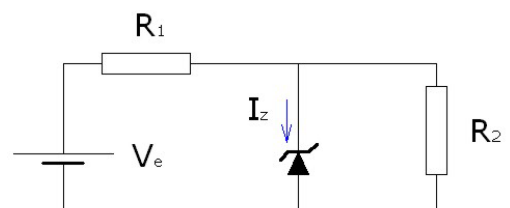
Es fundamental colocar correctamente un LED en el circuito para que funcione como queremos. ¿Cómo se hace esto sin equivocarnos? Es fácil, aunque se den varias circunstancias, como te comento a continuación:

- Si el LED es nuevo, verás que sus patillas son de distintos tamaños. La patilla **larga** es el **ánodo**. La corta, el cátodo. O será, larga = +; corta = -.
- Si hemos cortado las patillas al mismo tamaño, podrás fijarte que el LED tiene un chaflán (zona rebajada, que es plana). Ese chaflán indica el cátodo.
- Si hay varios chaflanes o el encapsulado está deteriorado, va siendo hora de buscar otro diodo. Aún así, todavía podrás identificar los terminales mirando el interior: el cátodo es el terminal plano.
- Si ya no puedes ver dentro siquiera, en serio, busca otro LED (¡no vale tanto!). Pero, si tienes un polímetro a mano, ponlo en modo de medición de continuidad y coloca las sondas en cada uno de las patillas. Si enciende, la que está junto a la sonda positiva es el ánodo y la otra el cátodo. Si no enciende, esto es al revés.
- Si nada de lo anterior funciona, ¡un LED nuevo cuesta 10 céntimos!

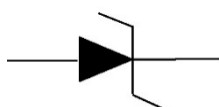


### 3.4.3. Diodo Zener.

Es un tipo de diodo que se utiliza para la estabilización de la tensión en un circuito. Puedes verlo en el esquema de la derecha: la carga que coloquemos en paralelo en el circuito (en este caso,  $R_2$ ) presenta una tensión estable entre sus terminales gracias a la presencia del diodo Zener.

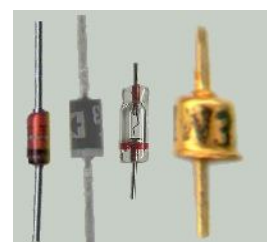


La estabilización consiste en mantener un valor constante de tensión (voltaje) a lo largo del tiempo.



Símbolo del diodo Zener

Es interesante su utilización para proteger determinados elementos especialmente delicados de un circuito que no puedan verse sometido a fluctuaciones de la tensión.

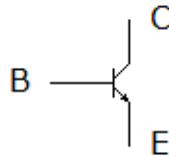


Diodos Zener comerciales

### 3.5. El transistor bipolar o BJT.

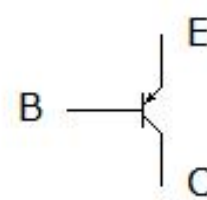
Un transistor bipolar se compone de dos uniones P-N, colocadas en el orden que se ve en la figura de abajo. Según se dispongan estas uniones, se obtienen los transistores NPN o PNP:

N	P	N
Emisor	Base	Colector



Símbolo de un transistor NPN (observa que la flecha "No Pincha" al transistor)

P	N	P
Emisor	Base	Colector



Símbolo de un transistor PNP (observa que la flecha "Pincha" al transistor)

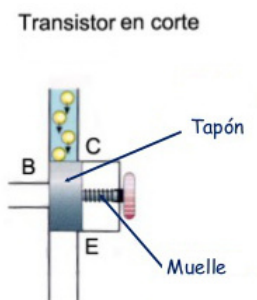
El funcionamiento de ambos transistores es similar, por lo que vamos a analizar el que va a ser más fácil de comprender para ti: el NPN. En ambos casos, también, se distinguen tres zonas en el interior del transistor, que hacen las funciones de terminales: **emisor (E)**, **base (B)** y **colector (C)**.

El **emisor** recibe ese nombre porque es el encargado de emitir los electrones que circulan por el transistor, y el **colector** los recibe. La **base** recibe este nombre porque, situada entre el emisor y el colector, era, inicialmente, su soporte.

#### Funcionamiento. Estados del transistor.

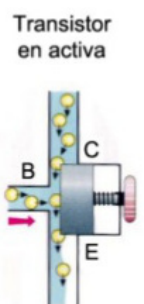
Un transistor puede estar en tres estados: **corte**, **activa** y **saturación**. Para entenderlos, conviene que use un **simil hidráulico**:

Imagina que tenemos una tubería vertical (como la de la figura de la derecha) que conecta dos puntos C y E. Estos puntos están separados entre sí por un tapón, que obstruye la tubería, pero que se puede empujar por la izquierda y retrocede a su posición de reposo en caso de que se deje de empujar, gracias al muelle.



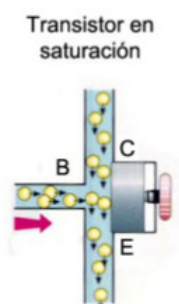
Para mover el tapón, se debe introducir una corriente a través de la tubería B. entonces, lo que hagamos en B nos va a marcar los tres posibles estados del transistor:

- 1) Si no hacemos nada en B, el tapón estará en reposo, obstruyendo el paso de C a E. En nuestro transistor, esto equivale a decir que, si por la base no entra corriente, el colector y el emisor estarán aislados. A esto lo llamaremos **estado de corte**. En esta situación, el transistor está funcionando como un **interruptor abierto**.
- 2) Si introducimos una pequeña corriente por B, se producirá un pequeño desplazamiento del tapón, pudiendo pasar la corriente de C a E. En nuestro transistor, esto significará que sí pasa corriente del colector al emisor, simplemente introduciendo una pequeña corriente por la base. A esta situación se le llama **estado de activa** o, simplemente, **activa**.



En este estado, el transistor se comporta como un **amplificador**, puesto que multiplica la corriente de base por un factor que se llama **ganancia del transistor**, y que se representa por  $\beta$  ó  $h_{FE}$ .

- 3) Por último, si se introduce una corriente suficientemente grande por B, produciremos el completo desplazamiento del tapón, y C y E quedarán comunicados por completo. En el transistor, el paso de corriente del C al E será el mayor que pueda producir. A este estado se le llama **saturación**, y el transistor estará funcionando como un **interruptor cerrado**.





En la siguiente tabla he resumido estos comportamientos, indicando características que te permitan identificar fácilmente el estado de cualquier transistor.

ESTADO	CARACTERÍSTICAS	COMPORTAMIENTO
CORTE	$I_B = I_C = I_E = 0$ $V_{CE} = V_{CC}$	Interruptor abierto
ACTIVA	$I_C = \beta \cdot I_B$ $0,2 < V_{CE} < V_{CC}$	Amplificador
SATURACIÓN	$V_{CE} \approx 0,2 \text{ V}$ $I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$	Interruptor cerrado

Para comprender un poco mejor el funcionamiento del transistor, te recomiendo este vídeo:  
<https://www.youtube.com/watch?v=AYy-YejQdqA>

### Identificación de los terminales

Los terminales de un transistor no se conocen a simple vista, ni están indicados sobre el encapsulado (fíjate en la imagen de la derecha). Puedes ver este vídeo para aprender cómo se identifican:

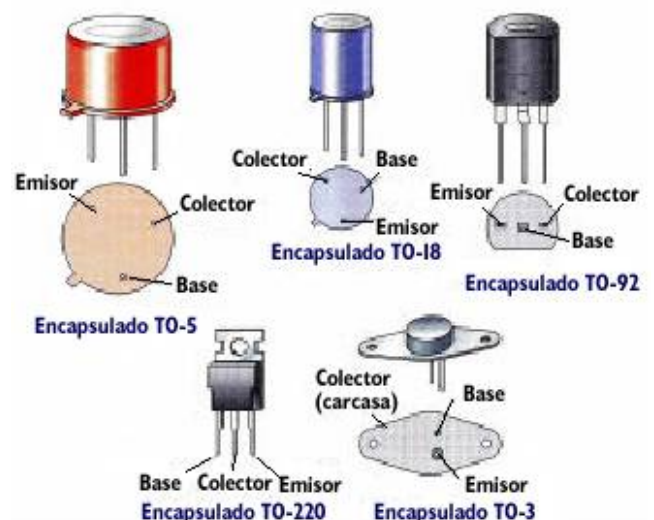
<https://www.youtube.com/watch?v=NLL8iB3rIZc>

No obstante, cada fabricante nos proporciona en las correspondientes **datasheet**, todos los datos relativos al transistor: constructivos, de funcionamiento, etc.

En el Apéndice III puedes aprender cómo se calculan las corrientes y voltajes presentes en un transistor en funcionamiento.

Las aplicaciones del transistor, como componente discreto, son innumerables:

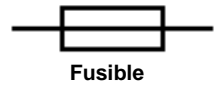
- Detector de luz ([circuito 5.9.](#))
- Detector de temperatura (ventilador activado por NTC): [circuito 5.10.](#)
- Par Darlington (montaje de dos transistores que permite aumentar la ganancia del conjunto). Lo vemos en el [montaje 5.11.](#)
- Multivibrador astable: [circuito 5.12.](#) Es un circuito que cambia de estado alternativamente, y la base de los circuitos que se llaman **osciladores**.
- Incluyo también un montaje que se llama **polarización por divisor de tensión**, que es un montaje bastante habitual en los circuitos con transistores ([circuito 5.13](#)).



#### 4. OTROS COMPONENTES ELECTRÓNICOS.

##### 4.1. Fusibles.

Son elementos destinados a la protección de los circuitos ante las sobrecorrientes. Consisten en un fino hilo metálico contenido en una cápsula transparente. Cuando lo atraviesa una intensidad mayor de la que es capaz de soportar, el hilo se funde (de ahí su nombre) e impide con ello que se estropee el resto del circuito.



##### 4.2. Interruptores, conmutadores y pulsadores.

Son componentes esenciales en la activación o desactivación de los circuitos electrónicos. Tenemos los siguientes tipos:

UPUD	UPDD	DPUD	DPDD
Un Polo, Una Dirección	Un Polo, Dos Direcciones	Dos Polos, Una Dirección	Dos Polos, Dos Direcciones

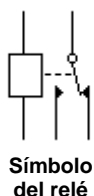
- Se llama **polo** al punto por donde entra la corriente al interruptor.
- Se llama **contacto** al punto por el que sale la corriente.
- **Dirección** es el posible camino por el que puede pasar corriente una vez accionado el interruptor. Cuando al accionarlo, todos los caminos quedan conectados, se dice que tiene **una dirección**. Si hay un camino por el que pasa la corriente, y otro queda desconectado, tiene **dos direcciones**.

Según si en su posición inicial dejan pasar o no corriente, se designan del siguiente modo:

- **Normalmente abierto (N.A.)**, que no dejan pasar la corriente.
- **Normalmente cerrado (N.C.)**, que sí dejan pasar la corriente.

Interruptor N.A.	Interruptor N.C.	Pulsador N.A.	Pulsador N.C.

##### 4.3. Relés.



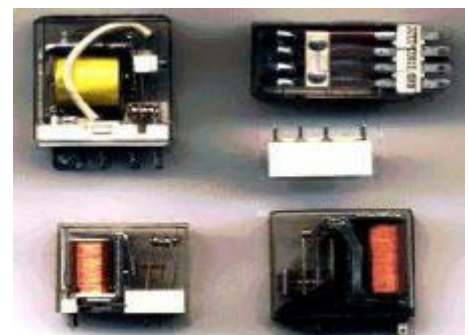
Son componentes electromecánicos cuya función es la de conmutar uno o más circuitos.

Su funcionamiento está basado en el movimiento de un contacto gracias a la acción mecánica de un electroimán sobre una palanca que empuja un contacto.

Introduciendo corriente por la bobina, conseguimos la conmutación (cambio de posición) del contacto.

Consulta esta dirección para conocer circuitos con relés:

<http://www.scribd.com/doc/6249601/prontuariocircuitosreles>

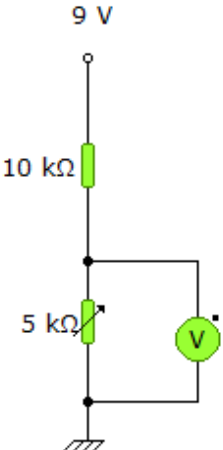

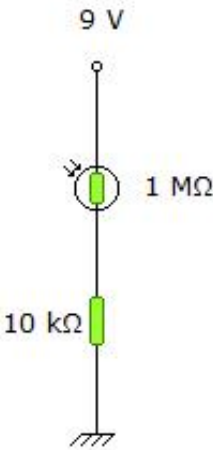
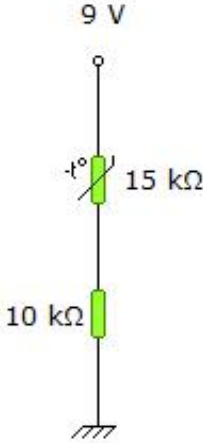


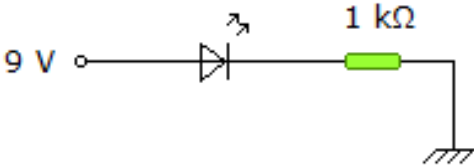
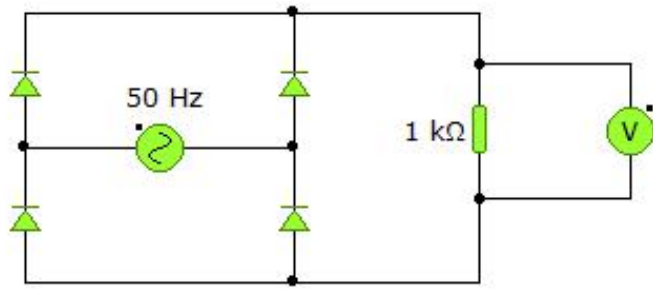


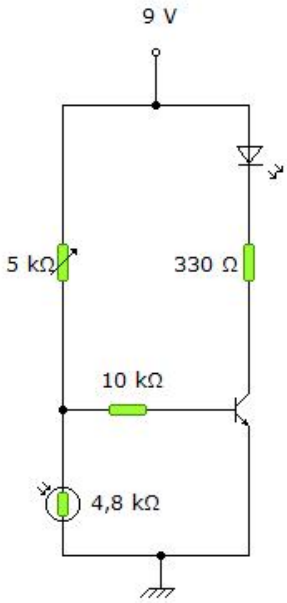
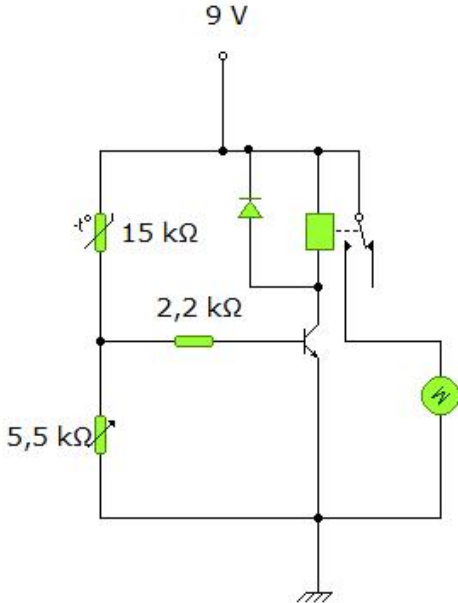
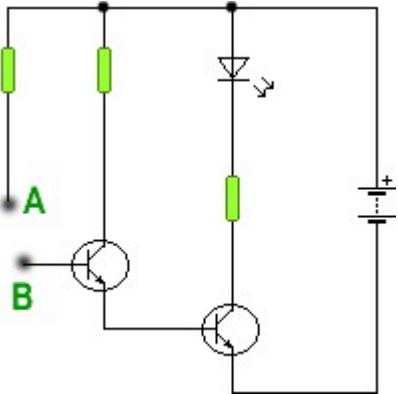
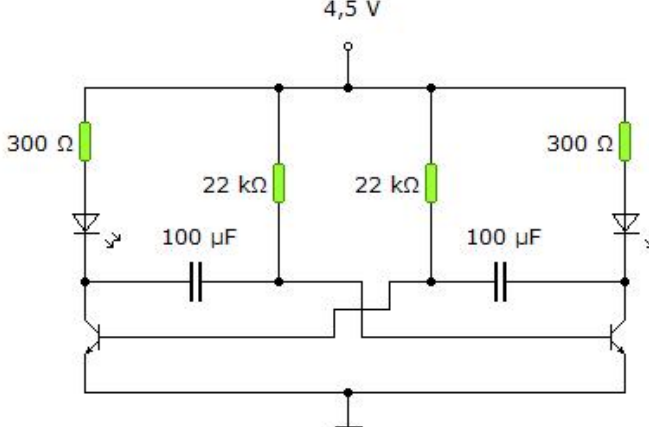
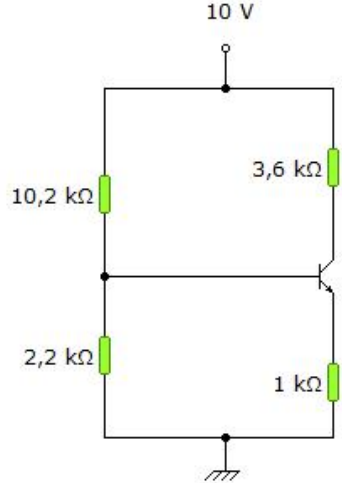
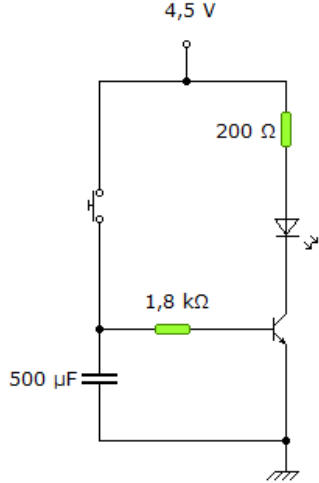
Relés comerciales



## 5. SIMULACIÓN DE CIRCUITOS CON CROCODILE TECHNOLOGY Y [TINKERCAD.COM](https://www.tinkercad.com).

A continuación te presento un conjunto de circuitos de interés, porque se aplica, directamente, lo que hemos ido aprendiendo a lo largo del tema.

5.1. DIVISOR DE TENSIÓN	5.2. DIVISOR DE TENSIÓN CON POTENCIÓMETRO	5.3. DIVISOR DE TENSIÓN CON LDR
		
5.4. DIVISOR DE TENSIÓN CON NTC	5.5. DIODO EN POLARIZACIÓN DIRECTA	5.6. DIODO EN POLARIZACIÓN INVERSA
		
5.7. LED EN POLARIZACIÓN DIRECTA	5.8. RECTIFICADOR POR PUENTE DE DIODOS	
		

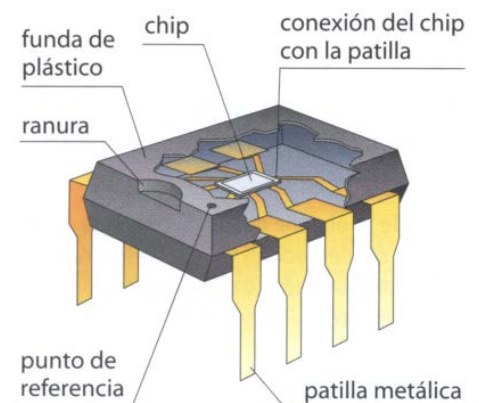
<p><b>5.9. DETECTOR DE LUZ</b></p> 	<p><b>5.10. VENTILADOR ACTIVADO POR NTC</b></p> 
<p><b>5.11. PAR DARLINGTON</b></p> 	<p><b>5.12. MULTIVIBRADOR ASTABLE</b></p> 
<p><b>5.13. POLARIZACIÓN DE TRANSISTOR POR DIVISOR DE TENSIÓN</b></p> 	<p><b>5.14. CIRCUITO TEMPORIZADOR</b></p> 

En la Web encontramos innumerables aplicaciones que nos permiten simular circuitos electrónicos. Uno muy sencillo y totalmente gratuito es TinkerCAD, disponible en la dirección [www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com). Nos podemos registrar en la web usando una cuenta de Google.

## 6. CIRCUITOS INTEGRADOS.

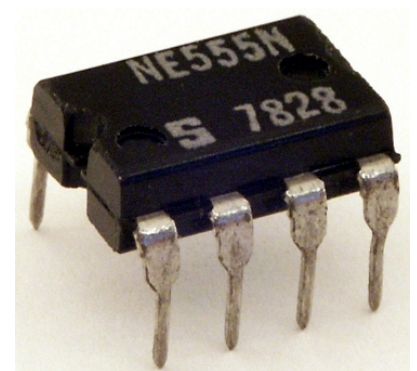
Los circuitos integrados (C.I.) son circuitos que tienen un uso específico, compuestos de los elementos simples estudiados: transistores, diodos, resistencias, condensadores, etc., fabricados en una oblea de silicio (miniaturizados), conectados los lugares importantes donde daremos señal y recogeremos los resultados con contactos eléctricos o terminales, y empaquetados o protegidos por una carcasa de plástico. También se les llama chip o microchip.

Un microchip hoy en día es un prodigio tecnológico. Los elementos del circuito son tan pequeños que se necesita un buen microscopio para verlo. En un microchip de un par de centímetros de largo por un par de centímetros de ancho pueden caber *millones de transistores* además de resistencias, diodos, condensadores, etc. Un ejemplo muy bueno sería el *microprocesador* de un ordenador.



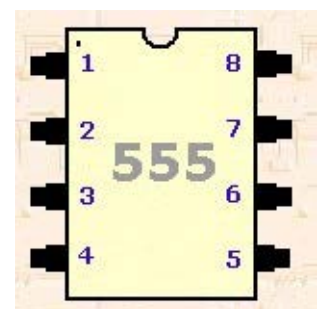
### 6.1. Temporizador (Timer) 555.

El temporizador 555 es un circuito integrado con 8 patas. Genera señales temporales con mucha estabilidad y precisión, lo cual lo convierte en el circuito base de muchas aplicaciones que necesiten un control del tiempo: temporizadores, generadores de señales, relojes, retardadores, etc. En general, con él seremos capaces de que en la salida un tiempo determinado esté alta (A la tensión de alimentación) y otro tiempo esté baja (a 0 voltios), y ambos tiempos los podamos controlar muy bien con este microchip.



La descripción de los pines de un 555 se refiere al de **encapsulado DIP-8**. El encapsulado es la cubierta de plástico con los contactos, y DIP 8 significa que tiene cuatro patas a un lado y cuatro a otro.

- **PATILLA 1.- Masa (GND).** En ella se conecta el polo negativo de la fuente de alimentación. Es el terminal a 0 voltios.
- **PATILLA 2.- Entrada de disparo (Trigger).** Es la entrada del circuito. Por ella se introducen las señales para dispararlo o ponerlo en marcha.
- **PATILLA 3.- Salida (Output).** Cuando está activada proporciona una tensión aproximadamente igual a la de alimentación.
- **PATILLA 4.- Reset.** Permite la interrupción del ciclo de trabajo. Cuando no se usa se conecta al positivo de la alimentación.
- **PATILLA 5.- Tensión de Control (Control Voltage).** Esta tensión debe ser 1/3 de la de alimentación. Cuando no se usa, se debe conectar un condensador entre 10nF y 100 nF entre éste y tierra.
- **PATILLA 6.- Umbral (Threshold).** Esta tensión debe ser 2/3 de la de alimentación. Permite finalizar el ciclo de trabajo.
- **PATILLA 7.- Descarga (Discharge).** En este pin se conecta el condensador exterior que fija la duración de la temporización.



- PATILLA 8.- Alimentación ( $V_+$  o  $V_{cc}$ ). Conexión de la alimentación de 4,5 a 16 V, respecto de masa.

#### a) Funcionamiento del 555 como retardador de la desconexión (monoestable).

Al accionar el pulsador SW1, se aplica una pequeña tensión de disparo a TRIGGER. Esto provoca que la salida (Patilla 3) pase a tener la tensión de alimentación  $V_{cc}$ . En un principio la patilla TRIGGER estaba cargada a  $V_{cc}$ , y baja a un valor menor de  $1/3$  de  $V_{cc}$ .

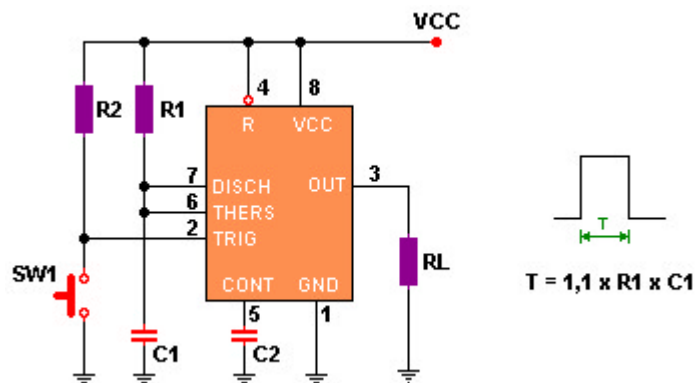
Cuando eso sucede, se empieza a cargar el condensador  $C_1$  a través de la resistencia  $R_1$ . Cuando la tensión en este condensador alcanza los  $2/3$  de la tensión de  $V_{cc}$  se activa la patilla 7 de descarga (DISCHARGE). En ese momento la salida vuelve a ser 0 V.

¿Qué tiempo tarda entre una cosa y otra? Viene dado por la fórmula:

$$T = 1,1 \cdot R_1 \cdot R_2$$

Otras condiciones:  $R_2$  debe estar entre 1 K $\Omega$  y 3,3 M $\Omega$  y el valor mínimo de  $C_1$  es de 500 pF.

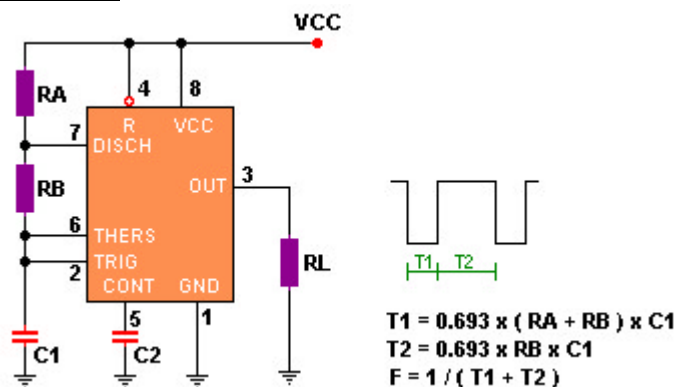
¿Qué significa  $R_L$ ? Significa "resistencia de carga". Es una resistencia que sustituye a cualquier dispositivo que produzca algún efecto: un relé, una bombilla, un motor, etc.



#### b) Funcionamiento del 555 como astable (automático).

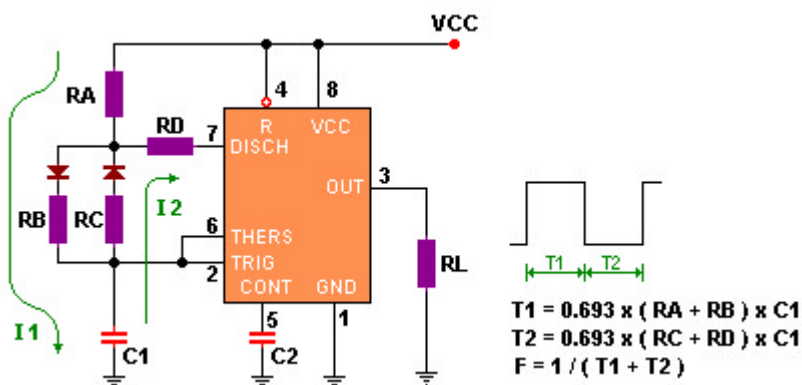
Cuando se conecta la alimentación, el condensador está descargando y la salida del 555 pasa a nivel alto hasta que el condensador  $C_1$ , que se va cargando, alcanza los  $2/3$  de la tensión de alimentación. Cuando lo alcanza la salida del 555 conmuta a cero y el condensador  $C_1$  comienza a descargarse a través de la resistencia  $R_B$ . Cuando la tensión en el condensador  $C_1$  llega a  $1/3$  de la alimentación, comienza de nuevo a cargarse, y así sucesivamente mientras se mantenga la alimentación.

$R_A$  toma valores entre 1K $\Omega$  y 10M $\Omega$ , y  $R_B$  siempre tiene que ser menor que  $R_A$



#### c) Funcionamiento del 555 como astable simétrico (automático).

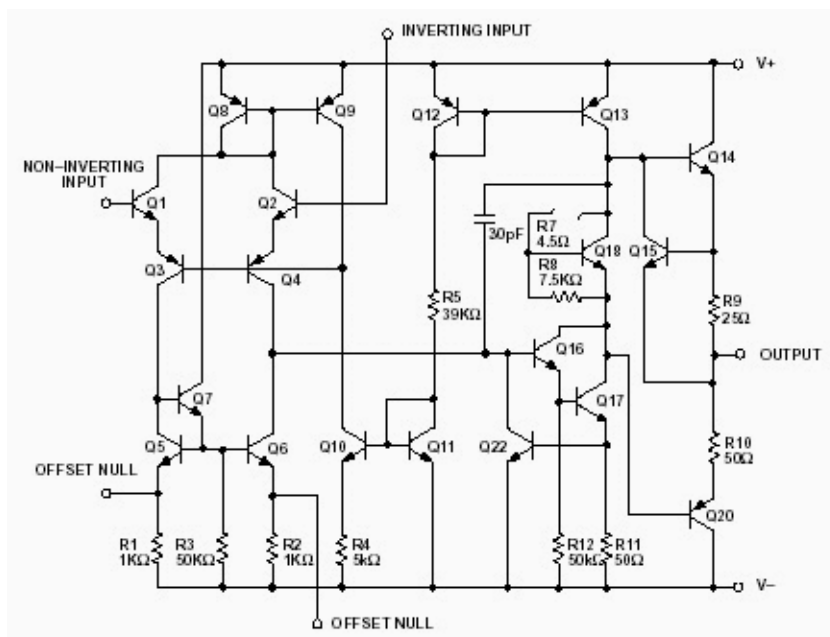
Parecido al anterior, pero la señal de salida puede ser simétrica, es decir que el tiempo en que la señal está a nivel alto es el mismo tiempo en el que la señal está baja.



## 6.2. Amplificador Operacional (OpAmp) (LM741).

Este circuito integrado (cuyo aspecto puedes ver a la derecha) sirve para aumentar una señal de entrada, por ejemplo, la señal de voltaje que tiene un micrófono para que salga por un altavoz, o para amplificar la señal de antena de una televisión (no el 741 sino otro modelo).

En su interior, como puedes observar (no te asustes, no lo tienes que aprender), encontramos transistores, resistencias y condensadores (fíjate en el diagrama). En lugar de montar cada vez que vayamos a utilizarlo todo este complejo circuito, se procede a su fabricación y encapsulado, teniéndolo disponible para cuando se desee.



El 741 es un microchip de 8 pines. Su representación es la de un triángulo. En su base hay conectadas dos entradas,  $V_+$  y  $V_-$ , que corresponden a las pines números 3 y 2 respectivamente. La señal de salida,  $V_0$ , se localiza en la pina 6. El resto de las pines importantes son la 4 y la 7, por donde se alimenta (tensiones de alimentación que vienen de una fuente de alimentación o de una pila). La pina 4 es una tensión NEGATIVA o cero. La pina 7 es una tensión POSITIVA. Las pines 1, 5 y 8 no las vamos a estudiar. Normalmente se alimenta simétricamente. Por ejemplo, si en la pina 7 hay 12 voltios en la 4

habrá la misma tensión pero negativa: -12 V.

El 741 tiene una alta resistencia de entrada (mayor de  $1\text{M}\Omega$ ) y una baja resistencia de salida ( $150\ \Omega$ ). Lo cual implica que la salida se puede conectar prácticamente a cualquier esquema sin modificación.

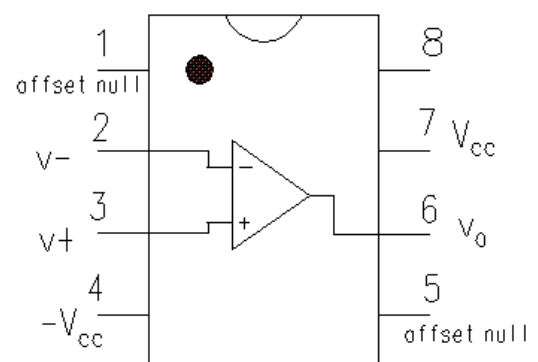
### a) Funcionamiento del 741 en lazo abierto.

En lazo abierto el 741 amplifica las señales de la siguiente forma:

$V_0$  será la diferencia de tensiones entre las pines  $V_+$  y  $V_-$  multiplicado por la ganancia del amplificador ( $A$ ). Esta ganancia suele ser muy alta, de diez mil o cien mil:

$$V_0 = A (V_+ - V_-)$$

La tensión de salida no puede ser superior a la tensión positiva de alimentación (pina 7) y no puede ser menor que la tensión negativa de alimentación (pina 4). Según el modelo es incluso menor que las tensiones de alimentación. Por ejemplo si hay en la nº 7 doce voltios y en la nº 4 hay menos doce voltios, no supera los diez voltios en valor absoluto:  $V_0 \geq -V_{cc}$  y  $V_0 \leq V_{cc}$



**Ejemplo:** En la pata 3 hay una señal de 5 nV y en la 2 una de 3 nV.

- $V_+ - V_- = 5 \text{ nV} - 3 \text{ nV} = 2 \text{ nV}$
- $A = 20.000$
- $V_0 = A (V_+ - V_-) = 20.000 \cdot 2 \text{ nV} = 40 \mu\text{V}$

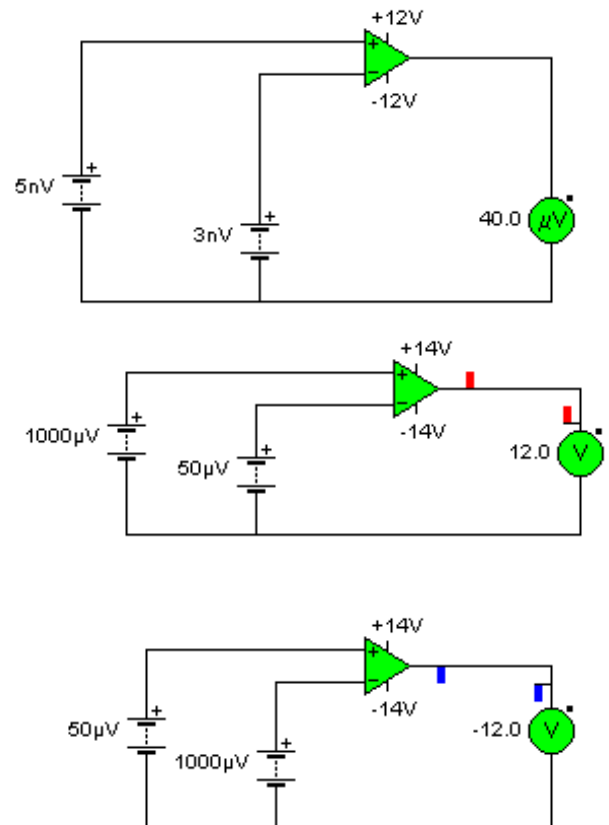
**Ejemplo:** En la pata 3 introducimos una señal de 1000  $\mu\text{V}$  y en la 2, 50  $\mu\text{V}$ .

- $V_+ - V_- = 1000 \text{ nV} - 50 \text{ nV} = 950 \text{ nV}$
- $A = 20.000$
- $V_0 = A (V_+ - V_-) = 20.000 \cdot 950 \text{ nV} = 19 \text{ V}$

Sin embargo, como  $V_0$  no puede superar los catorce voltios, incluso menos, el voltímetro da un valor de 12 Voltios máximo. Como supera el máximo se dice que el amplificador 741 está **saturado**.

Si ahora le doy la vuelta a  $V_+$  y  $V_-$ , la diferencia es de -950  $\mu\text{V}$ , y la lectura del polímetro no supera los -12 V.

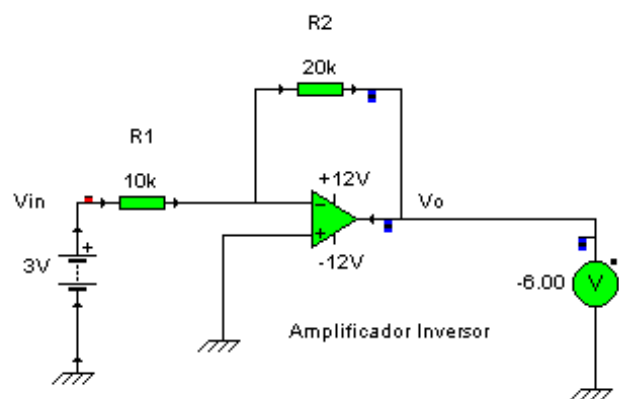
Esta limitación del 741 de amplificar señales muy bajas y no relativamente altas, lo hacen inviable para un uso normal de amplificador ya que se saturaría rápidamente. Los amplificadores operacionales 741 en lazo abierto se utilizan como **comparadores**. Un comparador detecta rápidamente si la diferencia entre las patas  $V_+$  y  $V_-$  se ha vuelto positiva y negativa, dando los valores de saturación y activando algún dispositivo.



## b) Funcionamiento en lazo cerrado o retroalimentado como amplificador inversor.

En este circuito, hay que cumplir algunas condiciones (¡cuidado!: la pata  $V_+$  está abajo y la  $V_-$  arriba).

- $V_+$  debe estar conectado a tierra. Cuando conecto algo a tierra estoy seguro que está a **cero voltios**.
- Así construido me aseguro que  $V_-$  también está a cero voltios. Se llama a este efecto **principio de tierra virtual**.
- La pata  $V_-$  está conectada a la señal de entrada ( $V_{\text{input}}$  o  $V_{\text{in}}$ ) a través de una resistencia que he llamado  $R_1$  y conectada a la señal de salida a través de otra resistencia que he llamado  $R_2$ .
- Cuando  $V_-$  está conectada a través de "algo" (resistencias, condensadores, etc.) a la señal de entrada y a la señal de salida se dice que está **retroalimentada**.
- En retroalimentación la ganancia cambia. Ahora no es unas miles de veces, sino que tiene la fórmula:  $A = \frac{-R_2}{R_1}$ . En nuestro ejemplo sería:  $A = \frac{-20 \text{ K}\Omega}{10 \text{ K}\Omega} = -2$ .
- Para calcular la salida se aplica la fórmula:  $V_0 = A \cdot V_{\text{in}} = -2 \cdot 3 \text{ V} = -6 \text{ V}$ .
- Existe siempre saturación. Si, por ejemplo,  $V_{\text{in}} = 15 \text{ V}$ , entonces sería  $V_0 = A \cdot V_{\text{in}} = -2 \cdot 15 \text{ V} = -30 \text{ V}$ , pero como no puede pasar de -12 V, la salida no pasaría de este valor nunca.



### c) Funcionamiento en lazo cerrado o retroalimentado como amplificador no-inversor

En este caso, la fórmula para la salida del amplificador es la siguiente:

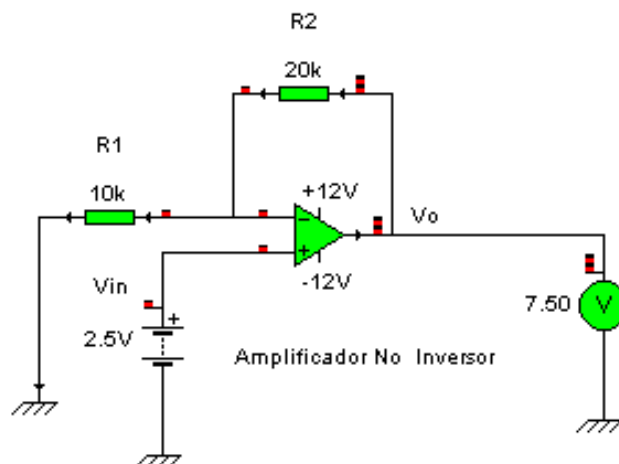
$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{in}$$

El término entre paréntesis es, precisamente, la ganancia del amplificador operacional.

Siguiendo con el ejemplo del circuito de la derecha,  $R_2 = 20\text{ K}\Omega$ ,  $R_1 = 10\text{ K}\Omega$ , y el voltaje de salida será:

$$V_o = \left(1 + \frac{20\text{ K}\Omega}{10\text{ K}\Omega}\right) \cdot 2,5\text{ V} = 7,5\text{ V}$$

Igualmente funciona aquí lo hablado anteriormente sobre la saturación.



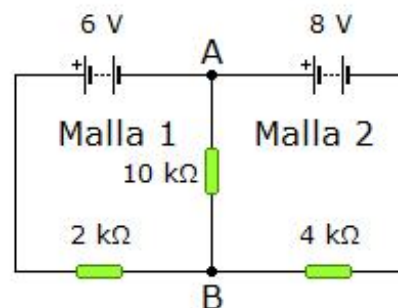


# APÉNDICE I

## LEYES DE KIRCHHOFF

Intentemos resolver un circuito como el de la figura de la derecha. Sin duda, lo tendremos complicado. Por no decir, imposible. La presencia de la resistencia de  $10\text{ k}\Omega$  nos desconcierta y no sabemos qué hacer.

En este tipo de circuitos (que parecen dos circuitos sencillos, pero "pegados" entre sí), hay que utilizar dos herramientas nuevas, que fueron descubiertas por el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff, son conocidas como las **leyes de Kirchhoff**.



Pero antes de conocer estas leyes vamos a definir unos conceptos previos.

En un circuito, se le dice **mall**a a todo recorrido cerrado que puede hacerse dentro de él, que empiece y acabe en un mismo punto, y que no repita componentes por los que se ha pasado. En nuestro circuito, por ejemplo, habría 3 mallas:

- Malla 1: contiene la pila de  $6\text{ V}$  y las resistencias de  $2$  y  $10\text{ k}\Omega$ .
- Malla 2: contiene la pila de  $8\text{ V}$  y las resistencias de  $10$  y  $4\text{ k}\Omega$ .
- Malla 3 (la más grande): contiene las dos pilas y las resistencias de  $2$  y  $4\text{ k}\Omega$ .

Se llama **nudo** al punto en el que se unen dos o más cables (lo que un electricista llamaría "empalme"). En nuestro caso, habría **dos nudos**, a los que he llamado A y B.

Podemos imaginarnos que en cada malla hay una intensidad, cuyo sentido de circulación elegimos nosotros. Por ejemplo, sentido antihorario. En el tramo común a las dos mallas hay una tercera intensidad. Yo voy a suponer que esta intensidad discurre hacia abajo. El objetivo que se nos plantea es, pues, averiguar el valor de estas tres intensidades. Sabido esto, vamos con las leyes ya mencionadas.

### Primera ley de Kirchhoff, ley de los nudos o LKI

En cualquier nudo de un circuito, la suma de las intensidades que llegan a un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen del mismo.

### Segunda ley de Kirchhoff, ley de las mallas o LKT

La suma neta de las tensiones de una malla es cero.

Para tener éxito usando las leyes de Kirchhoff ten en cuenta estas instrucciones:

- Cuenta bien las mallas existentes.
- Elige siempre el mismo sentido de circulación adecuado para las intensidades de cada malla, y mantenlo.
- Cuando encuentres una pila, el signo que habrá que colocar al voltaje será el del polo por el que entres.

Con esto, para resolver el circuito que hemos planteado arriba necesitaremos resolver un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, que se transforma fácilmente en uno de dos ecuaciones con dos incógnitas. Vamos a verlo:

$$\begin{cases} -6 + 2 \cdot I_1 - 10 \cdot I_3 = 0 \\ -8 + 10 \cdot I_3 - 4 \cdot I_2 = 0 \\ I_1 + I_3 = I_2 \end{cases}$$

Las dos primeras ecuaciones las hemos obtenido de la LKT, y la última la hemos obtenido de la LKI. Si despejo  $I_3$  de la última ecuación, tengo que  $I_3 = I_2 - I_1$ .

Me llevo esto a las dos primeras ecuaciones, y obtengo:

$$\begin{cases} -6 + 2 \cdot I_1 - 10 \cdot (I_2 - I_1) = 0 \\ -8 + 10 \cdot (I_2 - I_1) - 4 \cdot I_2 = 0 \end{cases}$$

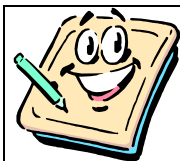
Arreglamos esta expresión, realizando un poquito de álgebra, para tener:

$$\begin{cases} 12 \cdot I_1 - 10 \cdot I_2 = 6 \\ -10 \cdot I_1 + 14 \cdot I_2 = 8 \end{cases}$$

Este sistema lo podemos resolver fácilmente por el método que queramos. Es interesante el [método de Cramer](#), aunque vale cualquier otro. En nuestro caso, los resultados son:

$$I_1 = 2,412 \text{ mA} \quad I_2 = 2,294 \text{ mA} \quad I_3 = -0,118 \text{ mA}$$

Ojo al resultado obtenido para  $I_3$ . Este valor negativo nos indica que el sentido real en el que circula la corriente es el contrario al que habíamos asignado



**TRUCO RÁPIDO PARA TECNOLOC@S**  
Podemos obtener el sistema de ecuaciones muy rápidamente de una forma muy sencilla. Aplica la siguiente receta paso a paso.

- 1) Establece las mallas de tu circuito.
- 2) Dibuja los nudos y fíjate en uno de ellos. Por ejemplo, el superior.
- 3) Dibuja las intensidades  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  (zona común a las dos mallas).
- 4) El coeficiente de  $I_1$  en la primera ecuación es igual a la resistencia total de la malla 1.
- 5) El coeficiente de  $I_2$  en la segunda ecuación es igual a la resistencia total de la malla 2.
- 6) Los coeficientes cruzados (el de  $I_2$  en la primera ecuación y el de  $I_1$  en la segunda) son iguales a la resistencia común a ambas mallas, pero cambiados de signo.
- 7) Los términos independientes son iguales al voltaje de la pila de cada malla, con el signo del polo por el que se sale.

Comprueba esta receta con el ejemplo que hemos hecho y ¡alucina!

## APÉNDICE II

### CONVERSIÓN ESTRELLA-TRIÁNGULO Y TRIÁNGULO-ESTRELLA

En ocasiones puede ser muy conveniente tener recursos adicionales para calcular resistencias equivalentes. Por ejemplo, en el circuito de la figura, la resistencia de  $5\text{ k}\Omega$  nos está planteando un problema, porque genera una asociación que no es serie ni paralelo.

Si te fijas y comparas con la figura 1, la resistencia de  $5\text{ k}\Omega$  participa en dos asociaciones que se conocen como **triángulo** o **delta**. Una de estas asociaciones sería con las resistencias de  $3\text{ k}\Omega$  y  $6\text{ k}\Omega$ , y la segunda con las de  $10\text{ k}\Omega$  y  $12\text{ k}\Omega$ .

El conocido como **Teorema de Kennelly** nos permite transformar una asociación en triángulo en otra asociación a la que se llama en **estrella** (figura 2), y que en este caso nos permitiría resolver el problema muy fácilmente.

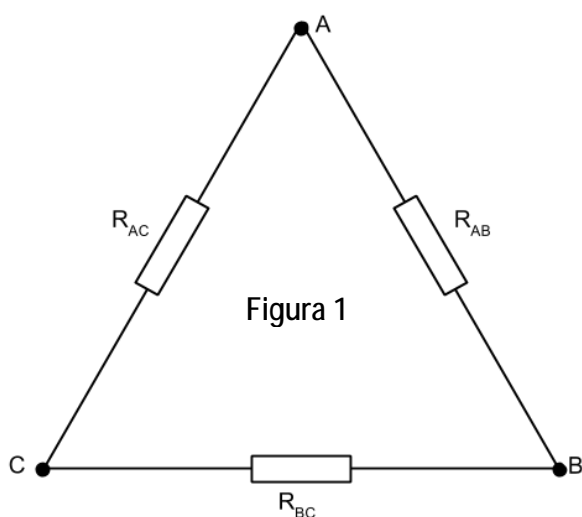
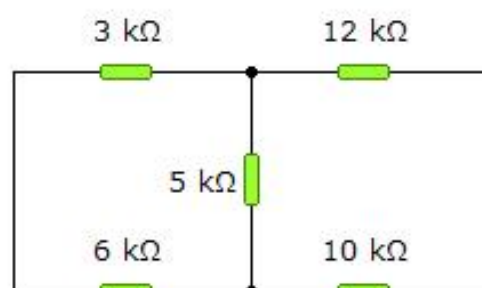


Figura 1

ASOCIACIÓN TRIÁNGULO

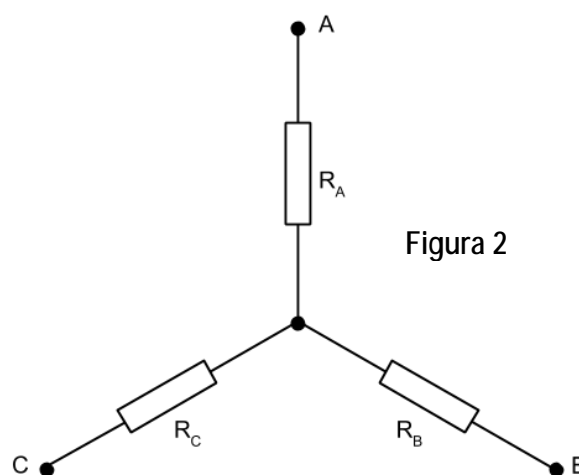


Figura 2

ASOCIACIÓN ESTRELLA

Las fórmulas para la conversión de una en otra son las siguientes:

CONVERSIÓN DE TRIÁNGULO A ESTRELLA
$R_A = \frac{R_{AC} \cdot R_{AB}}{R_A + R_B + R_C}$
$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_A + R_B + R_C}$
$R_C = \frac{R_{AC} \cdot R_{BC}}{R_A + R_B + R_C}$

CONVERSIÓN DE ESTRELLA A TRIÁNGULO
$R_{AB} = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_C}$
$R_{AC} = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_B}$
$R_{BC} = \frac{R_A \cdot R_B + R_A \cdot R_C + R_B \cdot R_C}{R_A}$

Una regla para que te acuerdes fácilmente puede ser la siguiente:

- ✓ De **triángulo a estrella**, la resistencia equivalente a cada una se calcula efectuando el cociente entre el producto de las adyacentes y la suma de todas las resistencias.
- ✓ De **estrella a triángulo**, la resistencia equivalente se obtiene haciendo el cociente entre el sumatorio de todos los productos posibles entre resistencias y la resistencia opuesta a la calculada.

Vamos a aplicar estas fórmulas a nuestro ejemplo:

Como habíamos dicho, las resistencias de 3, 5 y 6 K $\Omega$  estaban asociadas en triángulo. Vamos a llamarlas, respectivamente,  $R_A$ ,  $R_B$  y  $R_C$ .

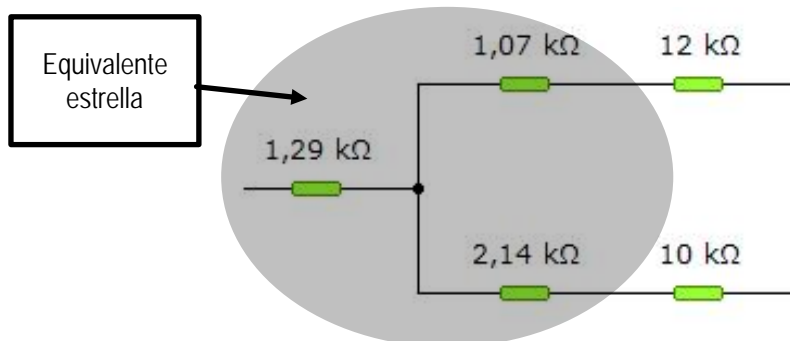
Convertimos a estrella a través de las fórmulas:

$$R_A = \frac{R_{AC} \cdot R_{AB}}{R_A + R_B + R_C} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 5 + 6} = \frac{18}{14} = 1,29 \text{ K}\Omega$$

$$R_B = \frac{R_{AB} \cdot R_{BC}}{R_A + R_B + R_C} = \frac{3 \cdot 5}{3 + 5 + 6} = \frac{15}{14} = 1,07 \text{ K}\Omega$$

$$R_C = \frac{R_{AC} \cdot R_{BC}}{R_A + R_B + R_C} = \frac{6 \cdot 5}{3 + 5 + 6} = \frac{30}{14} = 2,14 \text{ K}\Omega$$

Con lo que el montaje se transforma en el siguiente:

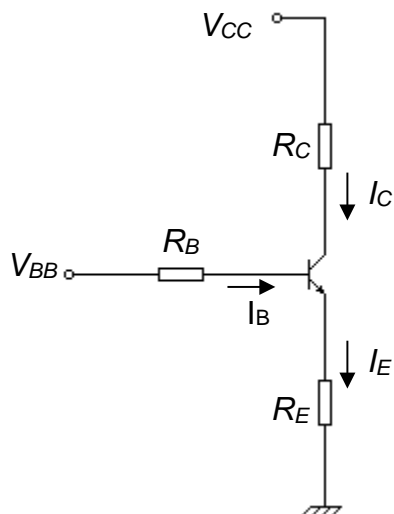


Y, aplicando ya las reglas de los equivalentes serie y paralelo, tendremos:



## APÉNDICE III

### RESOLUCIÓN DE UN CIRCUITO CON TRANSISTOR



Aquí tienes el circuito con transistor más complicado que te puedes encontrar. Como ves, tiene 3 resistencias,  $R_B$ ,  $R_C$  y  $R_E$ , una para cada terminal del transistor.

Por otro lado, como ya sabes, para las intensidades debe cumplirse:

$$I_E = I_B + I_C \quad (1)$$

Defino un parámetro característico del transistor, al que llamo **ganancia**, y que sólo puede considerarse si el transistor se encuentra en activa:

$$\beta = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} \quad (2)$$

La ganancia es fuertemente dependiente de la temperatura, del modelo de transistor y, dentro del mismo modelo, varía incluso entre dos unidades aparentemente iguales. Suele valer entre 100 y 300.

Según la ecuación (2),  $I_C = \beta \cdot I_B$ . Combinando esto con la ecuación (1), podemos decir que  $I_E = I_B + \beta \cdot I_B = (\beta + 1) \cdot I_B$  y, por tanto:

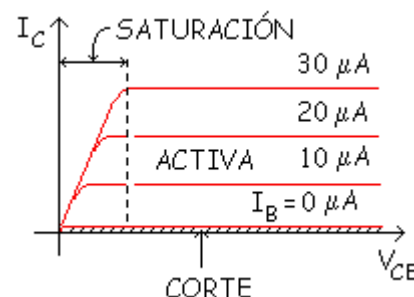
$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B \quad (3)$$

Aplicamos ahora las leyes de Kirchhoff a los dos circuitos que tenemos en el transistor:

Circuito de base:  $V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + I_E \cdot R_E \quad (4)$

Circuito de colector:  $V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_E \cdot R_E \quad (5)$

No olvides que  $V_{BE} = 0,7 \text{ V}$  si el transistor es de silicio (lo habitual en nuestros circuitos) y  $0,2 \text{ V}$  si es de germanio



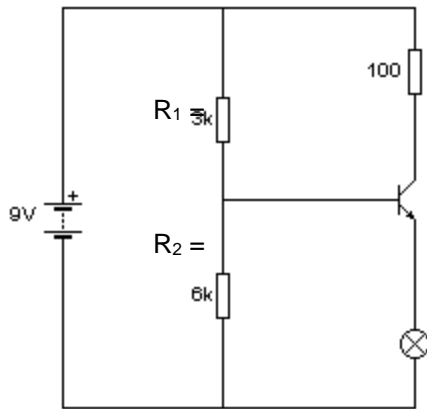
CORTE	ACTIVA	SATURACIÓN
$I_C = 0$	$0 < I_C < \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$	$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$
$V_{CE} = V_{CC}$	$0,2 \text{ V (0 V)} < V_{CE} < V_{CC}$	$V_{CE} \approx 0,2 \text{ V (0 V)}$

**Resolver un transistor** consiste en calcular los valores de  $I_C$  y de  $V_{CE}$ , ya que ellos nos indicarán en qué estado se encuentra el transistor, según esta tabla:

A partir de las ecuaciones de los circuitos de base (4) y de colector (5) podremos encontrar dichos valores de  $I_C$  y  $V_{CE}$ . Hay que tener en cuenta que El procedimiento básico será el siguiente:

- 1) Detectar claramente que el transistor no está en corte.
- 2) Suponer que se encuentra en activa. Si calculamos  $I_C$  y  $V_{CE}$  y no obtenemos ninguna incongruencia, habremos terminado.
- 3) Si al calcular los valores de obtenemos un resultado extraño, tendremos que suponer que el transistor está en saturación, y que  $V_{CE} \approx 0,2 \text{ V (0 V)}$ . En ese caso, no olvides que la ecuación (2) no sirve (pero siempre te quedará Kirchhoff, no te preocupes).

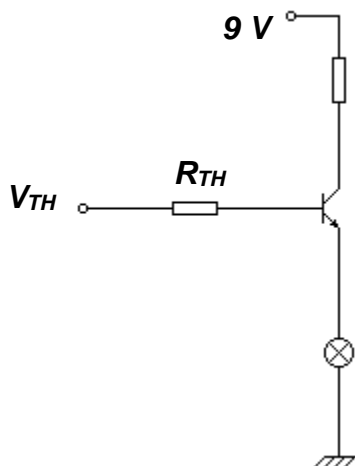
## APÉNDICE IV: EQUIVALENTE THÉVENIN DE UN CIRCUITO CON TRANSISTOR



Si queremos analizar un circuito como el que aparece en la figura de la izquierda, nos encontraremos en un grave problema. Para emplear las leyes de Kirchhoff, tendremos tres mallas y tres nudos. Pero no sabemos resolver circuitos tan complicados.

Entonces es recurrir a un método alternativo, que es el del **circuito equivalente Thévenin**.

El circuito equivalente Thévenin se obtiene cambiando el circuito de base, a una forma en la que haya una pila de valor  $V_{TH}$  y una resistencia en serie con ella, llamada  $R_{TH}$ . Más o menos, como indica la siguiente figura:



Los valores de  $V_{TH}$  y  $R_{TH}$  pueden calcularse a partir de las siguientes fórmulas:

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V \quad (1)$$

$$R_{TH} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Así, en nuestro ejemplo, tendríamos:  $V_{TH} = \frac{3K\Omega}{3K\Omega + 6K\Omega} \cdot 9V = 6V$

$$R_{TH} = 6K || 3K = \frac{6K\Omega \cdot 3K\Omega}{6K\Omega + 3K\Omega} = 2K\Omega$$

Y con esto ya podríamos resolver el circuito utilizando el procedimiento que ya conocemos.

# APÉNDICE V:

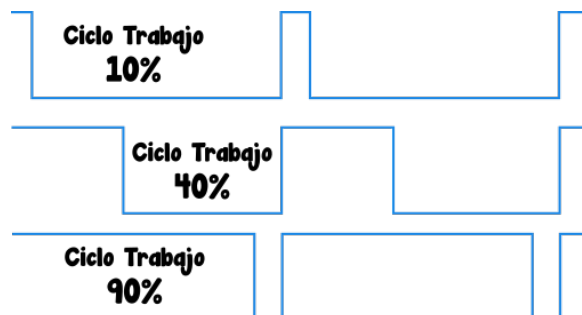
## PULSE WIDTH MODULATION (PWM)

Obtenido de la web [Rincón Ingenieril](http://Rincón Ingenieril)

PWM son siglas en inglés que significan *Pulse Width Modulation* y que lo podemos traducir a español como **Modulación de ancho de pulso**.

Consiste en una señal de onda cuadrada que no siempre tiene la misma relación entre el tiempo que está en alto y el tiempo que está en bajo.

En la imagen vemos una señal que varía entre 5 voltios y 0 voltios. A lo largo del tiempo la señal varía entre dos valores de tensión. Durante un tiempo determinado la señal se encuentra en el nivel alto (por ejemplo, 5 V) y durante otro periodo de tiempo se encuentra en el segundo valor de tensión (en este caso 0 V).



El tiempo que la señal se encuentra en el nivel alto (5 V) lo denominamos como tiempo ON ( $T_{ON}$ ) mientras que el tiempo que está en nivel bajo lo denominamos tiempo OFF ( $T_{OFF}$ ). La suma del tiempo ON y el tiempo OFF es el periodo de la señal ( $T$ ). El inverso de del periodo ( $1/T$ ) es la frecuencia ( $f$ ) de la señal.

### Ciclo de trabajo o Duty Cycle

El Duty Cycle se define como:

$$DC = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \cdot 100 = \frac{T_{ON}}{T} \cdot 100$$

### Para qué sirve el PWM

Cuanto mayor sea el DC, mayor tiempo estará la tensión en alto, y más elevado será el valor medio (siempre inferior al valor máximo. Cuando una señal de tensión atraviesa ciertos componentes electrónicos, puede hacer que su comportamiento cambie. Por ejemplo, los ledes, los motores de corriente continua o ventiladores, incluso los altavoces y los zumbadores.

Si le enviamos una señal de 100% de ciclo de trabajo, un LED se encenderá con todo su brillo. Si lo conectamos a una señal del 50% de Duty Cycle, el LED se encenderá con la mitad de su brillo.

### Cómo generar una señal PWM

Aunque hay varias alternativas (por ejemplo, usando Arduino), en este tema es interesante abordar el método del 555.

En el esquema de la derecha vemos la salida (OUT). La duración del Duty Cycle se modifica ajustando el valor de la resistencia variable RV1.

