

Electrónica analógica

Rocío Leira Rodríguez
Jorge Gómez Suárez



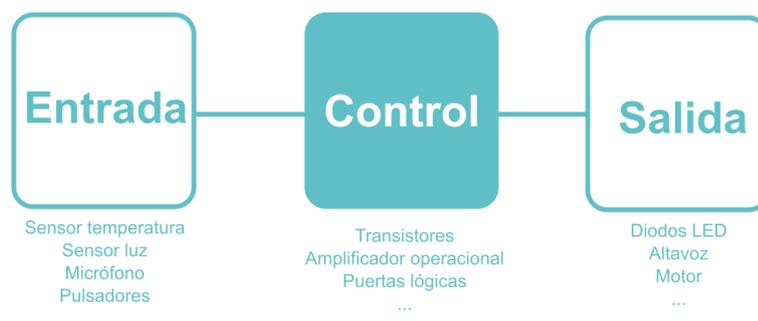
Introducción

La electrónica es el campo de la ingeniería y la de física aplicada que estudia el diseño de circuitos que permiten generar, modificar o tratar una señal eléctrica, normalmente circuitos de corriente continua. La electrónica se empezó a desarrollar en la primera mitad del siglo XX con el empleo de relés y válvulas de vacío, pero no fue hasta 1948, con la invención del transistor bipolar cuando se inicia el desarrollo y aplicación de materiales semiconductores para el desarrollo de componentes electrónicos. Este hecho supuso una auténtica revolución que unido al desarrollo de los circuitos integrados en 1959, que supuso la miniaturización de los circuitos electrónicos, ha dado lugar a la microelectrónica actual.

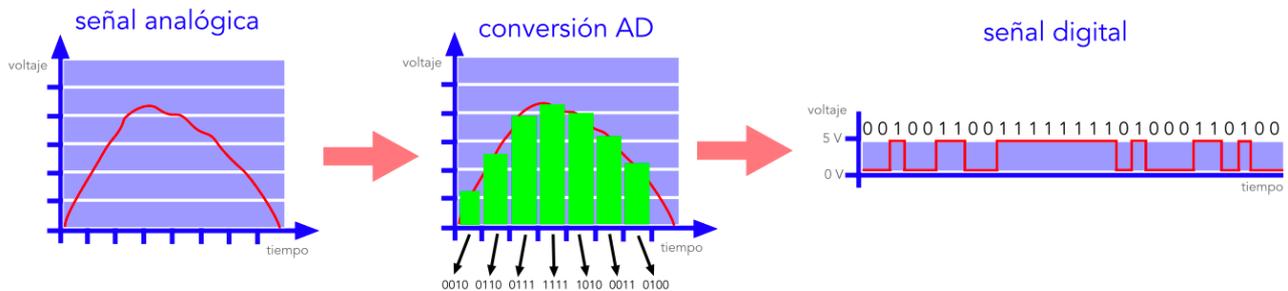
Hoy en día la electrónica es un campo en continua evolución, gracias al descubrimiento de nuevos materiales y al vertiginoso desarrollo de los circuitos integrados. Tiene una alta importancia en la actualidad ya que resuelve una gran infinidad de problemas y necesidades, con múltiples aplicaciones en la industria, telecomunicaciones, medicina, informática y un largo etcétera.

Sistemas electrónicos

Los sistemas electrónicos son conjuntos de circuitos que operan con señales eléctricas y las tratan para ejecutar una determinada función. Constan de una etapa de **entrada**, en la que se recogen datos del exterior (luz, humedad, movimiento, pulsación en un teclado, temperatura, etc.) y de una etapa de **proceso o control**, donde se interpretan, gestionan y elaboran los resultados que permiten o no activar los dispositivos de **salida**, que forman la última etapa.



En función del tipo de señal que empleen, los sistemas electrónicos pueden ser **analógicos** o **digitales**. En un sistema **analógico**, la señal puede tomar infinitos valores diferentes en un intervalo determinado. En un sistema **digital**, sin embargo, la información solo puede adoptar dos valores diferentes, denominados estados lógicos (0 y 1) que se corresponden normalmente con 0 V o 5 V. En la naturaleza casi todos los parámetros físicos son analógicos, por lo que si se desean tratar de forma digital es necesario convertirlos.



Realmente la **electrónica analógica** trabaja con las magnitudes eléctricas que ya conocemos: intensidad, voltaje,... y las modifica, mientras que la **electrónica digital** realmente trabaja con números. Cada dato de intensidad o voltaje de un circuito digital se transforma en un número binario, fácil de almacenar en una memoria, operar matemáticamente,... La electrónica digital es más completa, pero para exista necesitamos primero una señal analógica que luego convertiremos en una señal digital (conversión AD).

Las principales características de los circuitos electrónicos, tanto analógicos como digitales, son:

- Trabajamos, casi siempre, con corriente continua.
- Los voltajes o tensiones utilizados son bajos, como máximo 20 v.
- Además de materiales conductores y aislantes usamos los llamados semiconductores.

Componentes electrónicos

El funcionamiento de cualquier circuito electrónico solo puede explicarse a partir del conocimiento de la tipología, los parámetros y las características de cada uno de los componentes interconectados que lo integran, por lo que a continuación estudiaremos los componentes electrónicos más importantes.

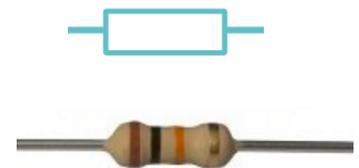
La función de una resistencia es dificultar el paso de la corriente eléctrica, y como consecuencia producir una caída o pérdida de tensión entre sus terminales que acarrea una bajada en la intensidad de todo el circuito y a su vez una transformación de energía eléctrica en calor. La unidad de medida de la resistencia eléctrica es el **ohmio**, en honor al físico George Simon Ohm, y se representa con la letra griega omega (Ω). En electrónica usamos diferentes tipos de resistencias: **fijas**, **variables** y **dependientes**.

Resistencias fijas:

Las resistencias fijas son aquellos componentes electrónicos cuyo valor óhmico no varía. Dicho valor viene indicado sobre la superficie de la resistencia en forma de un código de colores que hay que saber interpretar conocer su valor. Los valores característicos que definen a una resistencia son los siguientes:

- **Valor óhmico (R):** mide el grado de oposición al paso de la corriente y se expresa en ohmios (Ω). El valor puede estar indicado numéricamente en la superficie de la resistencia o mediante un código de colores.
- **Tolerancia:** indica los valores máximos y mínimos entre los cuales estará comprendido su valor real. Se expresa en forma de porcentaje.
- **Potencia que puede disipar:** indica la potencia máxima a la que es capaz de trabajar. Se mide en vatios (W). Los valores de potencia de una resistencia son valores normalizado.

COLOR	CIFRA	CIFRA	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA
negro	0	0	x1	
marrón	1	1	x 10	± 1%
rojo	2	2	x 100	± 2%
naranja	3	3	x 1.000	
amarillo	4	4	x10.000	
verde	5	5	x 100.000	± 0,5%
azul	6	6	x 1.000.000	
morado	7	7	x 10.000.000	± 0,1%
gris	8	8	x 100.000.000	
blanco	9	9	x 1000.000.000	
oro			x 0,1	± 5%
plata			x 0,01	± 10%



Un ejemplo de lectura del código de colores:

Primer color marrón=1

Segundo color negro=0

Tercer color (factor multiplicador) naranja= x1.000

Cuarto color (tolerancia) oro= 5%

Resistencia valor teórico= $10 \times 1.000 = 10.000 \Omega = 10K \Omega$ 5% de $10.000 = 500 \Omega$

Resistencia valor real= entre 9.500 y 10.500 Ω

Resistencias variables:

El **potenciómetro** o **resistencia variable** es un tipo de resistencia que varía su valor óhmico desde cero hasta un valor máximo, mediante un elemento desplazable o cursor que se acciona manualmente.



Se suelen usar para ajustar los circuitos electrónicos, para controlar la velocidad de giro de un motor o la intensidad lumínica de una lámpara.

Resistencias dependientes.

Las resistencias dependientes son resistencias fabricadas con materiales semiconductores y su valor óhmico depende de un factor físico.

• LDR (Resistencia dependiente de la luz)

Su valor cambia con la intensidad luminosa que incide sobre su superficie, de manera que a mayor luz menor es la resistencia que ofrece. Se utilizan en dispositivos de regulación, control y medidas relacionados con la luz, como células fotoeléctricas, detectores para alarmas, etc.

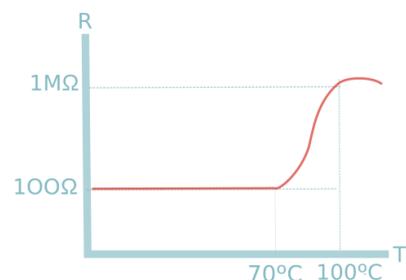


• Termistor tipo PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura)

Su valor cambia con la temperatura, de manera que cuando aumenta la temperatura la resistencia también aumenta, aunque como se puede ver en la gráfica no es un incremento lineal. Son mucho más precisas que los termómetros convencionales por lo que se utilizan en el control y medida de la temperatura.



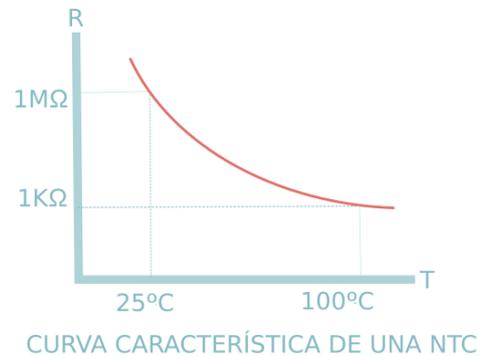
Rocío Leira Rodríguez
Jorge Gómez Suárez



CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA PTC

- **Termistor tipo NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura)**

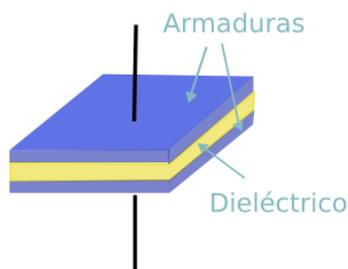
Su valor cambia con la temperatura, de manera que cuando aumenta la temperatura la resistencia disminuye, aunque al igual que las PTC no es un decrecimiento lineal. Tienen las mismas aplicaciones que las resistencias anteriores.



Condensador



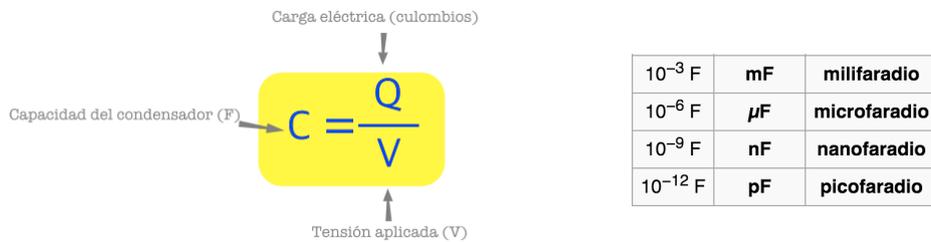
Los condensadores son componentes capaces de almacenar pequeñas cantidades recuperables de energía eléctrica. Están contruidos con dos placas metálicas paralelas, denominadas **armaduras**, separadas entre sí por un material aislante conocido como **dieléctrico**.



Los valores característicos de los condensadores son:

- **Capacidad (C):** mide la cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar. Se mide en fardados (F), en honor a Michael Faraday, aunque normalmente se usan valores en torno a μF (microfaradios) o nF (nanofaradios). Este valor se indica sobre la superficie del componente en forma de valor numérico o mediante código de colores.
- **Tensión de perforación del dieléctrico:** indica la tensión máxima que soporta el condensador.
- **Tolerancia:** indica la variación expresada en porcentaje entre el valor teórico y el valor real de la capacidad del condensador.

La cantidad de carga que puede almacenar un condensador depende de la tensión aplicada entre sus armaduras y de sus características constructivas. La relación entre la cantidad de carga almacenada y el voltaje aplicado al condensador se denomina capacidad, donde; Q representa la cantidad de carga expresada en culombios, V , la tensión aplicada expresada en voltios, y C , la capacidad del condensador, en faradios.



Tipos de condensadores:

Según su construcción, existen dos tipos de condensadores: **fijos** y **variables**.

Los fijos son los que se utilizan con mayor frecuencia y dentro de ellos hay dos tipos:

- **Sin polaridad:** Los más usados actualmente son de plástico y los cerámicos. Suelen ser de poca capacidad. Para su fabricación pueden emplearse diferentes materiales aislantes en el dieléctrico: cerámica, papel, plástico, etc.



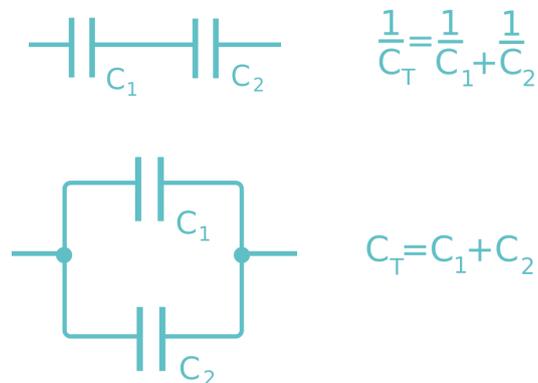
- **Con polaridad:** Construidos con láminas de aluminio, papel y óxido de aluminio como dieléctrico. Se consiguen con ellos mayores capacidades, pero debemos de tener en cuenta su polaridad a la hora de conectarlos en el circuito.



- **Variables:** Aquellos que pueden variar su capacidad ajustándolos manualmente.



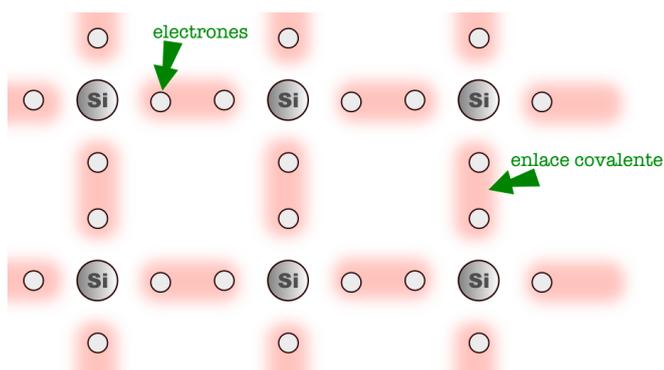
Al igual que las resistencias, los condensadores, al igual que las resistencias, se pueden asociar en serie y en paralelo. Si queremos que aumente la capacidad total de nuestro circuito debemos de asociarlos en paralelo, mientras que si queremos que disminuya lo haremos en serie.



Materiales semiconductores

El empleo de los materiales semiconductores supuso una revolución en el campo de la electrónica. Componentes como el diodo, el transistor y los circuitos integrados, entre otros, se construyen en la actualidad con materiales semiconductores

Los materiales semiconductores son materiales que se pueden comportar eléctricamente tanto como aislantes como conductores. Los principales materiales semiconductores usados en electrónica son el silicio (Si) y el germanio (Ge). Tanto el silicio como el germanio tienen cuatro electrones en su última capa, la llamada capa de valencia, que comparten con los átomos que le rodean formando así un enlace covalente, formando todos juntos una estructura cristalina estable.



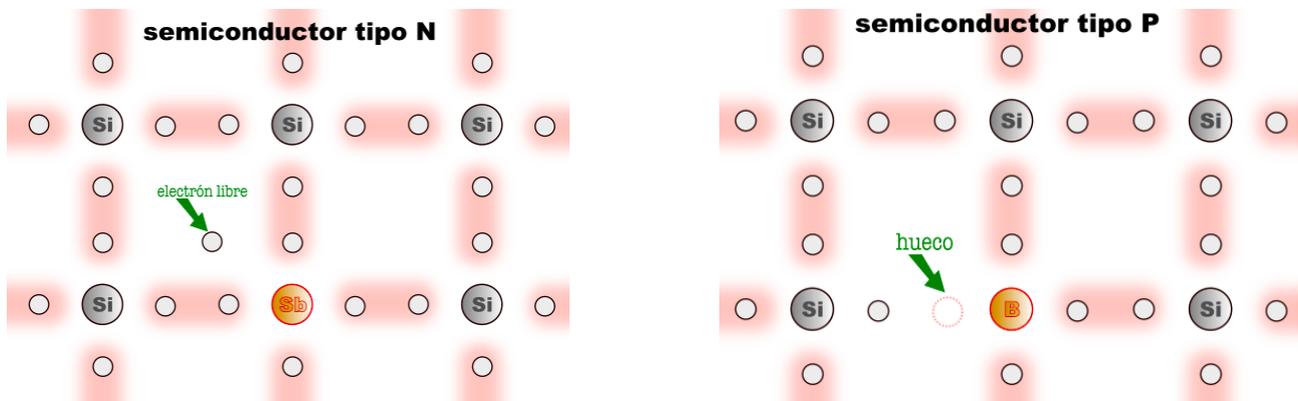
La estructura del silicio no tiene electrones libres y por lo tanto no permite el paso de la corriente eléctrica, es un aislante eléctrico. Para conseguir que conduzca la electricidad se le añaden **impurezas**, elementos químicos que tienen 3 o 5 electrones en su última capa de manera que producimos en el silicio un desequilibrio eléctrico. A este proceso se le denomina **dopaje**, y con él obtenemos los dos tipos de semiconductores utilizados para fabricar componentes electrónicos.

Semiconductor tipo N

Al dopar el silicio con impurezas de valencia 5, como con el arsénico (As), bismuto (Bi), antimonio (Sb) o fósforo (P), creamos un exceso de electrones en la estructura del silicio y este se carga negativamente al tener electrones libres. Por cada átomo de impurezas añadido se genera un electrón libre, que puede formar parte de la corriente eléctrica.

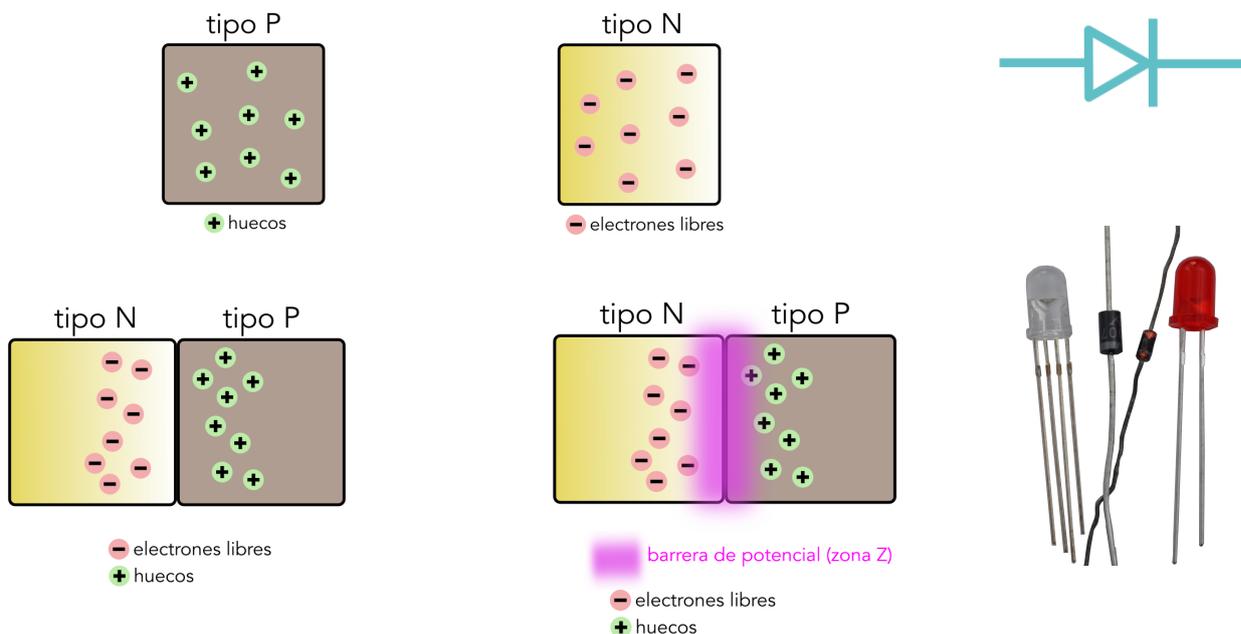
Semiconductor tipo P

Al dopar el silicio con impurezas de valencia 3, como con el indio (In), aluminio (Al), galio (Ga) o boro (B), creamos lo que se denomina un hueco, la falta de un electrón para completar los enlaces covalentes entre un átomo de impureza y un átomo de silicio o germanio, creándose así una carga eléctrica positiva.



Unión PN

Al unir un semiconductor tipo N con uno tipo P formamos un componente denominado **diodo**, que tiene un comportamiento muy particular.



Al unirlos se produce una atracción entre los electrones de un lado y los huecos del otro, pero no llega a producirse una unión debido a que aparece una **barrera de potencial** (Z) que impide el paso de la corriente eléctrica (realmente es un poco más complicado, para profundizar un poco más en este tema podéis ver [este vídeo](#)).

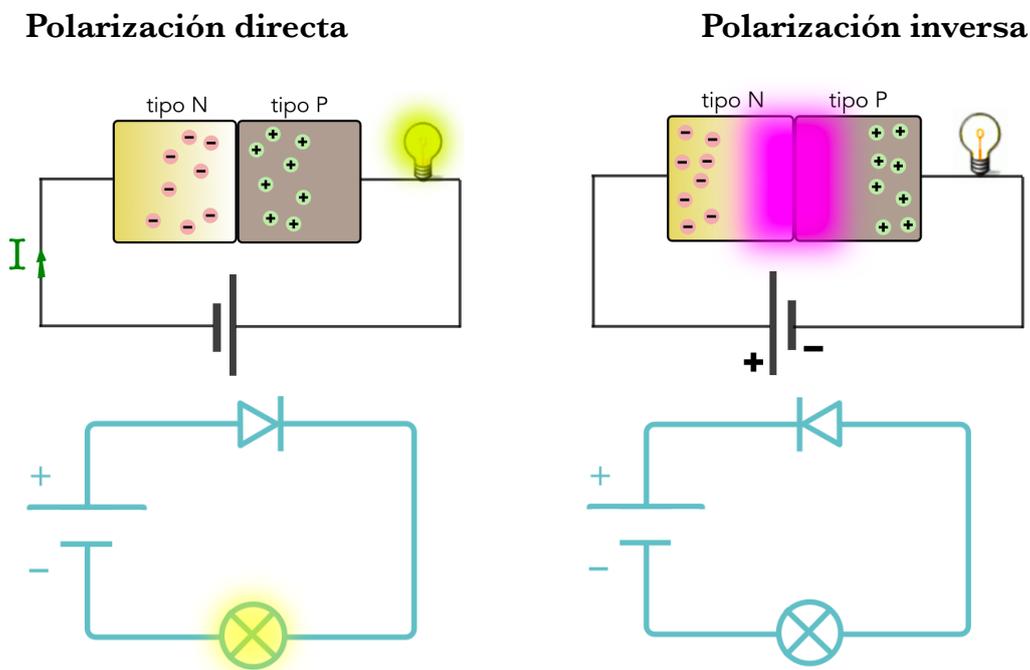
La barrera de potencial se elimina o se aumenta en función de la polarización de la alimentación eléctrica, permitiendo o no el paso de la corriente. Según esto podemos hablar de dos tipos de conexiones:

Polarización directa

Al conectar el polo negativo (cátodo) del generador con la parte N del semiconductor y el polo positivo (ánodo) con la parte P se produce la desaparición de esta barrera y la corriente puede circular, tenemos un circuito cerrado.

Polarización inversa

Al conectar el polo negativo (cátodo) de la pila con la parte P del semiconductor y el polo positivo (ánodo) con la parte N aumenta la barrera de potencial y la corriente no puede circular, tenemos un circuito abierto.



Atención

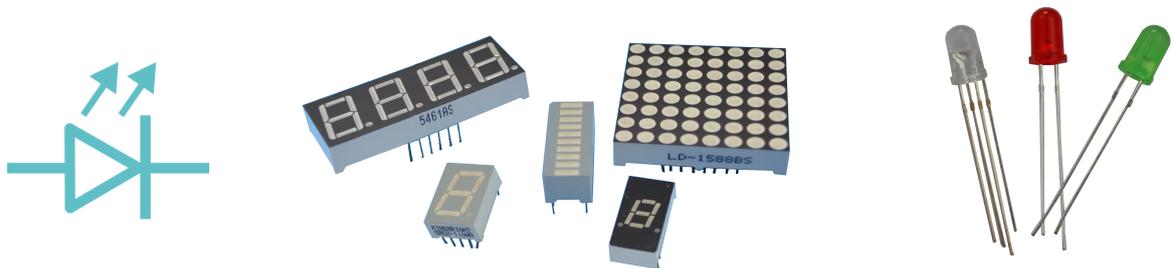
El sentido convencional de la corriente es al revés del real. En los circuitos anteriores está representado el sentido real



Resumiendo, un diodo es un componente electrónico que, en polarización directa se comporta como un interruptor cerrado permitiendo el paso de la corriente mientras que en polarización inversa se comporta como un interruptor abierto o como un material aislante.

Tipos de diodos

Hay distintos tipos de diodos, como el diodo rectificador, el zener o el diodo LED, que es un tipo de diodo muy usado actualmente. El **diodo LED (Diodo Emisor de Luz)** se suele utilizar como indicador de que un circuito está activo, aunque cada día le aparecen nuevos usos (TV, pantallas móviles, semáforos, linternas,...).



El **diodo zener** se comporta como un diodo normal cuando está polarizado directamente, sin embargo están diseñados para trabajar en polarización inversa. Se utilizan principalmente en los circuitos como limitadores de tensión para proteger componentes o partes de un circuito. Se suelen situar en la fase final de una fuente de alimentación y su función es la de estabilizar la tensión de salida de dicha fuente.



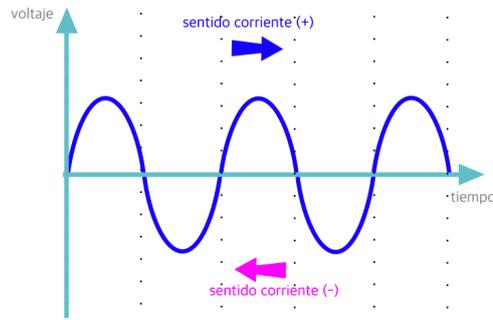
El **diodo rectificador** su principal uso es en circuitos rectificadores, es decir, circuitos que convierten la corriente alterna en continua, aunque también se usan como elemento de protección de otros componentes en circuitos electrónicos.



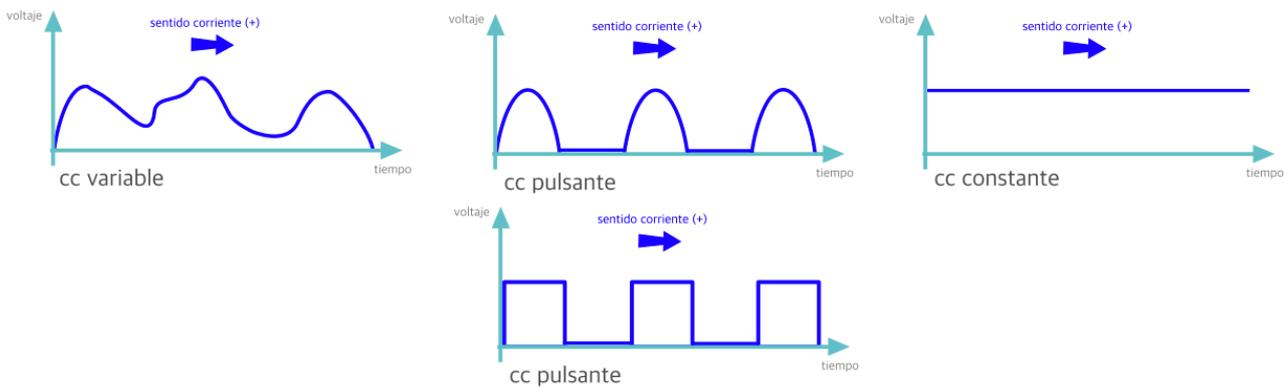
Rectificación de la corriente

 [Práctica de un circuito rectificador](#)

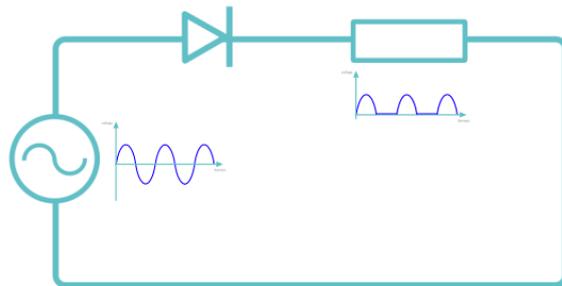
Una de las principales funciones de los diodos es la de rectificar corrientes, es decir convertir la corriente alterna en corriente continua. Una corriente alterna (CA) es aquella que cambia constantemente de sentido y además normalmente tiene forma de onda senoidal:



Por otro lado, la corriente continua (CC) es aquella que siempre va en el mismo sentido y además el voltaje suele ser constante, aunque no tiene por que ser siempre así.

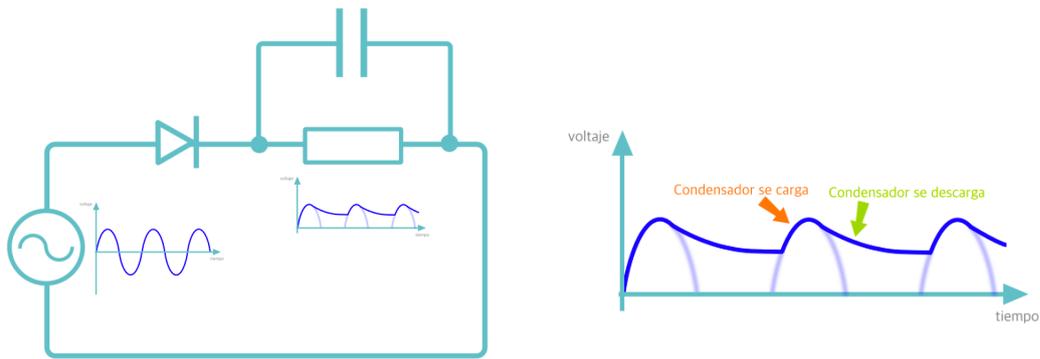


Cuando la corriente alterna pasa por el **diodo** sólo lo puede hacer cuando es positiva, mientras que cuando es negativa y viene en sentido contrario, no puede pasar, de manera que a la resistencia solo le llega corriente en un solo sentido, por lo tanto corriente continua. En este caso una corriente que va a intervalos, se denomina corriente continua pulsante. Acabamos de ver un **circuito rectificador de media onda**.

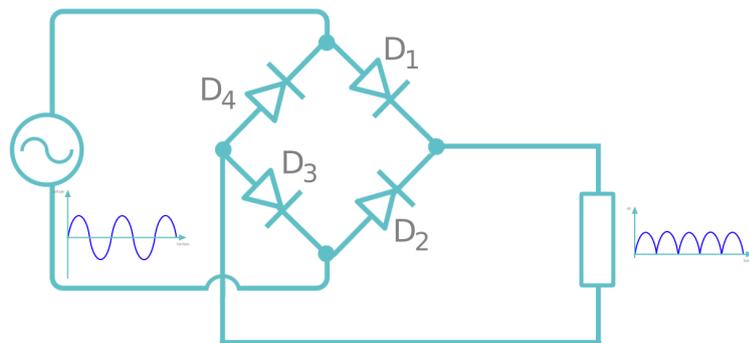


La corriente continua pulsante es poco útil, ya que va a pulsos, y no serviría ni para cargar el móvil ni para otros muchos usos que le damos a la corriente continua. Para mejorar la señal de salida es necesario añadir al circuito un condensador en paralelo con la resistencia, de manera que cuando la corriente pase por el diodo y llegue a la resistencia el condensador también se cargue. Así cuando la corriente sea negativa y no pueda pasar por el diodo el

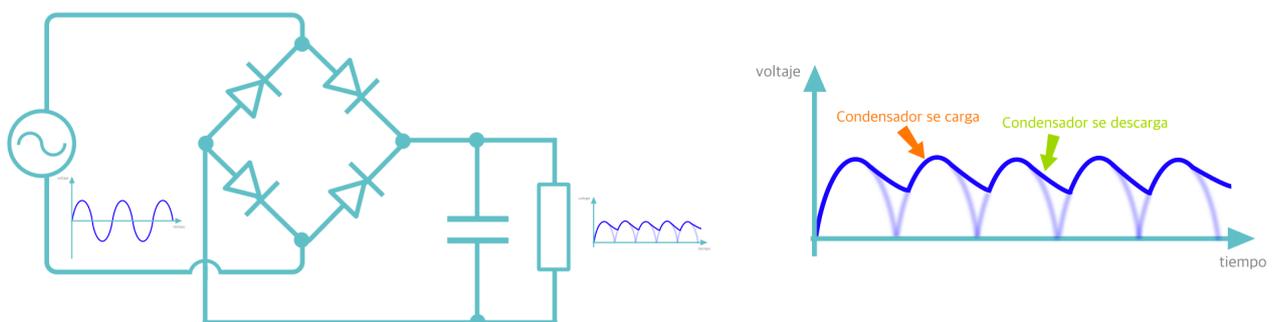
condensador se descargará y mantendrá el flujo de corriente, que no será 0 v en ningún momento.



Podemos conseguir una mejor rectificación usando cuatro diodos en vez de uno, formando una configuración especial denominada *punteo rectificador*. Así tenemos un **circuito rectificador de onda completa**:



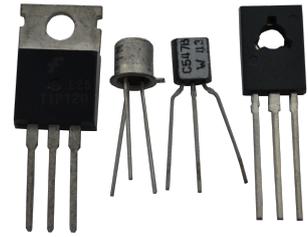
En este caso cuando la corriente es positiva pasa por los diodos D1 y D3 de la imagen y cuando es negativa lo hace por D2 y D4, pero siempre lo hace en la misma dirección, teniendo así una corriente continua de onda completa, donde el voltaje nunca es cero.



Si a este circuito anterior se le añade un condensador igual que en el circuito rectificador de media onda, se eliminarán las pequeñas subidas y bajadas del voltaje (rizado de la señal), y se consigue una corriente mucho más constante, más plana.

El transistor

En el año 1956 el premio Nobel de física fue compartido por tres grandes científicos: William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter Houser Brattain. Les fue otorgado por el que es considerado como el mayor desarrollo tecnológico del siglo XX: **el transistor**.



En 1945, finalizada la Segunda Guerra Mundial, Mervin Kelly, director del laboratorio de American Telephone and Telegraph Corporation (AT&T), fundada por Alexander Graham Bell y conocida inicialmente como la *Bell Telephone Company*, buscó un grupo de científicos que dieran con la solución a los problemas que causaba el tubo de vacío como sistema de amplificación para hacer llamadas telefónicas a larga distancia, y tenía algo en mente para reemplazarlo: *los semiconductores*.

El equipo de investigadores fue dirigido por William Shockley, un visionario capaz de ver la importancia de los transistores antes que nadie, Walter Brattain, un físico experimental capaz de construir y reparar prácticamente cualquier cosa y John Bardeen, capaz de ir más allá en la comprensión de los fenómenos aparentemente complejos y exponerlos de la manera más sencilla posible.

Tres personajes con una marcada personalidad, lo que les llevaría a alguna que otra confrontación, y que se manifestó a la hora de repartirse los méritos. En 1947, durante el conocido como "Mes milagroso" entre el 17 de noviembre y el 23 de diciembre realizaron infinidad de pruebas para mejorar el dispositivo hasta llegar a conseguir su objetivo: **el primer transistor**. El impacto de los transistores fue enorme, transformaron el mundo de la electrónica y el diseño de computadoras y los sistemas de telecomunicación, al poder construirlos de un pequeño tamaño, con un pequeño consumo de energía y tener una gran duración.

Hoy en día el transistor es la base la informática, ya que es el componente básico del procesador y casi todas las memorias (RAM,SSD,...) y también de las telecomunicaciones, ya que es el elemento que amplifica las señales (ondas) que permiten funcionar a los móviles, las transmisiones por fibra óptica, etc; realmente es la **base de toda la electrónica** actual.

¿Qué es un transistor?

Existen dos grandes grupo de transistores:

- **Bipolares BJT** (Bipolar Junction Transistor): donde existen dos tipos, NPN y PNP.
- **Unipolares:** con dos tipos los MOSFET y los JFET.

Transistores Bipolares

El transistor bipolar se forma por la unión de tres semiconductores, bien dos tipo N y un tipo P, o bien dos tipo P y uno tipo N, por lo que en principio existen dos tipos de transistores los NPN y los PNP.

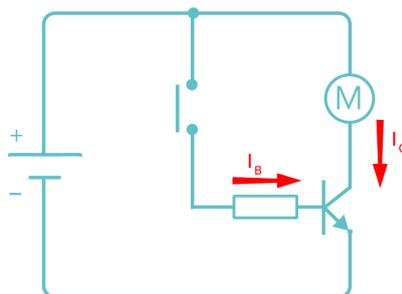
De manera que es un componente que tiene tres terminales, denominados **base** (B) , **colector** (C) y **emisor** (E) en este tipo de transistores bipolares.



Transistor NPN

En este tema se va a estudiar el transistor NPN. En el transistor hay tres corrientes, la intensidad de la base (I_B), la del colector (I_C) y la del emisor (I_E).

En un transistor la corriente principal es la que circula entre el colector y el emisor, activando el dispositivo de salida conectado al circuito. Para que esto suceda es necesario que circule una corriente a través de la base del transistor, si esto no ocurre, el transistor no permitirá el paso de corriente entre el colector y el emisor y por lo tanto el circuito no funcionará. Para comprender mejor el funcionamiento del transistor vamos a analizar el siguiente circuito:



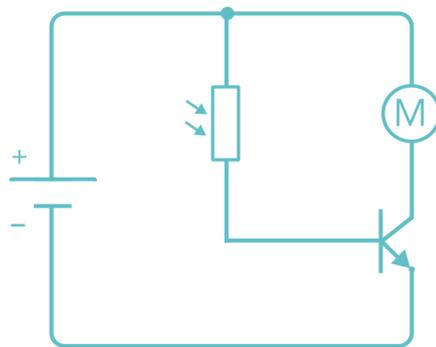
Tenemos una pila que alimenta un circuito con un motor, un transistor, una resistencia y un pulsador. Queremos que la corriente pase por el motor, que haya intensidad en el colector (I_C), y tenemos dos posibilidades, que el pulsador esté accionado o no:

a) *No accionamos el pulsador*: como por la base no entra corriente, no es posible que la corriente pase del colector al emisor, y por lo tanto el motor no gira. En este caso se dice que el **transistor está en corte**.

b) *Accionamos el pulsador*: ahora entra corriente por la base (I_B) que hará que el transistor permita el paso de corriente del colector al emisor, y por lo tanto que el motor gire, se dice que el **transistor está en activa**.

Con este sencillo circuito podemos entender el funcionamiento básico del transistor, aunque no es muy útil, ya que si ponemos el pulsador en serie con el motor el efecto sería exactamente el mismo, realmente el transistor no nos aportó nada nuevo.

Hacemos ahora un pequeño cambio, eliminamos el pulsador y la resistencia, y colocamos una LDR, resistencia que cambia su valor óhmico con la luz. Cuando la LDR recibe luz su resistencia disminuye, y cuando la LDR está en oscuridad su resistencia aumenta.



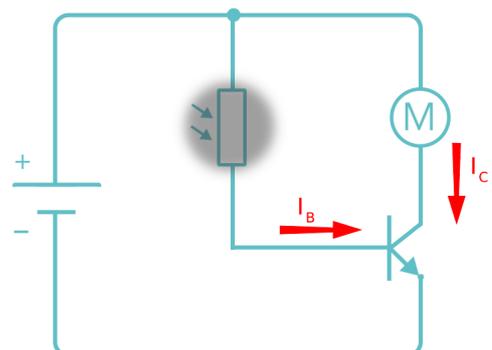
Analizamos ambos casos:



a) *Con oscuridad*: la LDR ofrece una gran resistencia, por lo que por la base casi no hay intensidad, I_B es prácticamente cero, el **transistor está en corte**, y el motor no gira. La intensidad del colector (I_C) es cero:

I_B es prácticamente cero, transistor en corte.

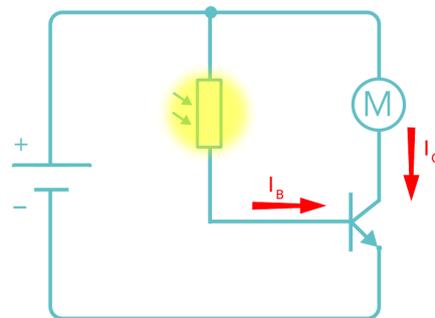
$I_C = 0$ A, el motor no gira



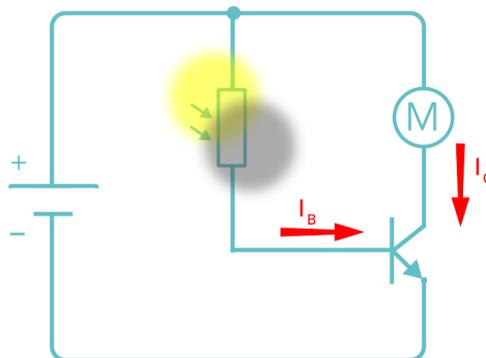
b) *Con luz*: la LDR disminuye su resistencia, por lo que aumenta la intensidad de la base, por lo que el transistor cambia de estado y **está en activa**. Aparece intensidad por el colector y el motor empieza a girar. Imaginemos que por la base hay 3 mA y por el colector tenemos 600 mA.

$I_B = 3 \text{ mA}$, transistor en activa

$I_C = 600 \text{ mA}$, el motor gira



c) *¿Y con menos luz?*: Veamos ahora que ocurre si disminuimos un poco la cantidad de luz que llega a la LDR. Al disminuir la cantidad de luz, también disminuye la intensidad de la base, imaginemos que ahora $I_B = 2 \text{ mA}$. El transistor sigue en activa, por lo que sigue girando el motor, pero si medimos la intensidad del colector (I_C) es este momento comprobaremos que ahora es de 400 mA, lo que implicará que el motor gire más despacio. Al disminuir I_B también disminuye I_C .



d) *¿Y con más luz?* Pues del mismo modo, al aumentar la luz también aumenta la intensidad de la base, imaginemos que ahora I_B es 4 mA, podemos comprobar como automáticamente I_C también aumenta y el motor gira más rápido. Vemos que con el transistor lo que conseguimos no es solo que el motor gire o pare, sino que también conseguimos que gire a diferentes velocidades en función de la luz que le llegue a la LDR.

Y cuánto vale ahora I_C , cuando $I_B = 4 \text{ mA}$, ... si analizamos los valores anteriores vimos que con 2 mA en la base, teníamos 400 mA en el colector, con 3mA teníamos 600 mA, por lo que si se mantiene la relación con 4 mA la intensidad en el motor será de 800 mA.

Existe una relación matemática entre ambas intensidades, en este caso 200. A esta relación se le llama **ganancia** y se representa con la letra β (beta): $\beta = I_C / I_B$

e) *¿Y si sigue aumentando?* Si la intensidad de la base sigue aumentando, llega un punto en que la del colector no lo hace más, se dice que el **transistor está en saturación**, el motor gira a su máxima velocidad posible, ya no puede haber más *ganancia*, imaginemos que en este ejemplo es a 850 mA.

Resumiendo, un transistor tiene 3 zonas de trabajo o estados posibles:

- 1) **Corte:** cuando la I_B es prácticamente cero y la I_C es cero.
- 2) **Activa:** hay corriente en la base y en el colector siendo ambas proporcionales, hay *ganancia*. El transistor actúa como un **amplificador**.
- 3) **Saturación:** hay corriente en la base y en el colector, pero ya no son proporcionales, no hay amplificación.

En resumen, **el transistor es un interruptor automático**, pero un interruptor especial, ya que permite el paso o no de corriente, igual que cualquier interruptor, pero además la corriente que pasa es proporcional a la corriente que lo activa. A esto le llamamos amplificar, por lo que el transistor es también un **amplificador**.

Luz	I_B	motor	I_C	Estado transistor
oscuridad (0%)	0 mA	parado	0 mA	CORTE
luz baja (5%)	1 mA	parado	0 mA	CORTE
luz intermedia (20%)	2 mA	gira despacio	400 mA	ACTIVA
aumenta luz (30%)	3 mA	aumenta velocidad	600 mA	ACTIVA
aumenta luz (40%)	4 mA	aumenta velocidad	800 mA	ACTIVA
aumenta luz (50%)	5 mA	gira velocidad máxima	850 mA	SATURACIÓN
sigue aumentando (60%)	6 mA	gira velocidad máxima	850 mA	SATURACIÓN
más luz (70%)	7 mA	gira velocidad máxima	850 mA	SATURACIÓN

El uso del transistor como *interruptor automático* es la base de los **circuitos automáticos** y de la **informática**, mientras que el uso como *amplificador* es la base de las telecomunicaciones.

Por ejemplo, en un *teléfono móvil*, tenemos los dos usos del transistor, por un lado para que funcione el sistema operativo y las aplicaciones, el móvil tiene un procesador formado por millones de transistores que actúan como *interruptores automáticos*, y por otro, al transmitir y recibir la información en forma de ondas estas tienen que ser *amplificadas* y eso también lo hacen transistores.

Circuitos integrados analógicos: el 555 y el amplificador operacional

Uno de los grandes avances de la electrónica son los circuitos integrados, es decir, montar en un mismo circuito varios transistores, diodos, condensadores o resistencias, todos encapsulados en un solo componente, el **circuito integrado (CI)**, aunque coloquialmente se les denomina **chips** o **microchips**. Estos chips se diseñan y fabrican para una función determinada y pueden ser tanto para circuitos analógicos como digitales, aunque son en estos últimos donde más se utilizan.



El primer circuito integrado fue desarrollado en **1959** por el ingeniero *Jack S. Kilby* cuando trabajaba en la empresa Texas Instruments. Se trataba de un dispositivo de germanio que integraba seis transistores en una misma base semiconductor. Comparte el mérito de ser el creador de los microchips junto con *Robert Norton Noyce*.

La tecnología de fabricación ha evolucionado mucho desde sus inicios y cada vez se construyen de menor tamaño, por lo que tenemos una tecnología que ha permitido disponer de una gran cantidad de componentes de tamaño muy reducido en una pequeña superficie. Los microprocesadores de los ordenadores son potentes circuitos integrados que tienen encapsulados en su interior millones de transistores.

Entre los circuitos integrados analógicos cabe destacar dos: el 555 y el amplificador operacional, que son los que explicaremos en estos apuntes.

Circuitos integrado 555



El **CI 555** es un circuito integrado utilizado como temporizador, es decir, mantener un circuito activo durante un tiempo determinado. Este chip es del año 1972 y denominado como SE555/NE555, aunque también fue llamado "The IC Time Machine", o sea, la Máquina del Tiempo en Circuito Integrado.

Tiene dos estados de trabajo o configuraciones, como circuito **monoestable** (activa un circuito durante un período de tiempo determinado) o circuito **astable** (se activa y desactiva cada cierto tiempo, a una frecuencia determinada).

Cuando usamos un circuito integrado lo primero que tenemos que saber es la función o donde debo conectar cada patilla. Para ello estas vienen numeradas y con una muesca que nos indica por donde tenemos que empezara contar.

En el caso del 555 sería:

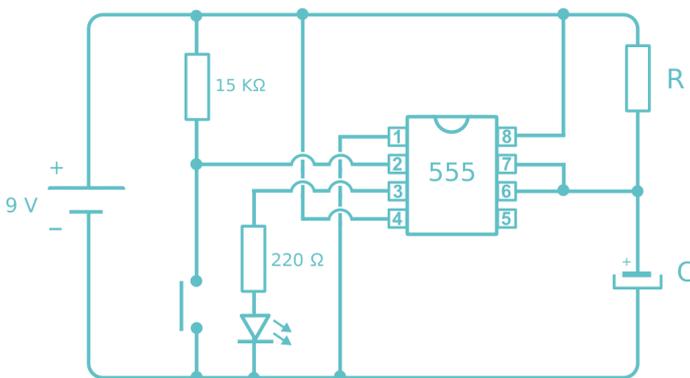


Donde,

- **GND (1):** Sería el polo negativo de alimentación o tierra (GROUND).
- **Disparo (2):** Es donde se activa el circuito, el que da inicio al temporizado.
- **Salida (3):** Es donde conectaremos el componente de salida.
- **Reinicio (4):** Es para volver a iniciar el circuito, si no la queremos usar debemos conectarla al polo positivo.
- **Control de voltaje (5):** Conectando un condensador le da mayor estabilidad al circuito.
- **Umbral (6):** Es la entrada a un comparador que establece el tiempo de temporizado.
- **Descarga (7):** Es donde se descarga un condensador conectado a una resistencia y que establece el tiempo de temporizado.
- **Vcc (8):** Donde se conecta el voltaje de alimentación, el polo positivo (+), en este caso 9 V.

Monoestable

El circuito está diseñado para conectar un dispositivo durante un periodo de tiempo determinado para después desconectarlo.



$$t = 1,1 \times R \times C$$

Resistencia en ohmios (Ω)

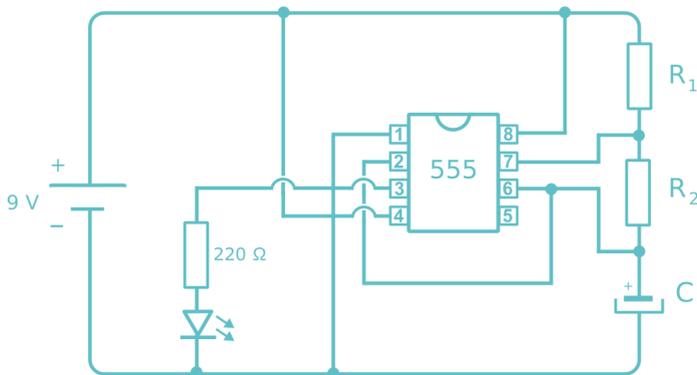
tiempo en segundos

Capacidad en faradios (F)

Al accionar el pulsador el diodo LED se encenderá durante un tiempo que vendrá determinado por el valor de la resistencia R y el condensador C. El diseño interno del 555 no lo conocemos, es una caja negra, pero si sabemos que al conectarlo de un determinado modo actuará de un modo determinado.

Astable

Es un circuito multivibrador, es decir, se activa y desactiva constantemente a una frecuencia determinada.



frecuencia en hercios (Hz)

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2)C}$$

Resistencia en ohmios (Ω) Capacidad en faradios (F)

En este caso son las resistencias R_1 y R_2 junto con el condensador C los que determinan la frecuencia de parpadeo del diodo LED. Siendo los tiempos de encendido (alto) y apagado (bajo) calculados así:

tiempo encendido (segundos)

$$t_{\text{alto}} = 1,44 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

Resistencia en ohmios (Ω) Capacidad en faradios (F)

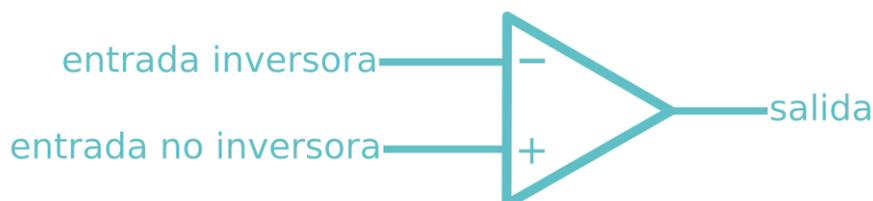
tiempo apagado (segundos)

$$t_{\text{bajo}} = 1,44 \cdot R_2 \cdot C$$

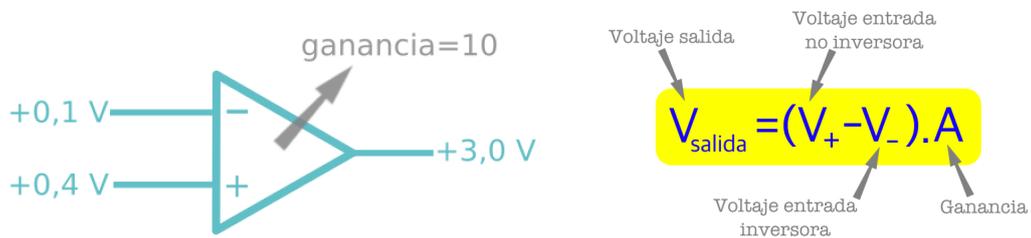
Resistencia en ohmios (Ω) Capacidad en faradios (F)

Amplificador operacional (op-amp)

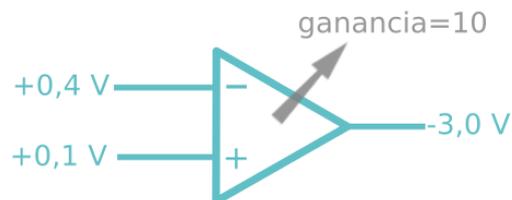
El amplificador operacional es un circuito integrado analógico que como su nombre indica se usa como amplificador, pero no de corrientes como el transistor, es un **amplificador de voltaje**. Además tiene otra función que es la de **comparador**, ya que es capaz de comparar los voltajes que tiene en sus dos entradas:



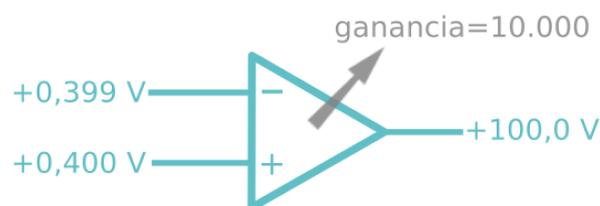
Cuando por su entrada no inversora (+) tenemos un voltaje mayor que en su entrada inversora (-), por ejemplo 0,4 V frente a 0,1 V, nos da una salida que es la diferencia entre ambos voltajes, en este caso 0,3 V. Como además es amplificador nos da una salida de 3 V, si la ganancia es de 10.



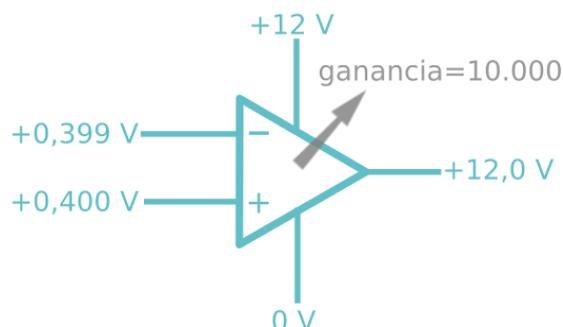
¿Y si invertimos los voltajes y es mayor el de la entrada inversora? Pues el resultado sería que tenemos un voltaje negativo, invertimos el sentido de la corriente.



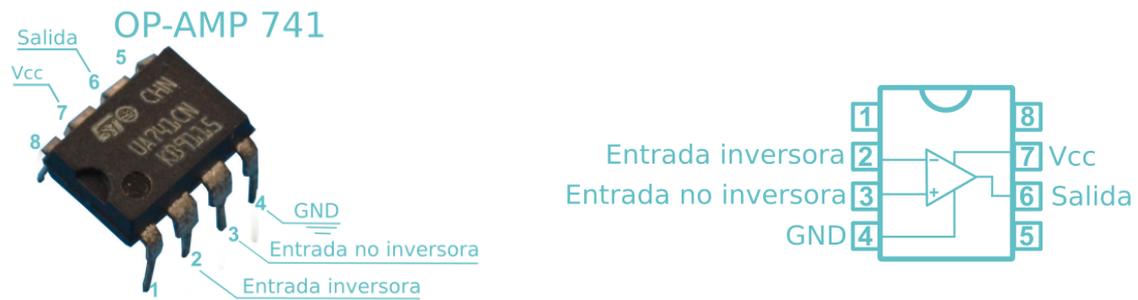
En este ejemplo usamos una ganancia de 10, pero realmente la ganancia puede llegar a ser incluso superior a 100.000, a efectos prácticos significa una ganancia infinita. Realmente lo que nos interesa de este circuito integrado es usarlo como comparador, pero un comparador muy sensible ya que es capaz de detectar diferencias de voltaje por pequeñas que sean.



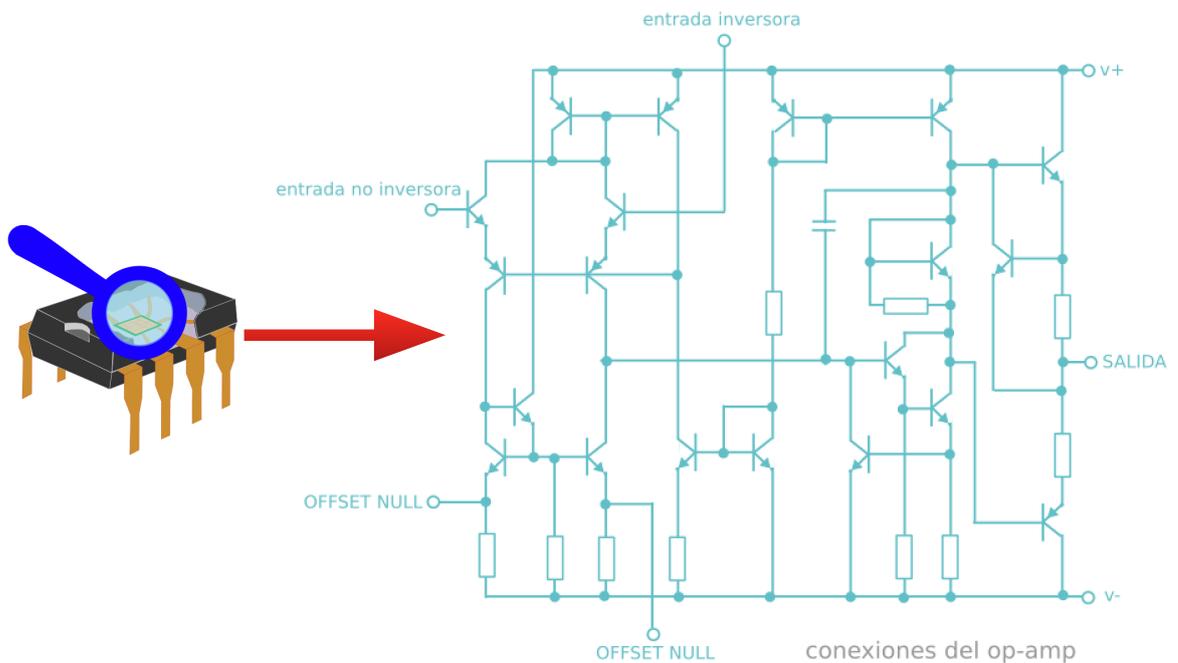
En este ejemplo tendríamos una salida teórica de 100 V, pero realmente esto no sería así. Tenemos una **tensión máxima** que será la que este alimentando el circuito integrado, en este ejemplo +12 V:



A la hora de conectar este circuito integrado en un circuito debemos conocer el patillaje del mismo, en este caso el AO 741:

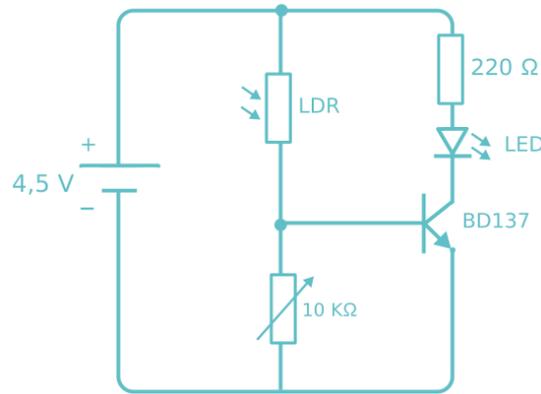


Hay que recordar que internamente lo que tiene este circuito integrado son transistores, resistencias e incluso un condensador, conectados para que cumpla la función para la que fue diseñado.



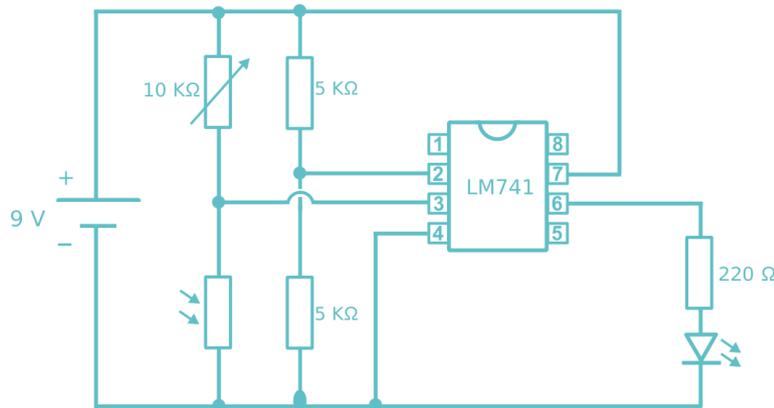
Ejemplos de conexión

En los siguientes circuitos estudiaremos como usar el amplificador operacional en nuestros circuitos. Para ello partiremos de un circuito sensor de luz con un transistor:

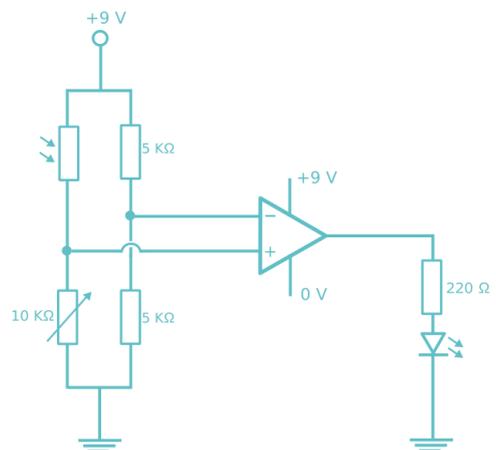
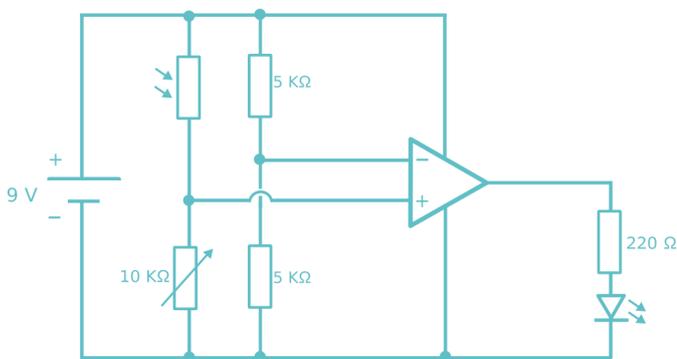


En este circuito el diodo LED se encenderá cuando la LDR reciba luz y se apagará cuando la LDR esté en oscuridad. La resistencia variable nos permite calibrar la cantidad de luz que activará nuestro circuito para que se encienda el LED.

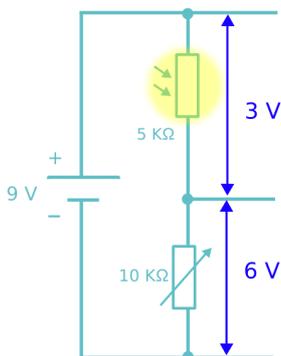
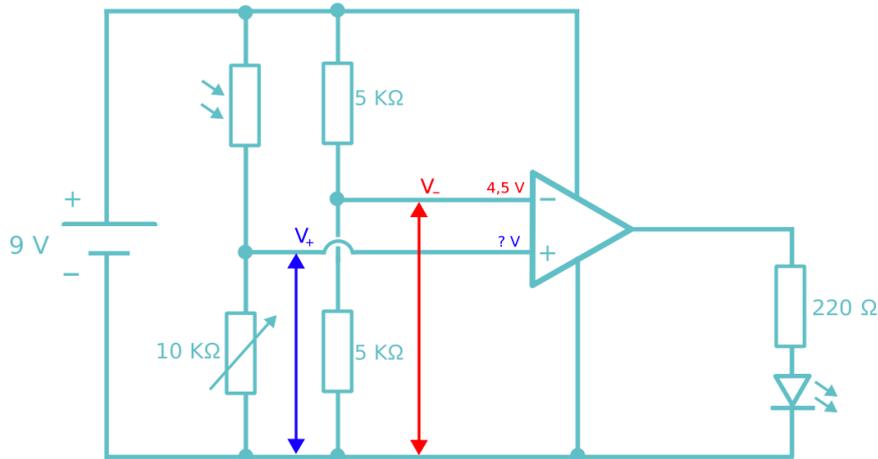
Vamos a sustituir nuestro elemento de control, el transistor, por un amplificador operacional:



Normalmente se dibuja su símbolo y puede representarse el circuito de diferentes maneras:

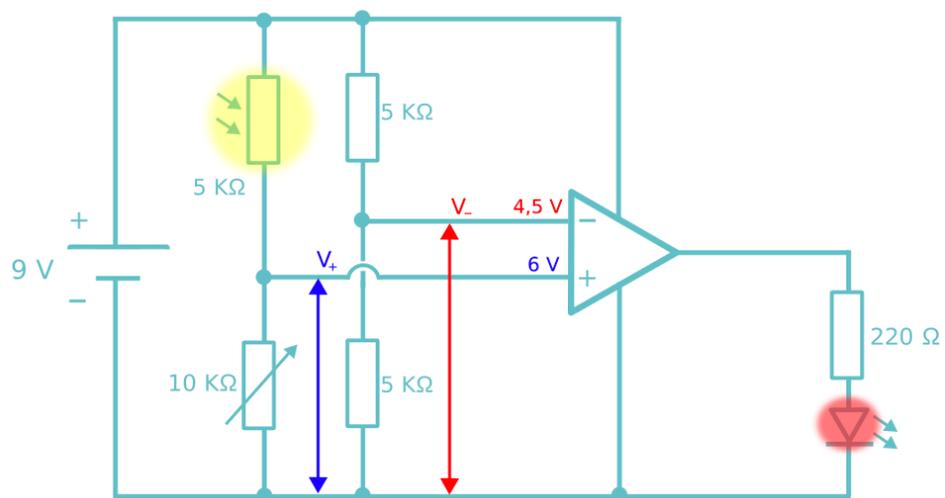


Para entender el funcionamiento del circuito tenemos que entender que las entradas al amplificador operacional se hacen a través de divisores de voltaje. La entrada inversora tendrá un voltaje de 4,5 V, ya que viene de dos resistencias iguales conectadas en serie a una alimentación de 9 V. En el caso de la entrada no inversora el voltaje de entrada dependerá de la luz que llegue a la LDR y la resistencia que esta ofrezca.

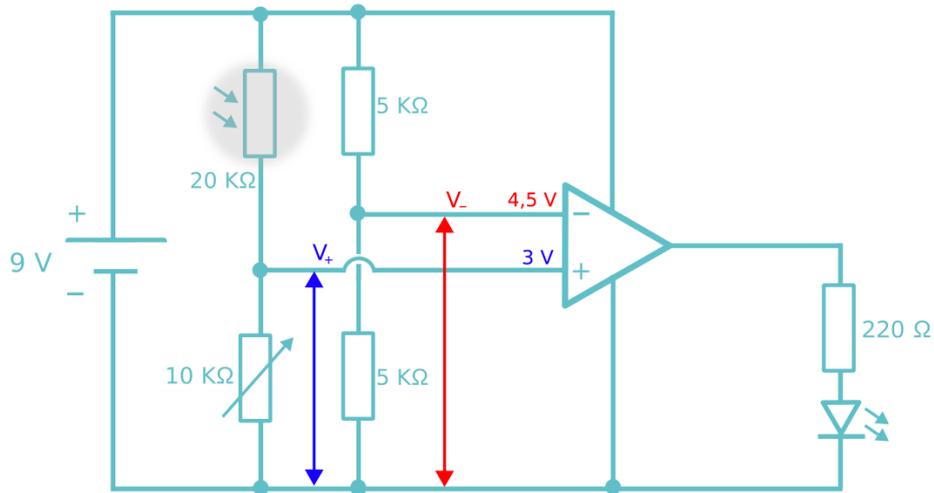


Supongamos que tenemos luz sobre la LDR. Si esta ofrece una resistencia de 5 K Ω , al estar en serie con otra de 10 K Ω se produce un reparto de voltaje proporcional, en este ejemplo, 5 V frente a 6 V.

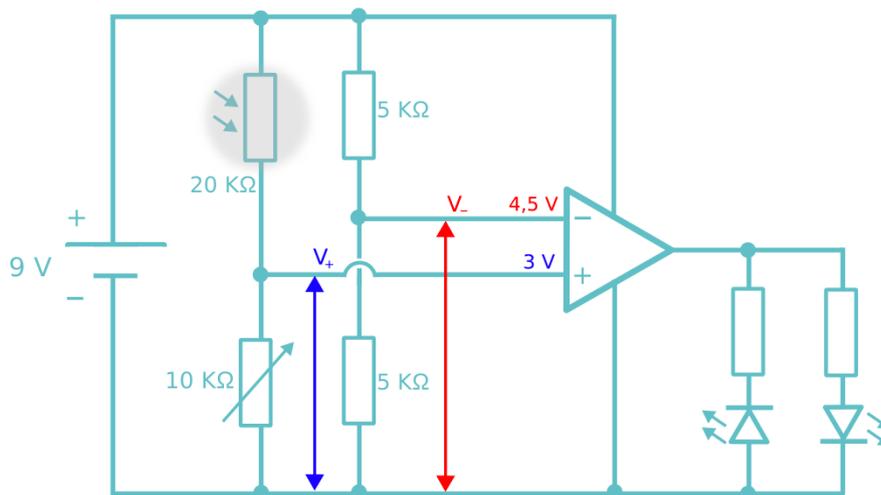
El voltaje que tenemos en la entrada no inversora (+) es de 6 V, que como es mayor que el de la entrada inversora (-), que es de 4,5 V, la salida es positiva por lo que el diodo LED se enciende:



Si ahora la LDR recibe menos luz y su resistencia aumenta, por ejemplo a $20\text{ K}\Omega$, supondrá una nueva división de voltaje, en este ejemplo la entrada no inversora(+) tendrá 3 V , por lo que al ser menor que la inversora nos dará una salida negativa, que implica una corriente en sentido contrario, por lo que el diodo LED permanecerá apagado.



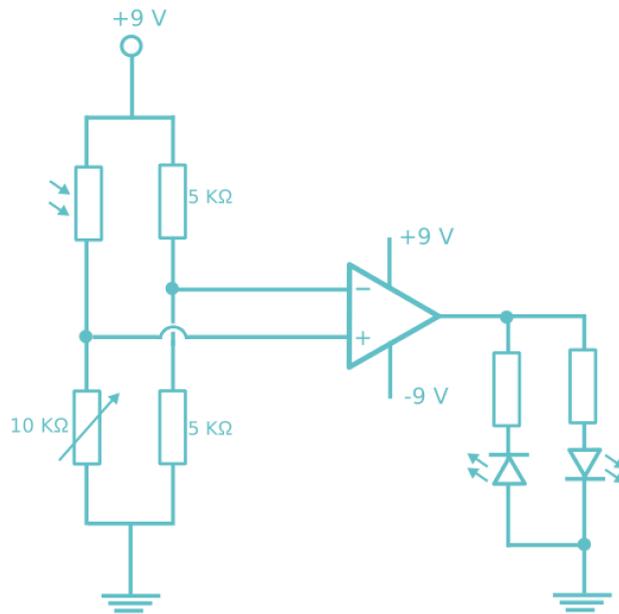
Si añadimos otro diodo LED en paralelo al anterior pero con la polarización contraria cabría esperar que este se encendiera con las condiciones del ejemplo anterior:



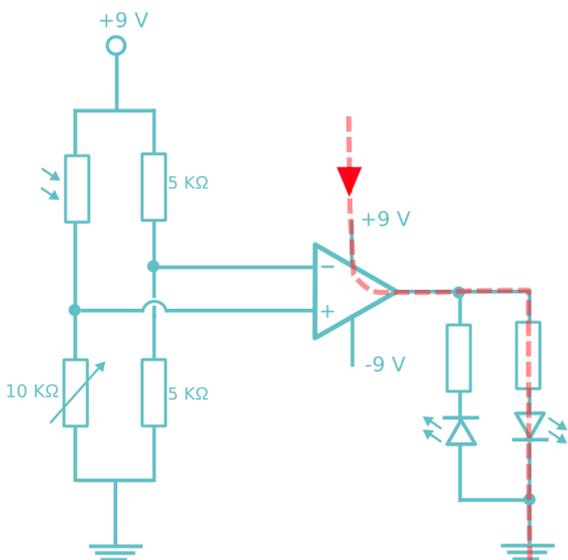
Pero este no se va a encender, ya que aunque la salida nos da un voltaje negativo, necesitamos una fuente de alimentación capaz de crear esa corriente negativa, por lo que tenemos que añadir una nueva pila y una toma de tierra.

Alimentación negativa

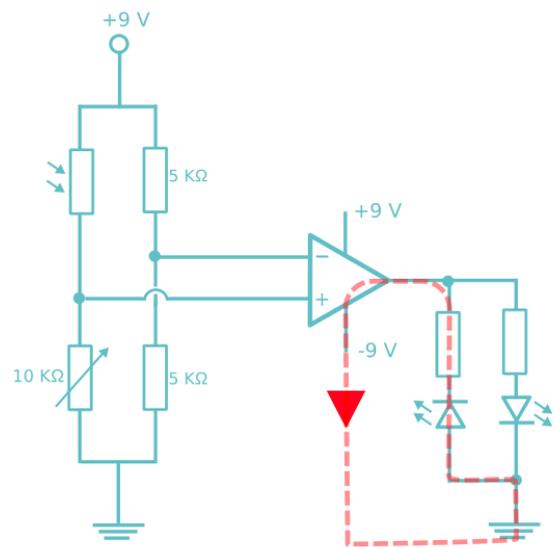
El esquema correcto para conseguir una alimentación negativa sería:



El amplificador operacional está alimentado tanto positiva como negativamente. Cuando la salida del amplificador es positiva, la corriente va en sentido horario y se enciende el diodo LED derecho. En cambio cuando la salida es negativa la corriente se desplaza en sentido contrario, es decir, en sentido antihorario y se encenderá el diodo LED de la izquierda:

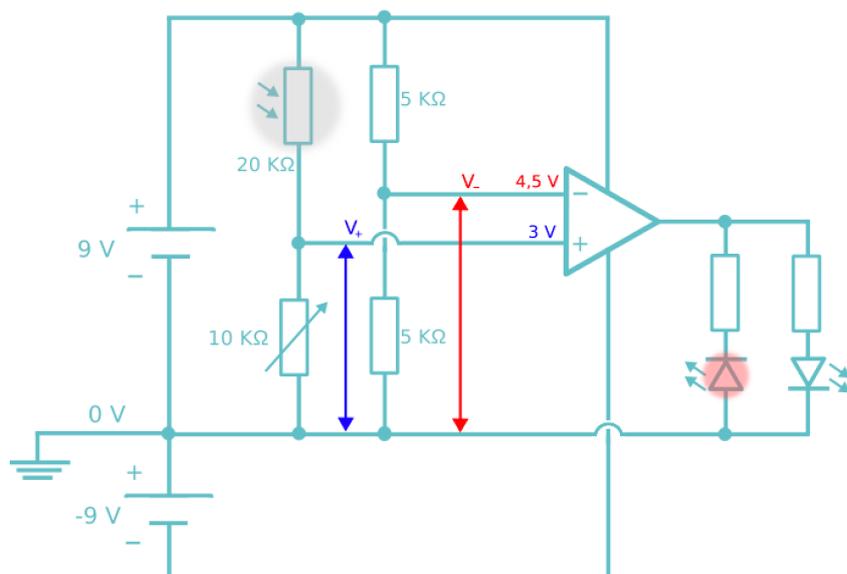
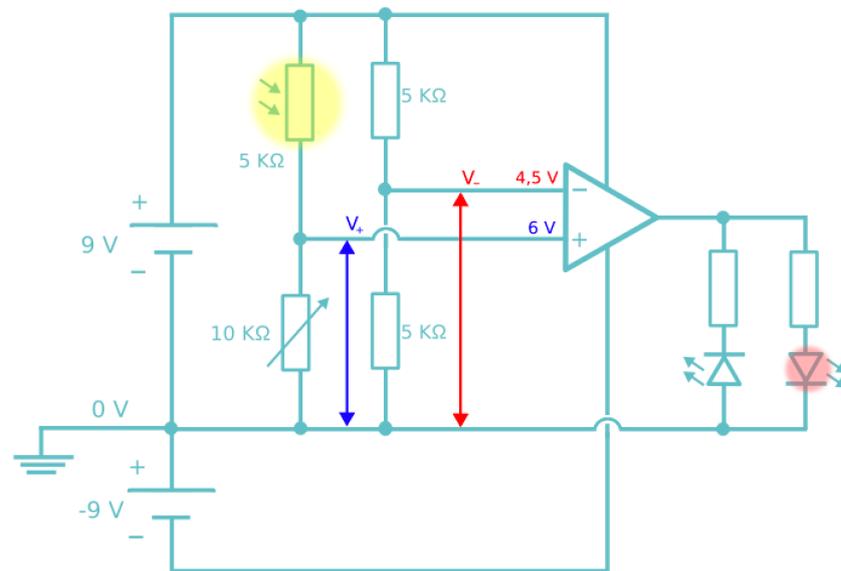


Salida positiva



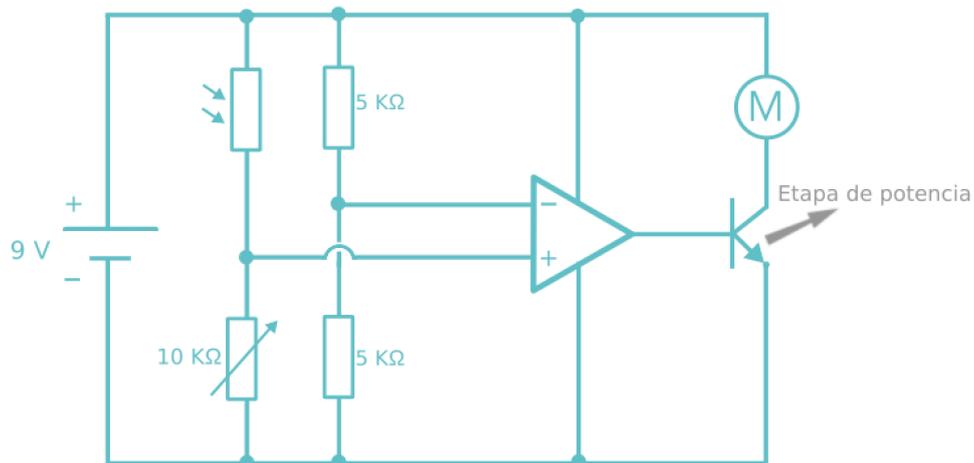
Salida negativa

Para conseguir esta doble alimentación debemos conectar el circuito tal y como vemos en las siguientes imágenes, siguiendo con el ejemplo con salida positiva y negativa:



Etapa de potencia

Un problema que nos puede surgir al usar el amplificador operacional es que queramos conectar a la salida un componente que demande más intensidad de corriente, por ejemplo, un motor o un relé. La corriente del circuito es pequeña por lo que debemos añadir lo que se denomina una **etapa de potencia**, es decir, añadir un amplificador de corriente: el transistor.



El transistor amplificará la corriente que le llega a la base de manera que por el colector circulará la suficiente intensidad de corriente como para que el motor gire. En este caso el motor girará cuando la LDR reciba luz y se parará con oscuridad.