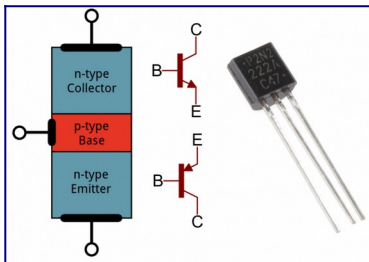


# Transistores

## Introducción

Los transistores son dispositivos que mueven nuestro mundo de la electrónica. Son una fuente de control crítico en la mayoría de los circuitos modernos. A veces se pueden ver, pero a menudo se encuentran escondidos al interior de un circuito integrado. En este tutorial vamos a presentar los conocimientos básicos del transistor más común: el transistor de unión bipolar (BJT).

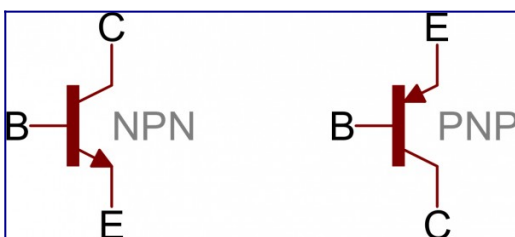


En pequeñas y discretas cantidades, los transistores se pueden utilizar para crear interruptores electrónicos simples, lógica digital, y circuitos amplificadores de señal. En cantidades que bordean los miles, millones e incluso billones, los transistores se interconectan y son embebidos en pequeños chips para crear las memorias de los computadores, microprocesadores, y otros circuitos integrados complejos.

Existen dos tipos de transistores básicos: de unión bipolar (BJT) y de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET). En este tutorial nos vamos a **enfocar en el BJT**, debido a que es un poco más fácil de entender. Si profundizamos más, nos daremos cuenta que hay incluso dos versiones distintas del BJT: el **NPN** y el **PNP**. Al principio nos vamos a enfocar más en el NPN. Al limitarnos a entender primero el NPN, será más fácil entender luego el PNP (o incluso los MOSFET).

## Símbolos, Pines, y Construcción

Los transistores son fundamentalmente dispositivos de tres terminales. En un transistor de unión bipolar (BJT), los pines se denominan **colector** (C), **Base** (B), y **emisor** (E). Los símbolos de circuito de los BJT de tipo NPN y PNP son los siguientes:



La única diferencia entre el NPN y el PNP es la dirección en la cual apunta la flecha del emisor. La flecha del NPN apunta hacia afuera, y la del PNP apunta hacia adentro. Un nemónico para recordar cual es cual es:

NPN: **No** a**P**unta a**d**e**N**tro

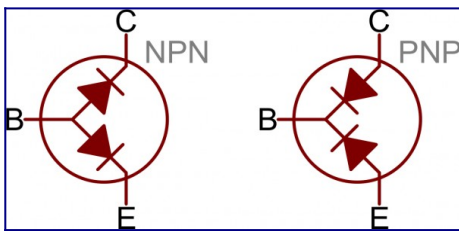
¡Es lógica inversa pero funciona!

## Construcción del Transistor

Los transistores dependen de los semiconductores para poder funcionar. Un semiconductor es un material que no es un conductor puro (como lo es el cobre) pero tampoco es un aislante (como lo es el aire). La conductividad de un semiconductor (o la facilidad con la que fluyen los electrones) depende de variables como la temperatura o la presencia de mayor o menor cantidad de electrones libres. Revisemos brevemente el interior de un transistor. No se preocupen, no vamos a ahondar en la física cuántica.

## Un Transistor Como Dos Diodos

Los transistores son como una especie de extensión de otro componente semiconductor: Los diodos. De cierta forma los transistores se pueden considerar como dos diodos con sus cátodos (o ánodos) unidos:



El diodo que conecta la base al emisor es el importante; apunta hacia el mismo sentido que la flecha en el símbolo esquemático, y muestra **en qué sentido debería fluir la corriente** a través del transistor.

La representación del diodo es un buen lugar para comenzar, pero no es para nada precisa. No fundamentes su entendimiento sobre la operación del transistor en ese modelo (Y definitivamente no trates de replicarlo en un protoboard. No funciona). Hay muchas cosas extrañas al nivel de la física cuántica que controla la interacción entre estos tres terminales.

(Este modelo es útil cuando se necesita probar un transistor. Usando la función de prueba de diodo (o resistencia) en un multítester, pueden medir los terminales BE y BC para revisar la presencia de esos “diodos”).

## Estructura y Operación del Transistor

Los transistores se construyen al apilar tres distintas capas de material semiconductor. A algunas de esas capas se le agregan más electrones (Un proceso que se denomina “dopar”), y a otras se le extraen electrones (están dopadas con “agujeros”- la ausencia de electrones). Un material semiconductor con electrones *adicionales* se denomina **tipo-n** (*n* de negativo debido a que los electrones tienen una carga negativa) y un material con electrones extraídos se llama **tipo-p** (de positivo). Los transistores se crean al apilar un *n* sobre un *p* sobre un *n*, o al apilar un *p* sobre un *n* sobre un *p*.

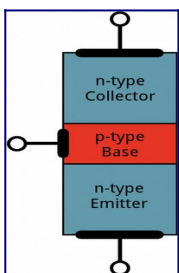
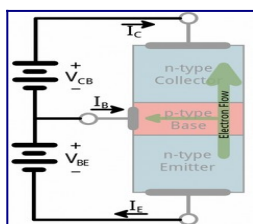


Diagrama simplificado de la estructura de un NPN. ¿Nota el origen de algún acrónimo?

Podemos estimar que **los electrones fluyen fácilmente de las regiones *n* a las regiones *p***, siempre y cuando tengan un poco de fuerza (voltaje) que los empujen. Pero fluir de una región *p* a una región *n* es bastante difícil (requiere de mucho voltaje). La característica especial de los transistores (lo que hace que

nuestro modelo de dos diodos sea obsoleto) es el hecho que **los electrones pueden fluir fácilmente de la base tipo-p al colector tipo-n siempre y cuando la unión base-emisor este polarizada** (esto quiere decir que la base se encuentra a un voltaje mayor que el emisor).



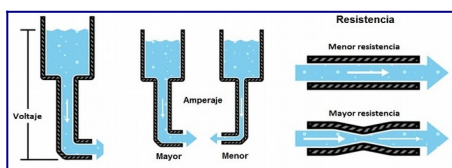
El transistor NPN está diseñado para permitir el paso de electrones desde el emisor al colector (es decir, por convención la corriente fluye en sentido contrario al movimiento de los electrones). El emisor “emite” electrones a la base, la cual controla la cantidad de electrones que emite el emisor. La mayoría de los electrones emitidos por el emisor son “recolectados” por el colector, el cual los envía a la parte que sigue en el circuito.

Un PNP funciona de la misma manera, pero en sentido opuesto. La base es la que controla el flujo de corriente, pero esa corriente fluye en sentido inverso, desde el emisor al colector. En vez de electrones, el emisor emite “agujeros” (una ausencia conceptual de electrones) los cuales son recolectados por el colector.

El transistor es una especie de **válvula de electrones**. El pin correspondiente a la base es como una manilla que se puede ajustar para dejar pasar mayor o menor cantidad de flujo de electrones desde el emisor al colector. Investiguemos esta analogía un poco más.

## Ampliando la Analogía del Agua

Si has estado leyendo muchos tutoriales de conceptos eléctricos últimamente, lo más probable es que estés acostumbrado a las analogías del agua. Decimos que la corriente es semejante a la cantidad de flujo de agua, el voltaje es la presión que empuja esa agua a través de una tubería, y la resistencia es el diámetro del tubo.

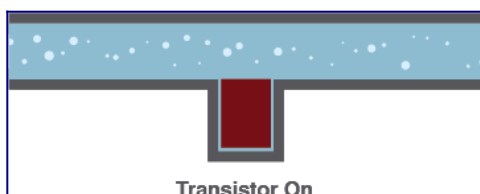


Como es de esperar, la analogía del agua se puede extender a los transistores también: un transistor es como una válvula de agua (un mecanismo que usamos para **controlar la cantidad de flujo**).

Existen tres estados en las que podemos utilizar una válvula, y cada uno de esos estados tiene un efecto distinto sobre la cantidad de flujo en un sistema.

### 1) Encendido - Corto Circuito

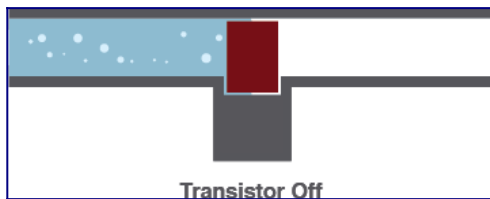
Una válvula puede estar completamente abierta, permitiendo que el agua **fluya libremente** (pasando como si la válvula no estuviese presente)



De igual manera, bajo las circunstancias correctas, un transistor puede parecer un **corto circuito** entre los pines del colector y el emisor. La corriente puede fluir libremente a través del colector, y salir por el emisor.

## 2) Apagado - Circuito Abierto

Cuando está cerrada, una válvula puede **parar completamente el flujo** agua.



De la misma manera, un transistor puede ser utilizado para crear un **circuito abierto** entre los pines del colector y el emisor.

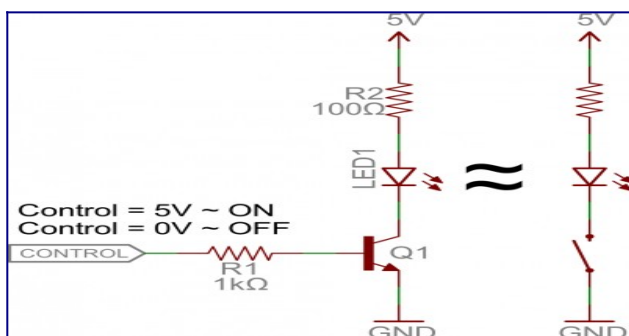
## Aplicaciones I: Interruptores

Una de las aplicaciones más fundamentales de un transistor es utilizarlo para controlar el flujo de potencia a otra parte del circuito, usándolo como un interruptor eléctrico. Al llevarlo a modo de corte o de saturación, el transistor puede crear el efecto binario encendido/apagado de un interruptor.

Los interruptores de transistores son bloques críticos para construir circuitos integrados; son utilizados para crear compuertas lógicas, las cuales después crean microcontroladores, microprocesadores, y otros circuitos integrados. Abajo hay algunos circuitos de ejemplo.

### Interruptor Transistor

Veamos los circuitos transistor-interruptor más fundamentales: un interruptor NPN. Aquí usamos un NPN para controlar un LED de alta potencia:



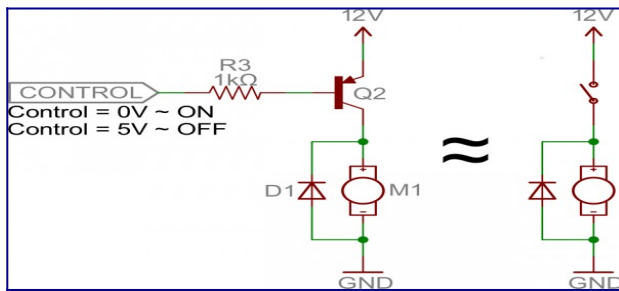
Nuestra entrada de control fluye hacia la base, la salida es por el colector, y el emisor se mantiene en un voltaje fijo.

Mientras un interruptor normal hubiese requerido un actuador que lo de vuelta físicamente, este interruptor es controlado por el voltaje en el pin de base. Un pin I/O de un microcontrolador, como los de un Arduino, pueden ser programados para estar en estados altos o bajos para encender y apagar el LED.

Cuando el voltaje en la base es mayor a 0.6V (o lo que sea el  $V_{th}$  de su transistor), el transistor empieza a saturar y se ve como un corto circuito entre el colector y el emisor. Cuando el voltaje en la base es menor q 0.6V el transistor esta en modo de corte, no fluye corriente a través del debido a que parece que estuviese un circuito abierto entre C y E.

El circuito anterior se llama un **interruptor lado-bajo**, debido a que el interruptor (nuestro transistor) se

encuentra en el lado bajo (tierra) de nuestro circuito. Alternativamente, podemos usar un transistor PNP para crear un interruptor de lado-alto:



Similar al circuito NPN, la base es nuestra entrada y el emisor se mantiene un voltaje constante. Esta vez, sin embargo, el emisor esta por el lado alto, y la carga está conectada al transistor por el lado de la tierra.

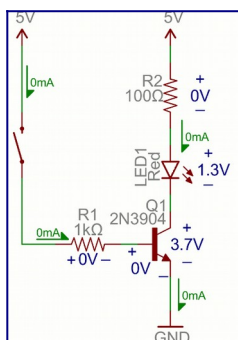
Este circuito funciona igual de bien que el interruptor NPN, pero hay una enorme diferencia: para “encender” la carga, la base debe ser 0V. Esto puede causar complicaciones, especialmente si el voltaje alto de la carga ( $V_{CC}$  en esta imagen) es más alto que el voltaje alto de nuestra entrada de control. Por ejemplo, este circuito no funcionaría si estuviese tratando de usar un Arduino que opera con 5V para encender un motor de 12V. En ese caso sería imposible apagar el interruptor debido a que  $V_B$  siempre sería menor que  $V_E$ .

## ¡Resistencias Base!

Puedes darte cuenta que estos circuitos usan una resistencia en serie entre la entrada de control y la base del transistor. ¡No te olvide agregar esta resistencia! Un transistor sin una resistencia en la base es como un LED sin resistencia que limita la corriente.

Recuerde que, en cierta forma, los transistores son solo un par de diodos interconectados. Estamos polarizando el diodo base-emisor para encender la carga. El diodo solo necesita 0.6V para encenderse, más voltaje que eso significa más corriente. Cada transistor soporta una corriente máxima entre base-emisor, te recomendamos revisar el datasheet del transistor que quieras utilizar antes de conectarlo o realizar las pruebas pertinentes. Si suministra una corriente por sobre el máximo permitido, el transistor puede estallar.

La resistencia en serie entre nuestra fuente de control y la base **limita la corriente que entra a la base**. El nodo base-emisor puede obtener su caída de voltaje de 0.6V, y la resistencia puede caer el voltaje que queda. El valor de la resistencia, y el voltaje aplicado a través de ella, van a dictar la corriente.



La resistencia tiene que ser suficientemente grande para limitar efectivamente la corriente, pero suficientemente pequeña para alimentar la base con suficiente corriente. Entre 1mA a 10mA generalmente es más que suficiente, pero te aconsejamos revisar el datasheet de tu transistor como forma de protección.