

# Los transistores y sus aplicaciones.

## Breve resumen.

En este trabajo se pretende realizar un resumen acerca algunos de los tipos de transistores existentes, en cuanto a sus características, su principio de funcionamiento, sus modos de conexión más comunes y las aplicaciones de los más usados en electrónica como el caso de los transistores bipolares, Transistor de efecto campo (FET), el fototransistor etc...

## Introducción

El **transistor** es un dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. El término "transistor" es la contracción en inglés de *transfer resistor* ("resistencia de transferencia"). Actualmente se los encuentra prácticamente en todos los enseres domésticos de uso diario: radios, televisores, grabadoras, reproductores de audio y vídeo, hornos de microondas, lavadoras, automóviles, equipos de refrigeración, alarmas, relojes de cuarzo, computadoras, calculadoras, impresoras, lámparas fluorescentes, equipos de rayos X, tomógrafos, ecógrafos, reproductores mp3, celulares, etc.

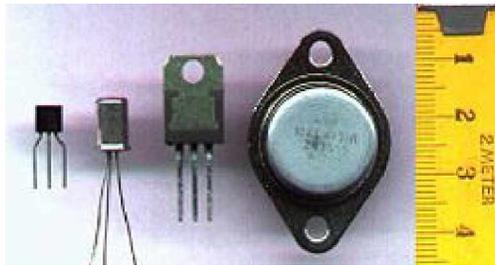
Vienen a sustituir a las antiguas válvulas termoiónicas de tres electrodos o tríodo, el transistor bipolar fue inventado en los Laboratorios Bell de EE. UU. En diciembre de 1947 por John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Bradford Shockley, quienes fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 1956. Gracias a ellos fue posible la construcción de receptores de radio **portátiles** llamados comúnmente "transistores", televisores que se encendían en un par de segundos, televisores en color... Antes de aparecer los transistores, los aparatos a válvulas tenían que trabajar con tensiones bastante altas, tardaban más de 30 segundos en empezar a funcionar, y en ningún caso podían funcionar a pilas, debido al gran consumo que tenían.

El transistor consta de un sustrato (usualmente silicio) y tres partes dopadas artificialmente (contaminadas con materiales específicos en cantidades específicas) que forman dos uniones bipolares, el **emisor** que emite portadores, el **colector** que los recibe o recolecta y la tercera, que está intercalada entre las dos primeras, modula el paso de dichos portadores (**base**). A diferencia de las válvulas, el transistor es un dispositivo controlado por corriente y del que se obtiene corriente amplificada. En el diseño de circuitos a los transistores se les considera un elemento activo, a diferencia de los resistores, capacitores e inductores que son elementos pasivos. Su funcionamiento sólo puede explicarse mediante mecánica cuántica.

De manera simplificada, la corriente que circula por el "colector" es función amplificada de la que se inyecta en el "emisor", pero el transistor sólo gradúa la corriente que circula a través de sí mismo, si desde una fuente de corriente continua se alimenta la "base" para que circule la carga por el "colector", según el tipo de circuito que se utilice. El factor de amplificación logrado entre corriente de base y corriente de colector, se denomina Beta del transistor. Otros parámetros a tener en cuenta y que son particulares de cada tipo de transistor son: Tensiones de ruptura de Colector Emisor, de Base Emisor, de Colector Base, Potencia Máxima, disipación de calor, frecuencia de trabajo, y varias tablas donde se grafican los distintos parámetros tales como corriente de base, tensión Colector Emisor, tensión Base Emisor, corriente de Emisor, etc. Los tres tipos de esquemas básicos para utilización analógica de los transistores son emisor común, colector común y base común.

Modelos posteriores al transistor descrito, el transistor bipolar (transistores FET, MOSFET, JFET, CMOS, VMOS, etc.) no utilizan la corriente que se inyecta en el terminal de "base" para modular la corriente de emisor o colector, sino la tensión presente en el terminal de puerta o reja de control y gradúa la conductancia del canal entre los terminales de Fuente y Drenador. De este modo, la corriente de salida en la carga conectada al Drenador (D) será función amplificada de la Tensión presente entre la Puerta (Gate) y Fuente (Source). Su funcionamiento es análogo al del triodo, con la salvedad que en el triodo los equivalentes a Puerta, Drenador y Fuente son Reja, Placa y Cátodo.

Los transistores de efecto de campo, son los que han permitido la integración a gran escala que disfrutamos hoy en día, para tener una idea aproximada pueden fabricarse varios miles de transistores interconectados por centímetro cuadrado y en varias capas superpuestas



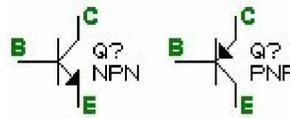
Distintos encapsulados de transistores.

Los transistores de unión (uno de los tipos más básicos) tienen 3 terminales llamados **Base**, **Colector** y **Emisor**, que dependiendo del encapsulado que tenga el transistor pueden estar distribuidos de varias formas.

### Tipos de transistores. Simbología

Existen varios tipos que dependen de su proceso de construcción y de las aplicaciones a las que se destinan. Aquí abajo mostramos una tabla con los tipos de uso más frecuente y su simbología:

Transistor bipolar de unión (BJT)



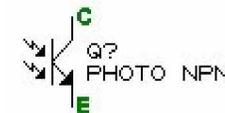
Transistor de efecto de campo, de union (JFET)



Transistor de efecto de campo, de metal oxido semiconductor (MOSFET)



Fototransistor



### Tipos de transistor

- Transistor de punta de contacto. Primer transistor que obtuvo ganancia, inventado en 1947 por J. Bardeen y W. Brattain. Consta de una base de germanio sobre la que se apoyan, muy juntas, dos puntas metálicas que constituyen el emisor y el colector. La corriente de emisor es capaz de modular la resistencia que se "ve" en el colector, de ahí el nombre de "transfer resistor". Se basa en efectos de superficie, poco conocidos en su día. Es difícil de fabricar (las puntas se ajustaban a mano), frágil (un golpe podía desplazar las puntas) y ruidoso. Sin embargo convivió con el transistor de unión (W. Shockley, 1948) debido a su mayor ancho de banda. En la actualidad ha desaparecido.
- Transistor de unión bipolar, BJT por sus siglas en inglés, se fabrica básicamente sobre un monocristal de Germanio, Silicio o Arseniuro de Galio, que tienen cualidades de semiconductores, estado intermedio entre conductores como los metales y los

aislantes como el diamante. Sobre el sustrato de cristal, se contaminan en forma muy controlada tres zonas, dos de las cuales son del mismo tipo, NPN o PNP, quedando formadas dos uniones NP.

La zona N con elementos donantes de electrones (cargas negativas) y la zona P de aceptadores o "huecos" (cargas positivas). Normalmente se utilizan como elementos aceptadores P al Indio (In), Aluminio (Al) o Galio (Ga) y donantes N al Arsénico (As) o Fósforo (P).

La configuración de uniones PN, dan como resultado transistores PNP o NPN, donde la letra intermedia siempre corresponde a la característica de la base, y las otras dos al emisor y al colector que, si bien son del mismo tipo y de signo contrario a la base, tienen diferente contaminación entre ellas (por lo general, el emisor esta mucho mas contaminado que el colector).

El mecanismo que representa el comportamiento semiconductor dependerá de dichas contaminaciones, de la geometría asociada y del tipo de tecnología de contaminación (difusión gaseosa, epitelial, etc.) y del comportamiento cuántico de la unión.

- Fototransistor, sensible a la radiación electromagnética, en frecuencias cercanas a la de la luz.
- Transistor de unión unipolar.
- Transistor de efecto de campo, FET, que controla la corriente en función de una tensión; tienen alta impedancia de entrada.
  - Transistor de efecto de campo de unión, JFET, construido mediante una unión PN.
  - Transistor de efecto de campo de compuerta aislada, IGFET, en el que la compuerta se aísla del canal mediante un dieléctrico.
    - § Transistor de efecto de campo MOS, MOSFET, donde MOS significa Metal-Óxido-Semiconductor, en este caso la compuerta es metálica y está separada del canal semiconductor por una capa de óxido.

### **Transistores y electrónica de potencia**

Con el desarrollo tecnológico y evolución de la electrónica, la capacidad de los dispositivos semiconductores para soportar cada vez mayores niveles de tensión y corriente ha permitido su uso en aplicaciones de potencia.

### **El transistor frente a la válvula termoiónica**

Antes de la aparición del transistor los ingenieros utilizaban elementos activos llamados válvulas termoiónicas. Las válvulas tienen características eléctricas similares a la de los transistores de efecto de campo (FET): la corriente que los atraviesa depende de la tensión en el borne de comando, llamado rejilla. Las razones por las que el transistor reemplazó a la válvula termoiónica son varias:

- Las válvulas termoiónicas necesitan tensiones muy altas, del orden de las centenas de voltios, tensiones que son letales para el ser humano.
- Las válvulas consumen mucha energía, lo que las vuelve particularmente poco útiles para el uso con baterías.
- Probablemente, uno de los problemas más importantes es el peso. El chasis necesario para alojar las válvulas, los transformadores requeridos para suministrar la

alta tensión, todo ello sumaba un peso importante, que iba desde algunos kilos a algunas decenas de kilos.

- El tiempo medio entre fallas de las válvulas termoiónicas es muy corto comparado al del transistor, sobre todo a causa del calor generado.
- Además las válvulas termoiónicas tardan mucho para poder ser utilizadas. Las válvulas necesitan estar calientes para funcionar.

Como ejemplo de todos estos inconvenientes se puede citar a la primera computadora digital, llamada ENIAC. Era un equipo que pesaba más de treinta toneladas y consumía 200 kilovatios, suficientes para alimentar una pequeña ciudad. Tenía alrededor de 18.000 válvulas, de las cuales algunas se quemaban cada día, necesitando una logística y una organización importantes.

Los transistores tienen **multitud de aplicaciones**, entre las que se encuentran:

- Amplificación de todo tipo (radio, televisión, instrumentación)
- Generación de señal (osciladores, generadores de ondas, emisión de radiofrecuencia)
- Conmutación, actuando de interruptores (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, control de lámparas, modulación por anchura de impulsos PWM)
- Detección de radiación luminosa (fototransistores)
- Se usan generalmente en electrónica analógica y en la electrónica digital como la tecnología TTL o BICMOS.
- Son empleados en convertidores estáticos de potencia, controles para motores y llaves de alta potencia (principalmente inversores), aunque su principal uso está basado en la amplificación de corriente dentro de un circuito cerrado.
-

## Transistor bipolar

El **transistor de unión bipolar** (del inglés *Bipolar Junction Transistor*, o sus siglas *BJT* fue inventado en 1947) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. El transistor bipolar está formado por una unión PN y por otra NP, característica que hace que un semiconductor de determinado tipo se encuentre entre dos de tipo opuesto al primero, como se muestra en la figura 1. Lo que se obtiene con esta configuración es una sección que proporciona cargas (de huecos o de electrones) que son captadas por otra sección a través de la sección media. El electrodo que proporciona las cargas es el emisor y el que las recoge es el colector. La base es la parte de en medio y forma las dos uniones, una con el colector y otra con el emisor. Además, la base controla la corriente en el colector. Este tipo de transistores recibe el nombre de transistores de unión.

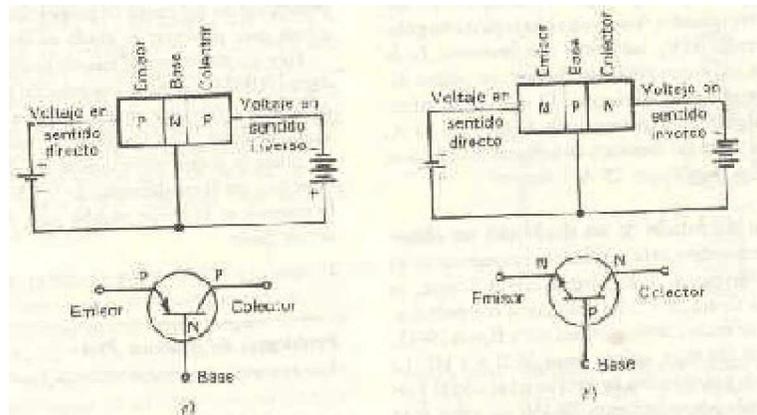


Figura 1. Símbolos y diagramas de polarización para transistores de unión. a-) PNP. b-) NPN.

De esta manera quedan formadas tres regiones:

- **Emisor**, que se diferencia de las otras dos por estar fuertemente dopada, comportándose como un metal.
- **Base**, la intermedia, muy estrecha, que separa el emisor del colector.
- **Colector**, de extensión mucho mayor.

Cuando el transistor bipolar, fue considerado una revolución. Pequeño, rápido, fiable, poco costoso, sobrio en sus necesidades de energía, reemplazó progresivamente a la válvula termoiónica durante la década de 1950, pero no del todo. En efecto, durante los años 60, algunos fabricantes siguieron utilizando válvulas termoiónicas en equipos de radio de gama alta, como Collins y Drake; luego el transistor desplazó a la válvula de los transmisores pero no del todo de los amplificadores de radiofrecuencia. Otros fabricantes, de equipo de audio esta vez, como Fender, siguieron utilizando válvulas termoiónicas en amplificadores de audio para guitarras.

Las razones de la supervivencia de las válvulas termoiónicas son varias:

- El transistor no tiene las características de linealidad a alta potencia de la válvula termoiónica, por lo que no pudo reemplazarla en los amplificadores de transmisión de radio profesionales y de radioaficionados.
- Los armónicos introducidos por la no-linealidad de las válvulas resultan agradables al oído humano (véase psicoacústica), por lo que son preferidos por los audiófilos
- El transistor es muy sensible a los efectos electromagnéticos de las explosiones nucleares, por lo que se siguieron utilizando válvulas termoiónicas en algunos sistemas de control-comando de cazas de fabricación soviética.

La técnica de fabricación más común es la deposición epitaxial. En su funcionamiento normal, la unión base-emisor está polarizada en directa, mientras que la base-colector en inversa. Los portadores de carga emitidos por el emisor atraviesan la base, que por ser muy angosta, hay poca recombinación de portadores, y la mayoría pasa al colector. El transistor posee tres estados de operación: estado de corte, estado de saturación y estado de actividad.

### **Funcionamiento**

En una configuración normal, la unión emisor-base se polariza en directa y la unión base-colector en inversa. Debido a la agitación térmica los portadores de carga del emisor pueden atravesar la barrera de potencial emisor-base y llegar a la base. A su vez, prácticamente todos los portadores que llegaron son impulsados por el campo eléctrico que existe entre la base y el colector.

Un transistor NPN puede ser considerado como dos diodos con la región del ánodo compartida. En una operación típica, la juntura base-emisor está polarizada en directa y la juntura base-colector está polarizada en inversa. En un transistor NPN, por ejemplo, cuando una tensión positiva es aplicada en la juntura base-emisor, el equilibrio entre los portadores generados térmicamente y el campo eléctrico repelente de la región agotada se desbalancea, permitiendo a los electrones excitados térmicamente inyectarse en la región de la base. Estos electrones "vagan" a través de la base, desde la región de alta concentración cercana al emisor hasta la región de baja concentración cercana al colector. Estos electrones en la base son llamados portadores minoritarios debido a que la base está dopada con material P, los cuales generan "hoyos" como portadores mayoritarios en la base.

La región de la base en un transistor debe ser constructivamente delgada, para que los portadores puedan difundirse a través de esta en mucho menos tiempo que la vida útil del portador minoritario del semiconductor, para minimizar el porcentaje de portadores que se recombinan antes de alcanzar la juntura base-colector. El espesor de la base debe ser menor al ancho de difusión de los electrones.

### **Control de tensión, carga y corriente**

La corriente colector-emisor puede ser vista como controlada por la corriente base-emisor (control de corriente), o por la tensión base-emisor (control de voltaje). Esto es debido a la relación tensión-corriente de la juntura base-emisor, la cual es la curva tensión-corriente exponencial usual de una juntura PN (es decir, un diodo).

En el diseño de circuitos analógicos, el control de corriente es utilizado debido a que es aproximadamente lineal. Esto significa que la corriente de colector es aproximadamente  $\beta$  veces la corriente de la base. Algunos circuitos pueden ser diseñados asumiendo que la tensión base-emisor es aproximadamente constante, y que la corriente de colector es  $\beta$  veces la corriente de la base. No obstante, para diseñar circuitos utilizando TBJ con precisión y confiabilidad, se requiere el uso de modelos matemáticos del transistor como el modelo Ebers-Moll.

### **Transistor Bipolar de Heterounión**

El transistor bipolar de heterounión (TBH) es una mejora del TBJ que puede manejar señales de muy altas frecuencias, de hasta varios cientos de GHz. Es un dispositivo muy común hoy en día en circuitos ultrarrápidos, generalmente en sistemas de radiofrecuencia.

Los transistores de heterojuntura tienen diferentes semiconductores para los elementos del transistor. Usualmente el emisor está compuesto por una banda de material más larga que la base. Esto ayuda a reducir la inyección de portadores minoritarios desde la base cuando la juntura emisor-base está polarizada en directa y esto aumenta la eficiencia de la inyección del emisor. La inyección de portadores mejorada en la base permite que esta pueda tener un mayor nivel de dopaje, lo que resulta en una menor resistencia. Con un transistor de juntura bipolar convencional, también conocido como transistor bipolar de homojuntura, la eficiencia de la inyección de portadores desde el emisor hacia la base está principalmente determinada por el nivel de dopaje entre el emisor y la base. Debido a que la base debe estar ligeramente dopada para permitir una alta eficiencia de inyección de portadores, su resistencia es relativamente alta.

### **Regiones operativas del transistor**

Los transistores bipolares de juntura tienen diferentes regiones operativas, definidas principalmente por la forma en que son polarizados:

- **Región activa:**

Quando un transistor no está ni en su región de saturación ni en la región de corte entonces está en una región intermedia, la región activa. En esta región la corriente de colector ( $I_c$ ) depende principalmente de la corriente de base ( $I_b$ ), de  $\beta$  (ganancia de corriente, es un dato del fabricante) y de las resistencias que se encuentren conectadas en el colector y emisor. Esta región es la más importante si lo que se desea es utilizar el transistor como un amplificador de señal.

- **Región inversa:**

Al invertir las condiciones de polaridad del funcionamiento en modo activo, el transistor bipolar entra en funcionamiento en modo inverso. En este modo, las regiones del colector y emisor intercambian roles. Debido a que la mayoría de los TBJ son diseñados para maximizar la ganancia de corriente en modo activo, el parámetro beta en modo inverso es drásticamente menor al presente en modo activo.

- **Región de corte:** Un transistor esta en corte cuando:

$corriente\ de\ colector = corriente\ de\ emisor = 0, (I_c = I_e = 0)$

En este caso el voltaje entre el colector y el emisor del transistor es el voltaje de alimentación del circuito. (como no hay corriente circulando, no hay caída de voltaje, ver Ley de Ohm). Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base = 0 ( $I_b = 0$ )

- **Región de saturación:** Un transistor está saturado cuando:

$corriente\ de\ colector = corriente\ de\ emisor = corriente\ maxima, (I_c = I_e = I_{maxima})$

En este caso la magnitud de la corriente depende del voltaje de alimentación del circuito y de las resistencias conectadas en el colector o el emisor o en ambos, ver ley de Ohm. Este caso normalmente se presenta cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector  $\beta$  veces más grande. (recordar que  $I_c = \beta * I_b$ )

## Transistor de efecto campo

El **transistor de efecto campo** *ield-Effect Transistor* o *FET*, en inglés) es en realidad una familia de transistores que se basan en el campo eléctrico para controlar la conductividad de un "canal" en un material semiconductor. Los FET, como todos los transistores, pueden plantearse como resistencias controladas por voltaje.

La mayoría de los FET están hechos usando las técnicas de procesamiento de semiconductores habituales, empleando la oblea monocristalina semiconductoras como la región activa o canal. La región activa de los TFTs (*thin-film transistores*, o transistores de película fina), por otra parte, es una película que se deposita sobre un sustrato (usualmente vidrio, puesto que la principal aplicación de los TFTs es como pantallas de cristal líquido o LCDs).



P-channel



N-channel

*Símbolos esquemáticos para los JFETs canal-n y canal-p. G=Puerta(Gate), D=Drenador(Drain) y S=Fuente(Source).*

Los transistores de efecto de campo o FET más conocidos son los JFET (Junction Field Effect Transistor), MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET) y MISFET (Metal-Insulator-Semiconductor FET).

Tienen tres terminales, denominadas puerta (*gate*), drenador (*drain*) y fuente (*source*). La puerta es el terminal equivalente a la base del BJT. El transistor de efecto de campo se

comporta como un interruptor controlado por tensión, donde el voltaje aplicado a la puerta permite hacer que fluya o no corriente entre drenador y fuente.

El funcionamiento del transistor de efecto de campo es distinto al del BJT. En los MOSFET, la puerta no absorbe corriente en absoluto, frente a los BJT, donde la corriente que atraviesa la base, pese a ser pequeña en comparación con la que circula por las otras terminales, no siempre puede ser despreciada. Los MOSFET, además, presentan un comportamiento capacitivo muy acusado que hay que tener en cuenta para el análisis y diseño de circuitos.

Así como los transistores bipolares se dividen en NPN y PNP, los de efecto de campo o FET son también de dos tipos: canal n y canal p, dependiendo de si la aplicación de una tensión positiva en la puerta pone al transistor en estado de conducción o no conducción, respectivamente. Los transistores de efecto de campo MOS son usados extensísimamente en electrónica digital, y son el componente fundamental de los circuitos integrados o *chips* digitales.

## Historia

Desde 1953 se propuso su fabricación por Van Nostrand (5 años después de los BJT). Aunque su fabricación no fue posible hasta mediados de los años 60's.

## Tipo de transistores de efecto campo

El canal de un FET es dopado para producir tanto un semiconductor tipo N o uno tipo P. El drenador y la fuente deben estar dopados de manera contraria al canal en el caso de FETs de modo mejorado, o dopados de manera similar al canal en el caso de FETs en modo agotamiento. Los transistores de efecto de campo también son distinguidos por el método de aislamiento entre el canal y la puerta. Los tipos de FETs son: Podemos clasificar los transistores de efecto campo según el método de aislamiento entre el canal y la puerta:

- El MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*) usa un aislante (normalmente SiO<sub>2</sub>).
- El JFET (*Junction Field-Effect Transistor*) usa una unión p-n
- El MESFET (*Metal-Semiconductor Field Effect Transistor*) substituye la unión PN del JFET con una barrera Schottky.
- En el HEMT (*High Electron Mobility Transistor*), también denominado HFET (*heterostructure FET*), la banda de material dopada con "huecos" forma el aislante entre la puerta el cuerpo del transistor.
- Los **MODFET** (*Modulation-Doped Field Effect Transistor*)
- Los **IGBT** (*Insulated-gate bipolar transistor*) es un dispositivo para control de potencia. Son comunmente usados cuando el rango de voltaje drenaje-fuente está entre los 200 a 3000V. Aún así los Power MOSFET todavía son los dispositivos más utilizados en el rango de tensiones drenaje-fuente de 1 a 200V.
- Los **FREDFET** es un FET especializado diseñado para otorgar una recuperación ultra rápida del transistor.
- Los **DNAFET** es un tipo especializado de FET que actúa como biosensor, usando una puerta fabricada de moléculas de ADN de una cadena para detectar cadenas de ADN iguales

. La característica de los TFT que los distingue, es que hacen uso del silicio amorfo o del silicio policristalino.

### Características

- Tiene una resistencia de entrada extremadamente alta (casi 100M).
- No tiene un voltaje de unión cuando se utiliza Conmutador (Interruptor).
- Hasta cierto punto inmune a la radiación.
- Es menos ruidoso.
- Puede operarse para proporcionar una mayor estabilidad térmica.

### Precauciones:

Con los transistores FET hay que tener cuidados especiales, pues algunas referencias se dañan con solo tocar sus terminales desconectadas (Estática). Por tal motivo, cuando nuevos traen sus patas en corto-circuito mediante una espuma conductora eléctrica o con algo metálico, esto no se debe quitar hasta que esten soldados en la tableta de circuito impreso, hecho esto ya no hay problema.

## Fototransistor



Fototransistor



Diversos tipos de fototransistores

Se llama **fototransistor** a un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor. Los fototransistores no son muy diferentes de un transistor normal, es decir, están compuestos por el mismo material semiconductor, tienen dos junturas y las mismas tres conexiones externas: colector, base y emisor. Por supuesto, siendo un elemento sensible a la luz, la primera diferencia evidente es en su cápsula, que posee una ventana o es totalmente transparente, para dejar que la luz ingrese hasta las junturas de la pastilla semiconductor y produzca el efecto fotoeléctrico.

En el mercado se encuentran fototransistores tanto con conexión de base como sin ella y tanto en cápsulas plásticas como metálicas (TO-72, TO-5) provistas de una lente.

### Aplicaciones de los fototransistores.

Se han utilizado en lectores de cinta y tarjetas perforadas, lápices ópticos, etc. Para comunicaciones con fibra óptica se prefiere usar detectores con fotodiodos p-i-n. También se pueden utilizar en la detección de objetos cercanos cuando forman parte de un sensor de proximidad. Se utilizan ampliamente encapsulados conjuntamente con un LED, formando interruptores ópticos (*opto-switch*), que detectan la interrupción del haz de luz por un objeto.

Existen en dos versiones: de transmisión y de reflexión.

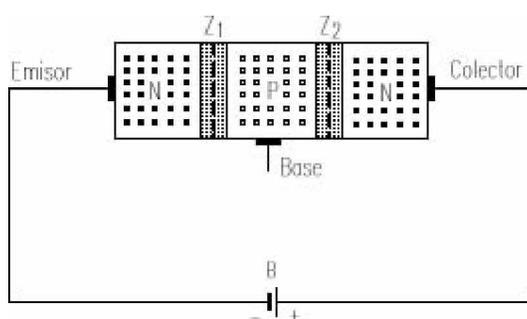
Teniendo las mismas características de un transistor normal, es posible regular su corriente de colector por medio de la corriente de base. Y también, dentro de sus características de elemento optoelectrónico, el fototransistor conduce más o menos corriente de colector cuando incide más o menos luz sobre sus junturas.

Los dos modos de regulación de la corriente de colector se pueden utilizar en forma simultánea. Si bien es común que la conexión de base de los fototransistores no se utilice, e incluso que no se la conecte o ni siquiera venga de fábrica, a veces se aplica a ella una corriente que estabiliza el funcionamiento del transistor dentro de cierta gama deseada, o lo hace un poco más sensible cuando se debe detectar una luz muy débil. Esta corriente de estabilización (llamada *bias*, en inglés) cumple con las mismas reglas de cualquier transistor, es decir, tendrá una relación de amplificación determinada por la ganancia típica de corriente, o  $h_{fe}$ . A esta corriente prefijada se le suman las variaciones producidas por los cambios en la luz que incide sobre el fototransistor.

Los fototransistores, al igual que los fotodiodos, tienen un tiempo de respuesta muy corto, es decir que pueden responder a variaciones muy rápidas en la luz. Debido a que existe un factor de amplificación de por medio, el fototransistor entrega variaciones mucho mayores de corriente eléctrica en respuesta a las variaciones en la intensidad de la luz.

## Resumen de la Teoría del Transistor

A vista de esa prueba realizada este dispositivo ha de tener tres electrodos o bornes, uno por cada uno de los cristales de que se compone. Al cristal que recibe la corriente, el primero de los tres, se distingue con el nombre de emisor; el cristal del centro como base, y al cristal de salida de la corriente, colector. Entonces, en un transistor de tipo NPN, la primera N será el emisor, P será la base, y la otra N, el colector. Estos nombres se suelen abreviar con las letras E, B y C respectivamente.

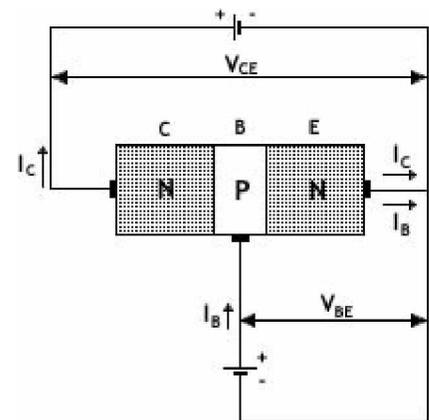


Para comprender bien el funcionamiento del transistor debemos recordar la teoría atómica, donde el cristal N es un cristal que tiene exceso de electrones, y el cristal P, es un cristal con exceso de huecos. Por ejemplo un transistor de tipo NPN, siguiendo la imagen en la que una fuente de alimentación (B) provee de corriente al emisor, conectado al polo negativo en el cristal N, negativo también. En estas condiciones se forman como unas barreras Z1 y Z2 en las uniones con el

cristal P de base, que impiden el paso de la corriente. La base está llena de huecos que pasan a ser ocupados por los electrones más próximos de los cristales contiguos, formándose estas barreras de átomos en equilibrio que impide el paso de la corriente (salvo una muy débil corriente de fuga de escasísimo valor). Pero si se polariza la fuente del mismo signo que ella, es decir, con una tensión positiva respecto al emisor, lo que se llama en sentido contrario, la barrera Z1 desaparece porque el potencial positivo aplicado a la base repele los huecos hacia los cristales N y penetran en la zona de resistencia. Los electrones libres del emisor la atraviesan siendo atraídos por los potenciales positivos de la base y del colector. Dado que el potencial positivo del colector es mucho más elevado que el de la base, los electrones se sentirán más atraídos por el primero, por lo que se obtendrá una elevada corriente del colector (que abreviaremos  $I_C$ ) y una pequeña corriente de base ( $I_B$ ). La corriente del emisor ( $I_E$ ) será por tanto igual a la suma de la corriente de colector y la corriente de base, tal como se deduce de las leyes de Kirchhoff. Es decir:

$$I_E = I_C + I_B$$

De esto se deduce que la corriente que sale por el colector no va incrementada con la corriente de base. De hecho, la corriente que pasa por emisor y que se designa  $I_E$  se compone de la corriente de la base y del colector que luego circularán en diferente sentido. En la imagen vemos un esquema de circuito elemental de un transistor en el que se designa también el nombre de las tensiones (V). Así tenemos que  $V_{BE}$  es la tensión base-emisor,  $V_{CE}$  es la tensión colector-emisor. Como puede verse, en el emisor las corrientes de base colector se suman, tal como dice la ley de Kirchhoff.



## **Conclusiones**

Los transistores son unos elementos que han facilitado, en gran medida, el diseño de circuitos electrónicos de reducido tamaño, gran versatilidad y facilidad de control.

Con el desarrollo de este trabajo además de consolidar el trabajo en equipo, y consolidar nuestras capacidades investigativas nos aporato importantes conocimientos en algunos casos en forma de cultura general, y otras ocasiones conocimientos específicos acerca de los diodos y cada uno de los tipos mas conocidos.

Podemos decir que el surgimiento de los Diodos ha proporcionado un gran avance a la ciencia no solo a la electrónica sino a la ciencia de forma general porque casi todos equipos que tenemos en la actualidad funcionan con componentes eléctricos y con presencia de transistores.

**Bibliografía.**

- [http://es.wikipedia.org/wiki/Transistor\\_de\\_efecto\\_campo](http://es.wikipedia.org/wiki/Transistor_de_efecto_campo)
- <http://www.electronica2000.com>
- [http://areaelectronica.com/Transistores/Transistores, transistor, teoría..htm](http://areaelectronica.com/Transistores/Transistores,transistor,teoría..htm)

**Breve biografía del autor.**

Andy Willian Mesa Mederos, estudiante de 3er año de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Ciudad de Santa Clara. Provincia de Villa Clara. Cuba. Estudiante vinculado a investigaciones con el Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Ambientales (CEETA) de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UCLV.

**País:** Cuba.

**Ciudad:** Santa Clara.

**Fecha de elaboración:** 10 de diciembre de 2008.