



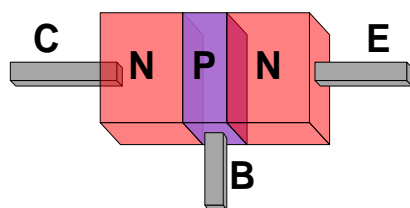
Fotografía del primer transistor, desarrollado por los laboratorios Bell en 1948. Si observamos la imagen detalladamente podemos encontrar cierta analogía con el símbolo del transistor.

EL TRANSISTOR

■ INTRODUCCIÓN

Antes de la aparición del transistor, el desarrollo de la electrónica dependía de los delicados y voluminosos tubos de vacío. En 1948, los físicos estadounidenses Brattain, Bardeen y Shockley, en los laboratorios Bell, desarrollaron lo que hoy conocemos como transistor. Este logro les hizo merecedores del premio Nobel de Física en 1956.

El transistor está formado por tres capas de silicio (o de germanio) de gran pureza, a las cuales se les han añadido pequeñísimas cantidades de impurezas como boro para el tipo P y fósforo para el tipo N.

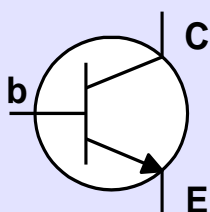


Esquema interno de un transistor NPN

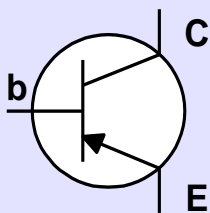
■ FUNCIONAMIENTO

Un transistor tiene tres terminales denominados colector, emisor y base. La corriente que circula de colector a emisor se controla mediante una débil corriente de base o de control. Mediante el siguiente circuito podemos ver el funcionamiento de un transistor NPN:

SÍMBOLOS

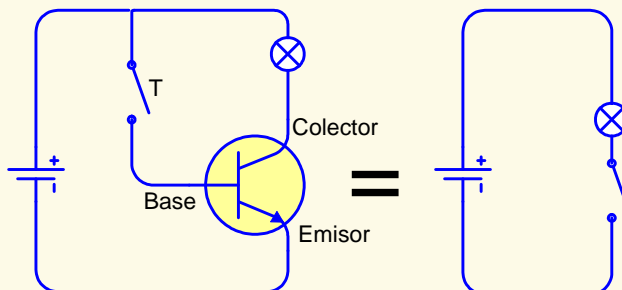


NPN



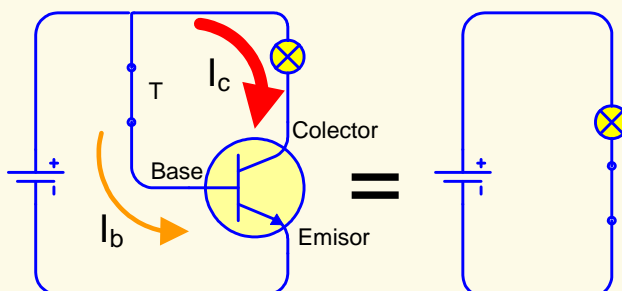
PNP

TRANSISTOR EN CORTE



Cuando T está abierto, no hay corriente de base por lo que no circulará corriente de colector a emisor. El transistor está en **corte** y se comporta como un interruptor abierto.

TRANSISTOR EN SATURACIÓN



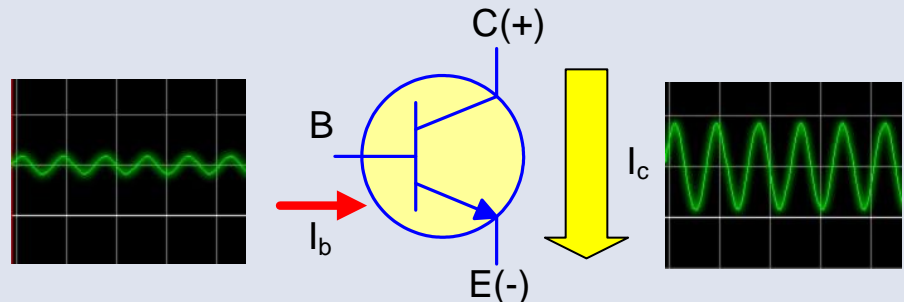
Cuando T está cerrado, circula por él una pequeña corriente de base que hace que el transistor se **sature** (la corriente de colector a emisor es máxima) y se comporte como un interruptor cerrado.



Interior de un transistor encapsulado en TO-3. Llama la atención el reducido tamaño del material semiconductor en comparación con la cápsula. Esto es así para facilitar la evacuación del calor producido en el núcleo.

Un transistor funciona como amplificador cuando la corriente de base oscila entre cero y un valor máximo. En este caso, la corriente de colector es múltiplo de la corriente de base. Si aplicamos a la base de un transistor una señal de corriente con una forma determinada obtendremos una corriente de colector mayor y proporcional a la señal aplicada:

FUNCIONAMIENTO DEL TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR



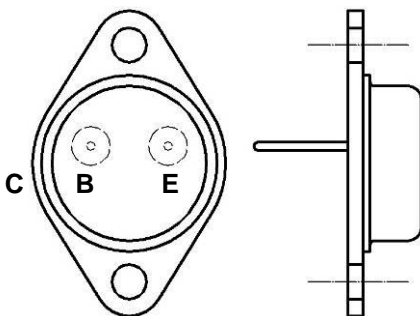
■ ENCAPSULADOS

El soporte del semiconductor y de los terminales de conexión de un transistor se llama cápsula o encapsulado y su forma, tamaño y material depende de las características del transistor, especialmente del calor que tiene que disipar. Los transistores de elevada potencia son metálicos para facilitar el flujo de calor y reducir así la temperatura del núcleo y suelen ir montados sobre disipadores que facilitan el paso del calor al aire.

ENCAPSULADOS MÁS USUALES

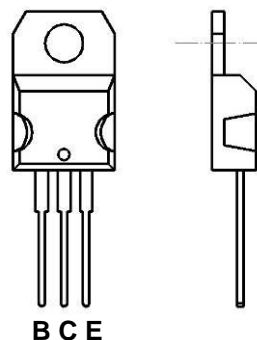
TO-3

Encapsulado metálico para elevada potencia. En el esquema, la distribución de terminales corresponde al 2N3055



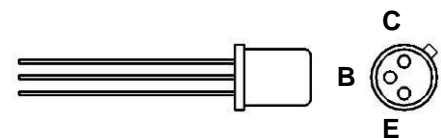
TO-220

Encapsulado para transistores de media potencia. La distribución de terminales corresponde al TIP-111



TO-18

Encapsulado metálico para transistores de pequeña potencia. La posición de los terminales corresponde al BC-108



TO-92

Encapsulado de plástico para transistores de muy pequeña potencia. La distribución de terminales corresponde al BC-548

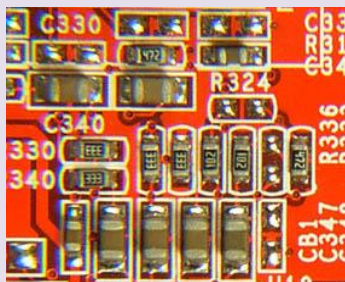


COMPONENTES SMD

Los componentes SMD (Surface Mount Devices) son más pequeños que los convencionales. Disponen de diminutos contactos metálicos para su conexión al circuito, en lugar de patillas.

La técnica de montaje de estos componentes se denomina montaje superficial y consiste en pegar los componentes ya estañados al circuito impreso y posteriormente, soldarlos, normalmente por flujo de gas caliente.

En la actualidad, este tipo de componentes se emplean masivamente debido a la facilidad del proceso de fabricación, a la gran densidad de componentes por placa y a la posibilidad de fabricar circuitos de doble cara.



■ PARÁMETROS BÁSICOS

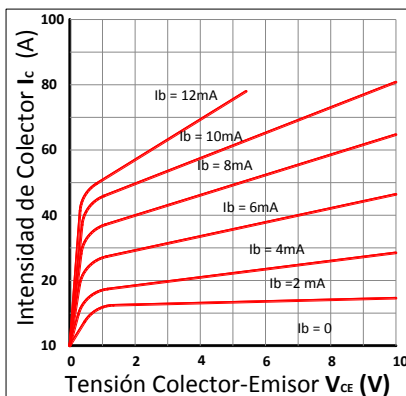
Si consultamos la hoja de datos de un modelo determinado de transistor, podemos ver multitud de parámetros y curvas características. Para nuestros propósitos sólo será necesario consultar los siguientes:

- I_b (intensidad de base): Es la corriente que circula por la base del transistor. Si su valor está dentro de los márgenes adecuados, permite gobernar la corriente de colector I_c .
- I_c (intensidad de colector): Es la corriente que fluye por el colector del transistor. Es muy importante conocer su valor máximo. A la hora de elegir un transistor debemos tener en cuenta que la I_c máxima sea algo superior a la intensidad que necesite nuestra carga para no hacerlo trabajar al límite.
- h_{FE} : Es la ganancia de corriente de un transistor o relación entre la corriente de colector I_c y la corriente de base I_b (I_c/I_b). Este parámetro nos indica la variación que sufre la corriente de colector para una variación de la corriente de base (nos da una idea de cuánto amplifica un transistor la corriente que se aplica a su base). También se denomina β (beta). No es constante, depende de V_{CE0} y de I_c .

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

- V_{CE0} : Es la máxima tensión que puede soportar el transistor entre colector y emisor. Si este valor se supera, el transistor conduce sin que se aplique corriente de base y se destruye. Como ejemplo, si queremos elegir un transistor para utilizarlo como un interruptor sometido a 24 V, debemos comprobar que el candidato tiene una V_{CE0} superior.
- V_{be} : Es la caída de tensión que hay entre la base y el emisor. Suele tener un valor casi constante de unos 0.7V para los transistores de silicio.
- V_{cesat} : Es la caída de tensión que hay entre el colector y el emisor cuando el transistor está saturado.

Curvas características: Las suele incluir el fabricante en las hojas de datos. La más interesante es la denominada **característica de salida**, y representa, en un mismo grafico la intensidad de colector I_c en función de la tensión colector-emisor V_{CE} para varias corrientes de base I_b . Se observa, que una pequeña modificación de la corriente de base produce una modificación mucho mayor de la corriente de colector. La figura de la izquierda muestra un ejemplo de esta curva.

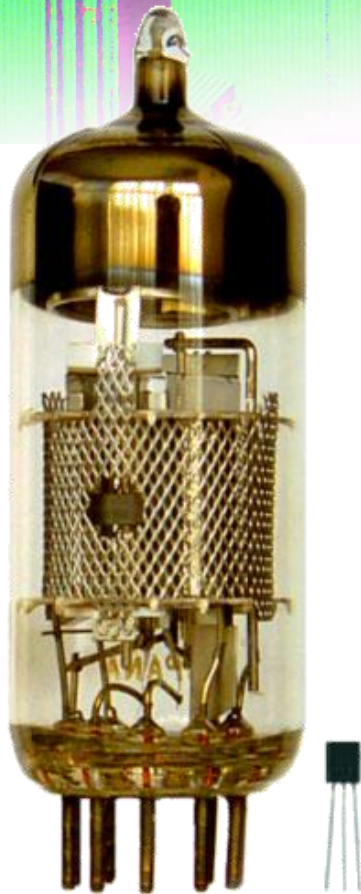


■ EL TRANSISTOR COMO INTERRUPTOR

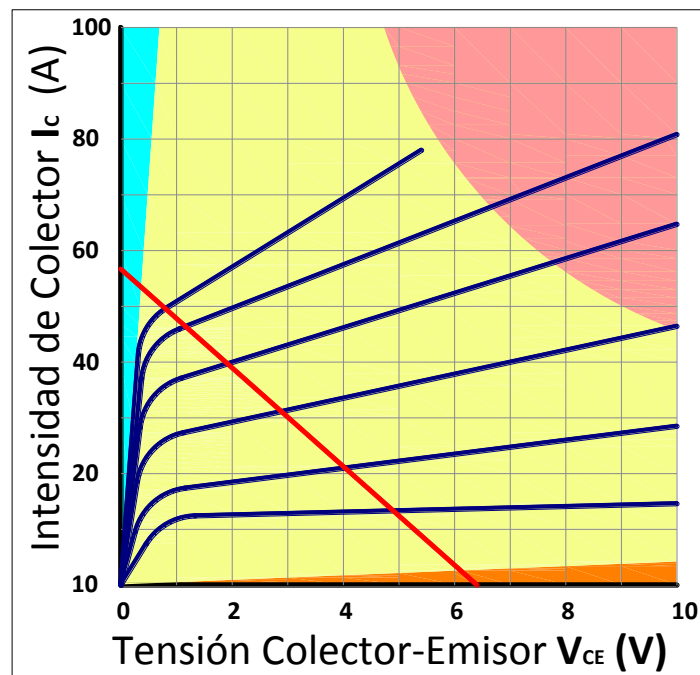
Cuando un transistor se utiliza como interruptor la corriente de base ha de tener un valor adecuado para que el transistor entre en corte y otro valor para que se sature.

Para que un transistor entre en corte, la corriente aplicada a su base ha de ser nula o muy baja. Por el contrario, para saturar un transistor, el valor de la corriente de base ha de ser alto y debe calcularse en función de las características de la carga que queremos controlar.

Un transistor en corte tiene una corriente de colector I_c nula y una tensión colector-emisor V_{CE} máxima e igual a la tensión de alimentación. Cuando el transistor se satura se invierten los papeles: aumenta I_c y disminuye la tensión V_{CE} hasta un valor casi nulo. Si representamos los puntos correspondientes al corte y a la saturación sobre la característica de salida y los unimos obtenemos la recta de carga. En la figura de abajo, se ha representado en rojo la recta de carga. La zona azul se corresponde con la **zona de saturación**, la naranja es la **zona de corte** y la amarilla se denomina **zona activa**. Por último, la región coloreada con rosa se denomina **"zona prohibida"** debido a que el transistor no es capaz de disipar el calor que genera y se destruye.



Tubo de vacío junto a un transistor. Se puede ver la enorme diferencia de tamaño entre ambos elementos, pero ésta no es la única diferencia. El transistor consume muy poca energía en comparación de lo que necesita un tubo de vacío, su vida es mucho más elevada, su precio mucho más bajo y no necesita elevadas tensiones para funcionar. Sin embargo, aún se usan los tubos de vacío en algunos equipos de alta fidelidad, emisoras de radio y amplificadores para guitarras eléctricas.



Si conocemos la corriente que consume la carga que queremos controlar y la tensión de alimentación, fácilmente podemos obtener la recta de carga. El punto superior de la recta es la intensidad que absorbe la carga y el punto de corte con el eje de abscisas, es la tensión aplicada en vacío.

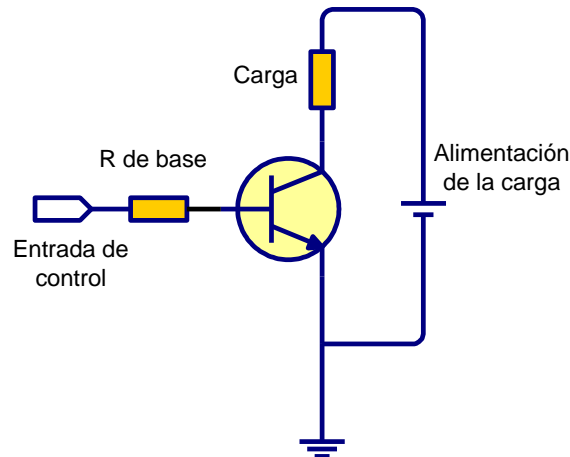
SIGNIFICADO DEL TÉRMINO TRANSISTOR

La palabra transistor proviene de la contracción de los términos **trans**fer y **resistor**, que traducido al castellano quiere decir "resistencia de transferencia".

Uno de los primeros aparatos que se benefició de las ventajas del nuevo descubrimiento fue la radio, que gracias a los pequeños transistores se miniaturizó y se convirtió en un electrodoméstico portátil que heredó el nombre de lo que le había permitido reducir tanto su tamaño. Por este motivo los receptores de radio se conocen también como transistores.

SELECCIÓN Y CONEXIÓN DE UN TRANSISTOR

Supongamos que queremos gobernar una determinada carga desde un pin de salida de un circuito integrado, o cualquier otro dispositivo, incapaz de suministrar la corriente necesaria para carga. La solución más sencilla es intercalar un transistor adecuado entre el pin de salida y la carga:



¿Pero qué transistor elegimos entre los miles que hay en el mercado? ¿Qué resistencia hay que colocar entre la salida del integrado y la base del transistor? La respuesta depende de las características de la carga que queremos controlar y conocidas estas, basta con mirar las hojas de datos de nuestros transistores favoritos y seleccionar el transistor más adecuado.

Los parámetros que tenemos que tener en cuenta para elegir un transistor que conecte y desconecte una determinada carga son los siguientes:

- **Intensidad máxima que puede circular por la carga.** Este valor, lógicamente, ha de ser menor que la I_c máxima del transistor que elijamos.
- **Tensión de funcionamiento de la carga.** Ha de ser menor que la máxima V_{CE} que soporta nuestro candidato.
- **Intensidad máxima que puede suministrar el circuito de control.** Este dato ha de ser tenido en cuenta para seleccionar la ganancia de corriente β que debe tener el transistor. La mayoría de los transistores tienen una β más que suficiente para funcionar como interruptores, pero necesitamos conocerlo para calcular el valor de la resistencia de base. En la hoja de datos de un transistor, el fabricante suele indicar si es adecuado para funcionar como interruptor.
- **Tipo de carga.** Tenemos que tener en cuenta si la carga es inductiva (bobina) y en caso afirmativo colocar un diodo para proteger al transistor.

EJEMPLO:

Queremos gobernar un relé desde una de las salidas de un microcontrolador picaxe, capaz de suministrar 25 mA como máximo, a 5 V. La bobina del relé necesita 90 mA a 6 voltios. Si estudiamos las hojas de datos de nuestros transistores preferidos podemos obtener el siguiente resumen:

MODELO	I_c máxima	V_{ce} máxima	β
2N222	600 mA	40 V	100/300
BC107	100 mA	45 V	110/450
BD135	1.5 A	45 V	40/250
TIP122	5 A	100 V	1000

Se observa claramente que todos los transistores son válidos en todos los aspectos. El BC107 supera en 10 mA la intensidad necesaria, la V_{ce} también es muy superior a los 5V que se precisan y además es el más económico. Por tanto, nuestra elección es sencilla, nos quedamos con el BC107.

Ya sólo nos queda, calcular la resistencia de base que se ha de colocar entre el microcontrolador y la base del transistor. El planteamiento para este cálculo es el siguiente:

Como necesitamos una I_c de 90 mA y nuestro transistor tiene una β mínima de 110, la intensidad que ha de llegar a la base tiene que ser 110 veces menor que I_c . Por tanto:

$$I_b = I_c / \beta = 90 / 110 = 0.8 \text{ mA}$$

Puesto que la tensión de la resistencia es la tensión que suministra el picaxe (5V) menos la tensión que hay entre la base y el emisor del transistor V_{be} , aplicando la ley de Ohm:

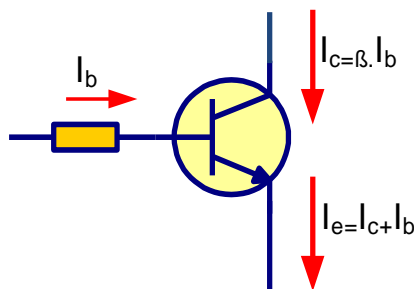
$$V = I \cdot R$$

$$R = V / I$$

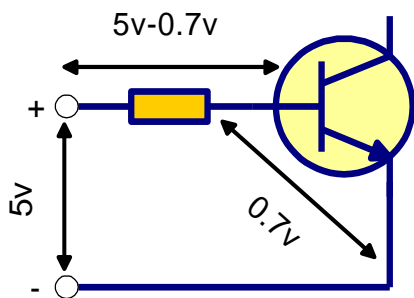
$$R = (5 - 0.7) / 0.0008 = 5375 \Omega$$

Redondeamos a 5600 Ω , ya que es el valor normalizado más aproximado. Por tanto, tenemos que colocar una R_b de 5.6K Ω .

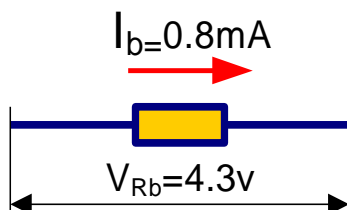
Por último, no debemos olvidar colocar un diodo inversamente polarizado, en paralelo con la carga, para proteger al transistor de las sobretensiones que provoca la bobina al desconectarse.



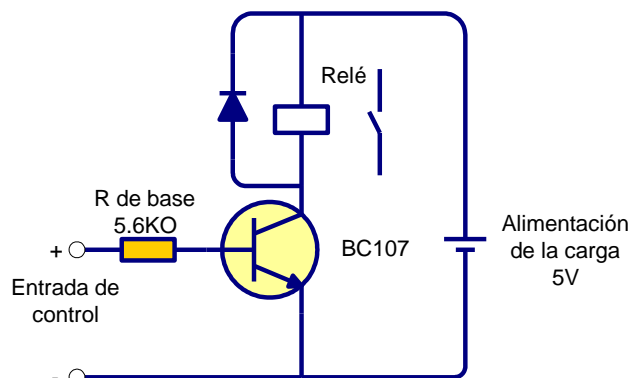
Relación entre las distintas intensidades que circulan por un transistor.



Este esquema nos muestra cómo se obtiene la tensión de la resistencia de base: Si aplicamos 5v y caen 0.7v en la unión base-emisor, a la resistencia de base le llegará $5 - 0.7 = 4.3v$



El cálculo de la resistencia de base se limita a aplicar la ley de Ohm conocida la tensión y la intensidad. En este caso:
 $R = V / I = 4.3 / 0.8 = 5375 \Omega$



ORIGEN DEL TÉRMINO TRANSISTOR

La palabra transistor proviene de la contracción de los términos **transfer** y **resistor**, que traducido al castellano quiere decir "resistencia de transferencia".

Uno de los primeros aparatos que se benefició de las ventajas del nuevo descubrimiento fue la radio, que gracias a los pequeños transistores se miniaturizó y se convirtió en un electrodoméstico portátil. Y heredó el nombre de lo que le había permitido reducir tanto su tamaño. Por este motivo los receptores de radio se conocen también como transistores.

EJEMPLO:

Supongamos ahora que lo que queremos controlar es el encendido y apagado de una pequeña bombilla que consume 300mA a 6V, mediante la patilla 3 del circuito integrado NE555, que es capaz de suministrar unos 20 mA a 6 V.

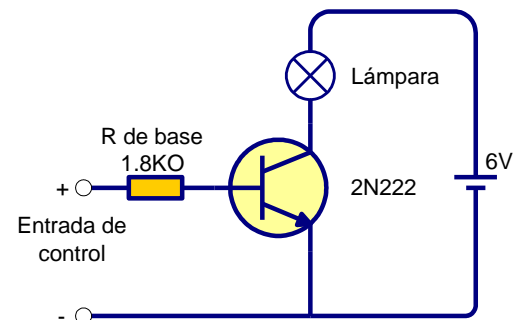
Si miramos la tabla resumen de características de transistores de la página anterior, en este caso, no es posible emplear el BC107. El más apropiado es el 2N222 que puede con 600mA (el doble de la intensidad que necesita la lámpara).

Para el cálculo de la resistencia de base, usamos la β mínima para asegurar la saturación del transistor:

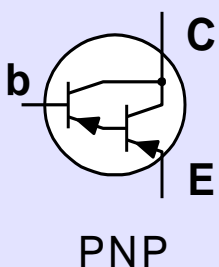
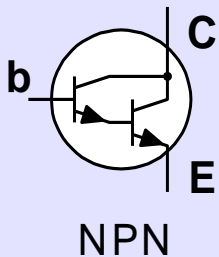
$$I_b = I_c / \beta = 300 / 100 = 0.003 = 3 \text{ mA}$$

$$R = V / I \quad R = (6 - 0.7) / 0.003 = 1767 \Omega$$

El valor normalizado más parecido es 1800 Ω , por tanto utilizaremos una R_b de 1.8K Ω .

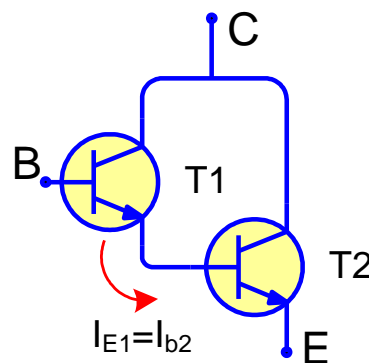


TRANSISTOR DARLINGTON



EL TRANSISTOR DÁRLINGTON

El transistor Darlington es un circuito compuesto por dos transistores colocados en cascada para obtener una ganancia de corriente elevada, dentro de un encapsulado similar al de los transistores ordinarios.



Observando el gráfico, la corriente de emisor del transistor T1 es también la corriente de base del transistor T2 ($I_{E1} = I_{B2}$). Como $I_{E1} \approx \beta_1 \cdot I_{B1}$, la corriente de salida del transistor T2 será:

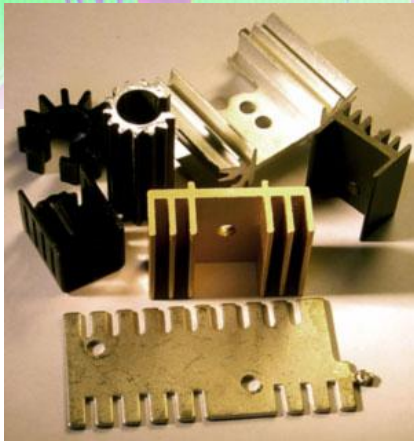
$$\begin{aligned} I_{E2} &\approx \beta_2 \cdot I_{B2} \\ I_{E2} &\approx \beta_2 \cdot I_{E1} \\ I_{E2} &\approx \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_{B1} \end{aligned}$$

Como se puede observar, el transistor Darlington tiene una ganancia mucho mayor que un transistor normal, pues se multiplican las ganancias de los dos transistores. Si las ganancias de ambos transistores fuesen, por ejemplo, igual a 100, el conjunto tendría una ganancia de 10000.

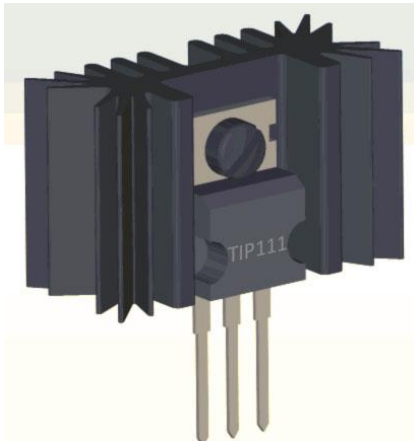
Los transistores Darlington se emplean en circuitos donde se necesita controlar grandes cargas con corrientes muy pequeñas.

Por último, queda decir que la caída de tensión entre la base y el emisor V_{be} en este tipo de transistores es el doble que en los ordinarios (aproximadamente unos 1.4 V).

■ DISIPADORES DE CALOR



Algunos disipadores para acoplar a distintos tipos de transistores. Son de aluminio y a veces van pintados de negro para favorecer el intercambio de calor.



Transistor Darlington con un disipador acoplado. Si el transistor y el disipador han de estar aislados, se coloca entre ambos una lámina aislante (antiguamente mica). También se suele aplicar pasta térmica entre los dos elementos para favorecer el flujo de calor.

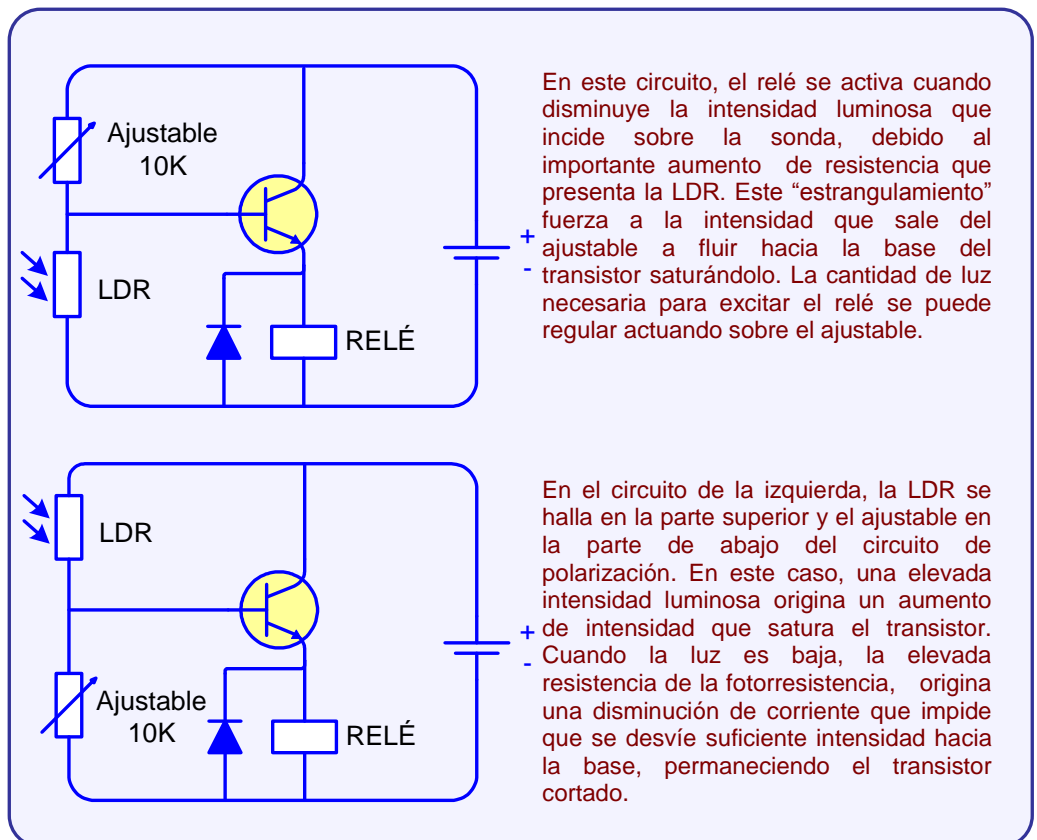
Los disipadores de calor son piezas metálicas que se acoplan a algunos componentes electrónicos para evitar que se calienten demasiado.

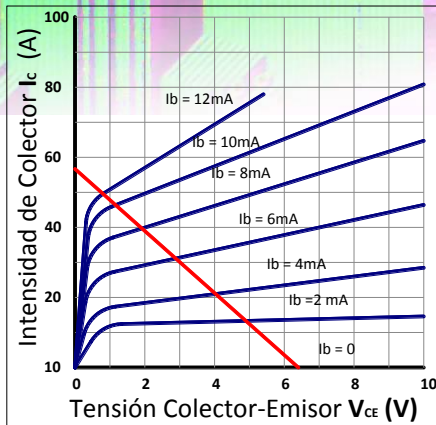
El calor que se genera en el núcleo de un transistor no pasa al aire que lo rodea con facilidad, por lo que en algunas ocasiones, es necesario el uso de disipadores que aumenten cuantiosamente la superficie de contacto con el aire y faciliten así el flujo de calor.

Los disipadores generalmente son de aluminio y están provistos de aletas. A veces están pintados de negro para favorecer la pérdida de calor por radiación. Suelen ensamblarse mediante tornillos y en ocasiones se interpone pasta térmica que facilita el flujo térmico entre componente y disipador.

■ CIRCUITOS DE CONTROL CON TRANSISTORES

Un circuito de control gobierna uno o varios elementos de salida que consumen una intensidad moderada, gracias a las débiles señales que recibe de los elementos de entrada. El transistor puede realizar esta función, debido a la elevada relación que existe entre la corriente colector-emisor (corriente de salida) y la corriente de base (intensidad de control). Los circuitos siguientes controlan un relé (salida) en función de la luz que incide en una LDR (elemento de entrada):



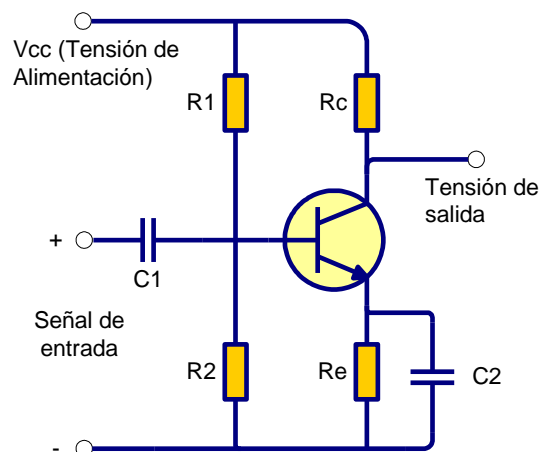


■ CONFIGURACIÓN DE EMISOR COMÚN

Un amplificador sirve para incrementar la potencia de una señal alterna que porta algún tipo de información. No tiene sentido amplificar una señal continua.

Un transistor funcionando como amplificador necesita una señal alterna y otra continua. La señal alterna es la que queremos amplificar y la continua sirve para fijar un punto de trabajo en una zona estable de la característica de salida del transistor para evitar la distorsión de la señal amplificada.

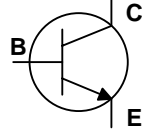
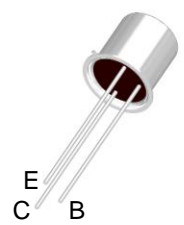
El montaje más básico es el siguiente:

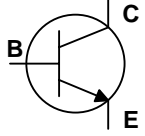
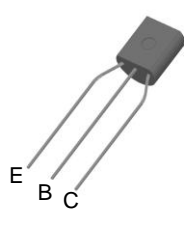


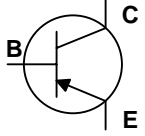
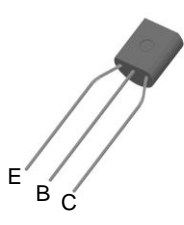
La función de cada elemento del circuito es la siguiente:

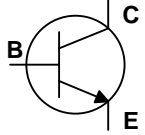
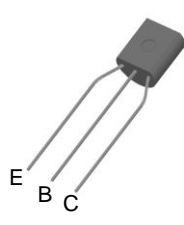
- El divisor de tensión $R1$, $R2$ suministra una corriente continua a la base, para fijar un punto de trabajo sobre la recta de carga. Este montaje evita perturbaciones producidas por la temperatura.
- Condensador de bloqueo ($C1$). Este condensador actúa como un circuito abierto para corriente continua y como un cortocircuito para señales alternas. Se utiliza para impedir que llegue corriente continua a la base del transistor procedente de la señal de entrada.
- Resistencia Re . Aumenta la estabilidad del transistor pero tiene el inconveniente de ser muy sensible a las variaciones de temperatura. Suele tener un valor de aproximadamente el 25% de Rc .
- Condensador de derivación ($C2$). Se coloca en paralelo con la resistencia de emisor para resolver el problema expuesto en el punto anterior. Al igual que el condensador de bloqueo, impide al paso de corriente continua a su través y ofrece un camino fácil a la corriente alterna.

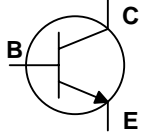
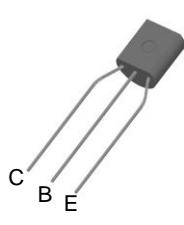
■ RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE ALGUNOS TRANSISTORES

BC107	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				Distribución de terminales	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>	 	
Transistor NPN de pequeña potencia (300 mW). Uso general (amplificador e interruptor)	I_c			100mA		
	V_{ceo}			45v		
	V_{be}		0.7v			
	β	110		450		
	$V_{ce(sat)}$		90/200mv			

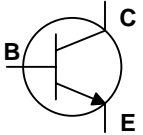

BC548	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				Distribución de terminales	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>	 	
Transistor NPN de pequeña potencia (500 mW). Uso general (amplificador e interruptor)	I_c			100mA		
	V_{ceo}			30v		
	V_{be}	0.58v		0.7v		
	β		180/520			
	$V_{ce(sat)}$	0.1v	90/200mv	0.6v		

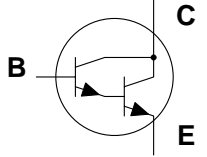
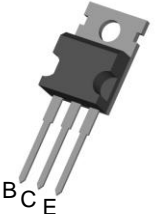
BC558	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				Distribución de terminales	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>	 	
Transistor PNP de pequeña potencia (500 mW). Uso general (amplificador e interruptor). Complementario del BC548	I_c			-100mA		
	V_{ceo}			-30v		
	V_{be}	-0.65v		-0.7v		
	β	125		800		
	$V_{ce(sat)}$		-60/-180mV			

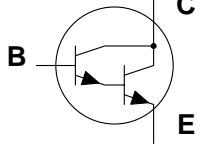
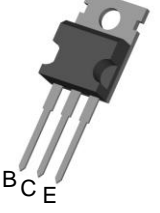
2N3904	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				Distribución de terminales	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>	 	
Transistor NPN de pequeña potencia (625 mW). Uso general (amplificador e interruptor)	I_c			200mA		
	V_{ceo}			40v		
	V_{be}	0.65v		0.95v		
	β	40	100	300		
	$V_{ce(sat)}$		0.25v			

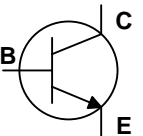
2N222	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				Distribución de terminales	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>	 	
Transistor NPN de pequeña potencia (625 mW). Uso general (amplificador e interruptor)	I_c			600mA		
	V_{ceo}			40v		
	V_{be}	0.6v		2v		
	β	35		300		
	$V_{ce(sat)}$	0.3v		1v		

BFY50	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				<i>Distribución de terminales</i>	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>		
Transistor NPN de mediana potencia (800mW). Uso general (amplificador e interruptor)	I_c			1A		
	V_{ceo}			35v		
	V_{be}		1.2v			
	β	30	112			
	$V_{ce(sat)}$	0.2v		1v		

DB135	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				<i>Distribución de terminales</i>	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>		
Transistor NPN de mediana potencia (8W). Ideal para etapas de potencia Hi-Fi y circuitos de televisión	I_c			1.5A		
	V_{ceo}			45v		
	V_{be}			1v		
	β	40		250		
	$V_{ce(sat)}$			0.5v		

TIP111	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				<i>Distribución de terminales</i>	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>		
Transistor dárlington NPN de mediana potencia (50W) diseñado para uso general (interruptor y amplificador)	I_c			2A		
	V_{ceo}			80v		
	V_{be}		2.8v			
	β		1000			
	$V_{ce(sat)}$		2.5v			

TIP122	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				<i>Distribución de terminales</i>	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>		
Transistor dárlington NPN de mediana potencia (65W) diseñado para funcionar como interruptor	I_c			5A		
	V_{ceo}			100v		
	V_{be}		2.5v			
	β	20		200		
	$V_{ce(sat)}$	2v		4v		

2N3055	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				<i>Distribución de terminales</i>	
	<i>Símbolo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Típico</i>	<i>Máximo</i>		
Transistor NPN de potencia (115W). Se emplea en interruptores de potencia, reguladores y amplificadores de alta fidelidad	I_c			15A		
	V_{ceo}			60v		
	V_{be}			1.5v		
	β	20		200		
	$V_{ce(sat)}$		1.3v			