

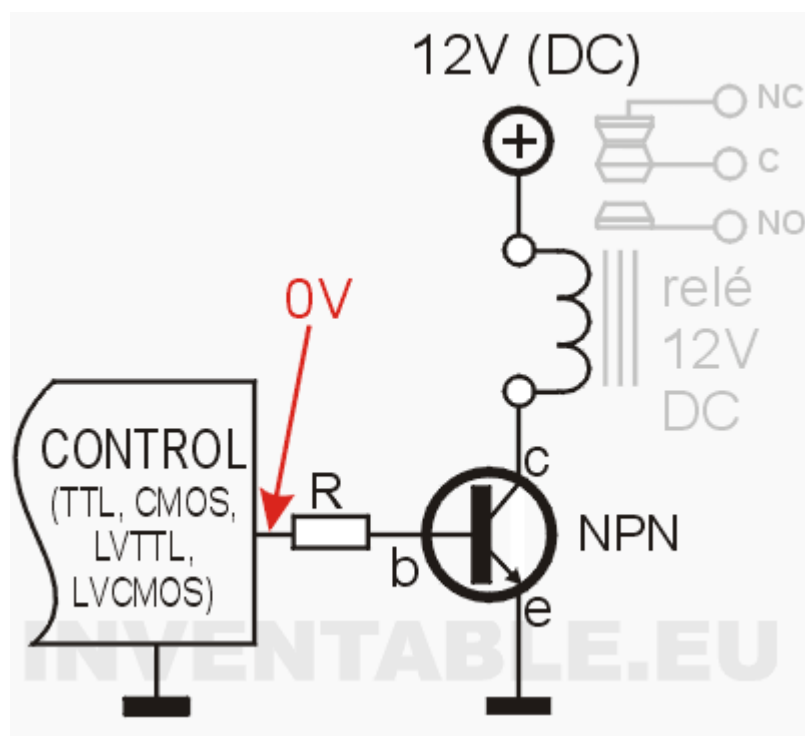
El modo más sencillo para activar un relé con un circuito electrónico de control es a través de un transistor NPN conectado como se ve en la figura. El transistor, conectado de este modo, cierra el circuito poniendo a masa el terminal de la bobina mientras que el otro terminal se encuentra conectado a positivo.

Esta modalidad de conexión (contacto hacia masa) tiene la ventaja de permitir el uso de relés con tensiones de alimentación de la bobina diferentes respecto a la tensión de trabajo del circuito de control como explicaré a lo largo de este artículo. Por ahora les digo que el recuadro en el dibujo representa nuestro hipotético circuito de control. Puede estar hecho con componentes lógicos discretos o con microcontroladores. Los nombres indicados (TTL, CMOS, LVTTL y LVCMOS) son las siglas que representaban las distintas tecnologías de los circuitos lógicos. A continuación indico las tensiones de trabajo de ellas.

- TTL: 5V
- CMOS: entre 5V y 15V
- LVTTL: 3,3V
- LVCMOS: 3,3V, 2,5V o 1,8V

El sistema que analizaremos funciona correctamente con todas las tecnologías citadas.

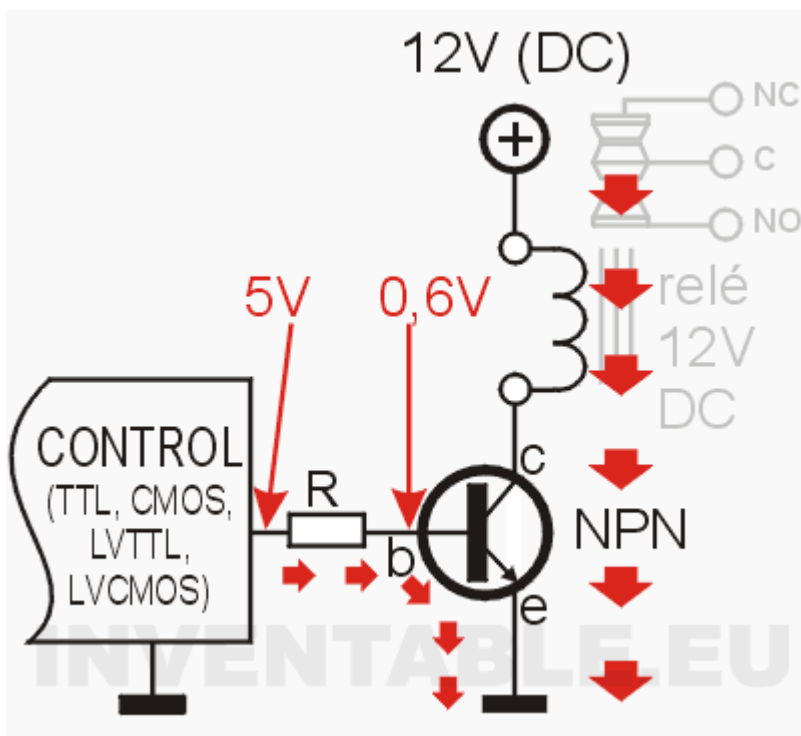
### Como funciona el circuito



Estado del circuito con tensión de control a 0 volt

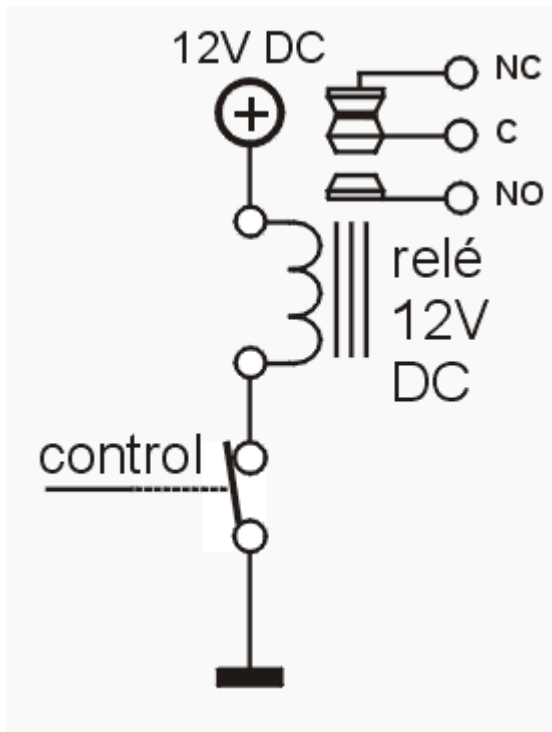
El ejemplo ilustrado funciona de este modo: cuando la salida del circuito de control es baja (0V) lo será también la base del transistor (indicada en la figura con la letra b) y por lo tanto este no dejará pasar corriente entre emisor y colector (indicados en la figura como e y c) para

activar la bobina del relé (en la figura, la parte de los contactos del relé la he hecho con color gris porque no es importante para la descripción del funcionamiento. Un análisis detallado sobre los tipos de contactos de los relés y de como usarlos lo pueden ver en mi guía ["Introducción a los relés"](#).



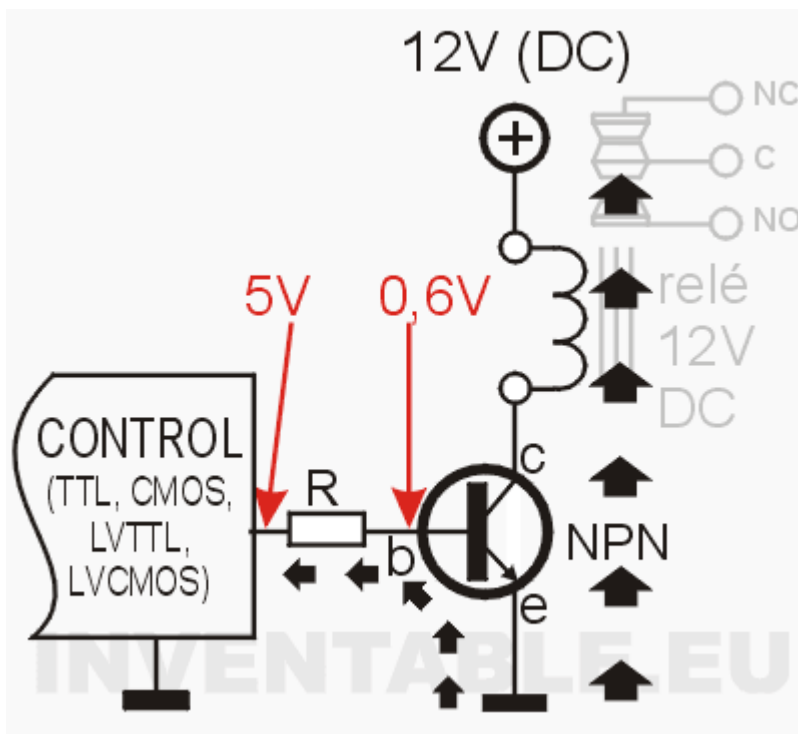
Circulación de corriente en el circuito con tensión de control positiva

Cuando la salida del circuito de control es alta (5V por ejemplo), se supera la tensión de umbral de la base del transistor (0,6V) y por lo tanto, empieza a circular una corriente entre base y masa. Esta corriente lleva el transistor al estado de conducción (entre colector y emisor) cerrando el circuito de la bobina del relé y por lo tanto activándolo.



Diseño que ejemplifica el transistor como si fuese un interruptor a masa controlado

En realidad la electricidad es una corriente de electrones que circula desde el negativo hacia positivo como muestro en la figura siguiente pero generalmente se representa como una corriente de positivo a negativo porque es más claro e intuitivo.

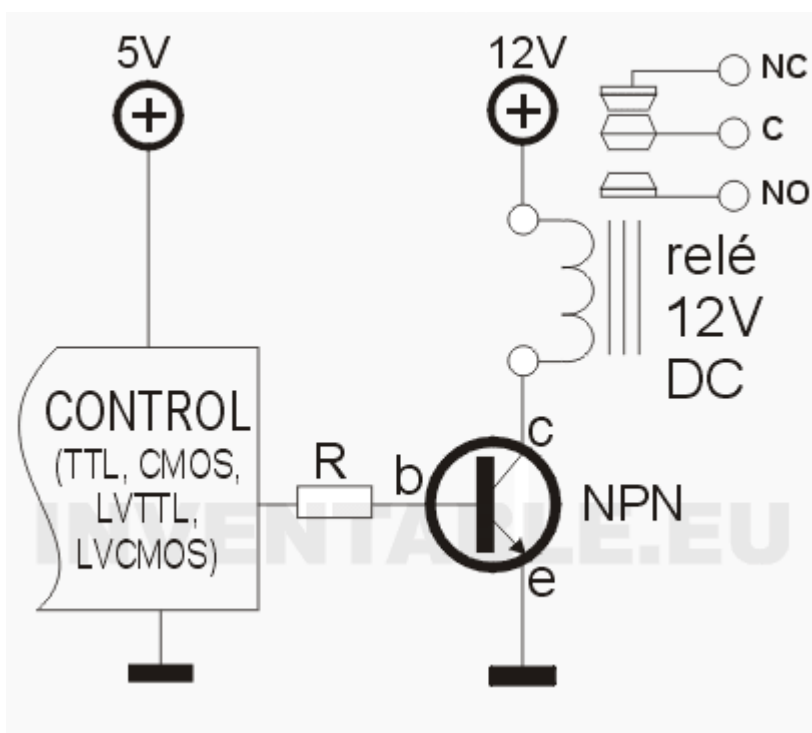


Circulación "real" de electrones en el circuito (ver texto)

Para obtener una correcta activación del relé es necesario que el transistor se encuentre "saturado", es decir, que permita pasar toda la corriente posible como si fuera un simple interruptor cerrado. Para obtener esto, la corriente de la base debe ser suficientemente grande como explicaré cuando calcularemos el valor de la resistencia de base. Solo digo ahora que los transistores no son ideales y un poco de tensión cae entre el colector y el emisor no obstante el estado de saturación. De cualquier manera, en los casos que estamos analizando, los valores son muy pequeños (0,2V por ejemplo) y podemos no considerarla.

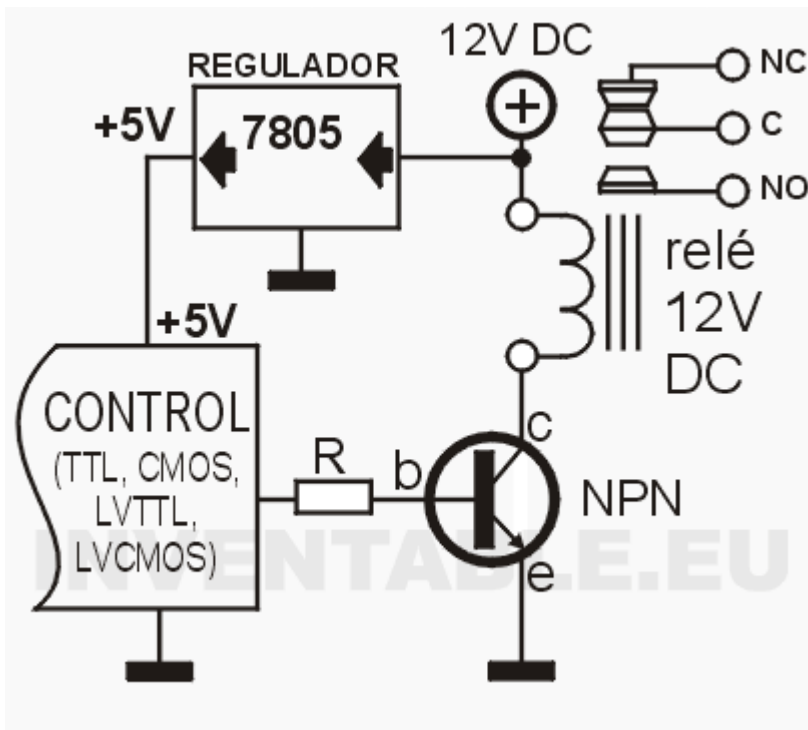
Como hemos visto, basta una tensión superior de 0,6V en la base para que el transistor conduzca. Por lo tanto, este circuito puede ser usado con niveles lógicos de control de 12V, 5V, 3,3V, 2,5V y 1,8V.

Como la tensión de control es independiente de la tensión con la que alimentamos el relé podemos trabajar con tensiones separadas para la parte de control y para el relé. Esto es muy útil porque nos da libertad de conectar distintos tipos de relé sin necesidad de modificar la parte de control. Además, podemos evitar interferencias generadas por la bobina del relé sobre el circuito de control (las bobinas generan picos de tensión cuando son conmutadas que se propagan a través de las líneas de alimentación)



Alimentación separada del relé (12V) y del circuito lógico (5V)

Podría parecer una complicación deber usar dos tensiones de alimentación diferentes, especialmente si trabajamos con circuitos pequeños. En realidad existe una modalidad muy simple que yo aplico en mis proyectos y que consiste en obtener la tensión de alimentación para la parte de control directamente de la fuente que alimenta el relé, a través de un regulador como pueden observar en la figura siguiente.

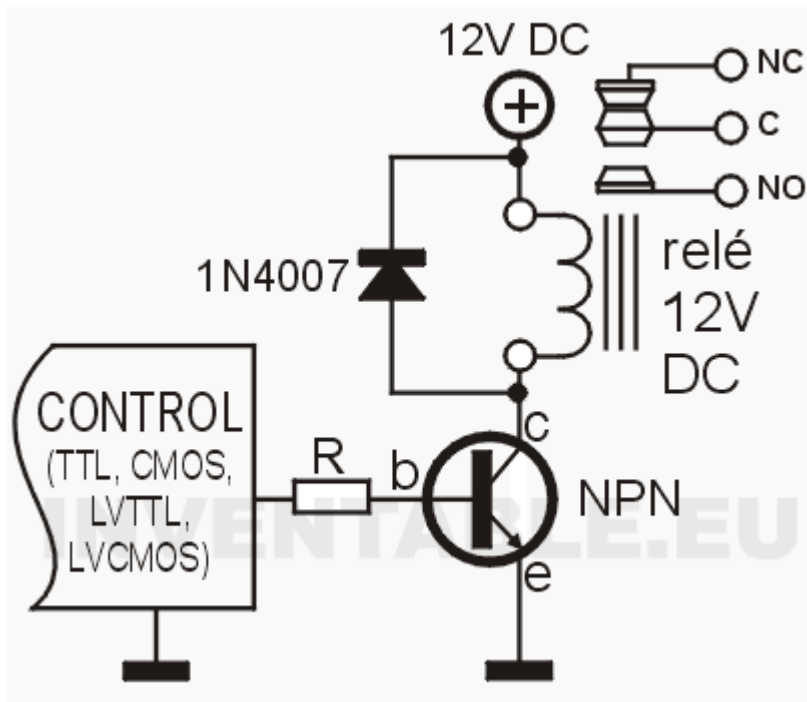


Conexión para obtener la alimentación para el circuito lógico desde los 12V

### Como proteger el transistor de la extra-tensión

Cuando a través del transistor desactivamos el relé, interrumpiendo la corriente que pasa por la bobina, el campo magnético presente en ella induce en la misma, por un breve momento, una tensión muy elevada de polaridad opuesta en sus terminales. Este pico de tensión conocido como "extra tensión de apertura" (o "extra corriente de apertura") puede dañar el transistor de control.

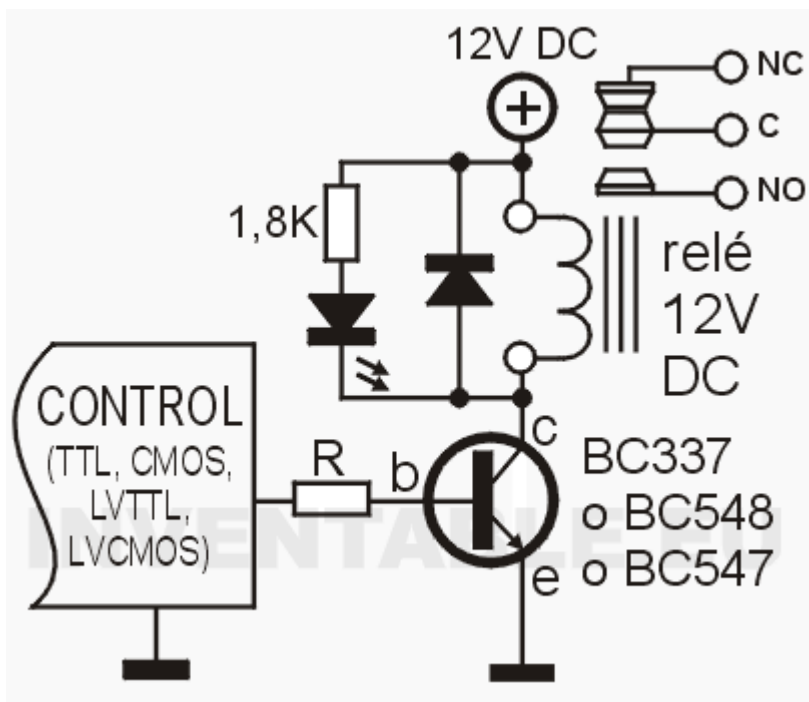
Para resolver este problema, la solución más simple es la de conectar en paralelo con la bobina un diodo rectificador inversamente polarizado en modo tal que este absorba estos pico de tensión de polaridad opuesta. Generalmente yo uso diodos rectificadores comunes como por ejemplo el 1N4007 (o 1N4004/1N4005/1N4006).



Circuito con diodo de protección

### Agregando un led indicador

Los leds indicadores siempre son muy validos, no solo por motivos estéticos sino porque nos permiten de verificar "al vuelo" el funcionamiento del circuito. En el caso de nuestro relé, el lugar mejor donde colocarlo es en paralelo con la bobina agregando su respectiva resistencia en serie como pueden ver en la figura.

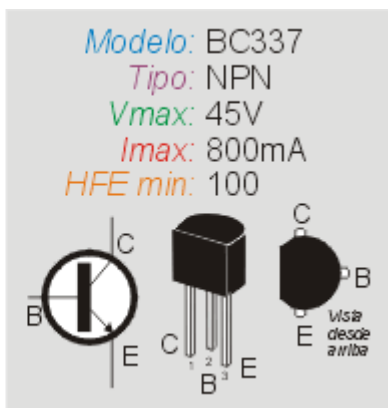
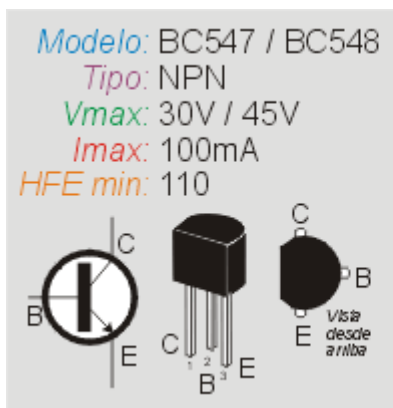


Circuito con diodo de protección y led indicador

Los leds indicadores de 3mm se iluminan bien con corrientes entre 3mA y 10mA. Por lo tanto si trabajamos con 12V podemos usar una resistencia de 1,8K. Con 5V podemos usar 1K.

### Corriente de la bobina y tipo de transistor

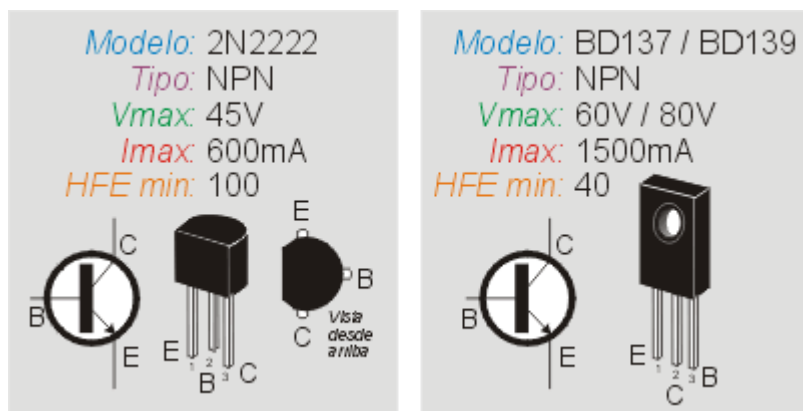
Como dicho anteriormente la gama de relés es inmensa, nosotros nos concentraremos en los tipos más comunes, con corrientes de conmutación entre 1A y 10A y tensión de alimentación de la bobina de 5V o 12V. Para estos tipos de relés la corriente necesaria para activar la bobina es entre 20 mA y 100 mA en base a la potencia. Si la corriente de la bobina no se encuentra indicada en la hoja técnica podemos medirla directamente con un tester en corriente y usando una fuente de alimentación para alimentarlo.



Características de los transistores NPN usados para controlar relés. El BC337 es el más adaptado gracias a su elevada corriente de colector

Con corrientes pequeñas, por debajo de los 100mA, podemos usar cualquier tipo de transistor NPN común, por ejemplo el BC547 o el BC548 (encapsulado TO-92 o SOT-54). Sinceramente yo prefiero el BC337 (igual encapsulado) porque tiene una buena ganancia (HFE), es económico y es capaz de controlar corrientes de hasta 600mA (0,6A) y por lo tanto sirve para la mayor parte de los relés comunes. Otro transistor indicado es el 2N2222, también con buena corriente de colector.

Atención con este modelo porque existen distintos encapsulados (TO-18, TO-92A) en base al fabricante y los terminales cambian. Si necesitan más corriente todavía, pueden usar el BD137 o BD139 para corrientes de 1,5A. Es diferente el encapsulado (TO-126) y permite de agregar cómodamente un disipador.



Otros dos modelos para controlar relés. El BD139 puede entregar corriente hasta 1,5A y puede ser usado con relés muy grandes

Si la tensión de trabajo de la bobina es baja, por ejemplo 5V, la corriente que el relé necesitará será mayor mientras que con tensiones más altas como 12V o más aun, la corriente será mucho menor. Vale la siguiente regla: mayor es la tensión de trabajo de la bobina, menor será la corriente necesaria para activarla. Por ejemplo, un relé de 24V con la misma capacidad de conmutación de uno de 12V necesitará una corriente aproximadamente de la mitad respecto al de 12V. Por el contrario, un relé de 5V necesitará más del doble de la corriente respecto al de 12V.

Generalmente, cuando trabajo en la proyectación de un nuevo circuito electrónico uso el "método del peor caso" que consiste simplemente en considerar las peores condiciones de trabajo posibles en modo tal que el sistema sea realmente seguro y robusto. Haciendo de este modo, si cambio el relé por otro de un modelo distinto, seguramente mi circuito funcionará sin necesidad de introducir otros cambios.

### **Cálculo de la resistencia de la base**



Describir el funcionamiento detallado de los transistores va más allá del objetivo de este texto, para controlar un relé nos sirve saber solamente que la base del transistor debe superar los 0,6V para que este entre en conducción y que la corriente que el transistor dejará pasar entre emisor y colector puede depender de la corriente que entra por la base multiplicado por la ganancia en continua característica del transistor (HFE). Esta sería la fórmula para obtener la resistencia de base:

$$R = \frac{(V_{in} - 0,6) * HFE}{I_{RELÉ}}$$

Fórmula para calcular la resistencia de la base

Donde:

**R:** resistencia de base

**V<sub>in</sub>:** tensión de control

**HFE:** ganancia en continua del transistor

**I<sub>relé</sub>:** corriente del relé

Como ya descripto, la ganancia en continua de un transistor (HFE) depende del modelo de transistor y puede ser entre 50 y 300. Existen transistores con ganancias más bajas (generalmente los de alta potencia) y con ganancias muy altas (conocidos como Darlington). Si usamos transistores comunes podemos considerar razonable una ganancia de 100.

Por lo tanto, idealmente, si la bobina de nuestro relé consume 50mA y nuestro transistor gana 100, la corriente que entrará por la base será de  $50\text{mA} / 100 = 0,5\text{mA}$ . Esta será la corriente que deberá entregar nuestro circuito lógico para controlar el relé.

Si aumentáramos la corriente de la base, la corriente que pasa por nuestro relé no aumentará más porque una vez que nuestro transistor se encuentra en conducción plena (saturación) la corriente que pasa por él no dependerá más del transistor sino de la carga, en nuestro caso la bobina de relé que no dejará pasar más de la corriente necesaria. Este punto es muy importante porque significa que si la corriente por la base no es suficiente, el transistor no dejará pasar toda la corriente necesaria para activar el relé mientras que una vez alcanzada la corriente de base necesaria, posteriores aumentos de esta no cambiarán nada. Y aquí nos conectamos con el método del "peor caso" que mencionaba antes, nuestro circuito debe funcionar correctamente en todos los casos, es decir, si usamos transistores con mucha ganancia o con poca ganancia, si usamos relés pequeños o grandes. Debemos calcular una corriente de base que nos garantice el correcto funcionamiento. Naturalmente, no es necesario exagerar, podemos considerar un rango razonable.

Por ejemplo, aunque si la mayor parte de los transistores actuales tienen ganancias mayores de 100, nosotros podemos considerar una ganancia de nuestro transistor de 50 (valor bastante pesimista). Por otro lado, los relés comunes de tamaño pequeño necesitan corrientes de bobina entre 25mA y 50mA. Nosotros consideraremos un consumo de 50mA. Haciendo así, estaremos seguros que nuestro circuito funcionará bien sin importar demasiado el transistor o el relé usados.

$$R = \frac{(5V - 0,6V) * 50}{0,050A} = 4.400 \text{ ohms } (\approx 4,7K)$$

Ejemplo de cálculo

de la resistencia

Para simplificar el trabajo les propongo una tabla donde podemos encontrar el valor de resistencia para distintos tipos de relé y tensiones de control considerando el uso de un transistor con ganancia HFE = 50.





















TIPO DE RELÉ	TENSION DE CONTROL (FAMILIA LÓGICA)			
	1,8V (LVCMOS)	3,3V (LVCMOS, LVTTL)	5V (CMOS, TTL)	12V (CMOS)
relé 5V pequeño (I = 50mA)	 1,2K	 2,7K	 4,7K	 12K
relé 5V medio (I = 100mA)	 680	 1,2K	 2,2K	 5,6K
relé 12V pequeño (I = 25mA)	 2,2K	 4,7K	 8,2K	 22K
relé 12V medio (I = 50mA)	 1,2K	 2,7K	 4,7K	 12K
relé 12V grande (I = 100mA)	 680	 1,2K	 2,2K	 5,6K

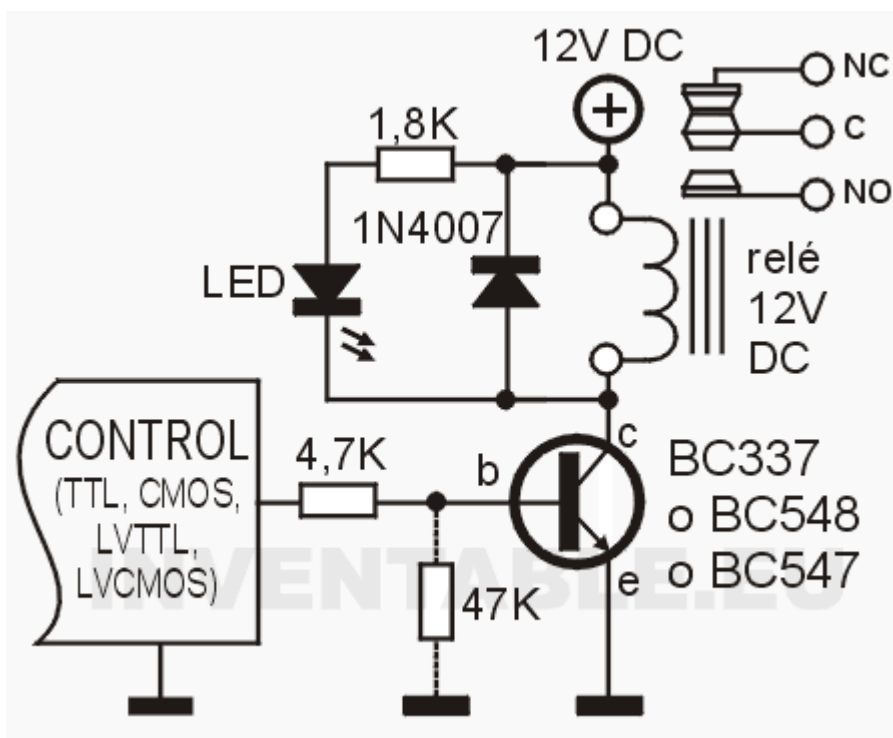
Tabla con ejemplos de resistencias de base para distintos tipos de relés y distintas tensiones de control

He hecho dos recuadros rojos para meter en resalto los valores mas frecuentes usando 5V como tensión de control. Yo personalmente, con relés pequeños de 12V uso resistencias de 4,7K mientras que bajo hasta 3,3K con relés más grandes o cuando no se bien que tensión de control voy a usar.

### La resistencia a masa

Aunque si no es imprescindible, es una buena costumbre agregar una resistencia entre la base del transistor y masa como se ve en la figura. Sirve fundamentalmente para evitar que el

transistor pueda activar en modo errático el relé si nuestra entrada de control se encuentra en un estado indefinido. Esta situación se puede crear cuando un microcontrolador está en fase de inicialización y sus salidas no se encuentran todavía mapeadas (y por lo tanto en alta impedancia). Me explico mejor. Cuando encendemos un equipo con un microcontrolador, este empieza a ejecutar el programa que se encuentra grabado en su memoria (en yergo se llama firmware). La primera parte de este programa configura todas las partes internas del micro para su funcionamiento. En este trabajo de configuración, el programa debe indicar cuales son las patitas (pins) que serán usadas como entradas y cuales como salidas. Hasta que no termina, estos pins se encuentran "desconectados" y por lo tanto la base de nuestro transistor también lo será. Esto puede provocar activaciones erráticas del relé. Con una resistencia a masa logramos garantizar que la base del transistor se encuentra siempre con un nivel de tensión bien definido. Su valor no es crítico pero conviene que sea bastante grande para no alterar el cálculo de la resistencia de base. Podemos usar valores de 47K o 100K por ejemplo.



Circuito final completo

Fuente:

<https://www.inventable.eu/controlar-rele-con-transistor/>