

# Electrónica Digital

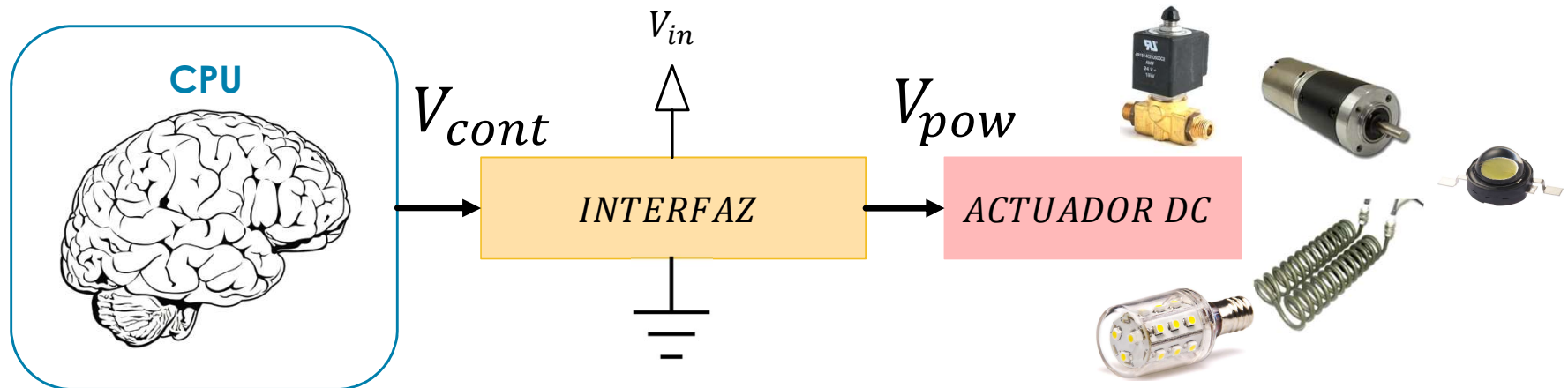
## Clase 8

TRANSISTOR BJT

TRANSISTOR MOSFET

RELÉ

# Transistor para actuadores DC



- La intención de una interfaz para actuadores DC es convertir una **señal de control** en una **señal de potencia**.

- Existen tres interfaces clásicas para esta tarea:

## BJT

### (Bipolar Junction Transistor)

- Requiere de una resistencia calculada para operar correctamente.
- Controlado por corriente.
- Económico.
- Permite operar a altas velocidades (PWM).
- No es aislado.

## MOSFET

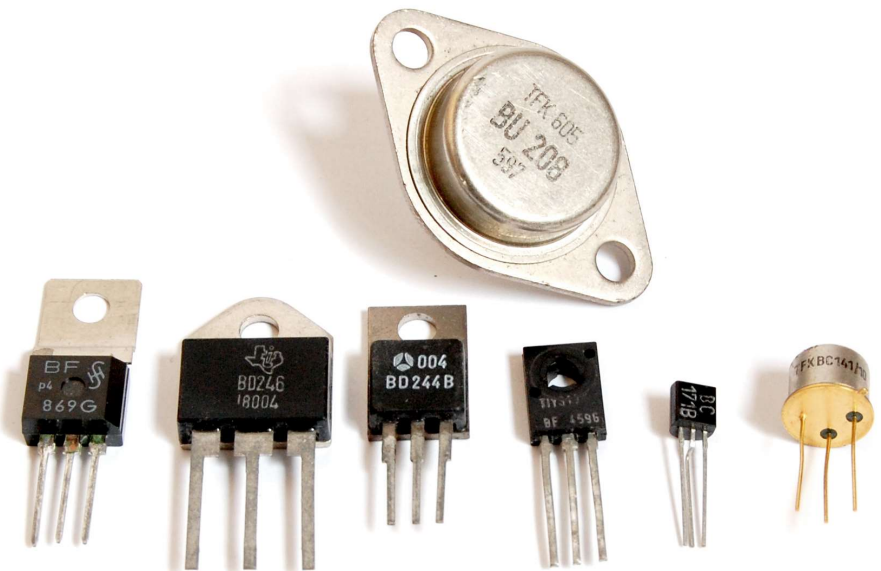
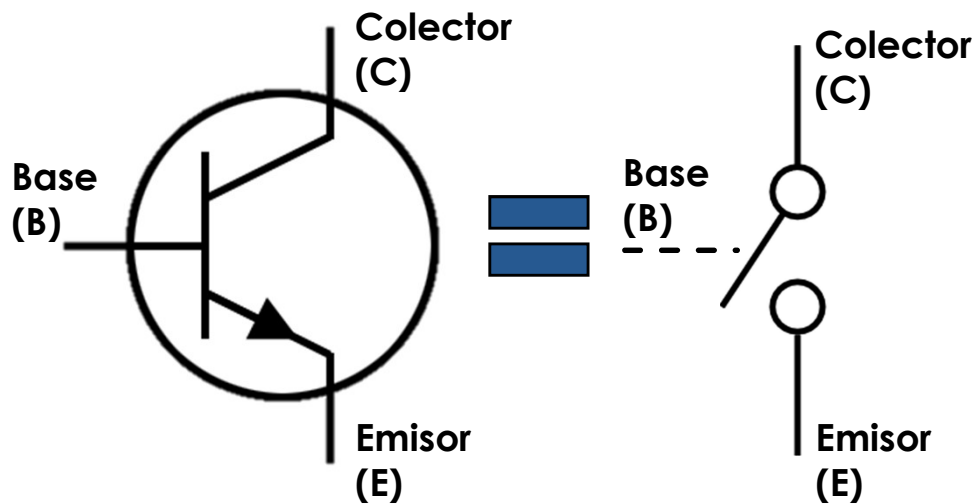
### (Metal Oxide Field Effect Transistor)

- Fácil de implementar.
- Consume menos que el BJT.
- Controlado por voltaje.
- Más tolerante al calor.
- No es aislado.

# Transistor como suiche

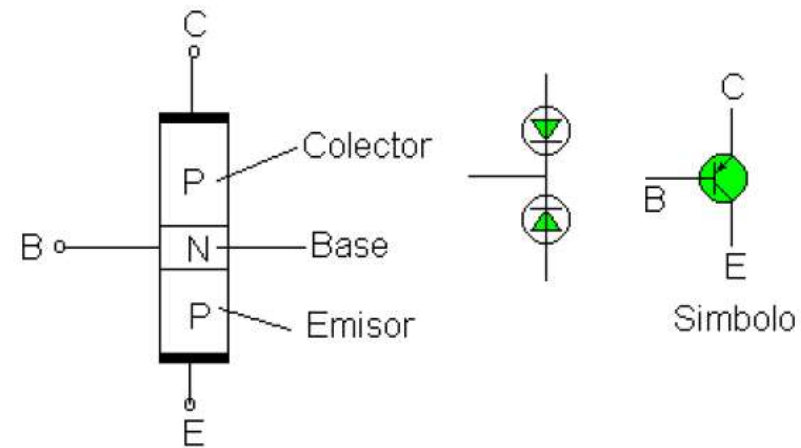
- Dispositivo electrónico perteneciente a la familia de los semiconductores.
- Bajo ciertos parámetros, funcionan como un suiche común y corriente "comandado" por una señal eléctrica en vez de una acción mecánica.
- Permiten manejar elementos de potencia utilizando señales de control provenientes de un Arduino por ejemplo.
- Hay diferentes tipos de transistor dependiendo de la corriente que se quiera manejar en la parte de potencia.
- Para esta materia usaremos configuración NPN (El 2N2222 o el TIP122), es decir, se activan con un "1" en su base.
- El transistor realmente puede estar en tres estados:
  - Corte (cuando no tienen corriente en su base  $I_B = 0$ ).
  - Región Activa (zona de amplificación de corriente, necesitan un poco corriente para estar en este estado) (Zona análoga).
  - Saturación (cuando se le pone una corriente elevada en su base, permitiendo el máximo paso de corriente como si fuera un suiche).

## Símbolo

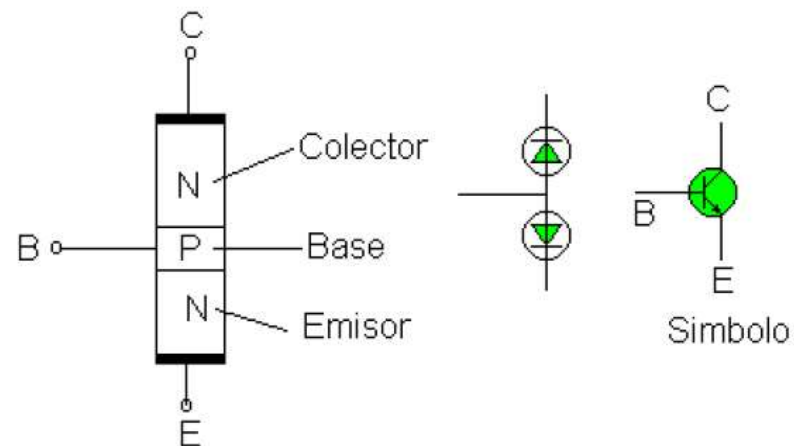


# Tipos de transistor

## Transistor PNP

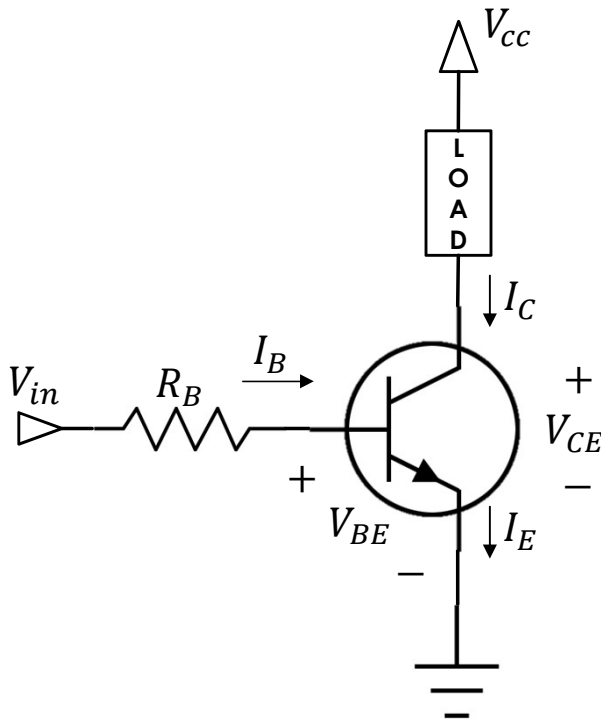


## Transistor NPN



# Diseño de transistores como suiches

- El circuito básico para manejar un transistor como suiche se muestra a continuación:



Algunas consideraciones para el transistor como suiche:

$$I_C \approx I_E$$

$V_{BE(sat)} = 0.8 \text{ V}$  (Voltaje entre base y emisor cuando el transistor se encuentra saturado).

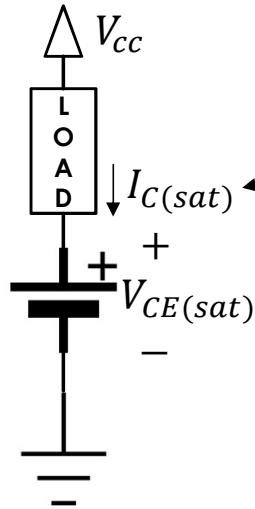
$V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$  (Voltaje entre colector y emisor cuando el transistor se encuentra en región activa).

$\beta = \frac{I_{C(act)}}{I_{B(act)}}$  ( $\beta$  es el factor de amplificación del transistor, típicamente es 100). Esta formula solo aplica para el transistor en región activa.

$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$  (La corriente de base mínima para que el transistor trabaje es la corriente del colector en saturación sobre el beta)

# Diseño de transistores como suiches

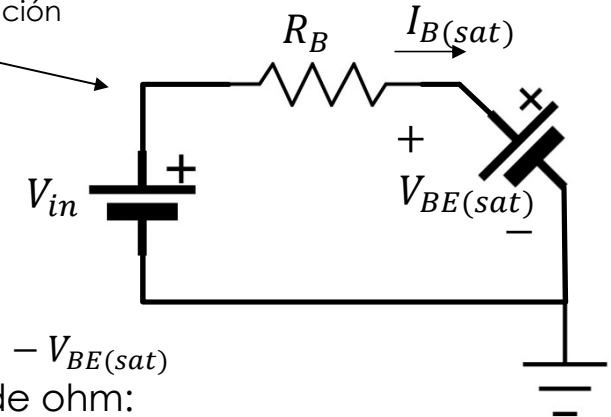
La formula para calcular  $R_B$  es:



Circuito del colector en saturación

$$I_{B(min)} \ll I_{B(sat)}$$

Circuito de la base en saturación



$$V_{RB} = V_{in} - V_{BE(sat)}$$

Por ley de ohm:

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{RB}}{R_B}$$

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{in} - V_{BE(sat)}}{R_B}$$

Suponiendo LOAD como una carga resistiva:

$$LOAD = R_{LOAD}$$

$$V_{LOAD} = V_{cc} - V_{CE(sat)}$$

Por ley de ohm y sabiendo que  $I_{C(sat)} = I_{LOAD}$ :

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{LOAD}}{R_{LOAD}}$$

Por el  $\beta$  del transistor podemos calcular la corriente de base mínima:

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$$

$$I_{B(min)} = \frac{V_{cc} - V_{CE(sat)}}{R_{LOAD} \cdot \beta}$$

Ahora procedemos a reemplazar en la primera ecuación

$$\frac{V_{cc} - V_{CE(sat)}}{R_{LOAD} \cdot \beta} \ll \frac{V_{in} - V_{BE(sat)}}{R_B}$$

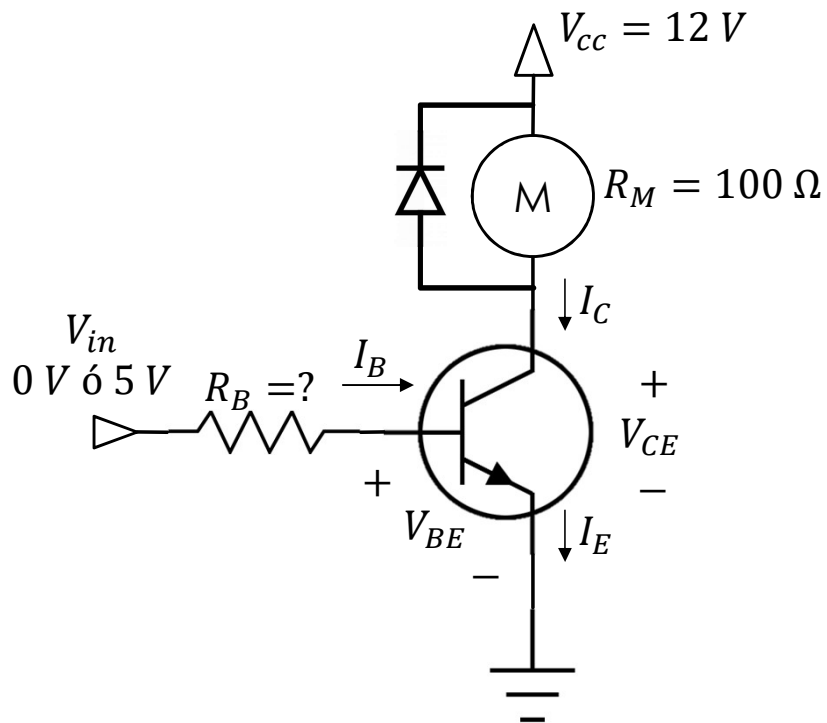
Despejamos  $R_B$ :

$$R_B \ll \frac{R_{LOAD} \cdot \beta (V_{in} - V_{BE(sat)})}{V_{cc} - V_{CE(sat)}}$$

# Transistores - Ejemplo 1

- Se cuenta con un motor cuyo voltaje máximo de operación es de 12 VDC, cuya resistencia interna es de  $R_M = 100 \Omega$ . Se desea poder prender y apagar este motor utilizando un Arduino cuyas salidas digitales son 0V ó 5V, diseñe un circuito con transistores como suiche (Nota: Utilice un transistor estándar con  $\beta = 100$ ,  $V_{BE(sat)} = 0.8 V$ ,  $V_{CE(sat)} = 0.2 V$ ). Además se cuenta con una fuente de  $V_{cc} = 12 VDC$  para poder suministrar la potencia requerida al motor.

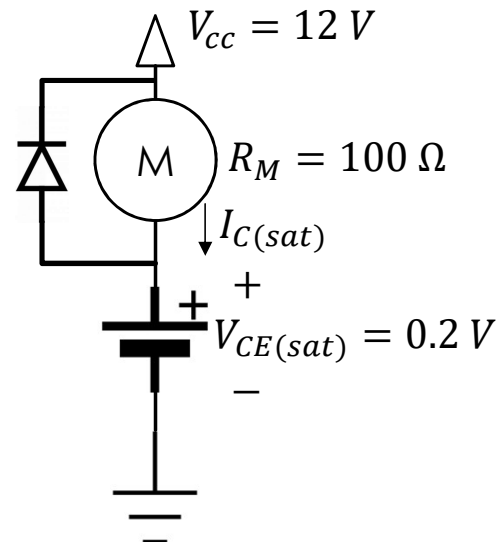
**Solución:**



Recordar que:

$$I_{B(min)} \ll I_{B(sat)} \quad (1)$$

Circuito del colector en región activa:



$$V_M = V_{cc} - V_{CE(sat)}$$

$$V_M = 12 V - 0.2 V = 11.8 V$$

Por ley de ohm y sabiendo que  $I_{C(sat)} = I_M$ :

$$I_{C(sat)} = \frac{V_M}{R_M} = \frac{11.8 V}{100 \Omega} = 0.118 A$$

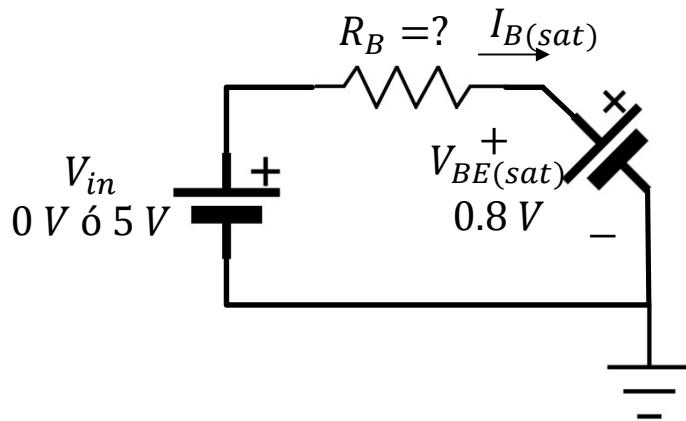
Por el  $\beta$  del transistor podemos calcular la corriente de base mínima:

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta}$$

$$I_{B(min)} = \frac{0.118 A}{100} = 0.00118 A \quad (2)$$

# Transistores - Ejemplo 1

Circuito de la base en región de saturación:



$$V_{R_B} = V_{in} - V_{BE(sat)}$$

$$V_{R_B} = 5\text{ V} - 0.8\text{ V} = 4.2\text{ V}$$

Por ley de ohm:

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{R_B}}{R_B} = \frac{4.2\text{ V}}{R_B}$$

$$I_{B(sat)} = \frac{4.2\text{ V}}{R_B} \quad (3)$$

Ahora procedemos a reemplazar (2) y (3) en (1)

$$\frac{I_{B(min)} \ll I_{B(sat)}}{\frac{V_{cc} - V_{CE(sat)}}{R_M \cdot \beta}} \ll \frac{V_{in} - V_{BE(sat)}}{\frac{4.2\text{ V}}{R_B}}$$

$$0.00118\text{ A} \ll \frac{4.2\text{ V}}{R_B}$$

Despejamos  $R_B$ :

$$R_B \ll \frac{R_M \cdot \beta (V_{in} - V_{BE(sat)})}{V_{cc} - V_{CE(sat)}}$$

$$R_B \ll \frac{4.2\text{ V}}{0.00118\text{ A}}$$

$$R_B \ll 3559\ \Omega$$

Como bien sabemos, el ARDUINO solo puede manejar por pin una corriente de 40 mA como máximo, Calculemos cual es la resistencia mínima que podríamos usar con el ARDUINO:

$$I_{pinArd} = I_{B(sat)} < 40\text{ mA}$$

$$\frac{5\text{ V} - 0.8\text{ V}}{R_B} < 40\text{ mA}$$

Despejamos  $R_B$ :

$$R_B > \frac{4.2\text{ V}}{40\text{ mA}}$$

$$R_B > 105\ \Omega$$

Por el calculo anterior del transistor, el rango de  $R_B$  es:

$$105\ \Omega < R_B \ll 3559\ \Omega$$

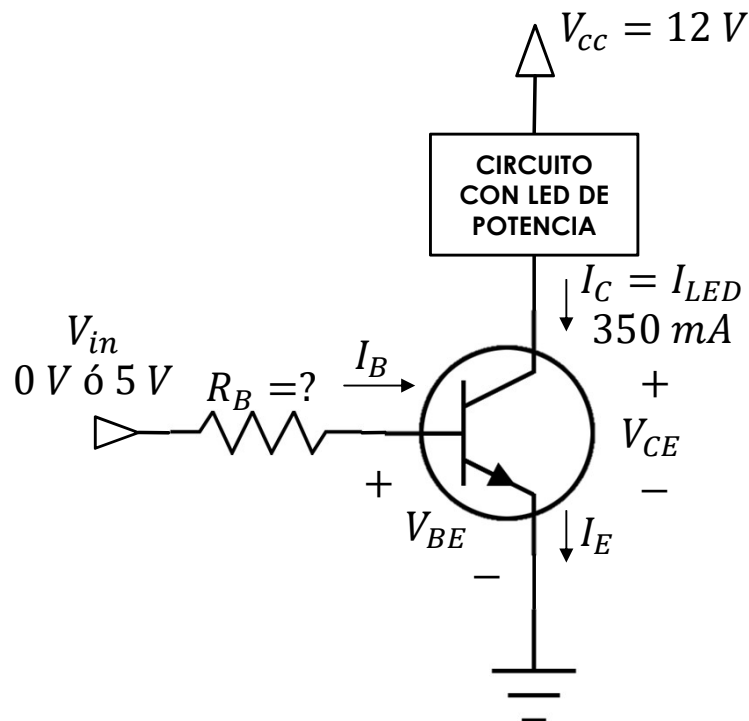
Para que sea una resistencia comercial usaremos:

$$R_B = 1000\ \Omega$$



## Transistores - Ejemplo 2

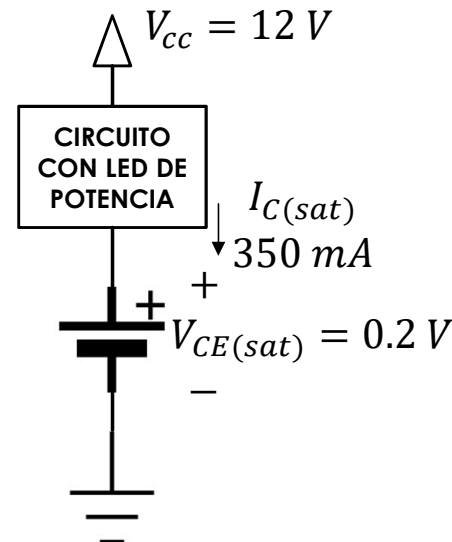
- Se desea manejar un LED de alta potencia cuya corriente máxima es de  $350\text{ mA}$ . Se desea poder prender y apagar este LED utilizando un Arduino cuyas salidas digitales son  $0\text{ V}$  ó  $5\text{ V}$ . Diseñe un circuito con transistores como suiche (Nota: Utilice un transistor estándar con  $\beta = 100$ ,  $V_{BE(sat)} = 0.8\text{ V}$ ,  $V_{CE(act)} = 0.2\text{ V}$ ). Además solo se cuenta con una batería de  $12\text{ V DC}$  para prender este LED debido a que se requiere que el producto sea portable (El Arduino también esta conectado a la misma batería).



Recordar que:

$$I_{B(min)} \ll I_{B(sat)} \quad (1)$$

Circuito del colector en región activa:



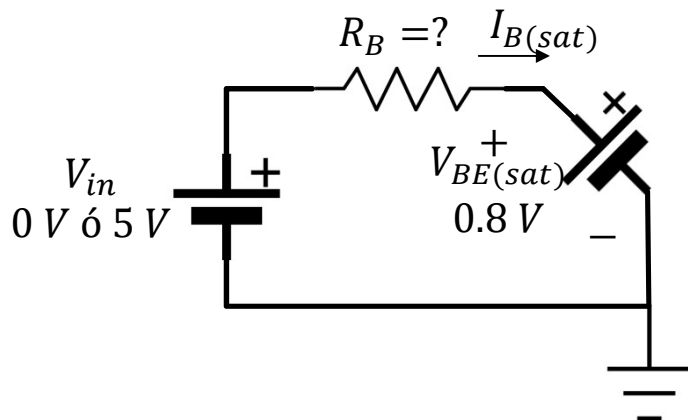
Como conocemos ya la corriente que debe pasar por el colector en saturación, solo debemos convertir esta corriente desde el colector a la de base mínima por medio del Beta:

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{350\text{ mA}}{100}$$

$$I_{B(min)} = 0.0035\text{ A} \quad (2)$$

# Transistores - Ejemplo 2

Circuito de la base en región de saturación:



$$V_{R_B} = V_{in} - V_{BE(sat)}$$

$$V_{R_B} = 5\text{ V} - 0.8\text{ V} = 4.2\text{ V}$$

Por ley de ohm:

$$I_{B(sat)} = \frac{V_{R_B}}{R_B} = \frac{4.2\text{ V}}{R_B}$$

$$I_{B(sat)} = \frac{4.2\text{ V}}{R_B} \quad (3)$$

Ahora procedemos a reemplazar (2) y (3) en (1)

$$I_{B(min)} \ll I_{B(sat)}$$

$$0.0035\text{ A} \ll \frac{V_{in} - V_{BE(sat)}}{R_B}$$

$$0.0035\text{ A} \ll \frac{4.2\text{ V}}{R_B}$$

Despejamos  $R_B$ :

$$R_B \ll \frac{4.2\text{ V}}{0.0035\text{ A}}$$

$$R_B \ll 1200\ \Omega$$

Como bien sabemos, el ARDUINO solo puede manejar por pin una corriente de 40 mA como máximo, Calculemos cual es la resistencia mínima que podríamos usar con el ARDUINO:

$$I_{pinArd} = I_{B(sat)} < 40\text{ mA}$$

$$\frac{5\text{ V} - 0.8\text{ V}}{R_B} < 40\text{ mA}$$

Despejamos  $R_B$ :

$$R_B > \frac{4.2\text{ V}}{40\text{ mA}}$$

$$R_B > 105\ \Omega$$

Por el calculo anterior del transistor, el rango de  $R_B$  es:

$$105\ \Omega < R_B \ll 1200\ \Omega$$

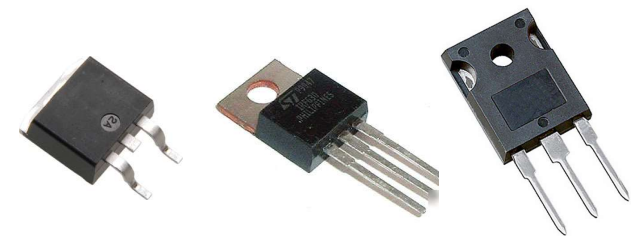
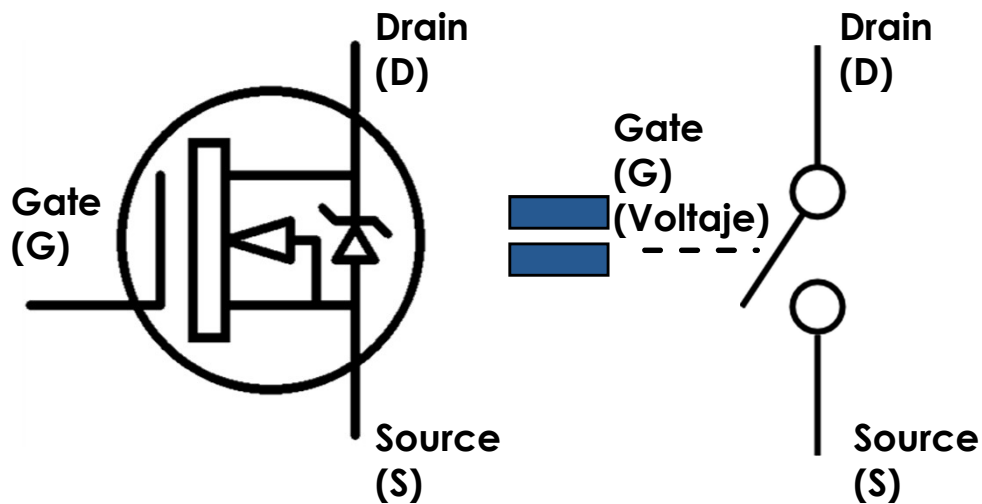
Para que sea una resistencia comercial usaremos:

$$R_B = 330\ \Omega$$

# Interfaz para actuadores DC - MOSFET

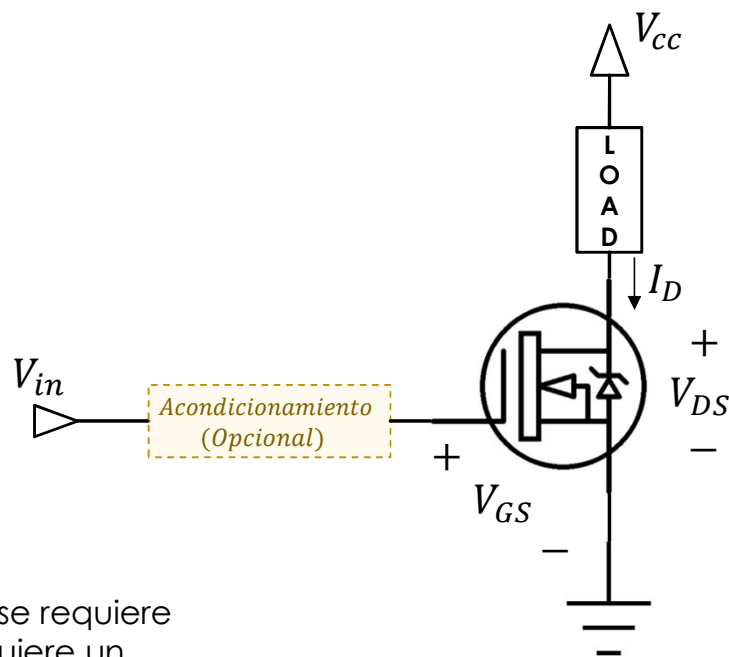
- ▶ Dispositivo electrónico perteneciente a la familia de los **semiconductores**.
- ▶ Se comandan por voltaje
- ▶ El MOSFET puede estar en tres estados:
  - ▶ **Corte (OFF)**: Cuando el voltaje en su "gate" es inferior al de "threshold" ( $V_{GS} < V_{GS(th)}$ ).
  - ▶ **Región Lineal** (Zona análoga).
  - ▶ **Saturación (ON)** (Cuando el voltaje en su "gate" es lo suficientemente grande para que el MOSFET permita todo el paso de corriente).
- ▶ Algunas referencias comunes son el **IRF630** y el **IRFP250** (Altas corrientes).

## Símbolo



# Interfaz para actuadores DC - MOSFET

- El circuito básico para manejar un MOSFET se muestra a continuación:

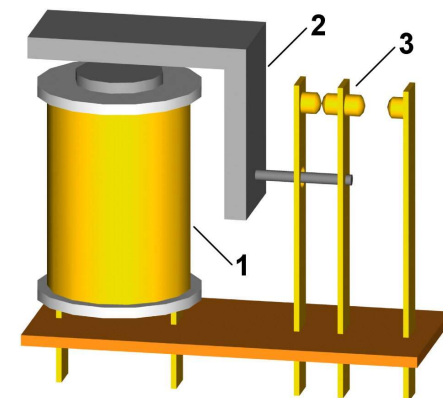
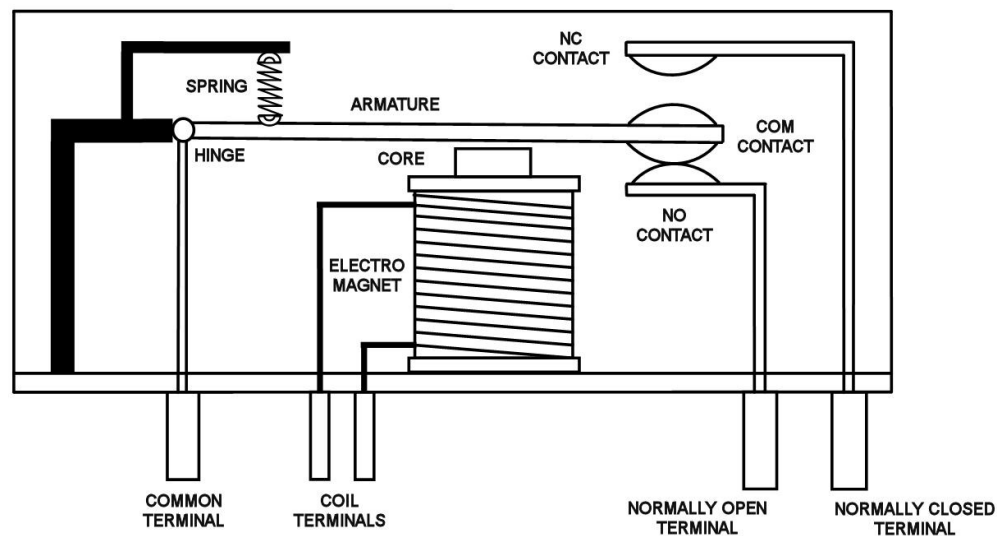
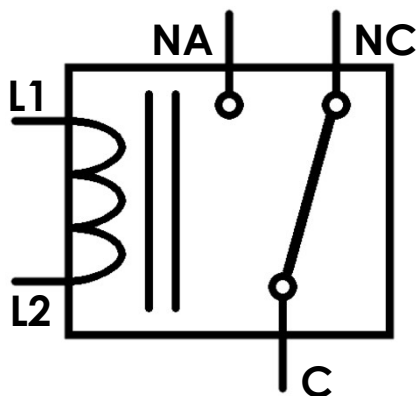


- El acondicionamiento se requiere cuando el MOSFET requiere un voltaje superior del que la CPU puede entregar.
- Se puede utilizar una configuración no inversora para esta labor.

# Relé

- Es un suiche comandado por un electroimán.
- Permiten manejar dispositivos digitales (ON-OFF) de mas potencia tales como:
  - Bombillas de 110 VAC.
  - Motores de potencia.
  - Resistencias eléctricas de 110VAC para calentar.
- Se pueden adquirir diferentes tipos de bobinas con diferentes voltajes, entre ellos las mas comunes son:
  - 5 VDC, 12 VDC, 24 VDC, 110 VAC y 220 VAC.

## Símbolo



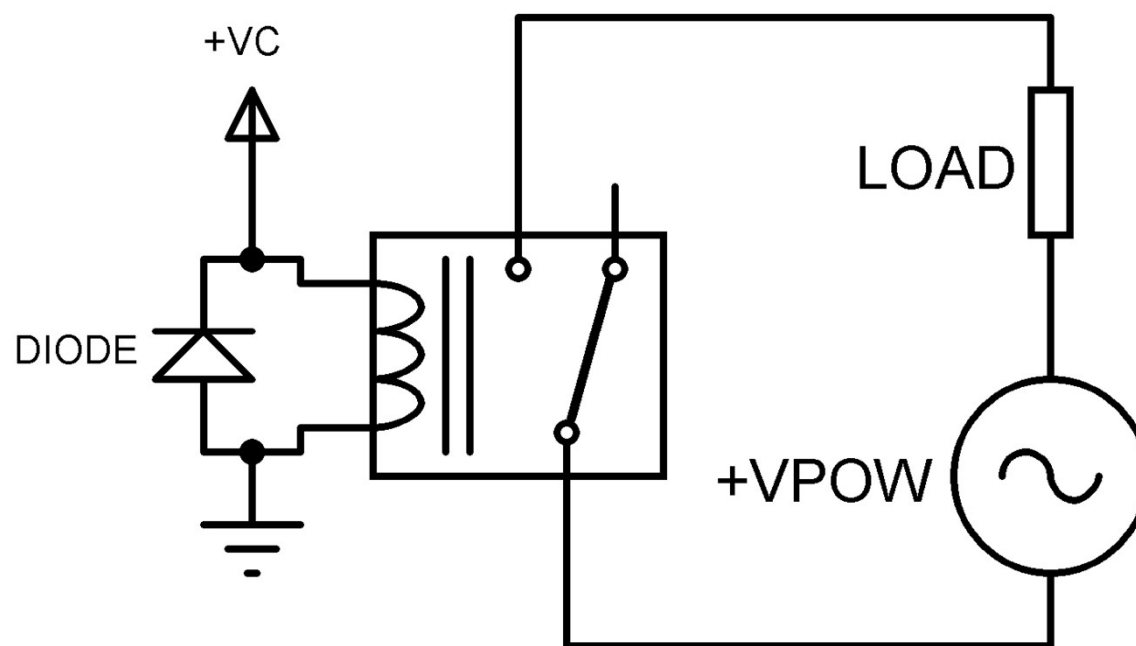
1	Bobina
2	Armadura
3	Terminal móvil (Pata Común)



**Nota Importante:** No es aconsejable conectar directamente al ARDUINO un relé (recordar que las patas de I/O máximo soportan 40 mA por pin). Para ello se aconseja poner un transistor que maneje en su colector al relé.

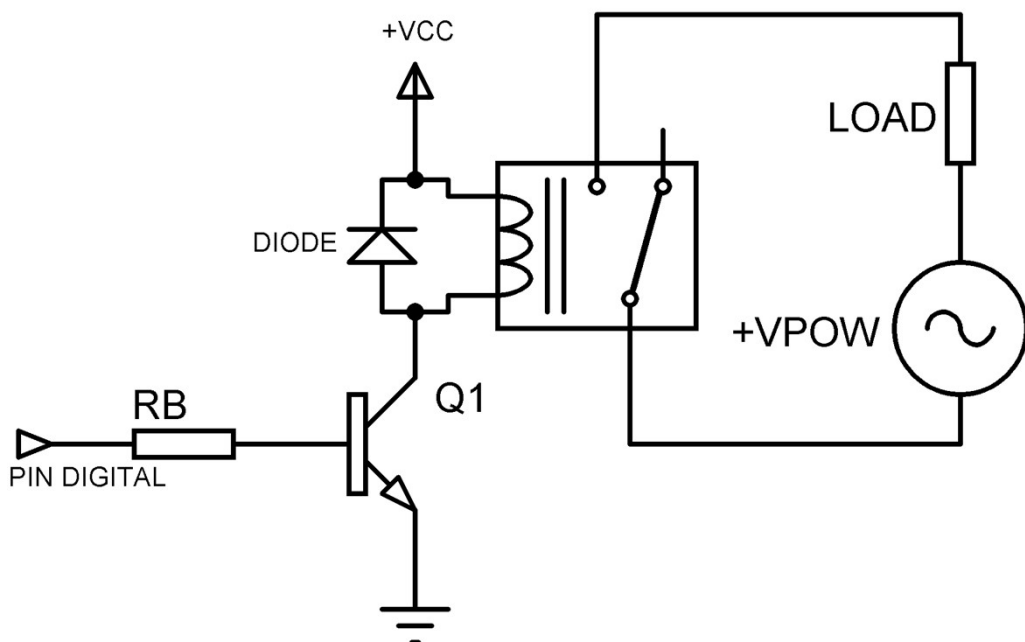
## Conexión básica del relé

- Se le agrega un diodo en paralelo a la bobina (debido a que estas almacenan corriente y después de almacenar mucha pueden liberarla y dañar otros dispositivos, el diodo previene esto garantizando que esta corriente se descargue por si misma). El diodo mas comúnmente usado para estos es el 1N4007. **NOTA: Este diodo también se le debe poner a los motores puesto que también tienen una bobina internamente.**
- La carga y el voltaje de la carga son “suicheados” a través del electroimán, logrando encender o apagar la potencia.

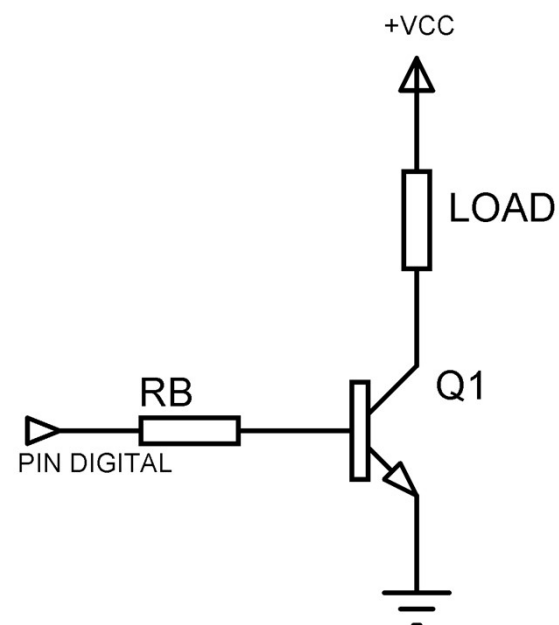


## Interfaz control - potencia

- ▶ Para manejar un relé con un microcontrolador (como un ARDUINO):
  - ▶ Cargas como motores de alta potencia usando AC.
  - ▶ Bombillas de 110 VAC.
  - ▶ Resistencias eléctricas para calentar 110 VAC.-



- ▶ Para manejar:
  - ▶ Motores DC hasta 24 VDC.
  - ▶ LEDs de potencia.
  - ▶ Cintas de LEDs.



**Nota:** No olvidar que si se usan cargas inductivas (como bobinas o motores) se debe poner un diodo en paralelo a esta que apunte hacia la fuente.

## Bibliografia

- Agarwal, A., & Lang, J. H. (2008). *Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits*. Massachusetts, Estados Unidos: Elsevier.
- Boylestad, R. L. (2007). *Introductory Circuit Analysis* (11 ed.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- digikey. (27 de Marzo de 2013). digikey.com. Obtenido de <http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2013/mar/an-introduction-to-brushless-dc-motor-control>
- OscarLiang.net. (12 de Octubre de 2013). OscarLiang.net. Obtenido de <http://blog.oscarliang.net/bjt-vs-mosfet/>



MUCHAS GRACIAS