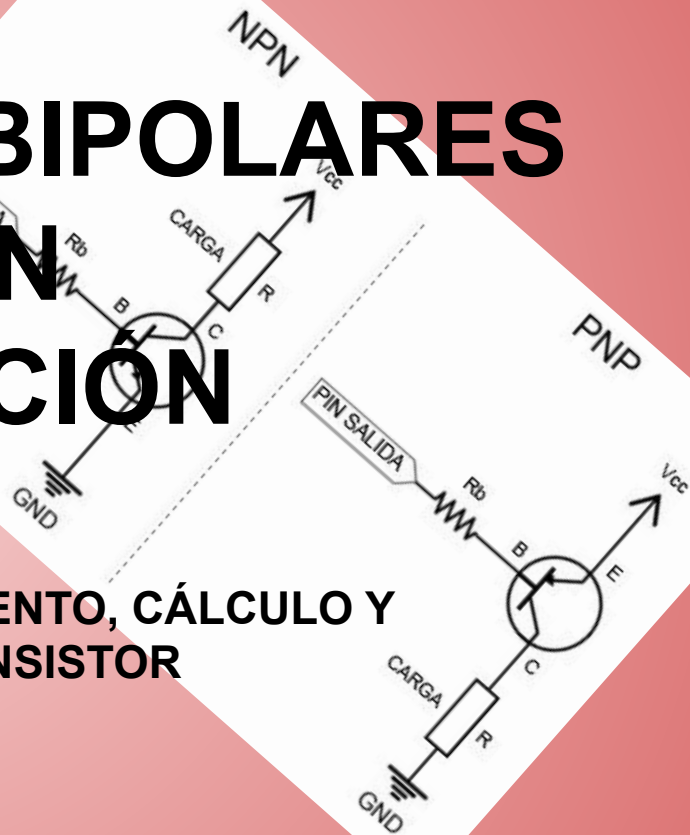
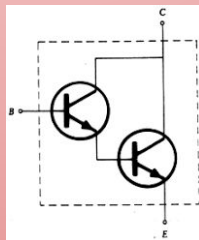
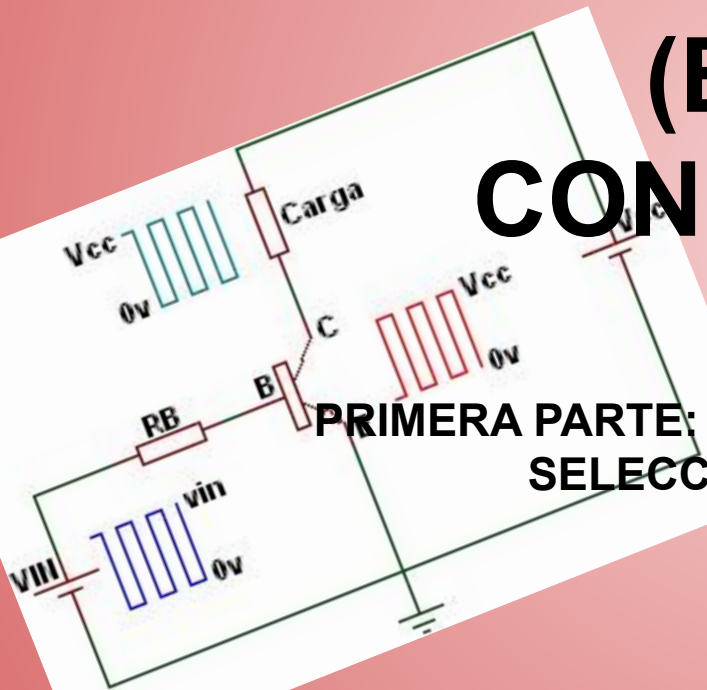


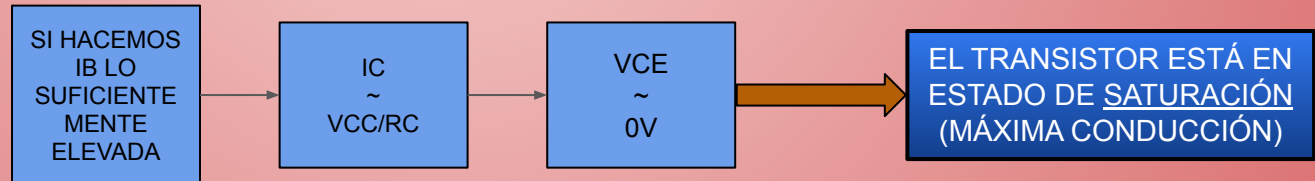
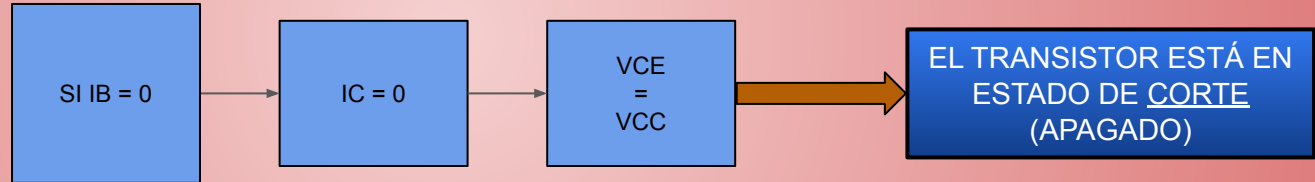
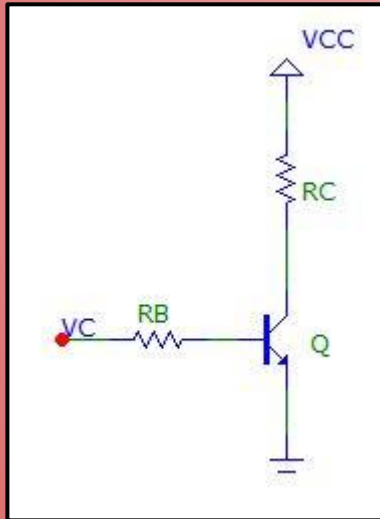
TRANSISTORES BIPOLARES (BJT) EN CONMUTACION

PRIMERA PARTE: FUNCIONAMIENTO, CÁLCULO Y
SELECCIÓN DEL TRANSISTOR

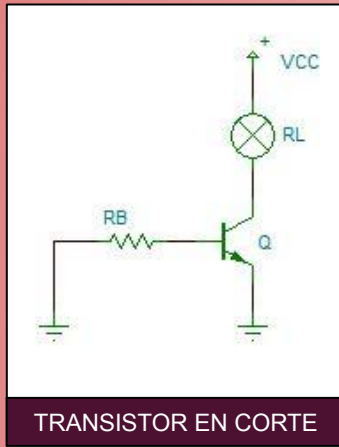


ESTADOS DE CORTE Y SATURACIÓN DEL TRANSISTOR

Manejando la corriente de base I_B podemos llevar al transistor del estado de CORTE (apagado) al de SATURACIÓN (máxima conducción)

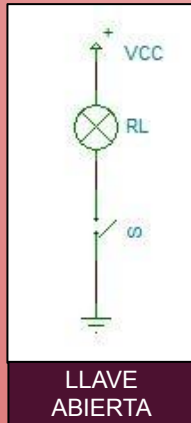


COMPAREMOS LAS SIGUIENTES SITUACIONES

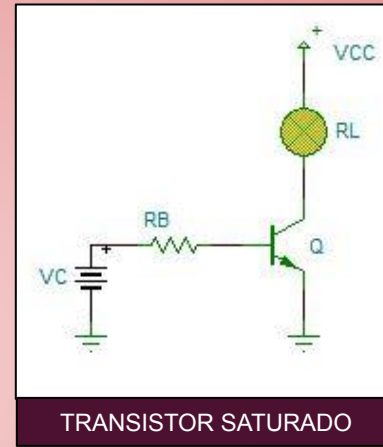


$$I_C = 0$$
$$V_{CE} = V_{CC}$$

SON
IGUALES

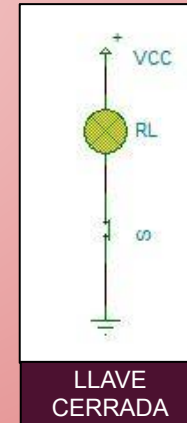


$$I_S = 0$$
$$V_S = V_{CC}$$



$$I_C \sim V_{CC}/R_L$$
$$V_{CE} \sim 0V$$

SON
MUY
PARECIDOS



$$I_S = V_{CC}/R_L$$
$$V_S = 0V$$

COMPARANDO LOS ESTADOS ELÉCTRICOS DEL TRANSISTOR EN CORTE Y SATURACIÓN CON LOS DE UNA LLAVE ABIERTA Y CERRADA RESPECTIVAMENTE PODEMOS VER QUE SON MUY PARECIDOS

ENTONCES

PODEMOS USAR TRANSISTORES PARA ENCENDER Y APAGAR (CONMUTAR) CARGAS QUE TRABAJEN CON TENSIÓN CONTINUA, LAS QUE SE CONECTARÁN EN EL COLECTOR GENERALMENTE

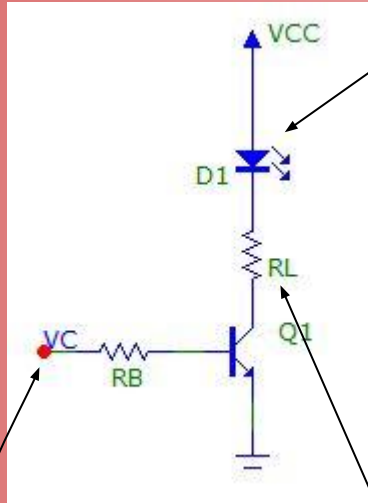
ES DECIR QUE EL TRANSISTOR EN CORTE Y SATURACIÓN TRABAJA COMO UNA “LLAVE ELECTRÓNICA” CONTROLADA POR UNA PEQUEÑA CORRIENTE DE BASE.

LO USAMOS PARA

CONTROLAR LEDs, MOTORES DE CONTINUA, RELÉS, OTROS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS, MEDIANTE LA SALIDA DE POR EJEMPLO MICROCONTROLADORES, COMPUERTAS LÓGICAS, INTEGRADOS TIPO 555, ETC.

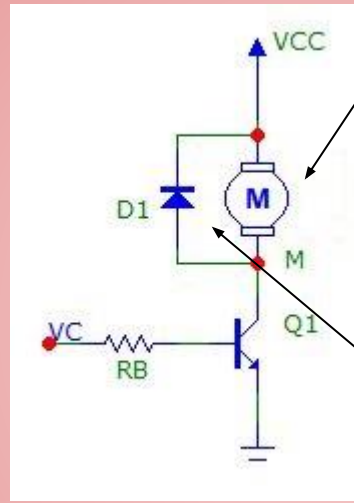
EJEMPLOS DE CARGAS QUE PODEMOS MANEJAR

LED



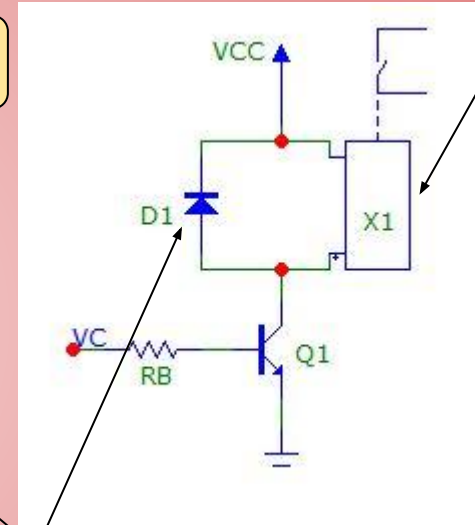
RESISTOR DE POLARIZACIÓN PARA EL LED (SE CALCULA SEGÚN LA ALIMENTACIÓN USADA)

MOTOR DE C.C.



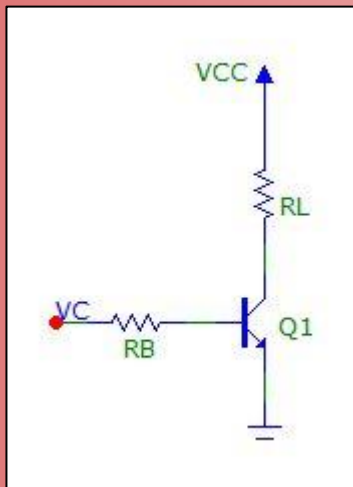
LAS CARGAS INDUCTIVAS (BOBINAS) LLEVAN UN DIODO EN PARALELO E INVERSA PARA PROTEGER AL TRANSISTOR

RELÉ



LA TENSIÓN "VC" PROVIENE DEL CIRCUITO DE CONTROL (555, COMPUERTA LÓGICA, MICROCONTROLADOR, ETC.)

SELECCIÓN DEL TRANSISTOR Y POLARIZACIÓN



R_L representa a la carga que se quiere conmutar (LED, motor, relé).
 V_C es la tensión del circuito de control (compuerta, 555, microcontrolador, etc.)

Para poder seleccionar un transistor apropiado y polarizarlo debemos conocer algunos datos de la carga que queremos conmutar: su tensión de alimentación y su corriente de trabajo, es decir V_L e I_L .

El transistor debe ser capaz de conducir la corriente I_L cuando está saturado y soportar la tensión V_L cuando está en corte.

Luego $V_{CC} = V_L$ e $I_C = I_L$.

Tenemos que buscar un transistor que soporte un poco más que estos valores. Generalmente podemos utilizar el siguiente criterio:

$$I_{C\text{máx.}} > 1,5 \times I_L$$

$$V_{CE\text{máx.}} > 1,5 \times V_L$$

VEAMOS CÓMO
APARECEN ESTOS
VALORES EN LAS HOJAS
DE DATOS DE LOS
TRANSISTORES

Parameter	Symbol	Values		Unit
		BC 337	BC 338	
Collector-emitter voltage	V_{CE0}	45	25	V
Collector-base voltage	V_{CB0}	50	30	
Emitter-base voltage	V_{EB0}		5	
Collector current	I_C		800	mA

ESTA ES LA TENSIÓN MÁXIMA QUE SOPORTA ENTRE COLECTOR Y EMISOR EN CORTE

ESTA ES LA CORRIENTE MÁXIMA QUE PUEDE CONDUCIR EN SATURACIÓN

DC current gain ¹⁾ $I_C = 100 \text{ mA}; V_{CE} = 1 \text{ V}$	h_{FE}				
BC 337/16; BC 338/16	100	160	250		
BC 337/25; BC 338/25	160	250	400		
BC 337/40; BC 338/40	250	350	630		
$I_C = 300 \text{ mA}; V_{CE} = 1 \text{ V}$					
BC 337/16; BC 338/16	60	—	—		
BC 337/25; BC 338/25	100	—	—		
BC 337/40; BC 338/40	170	—	—		

ESTE ES EL HFE QUE PRECISAMOS PARA LOS CÁLCULOS. SUELE HABER TRES COLUMNAS: MÍNIMO, TÍPICO Y MÁXIMO. EN CONMUTACIÓN USAMOS HFE MÍNIMO

Collector-emitter saturation voltage ¹⁾ $I_C = 500 \text{ mA}; I_B = 50 \text{ mA}$	V_{CEsat}	—	—	0.7	V
Base-emitter saturation voltage $I_C = 500 \text{ mA}; I_B = 50 \text{ mA}$	V_{BEsat}	—	—	2	

ESTA ES LA MÁXIMA CAÍDA DE TENSIÓN EN EL TRANSISTOR SATURADO

ESTA ES LA MÁXIMA CAÍDA BASE - EMISOR EN SATURACIÓN (NO SIEMPRE ES 0,7V)

Una vez que tenemos el transistor adecuado (y su hoja de datos) podemos calcular la RB necesaria para polarizarlo correctamente en saturación: La corriente de colector que va a conducir el transistor es la corriente de la carga, es decir

$$I_C = I_L$$

La IB necesaria para llevarlo al comienzo de la saturación se obtiene así:

$$I_B = \frac{I_C}{HFE}$$

Pero esta corriente, como dijimos antes, lo lleva al borde de la saturación. Si queremos asegurarnos de que sature tenemos que tomar un valor mayor a este. Un criterio válido es tomar el doble de este valor, o sea:

$$I_{B_{SAT}} = 2 \times \frac{I_C}{HFE}$$

Teniendo $I_{B_{SAT}}$ podemos aplicar la Ley de Kirchhoff en la malla de entrada para poder despejar RB:

$$V_C = I_{B_{SAT}} \times R_B + V_{BE}$$

$$V_C - V_{BE} = I_{B_{SAT}} \times R_B$$

Entonces:

$$R_B = \frac{V_C - V_{BE}}{I_{B_{SAT}}}$$

Podemos reemplazar $I_{B_{SAT}}$ por la expresión anterior:

$$R_B = \frac{V_C - V_{BE}}{2 \times \frac{I_C}{HFE}}$$

$$R_B = \frac{HFE(V_C - V_{BE})}{2 \times I_C}$$

Además del valor de RB necesitamos calcular su potencia. Podemos hacerlo de la siguiente forma:

$$P_{RB} = \frac{V_{RB}^2}{R_B}$$

$$P_{RB} = \frac{(V_C - V_{BE})^2}{R_B}$$

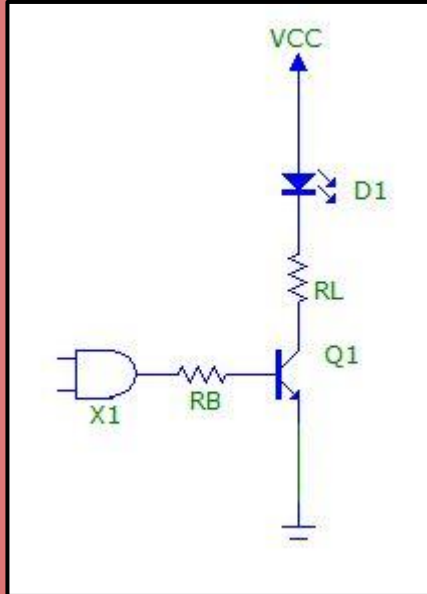
Debemos tener en cuenta además la potencia que disipa el transistor cuando satura, porque no debe exceder al valor máximo indicado en la hoja de datos e incluso en algunos casos puede ser necesario colocarle un disipador (que se calcula también).

La potencia disipada por el transistor es aproximadamente:

$$P_{D_{TOTAL}} = I_C \times V_{CE_{SAT}}$$

EJEMPLO

Se debe conectar un LED a la salida de un circuito de compuertas lógicas que trabaja con 12V. Dibujar y calcular el circuito apropiado.



Datos:

- LED (típico): $I_L = 10\text{mA}$, $V_L = 2\text{V}$
- Compuerta: salida aprox. igual a la alimentación (12V en este caso)
- $V_{CC} = 12\text{V}$

De la carga a controlar (LED con su resistencia de polarización) vemos que el transistor debe conducir 10mA en saturación y soportar 12V en corte. Podemos usar un BC548B ($I_{C\text{max}} = 100\text{mA}$; $V_{ECo} = 40\text{V}$; $H_{FE} = 300$; $V_{CE\text{sat}} = 0,1\text{V}$; $V_{BE\text{sat}} = 0,7\text{V}$)

RESOLUCIÓN...

Calculamos R_B :

$$R_B = \frac{HFE(V_C - V_{BE})}{2 \times I_C} = \frac{300(12 - 0,7)}{2 \times 10 \times 10^{-3}} = 169,5k\Omega$$

Adoptamos un valor comercial cercano (para abajo):

$$R_B = 150k\Omega$$

En código de colores sería: (Marrón - Verde - Amarillo)

Calculamos ahora la potencia que va a disipar:

$$P_{RB} = \frac{(V_C - V_{BE})^2}{R_B} = \frac{(12 - 0,7)^2}{150 \times 10^3} = 0,85mW$$

(Observar que ya usamos el valor comercial de R_B).

En cuanto a la potencia, las resistencias vienen de:

1/8W (125mW)

1/4W (250mW)

1/2W (500mW)

1W

2W

5W

7W

10W

(Luego de a 5W, aunque puede depender del fabricante).

Debemos colocar una resistencia cuya potencia sea mayor a la que va a disipar en el circuito, para que no se dañe.

En nuestro caso podemos adoptar la más chica (1/8W).

Luego:

$$R_B = 150k\Omega - 1/8W$$

Falta calcular la resistencia del LED:

$$R_L = \frac{(V_{CC} - V_L)}{I_L} = \frac{(12 - 2)}{10 \times 10^{-3}} = 1k\Omega$$

Este es justo un valor comercial.

En colores: (Marrón - Negro - Rojo)

$$P_{RL} = \frac{(V_{CC} - V_L)^2}{R_L} = \frac{(12 - 2)^2}{1 \times 10^3} = 100mW$$

Podemos usar una resistencia de 1/8W, o también de 1/4W.

Luego:

$$R_L = 1k\Omega - 1/4W$$

La potencia que disipa el transistor:

$$P_D = V_{CE_{SAT}} \times I_C = 0,1 \times 10 \times 10^{-3} = 1mW$$