

# Transistores Bipolares (BJT)

## Dispositivos Electrónicos

Ing. Luis A. Guanuco



Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Córdoba

3 de junio de 2024

# Tabla de contenidos

- 1 Principio de funcionamiento
- 2 Parámetros
  - Encapsulados
  - Especificaciones del fabricante
  - Mediciones prácticas
- 3 Polarización
- 4 Curvas características
- 5 Aplicaciones
  - Circuito con una fuente
  - Circuitos con transistores PNP
  - Configuraciones
  - Circuito regulación de tensión

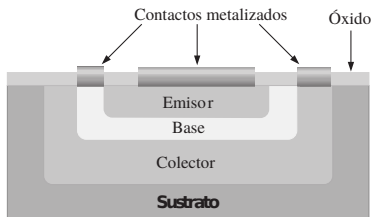
# Sección 1

## Principio de funcionamiento

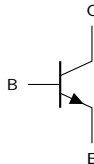
# Principio de funcionamiento

## Descripción

El BJT (transistor de juntura bipolar) se construye con tres regiones semiconductoras separadas por dos uniones *pn*. El término *bipolar* se refiere al uso tanto de huecos como de electrones como portadores de corriente en el transistor.



(a) Estructura



(b) Símbolo



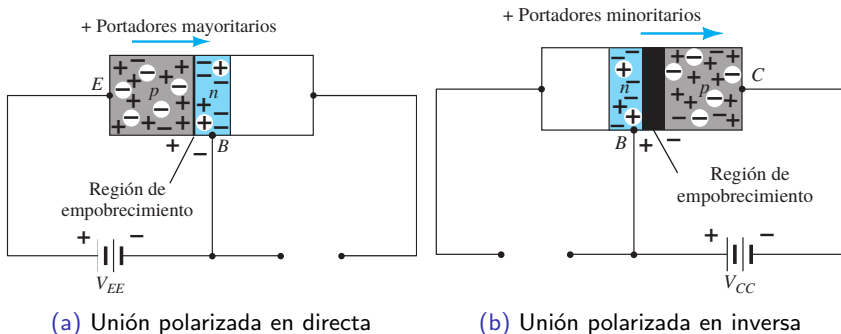
(c) BC548 - TO-92

Figura: Transistor

Figura: Polarización de los transistores

# Principio de funcionamiento

Consideremos la polarización de las uniones  $pn$  por separados. Observe las polarizaciones de ambas uniones. Polarización *directa* en el caso la unión *base-emisor* y una polarización *inversa* en la unión *base-colector*.



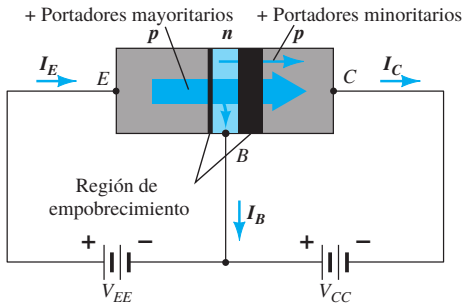
**Figura:** Polarización de los transistores

## Principio de funcionamiento

Polaricemos al transistor con los criterios anteriores:

## Pregunta

¿Qué significado tienen las barras negras?



# Tabla de contenidos

- 1 Principio de funcionamiento
- 2 **Parámetros**
  - Encapsulados
  - Especificaciones del fabricante
  - Mediciones prácticas
- 3 Polarización
- 4 Curvas características
- 5 Aplicaciones
  - Circuito con una fuente
  - Circuitos con transistores PNP
  - Configuraciones
  - Circuito regulación de tensión



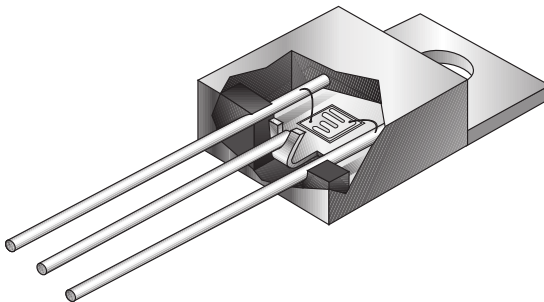
## Sección 2

## Parámetros

# Parámetros

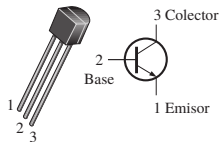
Existe una gran variedad de encapsulados para estos dispositivos. El criterio para la utilización de uno u otro serán en función de:

- Potencia
- Frecuencia de funcionamiento
- Tamaño
- Robustez

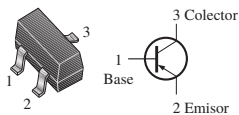


Vista de corte muy agrandada de un chip de un transistor pequeño montado en el encapsulado.

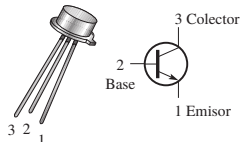
# Parámetros



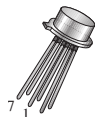
(a) TO-92



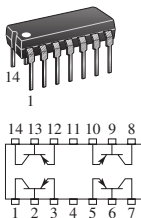
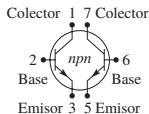
(b) SOT-23



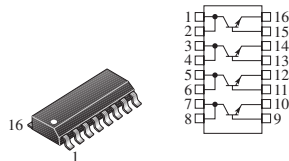
(c) TO-18. El emisor está más cerca de la pestaña



(a) Lata de metal doble. Los emisores están más cerca de la pestaña.

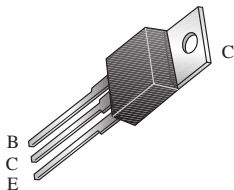


(b) Doble en línea (DIP) cuádruple y paquete plano cuádruple. El punto indica la terminal de conexión 1.

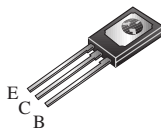


(c) Paquete de perfil cuádruple pequeño (SO) para tecnología de montaje superficial.

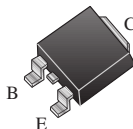
# Parámetros



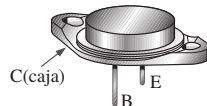
(a) TO-220



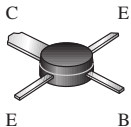
(b) TO-225



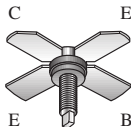
(c) Encapsulado doble



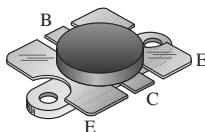
(d) TO-3



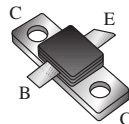
(a)



(b)



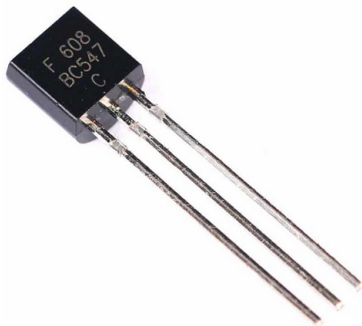
(c)



(d)

# Parámetros

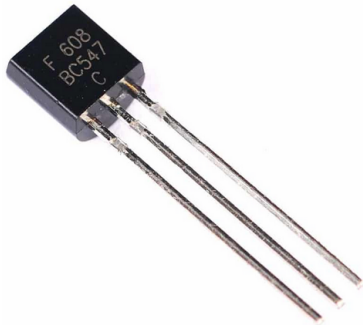
Como vimos, los encapsulados tienen dimensiones estándares y no solamente para los transistores sino para cualquier tipo de dispositivo semiconductor. Es por esta razón que no se podría distinguir dos transistores según su aspecto, debe buscarse la información técnica desde las hojas de datos provista por el fabricante utilizando *código del circuito*.



# Parámetros

## Pregunta

Podrían encontrar la información solicitada del siguiente transistor?



Tipo:

Pines:

$\beta$ :

$I_{C(max)}$ :

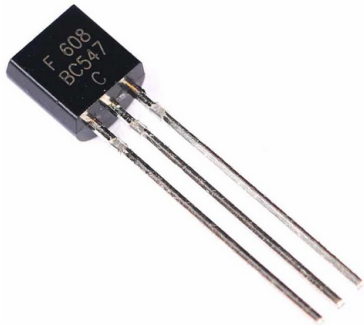
$V_{CE(sat)}$ :

$V_{CE(max)}$ :

# Parámetros

## Pregunta

Podrían encontrar la información solicitada del siguiente transistor?



Tipo:

Pines:

$\beta$ :

$I_{C(max)}$ :

$V_{CE(sat)}$ :

$V_{CE(max)}$ :

## Pregunta

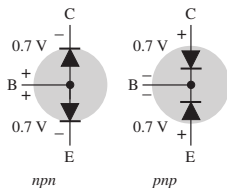
¿Qué otro dato debería relevarse?

# Parámetros

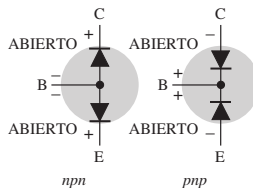
## Situación

¿Qué sucede si se tiene que relevar un circuito que cuenta con un transistor y no se tiene especificaciones del mismo?

Lo primero es recordar el principio de funcionamiento, ... *los transistores están compuesto por dos uniones de semiconductores similares a los diodos...*



(a) Ambas uniones en general deben dar una lectura de 0.7 V cuando se polarizan en directa.



(b) Ambas uniones idealmente deben mostrar una lectura "OPEN" cuando se polarizan en inversa.

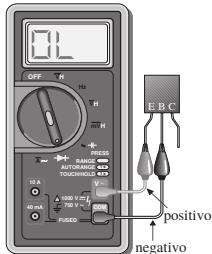


# Parámetros

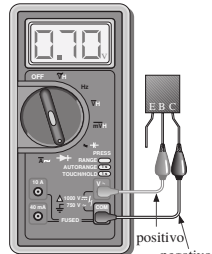
Se debe *aislar* al transistor para evitar la polarización exterior y realizar la medición de polarización (diodo) de cada unión.



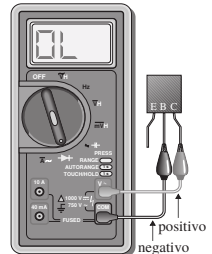
(a) Prueba de polarización en directa de la unión BE



(b) Prueba de polarización en inversa de la unión BE



(c) Prueba de polarización en directa de la unión BC

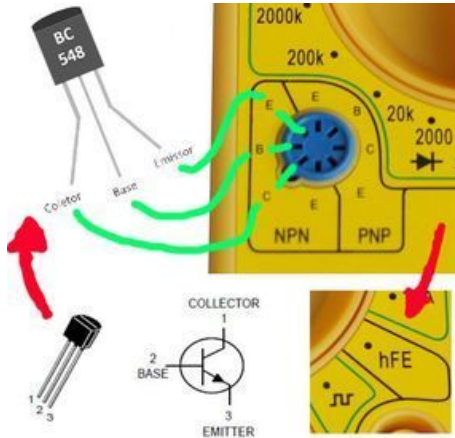


(d) Prueba de polarización en inversa de la unión BC

# Parámetros

pregunta

¿No hay otra forma?



# Parámetros

pregunta

¿No hay otra forma?



# Tabla de contenidos

- 1 Principio de funcionamiento
- 2 Parámetros
  - Encapsulados
  - Especificaciones del fabricante
  - Mediciones prácticas
- 3 Polarización**
- 4 Curvas características
- 5 Aplicaciones
  - Circuito con una fuente
  - Circuitos con transistores PNP
  - Configuraciones
  - Circuito regulación de tensión

## Sección 3

# Polarización

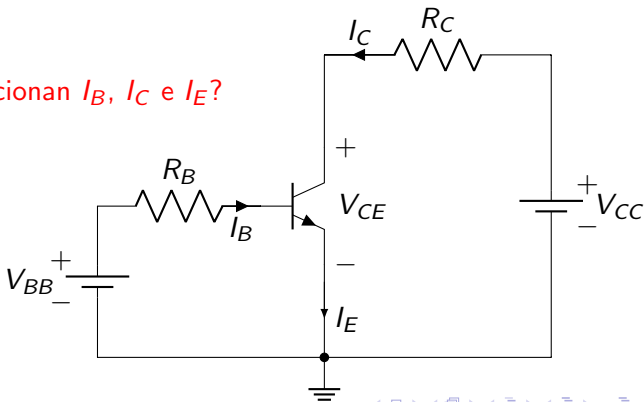
# Polarización

Se plantean las ecuaciones para los circuitos con transistores. Se utilizará la configuración *emisor común* pero el planteo es aplicable a las restantes configuraciones.

$$V_{BB} = (I_B \times R_B) + V_{BE}$$

$$V_{CC} = (I_C \times R_C) + V_{CE}$$

¿Cómo se relacionan  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_E$ ?



## Polarización: Ganancia del transistor ( $\beta$ o $h_{FE}$ )

$\beta$  es la ganancia de corriente en continua y se obtiene como el cociente entre  $I_C$  y  $I_B$ :

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

Del circuito anterior se puede deducir que:  $I_E = I_B + I_C$ . Entonces podemos decir,

$$I_E = I_B + I_C \quad \text{reemplazo } I_B \text{ por } \frac{I_C}{\beta}$$

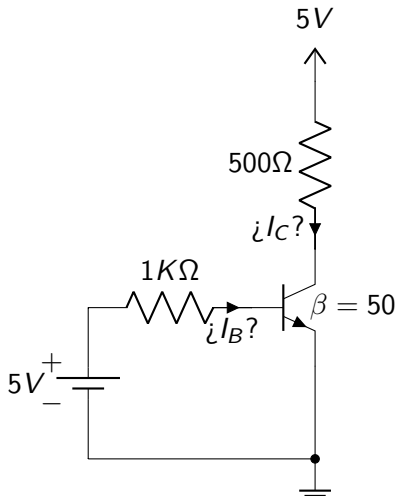
$$I_E = \frac{I_C}{\beta} + I_C = I_C \left( \frac{1}{\beta} + 1 \right) = I_C \left( \frac{1 + \beta}{\beta} \right)$$

$$I_E \approx I_C$$

La ganancia ( $\beta$ ) es una característica del dispositivo y tiene un valor alto  $> 50$ , por ejemplo el BC548 tiene un  $\beta_{MIN} = 110$

## Polarización: ejemplo

Encontrar la corriente  $I_C$  y  $V_{CE}$  del siguiente circuito:





# Polarización: ejemplo

Circuito de entrada:

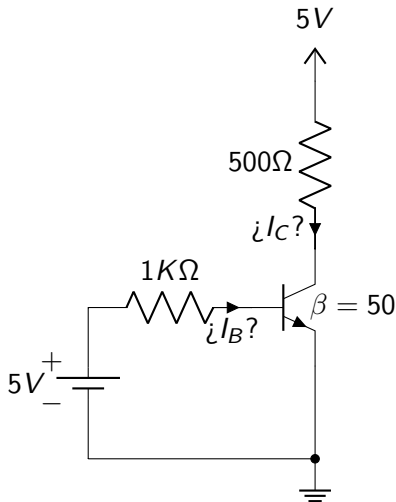
$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

Si consideramos  $V_{BE} = 0,7V$ , podemos encontrar  $I_B$ :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{5V - 0,7V}{1K\Omega}$$

$$I_B = 4,3mA$$



## Polarización: ejemplo

Circuito de salida:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

La relación entre las corrientes de entrada ( $I_B$ ) y salida ( $I_C$ ) es  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ .  
Entonces,

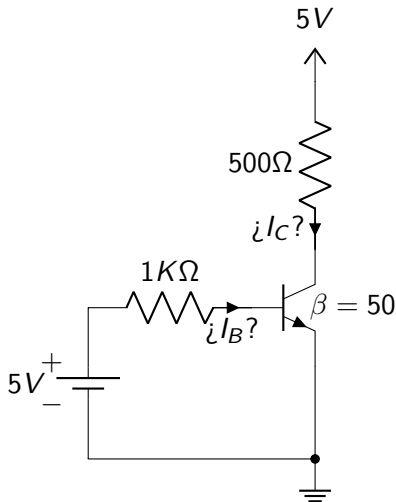
$$V_{CC} = (\beta I_B) R_C + V_{CE}$$

Despejamos la tensión  $V_{CE}$  de trabajo del transistor

$$V_{CE} = V_{CC} - (\beta I_B) R_C$$

$$V_{CE} = 5v - (50 \times 43mA) 500\Omega$$

$$V_{CE} = -102,5V$$



# Tabla de contenidos

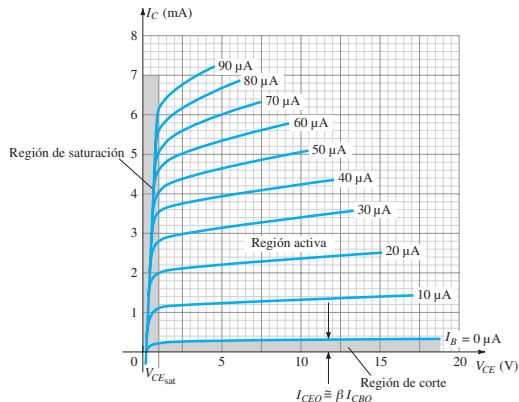
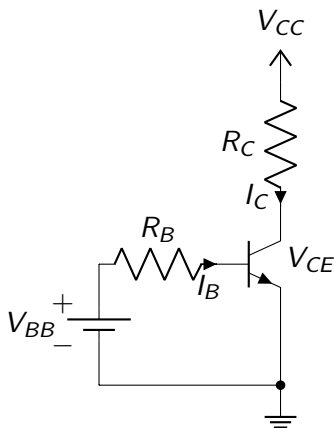
- 1 Principio de funcionamiento
- 2 Parámetros
  - Encapsulados
  - Especificaciones del fabricante
  - Mediciones prácticas
- 3 Polarización
- 4 Curvas características**
- 5 Aplicaciones
  - Circuito con una fuente
  - Circuitos con transistores PNP
  - Configuraciones
  - Circuito regulación de tensión

## Sección 4

### Curvas características

# Curvas características

Las curvas responden a diferentes puntos de trabajo ( $Q$ ) tanto de las corrientes como de tensión del transistor.



(a)

# Zonas de corte y saturación

## Corte

En esta zona de trabajo la corriente en el colector es  $I_C = 0$ , por lo tanto tampoco tenemos circulación en el emisor  $I_E = 0$ .

## Saturación

Es la zona donde se tiene la máxima circulación de corriente del dispositivo  $I_C = I_E = I_{C(MAX)}$ . Aquí no se aplica la ecuación de ganancia  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ . Se debe considerar que la tensión  $V_{CE} = V_{CE(SAT)} = 0,2V$  que es la tensión de *saturación*.

.... Ahora sí podremos diseñar un circuito con transistor para trabajar en corte-saturación. Revisemos el ejemplo anterior.

# Tabla de contenidos

- 1 Principio de funcionamiento
- 2 Parámetros
  - Encapsulados
  - Especificaciones del fabricante
  - Mediciones prácticas
- 3 Polarización
- 4 Curvas características
- 5 Aplicaciones
  - Circuito con una fuente
  - Circuitos con transistores PNP
  - Configuraciones
  - Circuito regulación de tensión

# Sección 5

## Aplicaciones

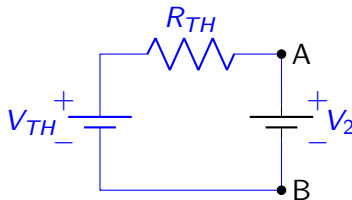
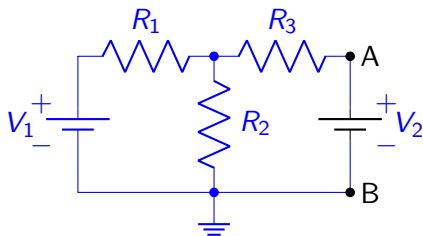


# Aplicaciones

En aplicaciones que no se dispongan de dos fuentes de alimentación se puede utilizar el *Teorema de Thevenin*.

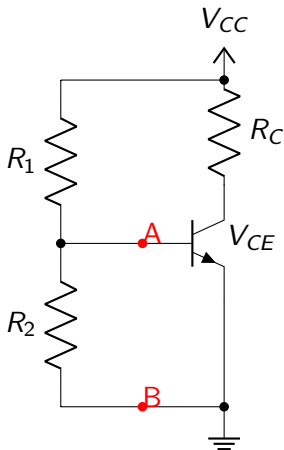
## Teorema de Thevenin

Dado un circuito eléctrico *lineal* y considerando dos puntos del mismo ( $A$  y  $B$ ), puede encontrarse un circuito equivalente formado por una fuente de tensión y un resistor en serie entre los puntos  $A$  y  $B$ .



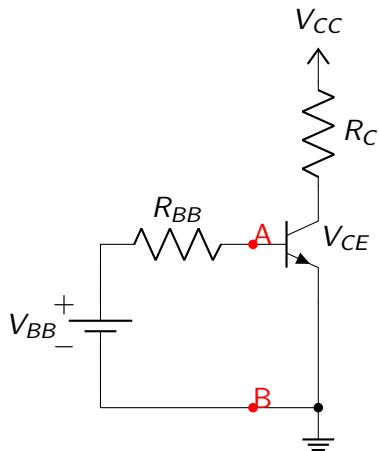
## Aplicaciones: Ejemplo

Considerando el siguiente circuito encontrar su equivalente Thevenin  $V_{BB}$  y  $R_B$ .



# Aplicaciones: Ejemplo

Resolución:



Pasivamos la fuente de alimentación  $V_{CC}$ ,

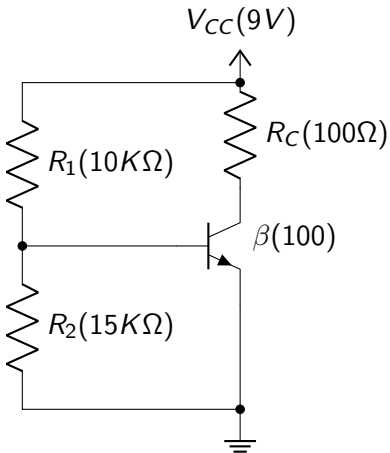
$$R_{BB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Para encontrar la tensión  $V_{BB}$  debemos encontrar la tensión del divisor resistivo  $R_1$  y  $R_2$ :

$$V_{BB} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{CC}$$

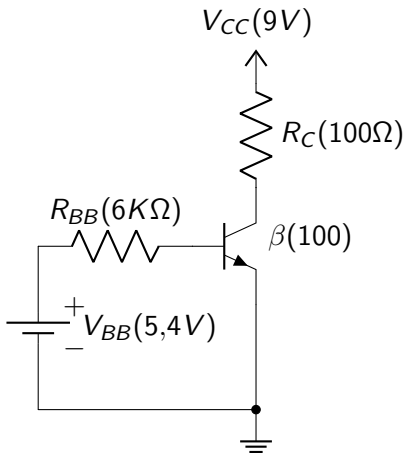
## Ejercicio

Encontrar el punto de trabajo del siguiente circuito,  $I_B$ ,  $I_C$  y  $V_{CE}$ .  
Determinar si se encuentra en la zona lineal o en corte-saturación.



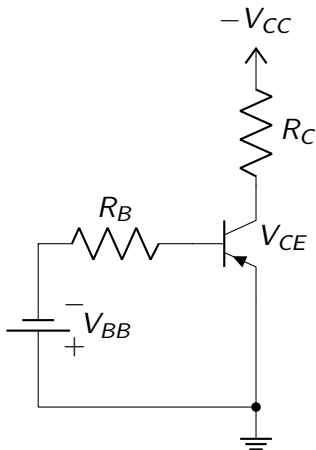
# Ejercicio

Resolución:



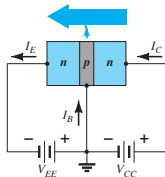
# Aplicaciones

En clases pasadas se comentó la similitud entre los circuitos NPN y PNP. Se realizará el análisis para un circuito PNP en configuración emisor común.

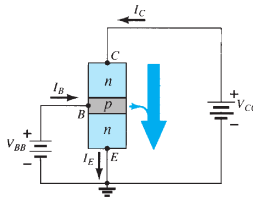


# Aplicaciones

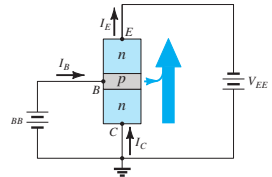
Se revisará las configuraciones *colector-común* y *base-común*. En la primer clase de transistores se comentó que cada configuración tiene características diferentes y estas características son principalmente para el uso del transistor como amplificador.



(a) Base común



(b) Emisor común

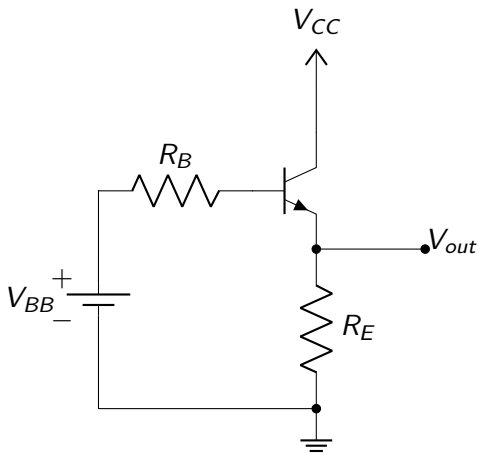


(c) Colector común

Figura: Configuraciones en un transistor NPN

## Configuración colector-común

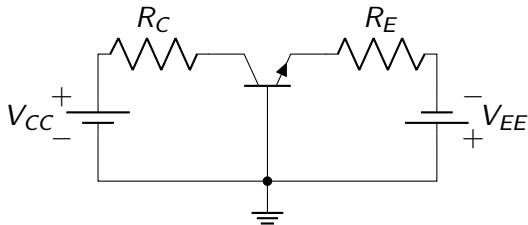
En esta configuración la carga se conecta en el emisor y se caracteriza por una ganancia de tensión casi unitaria ( $G_V = \frac{V_E}{V_B}$ )





# Configuración base-común

Configuración con ganancia unitaria de corriente ( $G_i = \frac{I_E}{I_C}$ )



# Aplicaciones

En las primeras clases de semiconductor, hemos presentado al diodo zener como un dispositivo capaz de mantener una tensión estable en polarización inversa ( $V_Z$ ). El planteo fue:  
Las corrientes en el nodo A son,

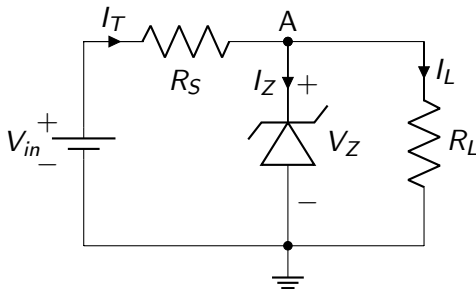
$$I_T = I_Z + I_L ; \text{ donde } I_L = \frac{V_{out}}{R_L}$$

La sumatoria de tensiones es,

$$V_{in} = (R_S \times I_T) + V_Z$$

Finalmente podemos obtener  $R_S$ ,

$$R_S = \frac{V_{in} - V_Z}{I_T}$$



# Aplicaciones

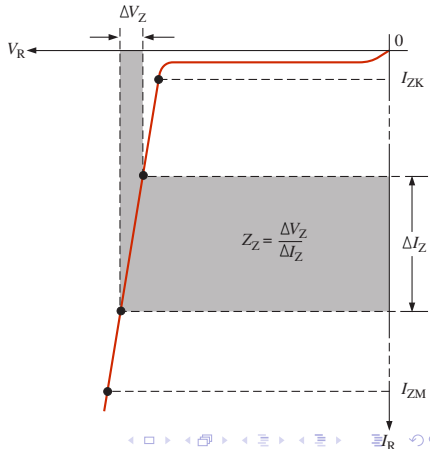
En esta configuración tenemos la limitante de potencia del diodo Zener. Si se observa la curva característica del diodo, existen valores de corrientes elevadas que no pueden ser superados.

$$P_Z = V_Z \times I_Z$$

$$P_{Z(MAX)} = V_Z \times I_{Z(MAX)}$$

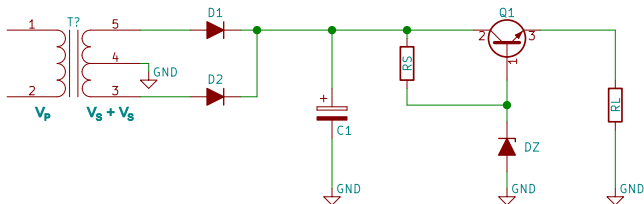
Podemos obtener:

$$I_{Z(MAX)} = \frac{P_{Z(MAX)}}{V_Z}$$



# Aplicaciones

La implementación de un transistor al circuito puede ofrecerle una mayor capacidad de corriente. Con el diodo zener como dispositivo regulador de la tensión.



Analizando el circuito podemos obtener las diferentes ecuaciones,  
Ecuaciones de *entrada*

$$V_{S(PP)} = V_{D1/D2} + V_{in}$$

$$V_{R_S} = V_{in} - V_Z$$

$$I_{R_S} = I_{ZQ} + I_B$$

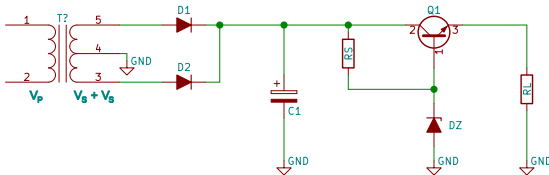
Ecuaciones de *salida*

$$V_Z = V_{BE} + V_{R_L}$$

$$I_E \approx I_C = \beta I_B$$

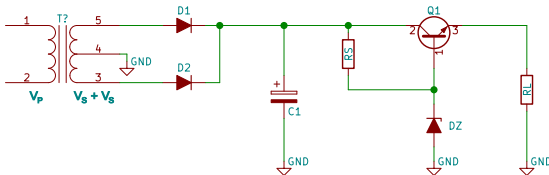
# Aplicaciones: Ejemplo

Consideremos el circuito planteado con los siguientes datos,  $V_S = 12V_{C.A.}$ ,  $P_Z = 0,5W$ ,  $V_{OUT} = 9V$ ,  $I_{OUT} = 3A$  y  $\beta = 100$ .



## Aplicaciones: Ejemplo

Consideremos el circuito planteado con los siguientes datos,  $V_S = 12V_{C.A.}$ ,  $P_Z = 0,5W$ ,  $V_{OUT} = 9V$ ,  $I_{OUT} = 3A$  y  $\beta = 100$ .



$$V_Z = V_{BE} + V_{OUT} = 0,7V + 9V$$

$$V_Z = 9,7V$$

$$P_{Z_{MAX}} = V_Z \times I_{Z_{MAX}}$$

$$I_{Z_{MAX}} = \frac{P_{Z_{MAX}}}{V_Z} = \frac{0,5W}{9,7V}$$

$$I_{Z_{MAX}} = 51mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_{OUT}}{I_B}$$

$$I_B = \frac{I_{OUT}}{\beta} = \frac{3A}{100} = 30mA$$

$$R_S = \frac{V}{I} = \frac{V_{S(PP)} - V_Z}{I_Z + I_B}$$

## Aplicaciones:Ejemplo(continuación)

Para la tensión de entrada del circuito debe considerar la relación entre la corriente alterna y continua.

$$V_{IN}) = (\sqrt{2} \times V_S) - V_D$$

$$V_{IN} = \sqrt{2} \times 12V - 0,7V$$

$$V_{IN} = 16,22V$$

Por último, debemos obtener el valor del resistor de polarización del circuito.

$$R_S = \frac{V_{S(PP)} - V_Z}{I_Z + I_B}$$

$$R_S = \frac{16,22V - 9,7V}{15mA_{sel.} + 30mA} = 144,88\Omega$$

Buscamos un valor comercial para  $R_S$ , y encontramos  $R_S = 150\Omega$ .

Debemos corroborar la polarización final con el nuevo valor de resistencia:

$$I_Z = \frac{V_{S(PP)} - V_Z}{R_S} - I_B$$

$$I_Z = \frac{16,22V - 9,7V}{150\Omega} - 30mA$$

$$I_Z = 13,46mA > I_{Z_{MIN}}$$