

# Amplificación analógica

## TRANSISTORES CON SEÑALES EN AC

Un amplificador analógico es un dispositivo que toma una señal analógica de baja potencia que llamaremos  $V_s$  como entrada y emite una versión más potente de la misma señal.

La señal a amplificar puede venir de:

- Micrófono para señales de audio o antena para señales de radio frecuencia.
- Toda la gama de sensores: Transductores térmicos, velocimétricos, luminosos...
- Consigna para la activación y el control de actuadores de potencia.
- De otras etapas amplificadoras

Se necesita de una señal en directa para que se encienda el transistor y se genere la ganancia de potencia.

# CLASIFICACIÓN DE LOS APLIFICADORES:

## 1. Según el elemento activo:

- BJT: Emisor común (EC), Colector común (CC), Base común (BC)
- FET : MOSFET
- Circuitos integrados: Operacionales y específicos de audio, video, instrumentación.

## 2. Según el tipo de señal

- De CC:
  - En fuentes de alimentación o para activación de actuadores(válvulas, motores, lámparas, relés..)
- De Señal:
  - Baja frecuencia: amplificación de transductores para medida
  - Media frecuencia: Amplificación de voz o música(20Hz-20KHz)
  - Alta frecuencia: Amplificación de video (15Hz-15MHz).
  - Señal de radiofrecuencia>20KHz.

### 3. Según la potencia

- De pequeña señal: Etapas previas de amplificación o para corrientes débiles.
- De potencia: últimas etapas de amplificación o para corrientes grandes.
- Clase A: No se recorta la señal.
- Clase B: La señal se recorta durante medio semiciclo.
- Clase C: La señal se recorta durante más de un semiciclo.
- Clase AB: La señal se recorta durante menos de un semiciclo

### 4. Según las etapas de amplificación

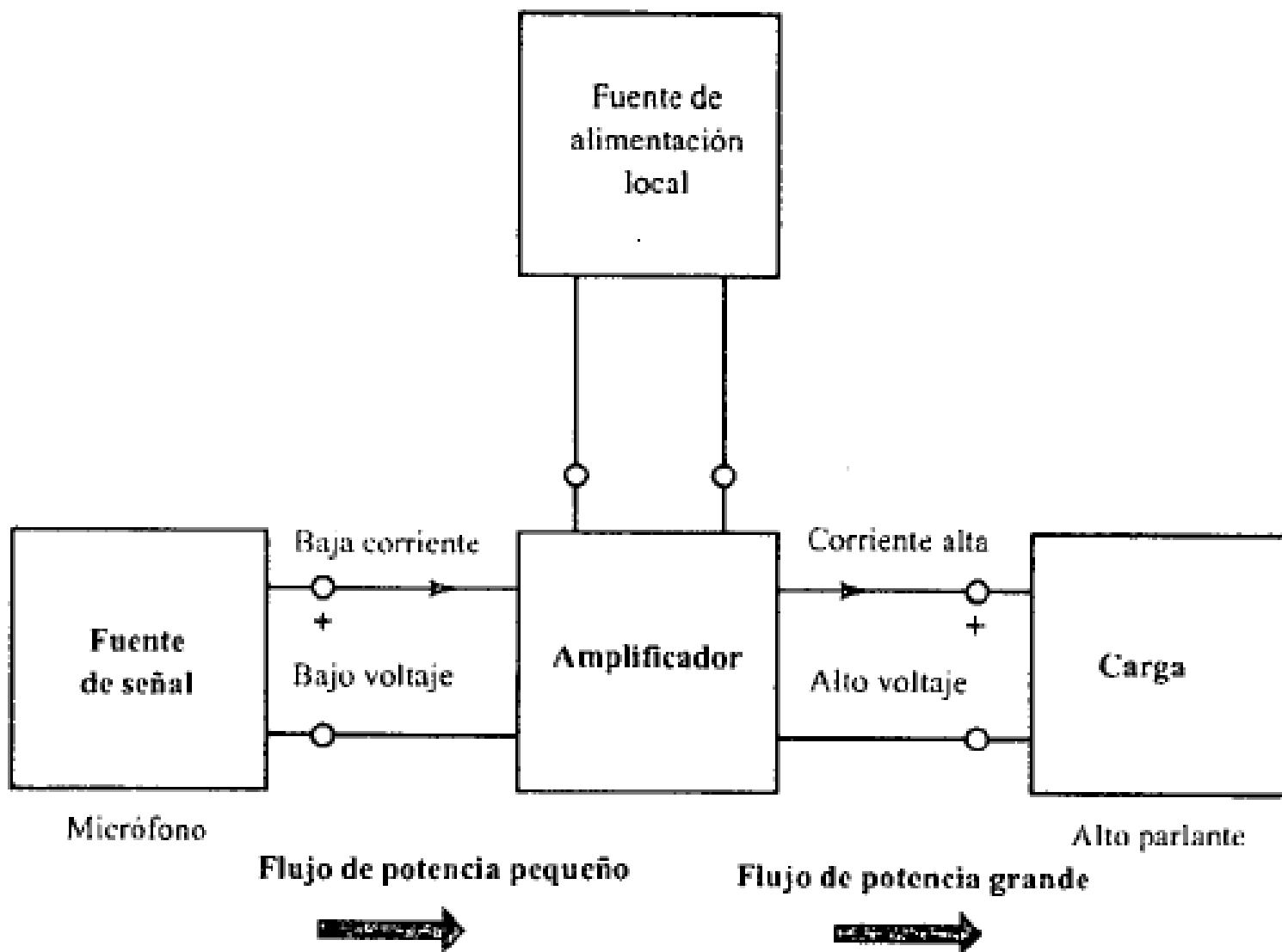
- Monoetapa: Simple, diferencial, realimentación.
- Multietapa Acoplamiento: Directo, RC, LC, con transformador.

# DEFINICIÓN DE UNA SEÑAL

Un circuito analógico se define generalmente como aquel que acepta un voltaje o corriente analógico como su señal de entrada y reproduce una señal analógica relacionada, como su salida. Si la salida es reproducción fiel y proporcional de la entrada, se dice que el circuito es *lineal*. Como hemos visto en los dos capítulos anteriores, la operación correcta de la mayor parte de los dispositivos de tres terminales requiere que se agreguen componentes de cd a los voltajes y corrientes en los puertos de entrada y de salida de los dispositivos. Estos componentes de cd existen independientemente de cualquier fluctuación de la señal y no constituyen información de la señal pasando a través del circuito. El término *señal*, por tanto, es utilizado para significar únicamente aquellas fluctuaciones de un voltaje o corriente dados, que transmiten información. Cualquier nivel de cd fijo al cual quedan superpuestas dichas señales, se conoce como componente de *polarización*. El diseño o análisis de un circuito analógico funcional generalmente requiere que se tome en consideración el valor *total* de un voltaje o de una corriente —la señal más la polarización—, aunque únicamente la componente de señal pudiera ser de interés.

Específicamente, el componente de polarización de un voltaje o de una corriente queda identificado por una variable en *mayúsculas*, con subíndice en *mayúsculas*. En forma similar, la señal o componente alterna de un voltaje o corriente queda identificado por una variable en *minúsculas* y un subíndice en *minúsculas*. La señal *total*, incluyendo la componente en cd más cualquier señal existente, se expresa mediante una variable *minúscula* con un subíndice en *mayúscula*.

$$\begin{array}{rclcl} v_{IN} & = & V_{BB} & + & v_s \\ \text{señal} & & & & \\ \text{total} & = & \text{componente} & + & \text{componente} \\ & & \text{cd} & & \text{de señal} \end{array}$$



## ***DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA***

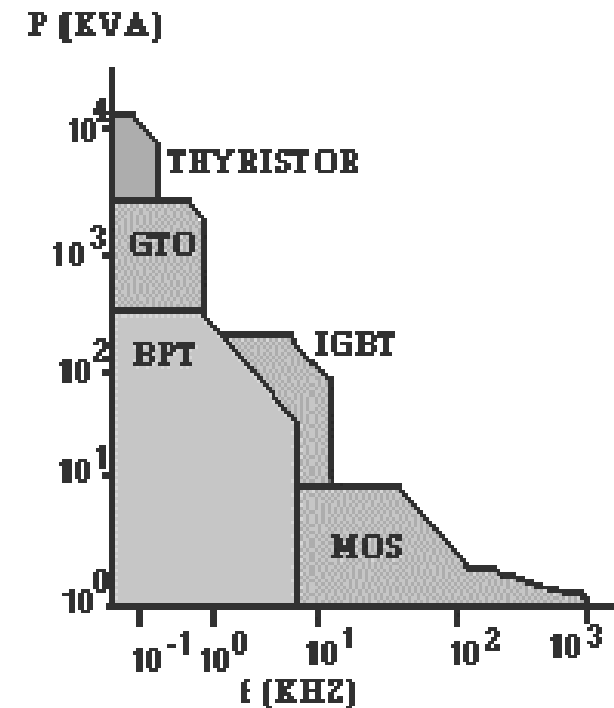
Dentro de los dispositivos electrónicos de potencia, podemos citar: los diodos y transistores de potencia, el tiristor, así como otros derivados de éstos, tales como los triac, diac, transistor uniunión o UJT, el transistor uniunión programable o PUT y el diodo Shockley.

El componente básico del circuito de potencia debe cumplir los siguientes requisitos :

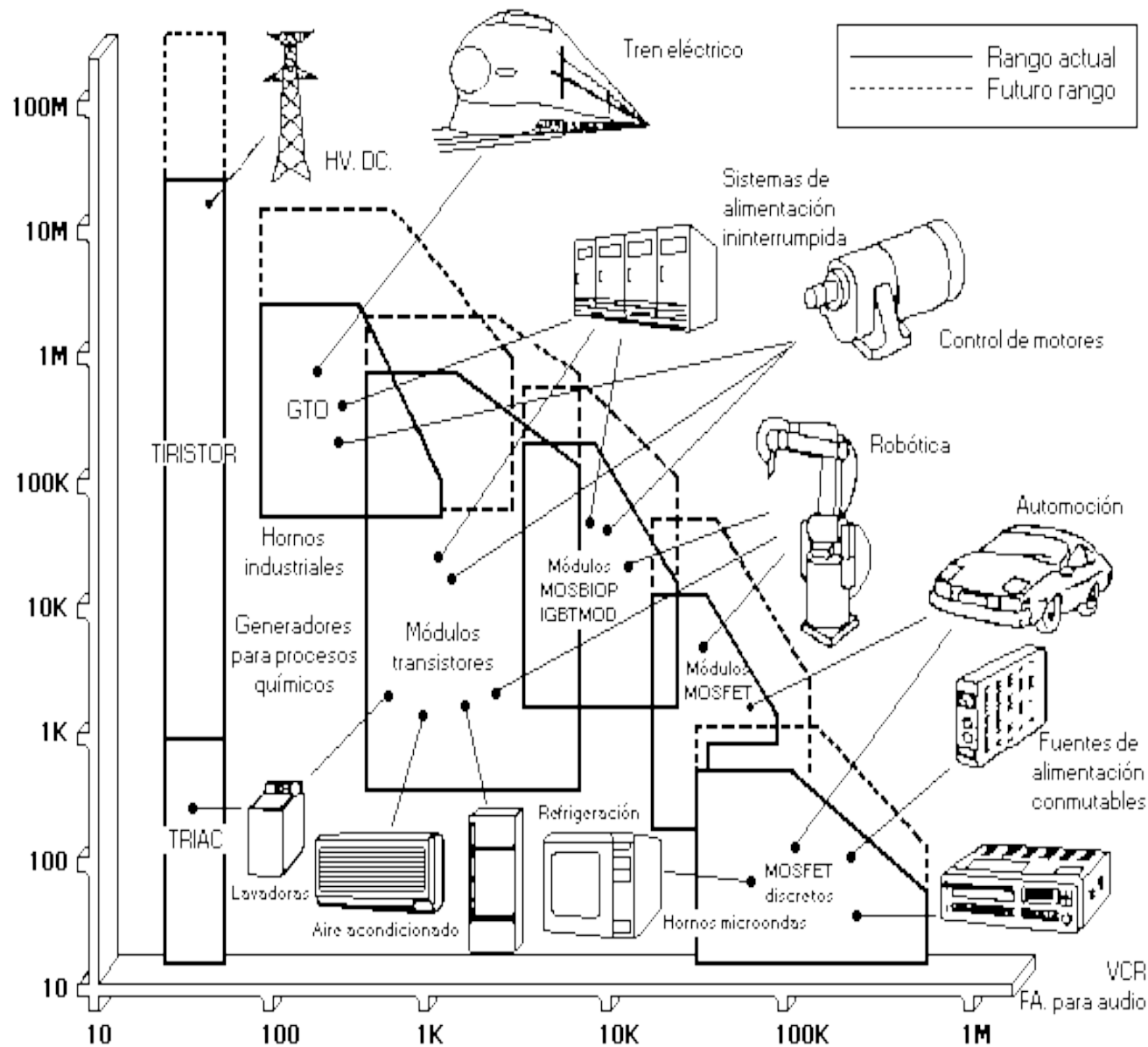
- Tener dos estados claramente definidos, uno de alta impedancia (bloqueo) y otro de baja impedancia (conducción).
- Poder controlar el paso de un estado a otro con facilidad y pequeña potencia.
- Ser capaces de soportar grandes intensidades y altas tensiones cuando está en estado de bloqueo, con pequeñas caídas de tensión entre sus electrodos, cuando está en estado de conducción. Ambas condiciones lo capacitan para controlar grandes potencias.
- Rapidez de funcionamiento para pasar de un estado a otro.

El último requisito se traduce en que a mayor frecuencia de funcionamiento habrá una mayor disipación de potencia. Por tanto, la potencia disipada depende de la frecuencia.

	Dispositivo	Intensidad máxima
Alta potencia	Rectificadores estándar o rápidos	50 a 4800 Amperios
	Transistores de potencia	5 a 400 Amperios
	Tiristores estándar o rápidos	40 a 2300 Amperios
	GTO	300 a 3000 Amperio
	Módulos de transistores	5 a 600 A. 1600 V.
	SCR / módulos rectificadores	20 a 300 A. 2400 V.
Baja potencia	Módulos GTO	100 a 200 A. 1200 V.
	IGBT	50 a 300A. 1400V.
	SCR	0'8 a 40 A. 1200 V.
	Triac	0'8 a 40 A. 800 V
	Mosfet	2 a 40 A. 900 V



Capacidad en VA

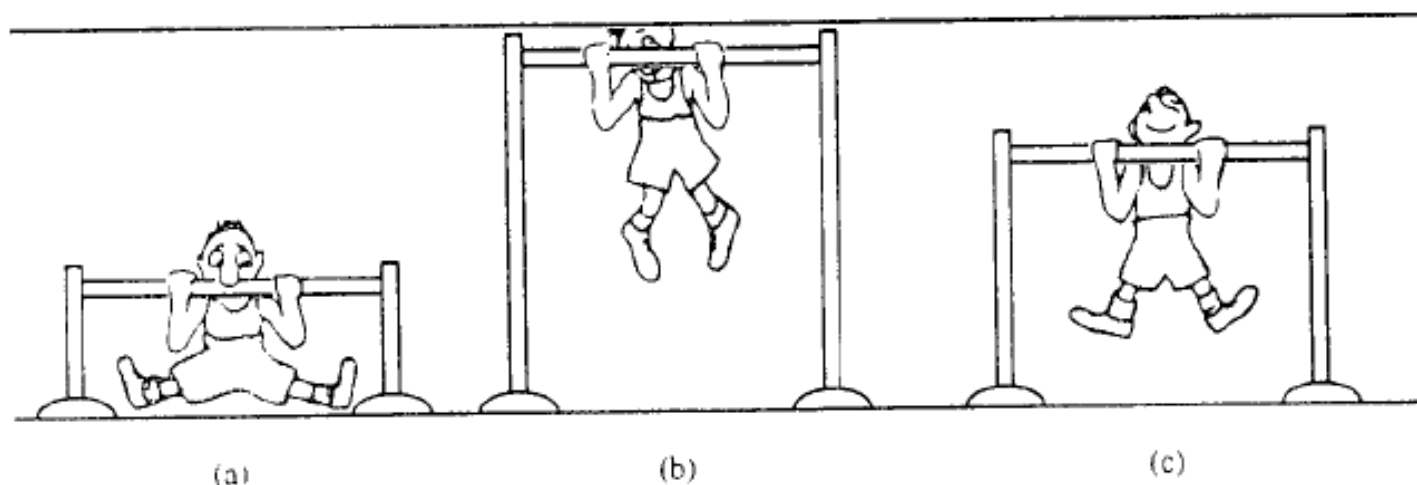


Frecuencia de operación en Hz



## Conceptos generales de la polarización

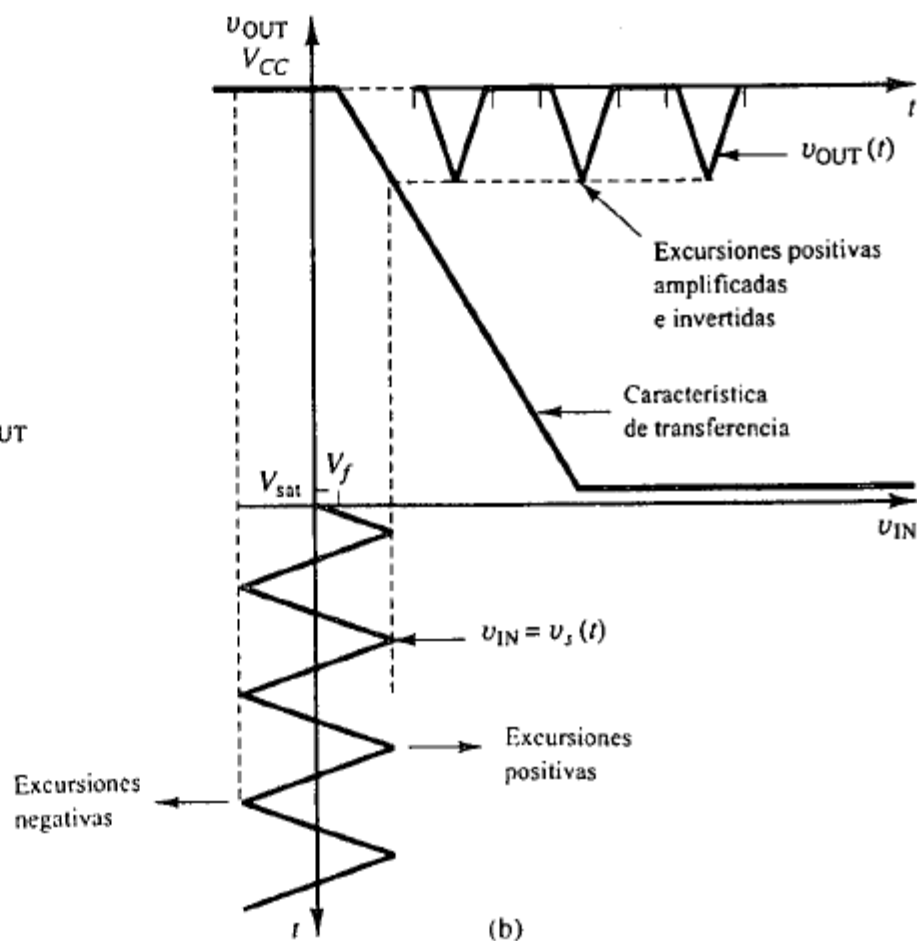
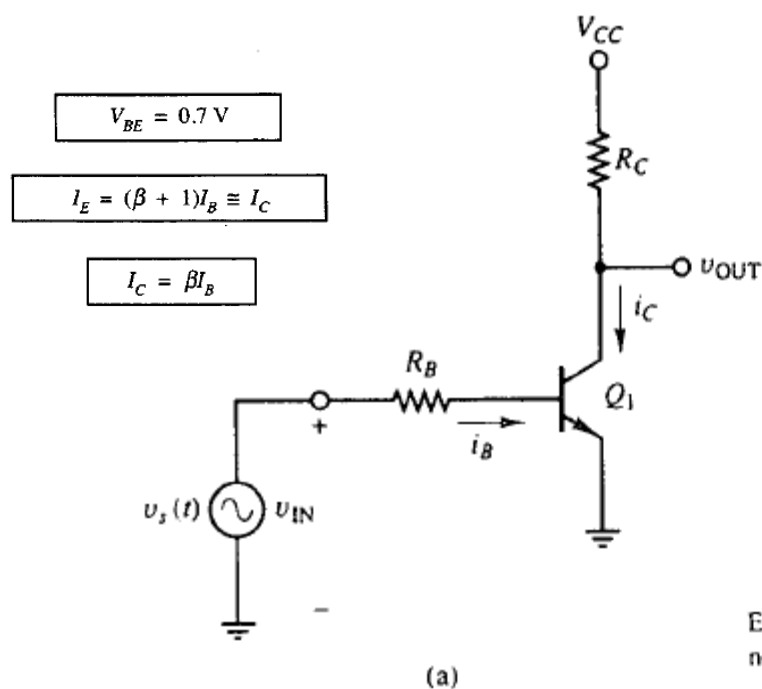
La idea de la polarización se ilustra fácilmente mediante una analogía física. Imagine el movimiento de un gimnasta "haciendo barra", elevándose y descendiendo periódicamente sobre una barra horizontal, según se muestra en la figura 7.3. Si la barra está demasiado cerca del piso, cuando el gimnasta desciende golpeará el piso con sus pies. En forma similar, si la barra está demasiado cerca del techo, cuando se levante el gimnasta golpeará su cabeza en él. Si el gimnasta debe subir y bajar con igual facilidad, la barra horizontal debe estar soportada o polarizada, a una altura apropiada, a medio camino entre techo y piso. El techo y el piso representan las grandes no linealidades del posible lugar de movimientos del gimnasta; la altura de la barra representa el componente de polarización de  $cd$  que se requiere si ninguno de los límites no lineales debe ser alcanzado al hacer el gimnasta sus ejercicios.



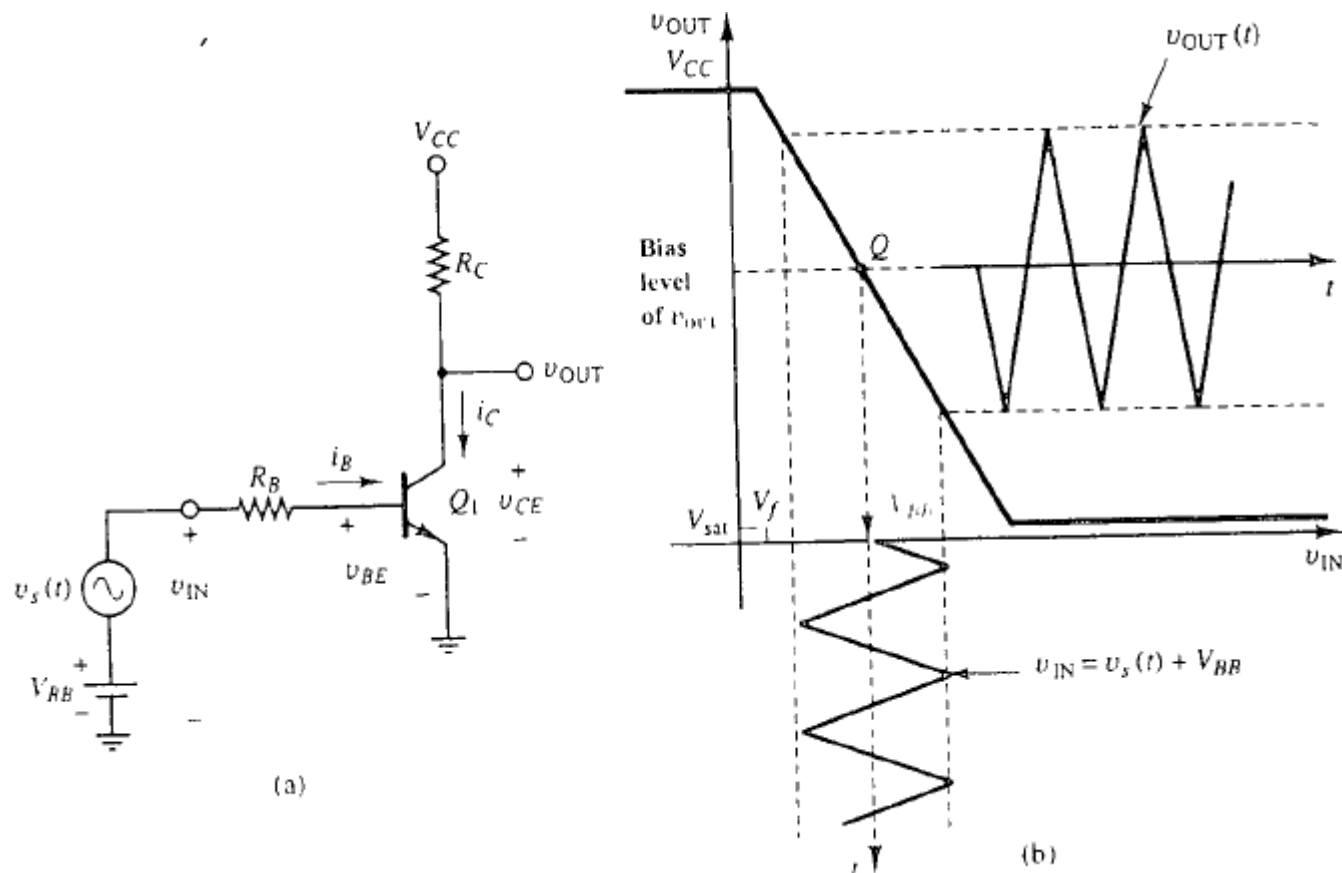
El término *polarización* que aparece en el título de este capítulo es un término que comprende todo lo relacionado para la aplicación de voltajes de  $dc$ , que ayudan a establecer un nivel fijo de corriente y voltaje dentro de la *región activa*.

## Técnicas de polarización para el BJT

Las excursiones positivas de  $v_{IN}$  mayores que  $V_f$  harán que el transistor entre en su región activa, pero las excursiones negativas de  $v_s(t)$  pondrán en polarización inversa la unión base-emisor, haciendo que el BJT se mantenga en estado de corte. Así la respuesta del amplificador de la figura 7.4(a) a un  $v_s(t)$  simétrico será un  $v_{OUT}(t)$  asimétrico, como se muestra en la característica de transferencia del inversor de la figura 7.4(b).



Si se conecta una fuente de polarización cd  $V_{BB}$  en serie con  $v_s$ , como en la figura 7.5(a), se agregará un componente de polarización en cd a  $v_{IN}$ , el cual hará que se agreguen componentes de polarización a las corrientes  $i_B$  e  $i_C$  y también a  $v_{CE}$ . Estos componentes de polarización serán independientes de  $v_s(t)$  y existirán incluso cuando  $v_s(t) = 0$ . Si el componente de polarización de  $i_B$  es suficientemente alto, las excursiones negativas de  $v_s(t)$  no harán que el transistor pase a corte. Más bien, el valor total de  $i_B$ , igual a la polarización más la componente de señal, se mantendrán todavía positivos y simplemente se reducirán (se harán menos positivos) cuando  $v_s(t)$  es negativo. Este decremento en  $i_B$  causará, a su vez, que  $i_C$  caiga por debajo de su valor de polarización, pero no será cero. En forma similar, los incrementos positivos en  $v_{IN}$  seguirán causando un incremento en  $i_B$ , e  $i_C$  se incrementará en respuesta, siempre y cuando el inversor no entre en situación de saturación.



## TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL BJT

Lo que se busca con la técnica de polarización para el BJT es obtener un valor promedio tanto a la entrada “Vbb-Prom” como a la salida del circuito “Vout-prom” que permita a la señal análoga “información” conocer un máximo y un mínimo de su amplitud el ingresar y salir del transisto y así evitar perdida de información al pasarse de dichos límites.

El paso a paso de la técnica de polarización del BJT es la siguiente:

1. Hallar los valores de salida “Vout”, en el limite on-off así como en el limite activa-saturación. Al tiempo se deben hallar los valores a la entrada del transistor “Vbb” en cada zona anteriormente mencionada.
2. Halla el promedio de voltaje entre el limite on-off y activa saturación “Vout-prom”. Esto se logra sumando lo obtenido en los dos limites y dividiendo entre dos.

$$Vout-prom = ( Vout-limite corte + Vout-limite-satur ) / 2$$

$$Vbb-prom = (Vbb-liimite corte + Vbb-limite satur) / 2$$

3. Se procede a calcular la amplitud que puede tener la señal con información “señal analógica”, en la entrada y en la salida del transistor.

La amplitud de la señal análoga a la salida del circuito será

$$V_{s-Out} = V_{out-zona} - V_{out-prom}$$

$$V_{s-Out-lim-corte} = V_{out-corte} - V_{out-prom}$$

$$V_{s-Out-lim-sat} = V_{out-satu} - V_{out-prom}$$

Los valores de amplitud  $V_s$  de la señal análoga en la entrada se calculan así:

$$V_{s-In} = V_{bb-zona} - V_{bb-prom}$$

$$V_{s-In-limite-corte} = V_{bb-corte} - V_{bb-prom}$$

$$V_{s-In-limite-sat} = V_{bb-saturado} - V_{bb-prom}$$

La ganancia de la señal amplificada  $A_{Vo}$  se calcula así:

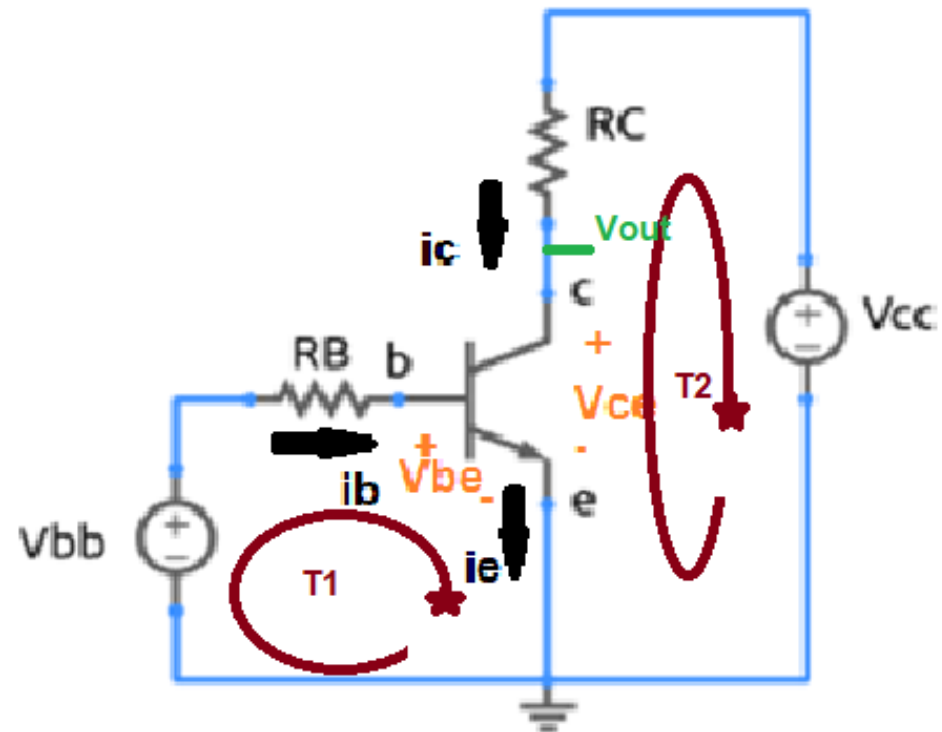
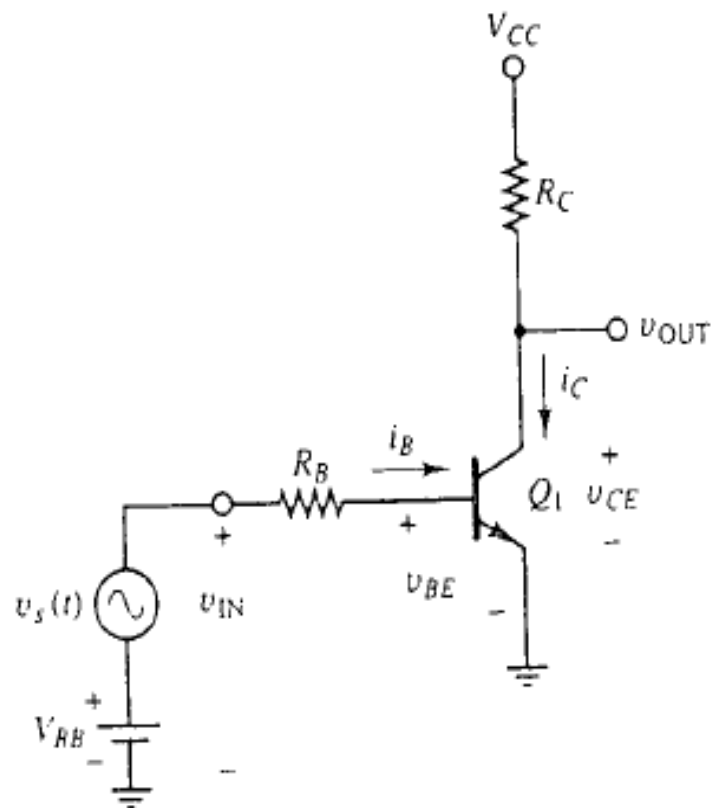
$$A_{Vout} = V_o/V_s = V_{s-Out} / V_{s-In}$$

$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-corte} / V_{s-In-limite-corte}$$

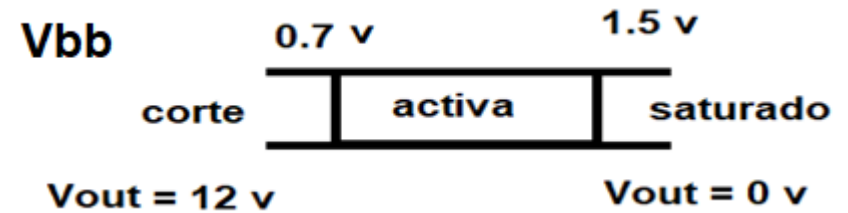
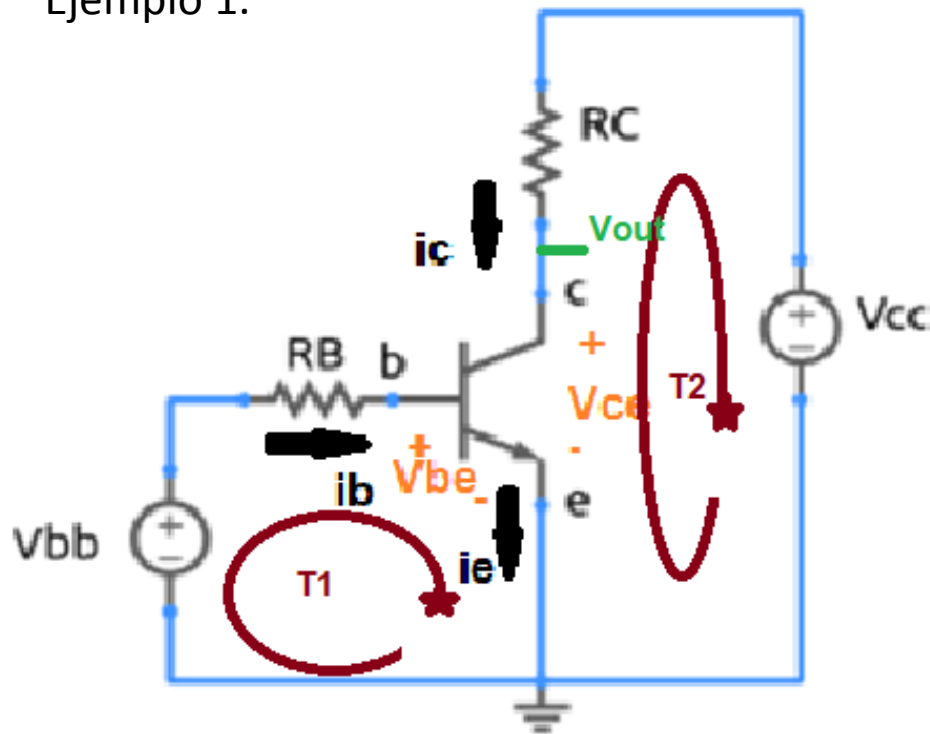
$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-sat} / V_{s-In-limite-sat}$$

## Ejemplo 1.

En un circuito al que se le agrega una señal con información como el de la figura, lo primero que se hace es apagar la fuente con dicha información “AC”. El circuito que se obtiene es el mismo que se analizado en el capítulo anterior.



## Ejemplo 1.

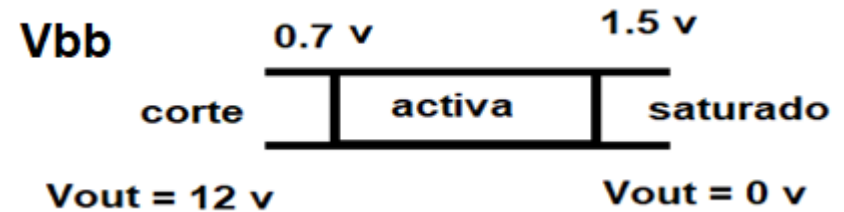


Con los datos obtenidos en el circuito inversor se procede a obtener los valores necesarios para obtener la amplitud de una señal que se ingrese a la entrada  $V_s(t)$  del este circuito

$$V_{out-prom} = (V_{out-limite\ corte} + V_{out-limite-satur}) / 2 = (12 + 0) / 2 = 6\text{ v}$$

$$V_{bb-prom} = (V_{bb-liimite\ corte} + V_{bb-limite\ satur}) / 2 = (0,7 + 1,5) / 2 = 1,1\text{ v}$$

Ejemplo 1.



$$V_{out-prom} = (V_{out-limite\ corte} + V_{out-limite-satur}) / 2 = (12 + 0) / 2 = 6\text{ v}$$

$$V_{bb-prom} = (V_{bb-limite\ corte} + V_{bb-limite\ satur}) / 2 = (0,7 + 1,5) / 2 = 1,1\text{ v}$$

$$V_{s-Out} = V_{out-zona} - V_{out-prom}$$

$$V_{s-Out-lim-corte} = V_{out-corte} - V_{out-prom} = 12 - 6 = 6\text{ v}$$

$$V_{s-Out-lim-sat} = V_{out-satu} - V_{out-prom} = 0 - 6 = -6\text{ v}$$

Los valores de amplitud  $V_s$  de la señal análoga en la entrada se calculan así:

$$V_{s-In} = V_{bb-zona} - V_{bb-prom}$$

$$V_{s-In-limite-corte} = V_{bb-corte} - V_{bb-prom} = 0,7 - 1,1 = -0,4\text{ v}$$

$$V_{s-In-limite-sat} = V_{bb-saturado} - V_{bb-prom} = 1,5 - 1,1 = 0,4\text{ v}$$



### Ejemplo 1.

$$V_{s\text{-Out-lim-corte}} = V_{\text{out-corte}} - V_{\text{out-prom}} = 12 - 6 = 6 \text{ v}$$

$$V_{s\text{-Out-lim-sat}} = V_{\text{out-satu}} - V_{\text{out-prom}} = 0 - 6 = -6 \text{ v}$$

$$V_{s\text{-In-limite-corte}} = V_{\text{bb-corte}} - V_{\text{bb-prom}} = 0,7 - 1,1 = -0,4 \text{ v}$$

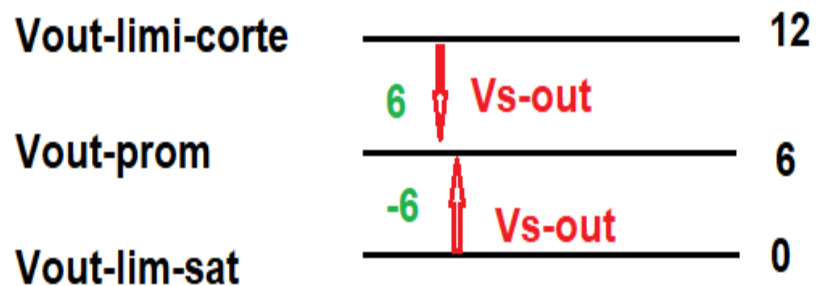
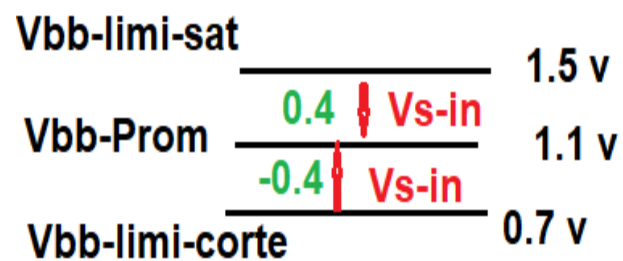
$$V_{s\text{-In-limite-sat}} = V_{\text{bb-saturado}} - V_{\text{bb-prom}} = 1,5 - 1,1 = 0,4 \text{ v}$$

La ganancia del circuito a la salida del transistor sera

$$A_{V_{\text{out}}} = V_{s\text{-Out-lim-corte}} / V_{s\text{-In-limite-corte}} = 6 / -0,4 = -15$$

$$A_{V_{\text{out}}} = V_{s\text{-Out-lim-sat}} / V_{s\text{-In-limite-sat}} = -6 / 0,4 = -15$$

El negativo indica que se trata de una configuración inversora de señal.



## TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL BJT

### Ejemplo

Para el inversor BJT de la figura 7.5, supongamos que  $V_{CC} = 10\text{ V}$ ,  $R_C = 2.2\text{ k}\Omega$  y  $R_B = 22\text{ k}\Omega$ . Si el voltaje de entrada  $v_s(t)$  es simétrico (excursiones iguales positivas y negativas), determine el voltaje de polarización  $V_{BB}$ , tal que el  $v_s(t)$  más grande posible pueda ser amplificado sin llevar al inversor a corte o a saturación. Para fines de ilustración, suponga que el BJT tiene parámetros  $\beta_F = 100$ ,  $V_f = 0.7\text{ V}$  y  $V_{sat} = 0.2\text{ V}$ . Determine también la magnitud del  $v_s(t)$  más grande que puede ser amplificado si se establece ese punto de polarización.

$$V_{CC} = 10\text{ v}$$

Para el circuito mostrado, compruebe que:

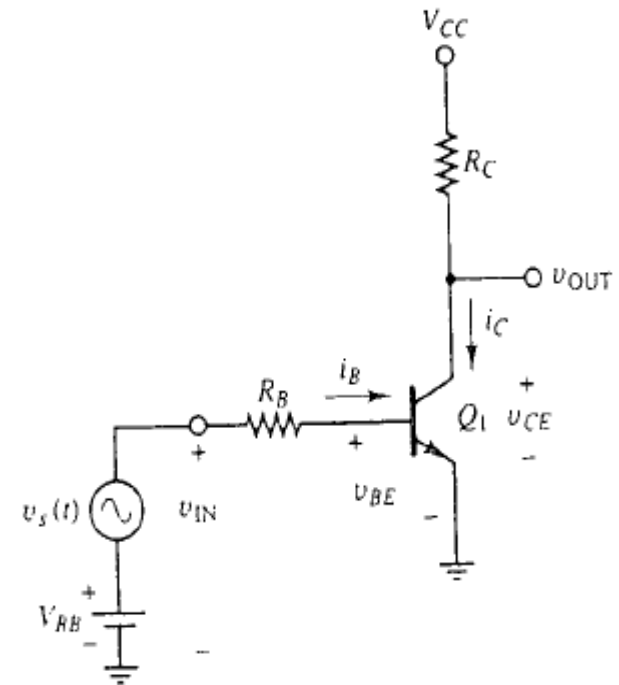
$$V_{out-corte} = V_{CC} = 10\text{ v} \text{ y en } V_{ce} = V_{out-sat} = 0.2\text{ v}$$

$$\begin{aligned} V_{outMedio} &= (V_{out-corte} + V_{out-sat}) / 2 \\ &= (10 + 0.2) / 2 = 5.1\text{ v} \end{aligned}$$

Rampa o punto medio

$$\begin{aligned} V_{sOut} &= V_{out-corte} - V_{out-medio} = 10 - 5.1 = 4.9\text{ v} \\ V_{sOut} &= V_{out-satu} - V_{out-medio} = 0.2 - 5.1 = -4.9\text{ v} \end{aligned}$$

Esta será la amplitud de la señal analógica en la salida  $V_{out}$



Obtenido el valor promedio de  $V_{out}$  se procede a encontrar el valor de la entrada  $V_{BB}$  en ese valor de salida.

$$T2: -V_{out} - I_c R_c + V_{cc} = 0$$

$$I_c = (V_{cc} - V_{out}) / R_c = (10 - 5,1) / 2,2 = 2,227 \text{ mA}$$

Como nos encontramos en la zona activa

$$I_c = \beta I_b$$

$$I_c / \beta = I_b = 0,022 \text{ mA}$$

$$T1: -V_{BB} - V_s + I_b R_b + V_{be} = 0$$

$$\text{haciendo } V_s(t) = 0$$

$$V_{BB} = I_b R_b + 0,7 = 0,022 * 22 + 0,7$$

$$V_{BB} = 1,19 \text{ v}$$

$$\mathbf{V_{BB-promedio} = 1.19 \text{ v}}$$

**Hallamos  $V_{BB}$  para zona limite de corte donde  $I_b = I_c = 0A$**

$$-V_{BB} + I_b R_b + V_{be} = 0$$

$$V_{BB} = I_b R_b + 0,7 = 0 + 0,7$$

$$V_{BB} = 0,7 \text{ v}$$

$$\mathbf{V_{BB-Corte} = 0.7 \text{ v}}$$

**Hallamos VBB para zona limite saturación donde  $I_b = I_c$  y  $V_{be} = 0.7$  de saturación**

$$\begin{aligned} T2: \quad & -V_{ce-sat} - I_{c-sat} \cdot R_c + V_{cc} = 0 \\ & I_{c-sat} = (V_{cc} - V_{ce-sat}) / R_c = (10 - 0,2) / 2,2 = 4,45 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T1: \quad & -V_{BB} + I_b \cdot R_b + V_{be} = 0; \\ & I_{b-sat} = (V_{BB} - V_{be}) / R_b = (V_{bb} - 0.7) / 22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Condición: } & I_{c-sat} < \beta I_{b-sat} \\ & 4.45 < 100 \cdot (V_{bb} - 0.7) / 22 \\ & V_{BB} = 1,68 \text{ v} \\ & \mathbf{V_{BB-Sat} = 1,68 \text{ v}} \end{aligned}$$

**Procedemos a obtener la amplitud de la señal de entrada análoga  $V_s$ :**

$$V_s = V_{BB-zona} - V_{BB-promedio}$$

**Para zona corte**

$$\begin{aligned} V_s &= V_{BB-corte} - V_{BB-medio} \\ &= 0,7 - 1,19 \\ &= \mathbf{-0,49 \text{ v}} \end{aligned}$$

**Para zona saturación**

$$\begin{aligned} V_s &= V_{BB-sat} - V_{BB-medio} \\ &= 1,68 - 1,19 \\ &= \mathbf{0,49 \text{ v}} \end{aligned}$$

Como se observa, para el circuito analizado se encontró que la entrada de la señal con información  $V_s$ , podrá tener como máximo una amplitud de  $+ - 0.49$  v y al salir de circuito por  $V_{out}$  podrá amplificarse a un nivel de  $+ - 4.9$  v.

La ganancia de la señal análoga amplificada se puede calcular de dos maneras:

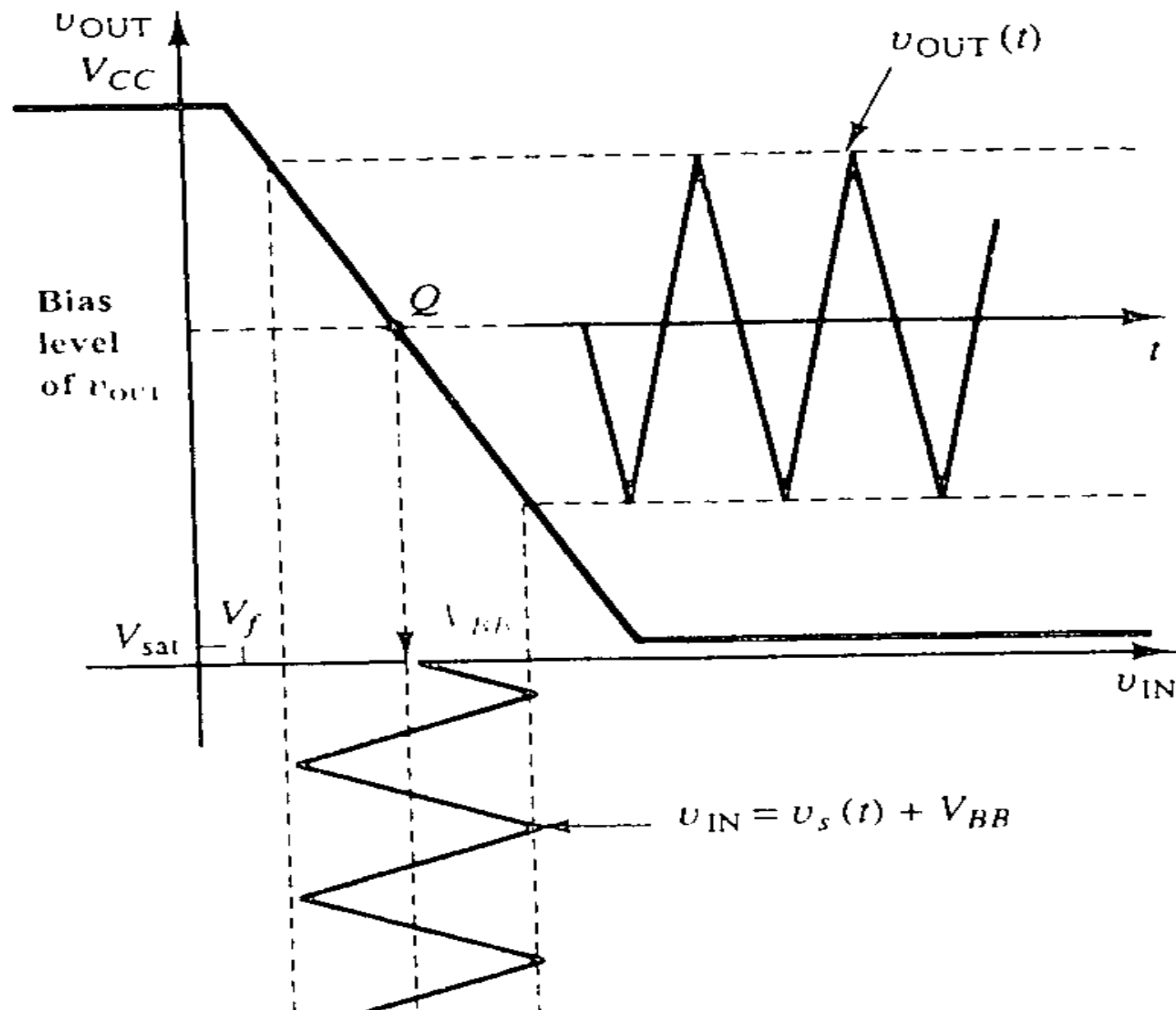
En la zona de saturación:

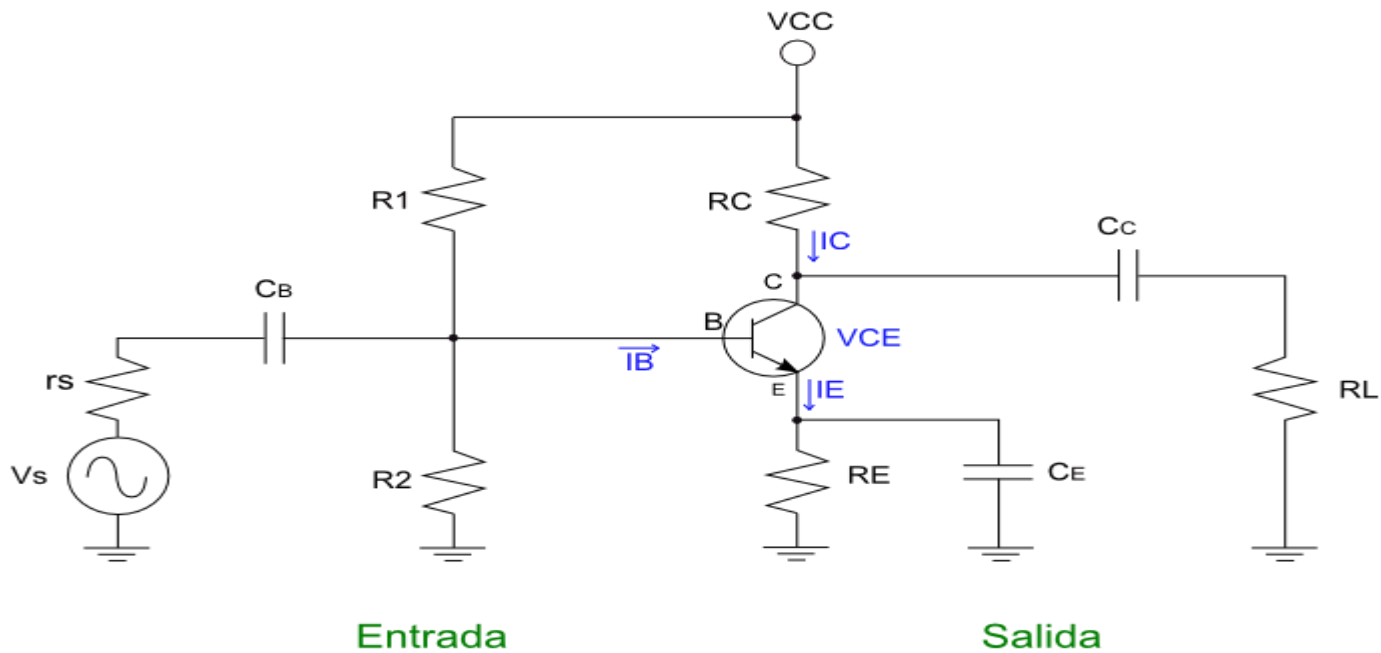
$$\begin{aligned} A_{vo} &= (V_{out-sat} - V_{out-medio})/V_{s-sat} \\ &= (0.2 - 5.1)/0.49 = -10 \end{aligned}$$

También con la zona de corte

$$\begin{aligned} A_{vo} &= (V_{out-corte} - V_{out-medio})/V_{s-corte} \\ &= (10 - 5.1)/-0.49 = -10 \end{aligned}$$

# TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL BJT



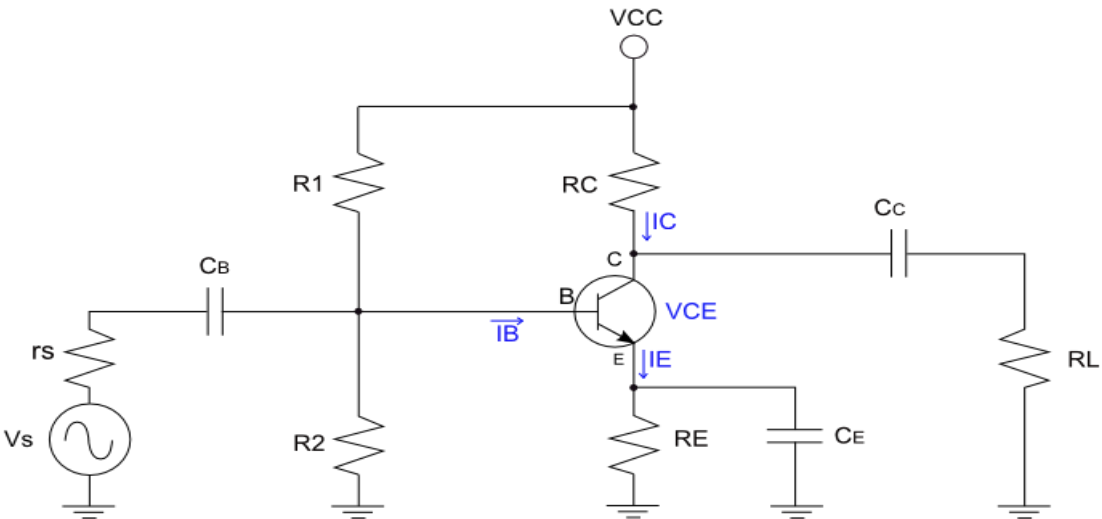


$C_b$  y  $C_c$  son condensadores de **ACOPLE**, y se encargan de dejar pasar solo la señal en AC.

El capacitor  $C_b$  en presencia de señal con información  **$V_s$**  " $I_s = V_s/R_s$ ", permite el paso de esta e ingresa por la base del transistor. Al salir del transistor esta señal pasa por los capacitores  $C_c$  y  $C_e$ .

En el capacitor  $C_c$  pasa a la carga  $R_L$ , indicando que se comportan como cortos en presencia de una señal en AC. Si no se tienen señales en AC se comportan como un circuito abierto. La señal que pasa por  $C_e$  se va a tierra.

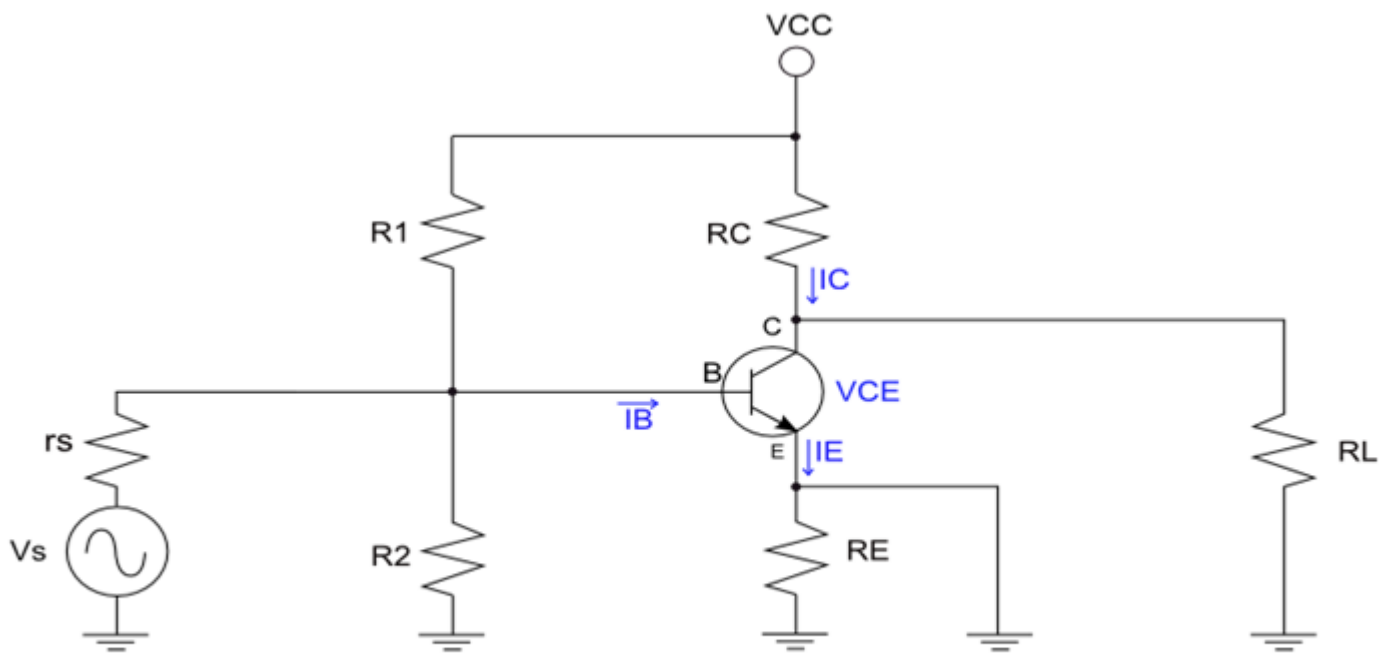




Entrada

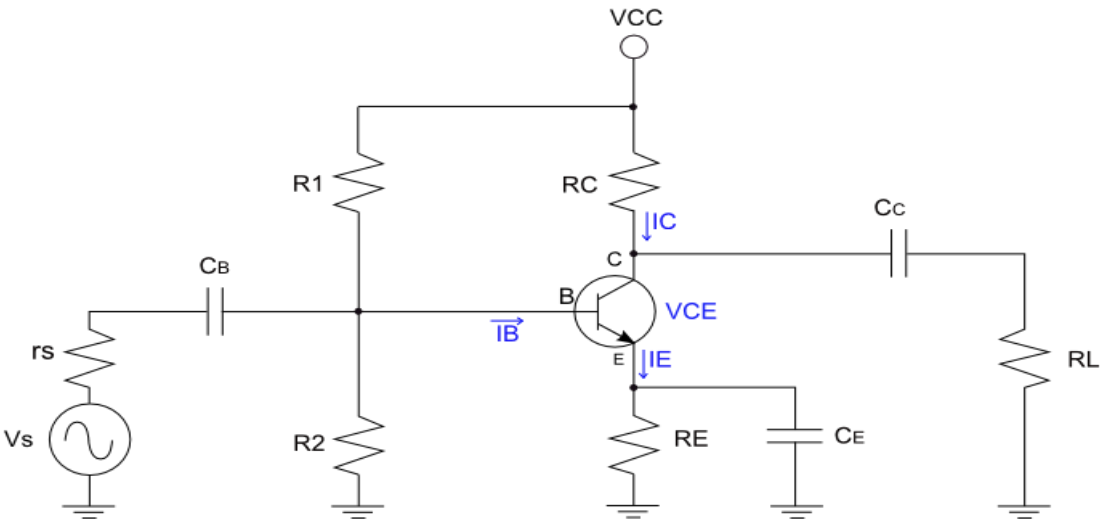
Salida

Circuito en presencia de una señal en AC en alta frecuencia.



Entrada

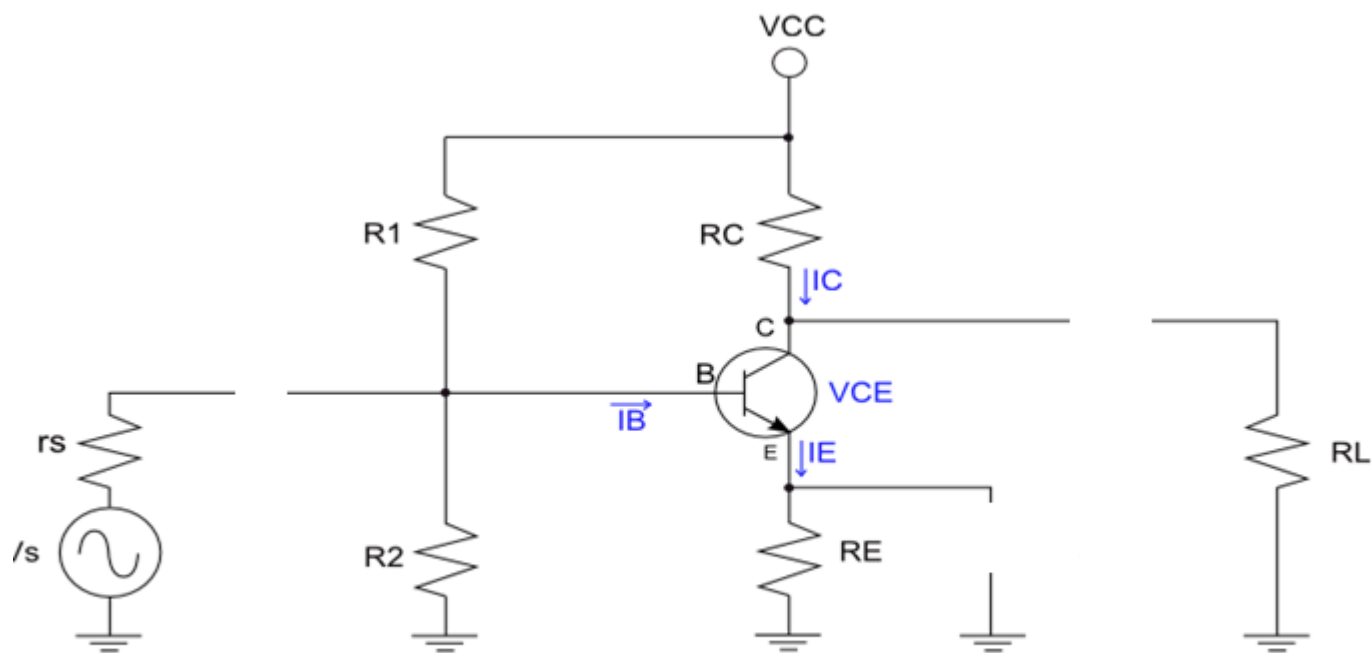
Salida



Entrada

Salida

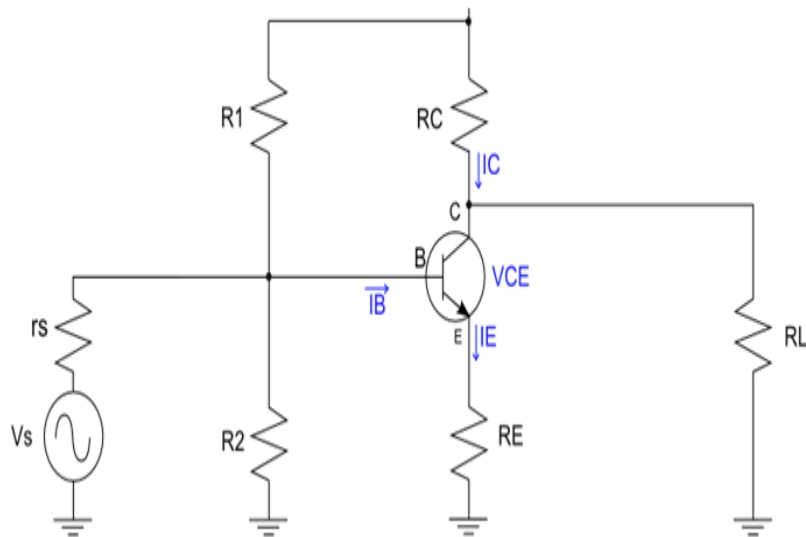
Circuito en  
ausencia de  
una señal en  
AC.



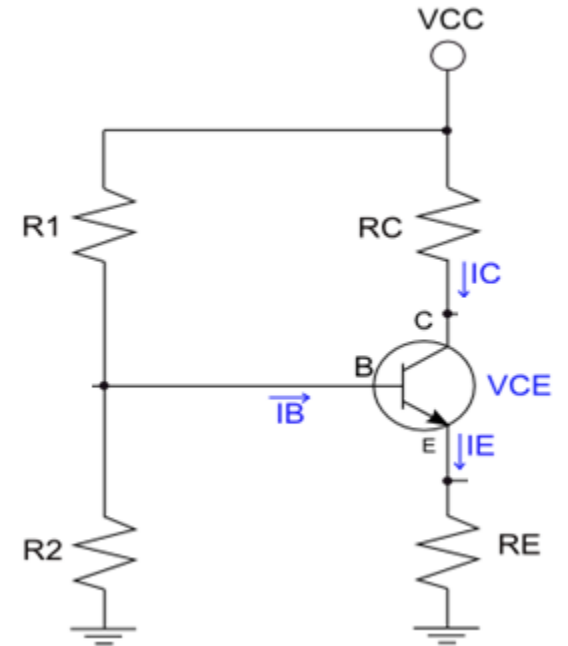
Entrada

Salida

Circuito con señal análoga



Circuito sin señal análoga



## Calculo de las capacitancias

$X_c$  = Reactancia capacitiva la cual en Dc es un circuito abierto y en Ac un corto, ver video condensador de acoplo y desacoplo.

<https://www.youtube.com/watch?v=agWUnkvAuz4>

Para calcular el condensador de acople se tiene la siguiente formula

$$X_c < 0.1R_2$$

Ej: si la frecuencia es de 20 Hz, y  $R_2 = 2k$

$$X_c = 200 \Omega$$

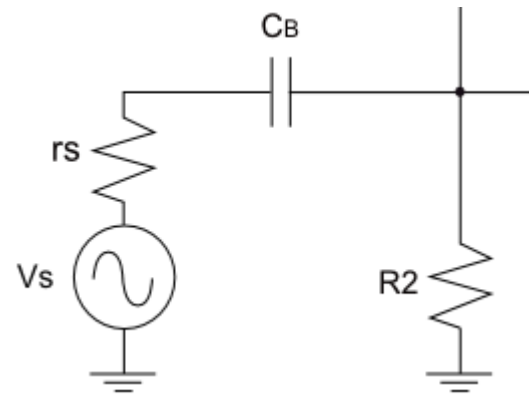
$$X_c = 1/2\pi fC$$

$$200 * 2 * 3.1416 * 20 = 1/C$$

$$C_B = 39.79 \mu F$$

$Z$  = Impedancia de entrada

$$Z = \sqrt{R^2 + x_c^2} = \sqrt{2000^2 + 200^2} = 2K$$



Para calcular el condensador de desacople  $C_E$ , se tiene la siguiente formula

$$X_C < 0.1R_E$$

Ej: si la frecuencia es de 20 Hz, y  $R_E = 0.1k$

$$X_C = 10 \Omega$$

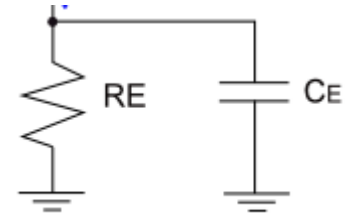
$$X_C = 1/2\pi fC$$

$$200 \times 2 \times 3.1416 \times 20 = 1/C$$

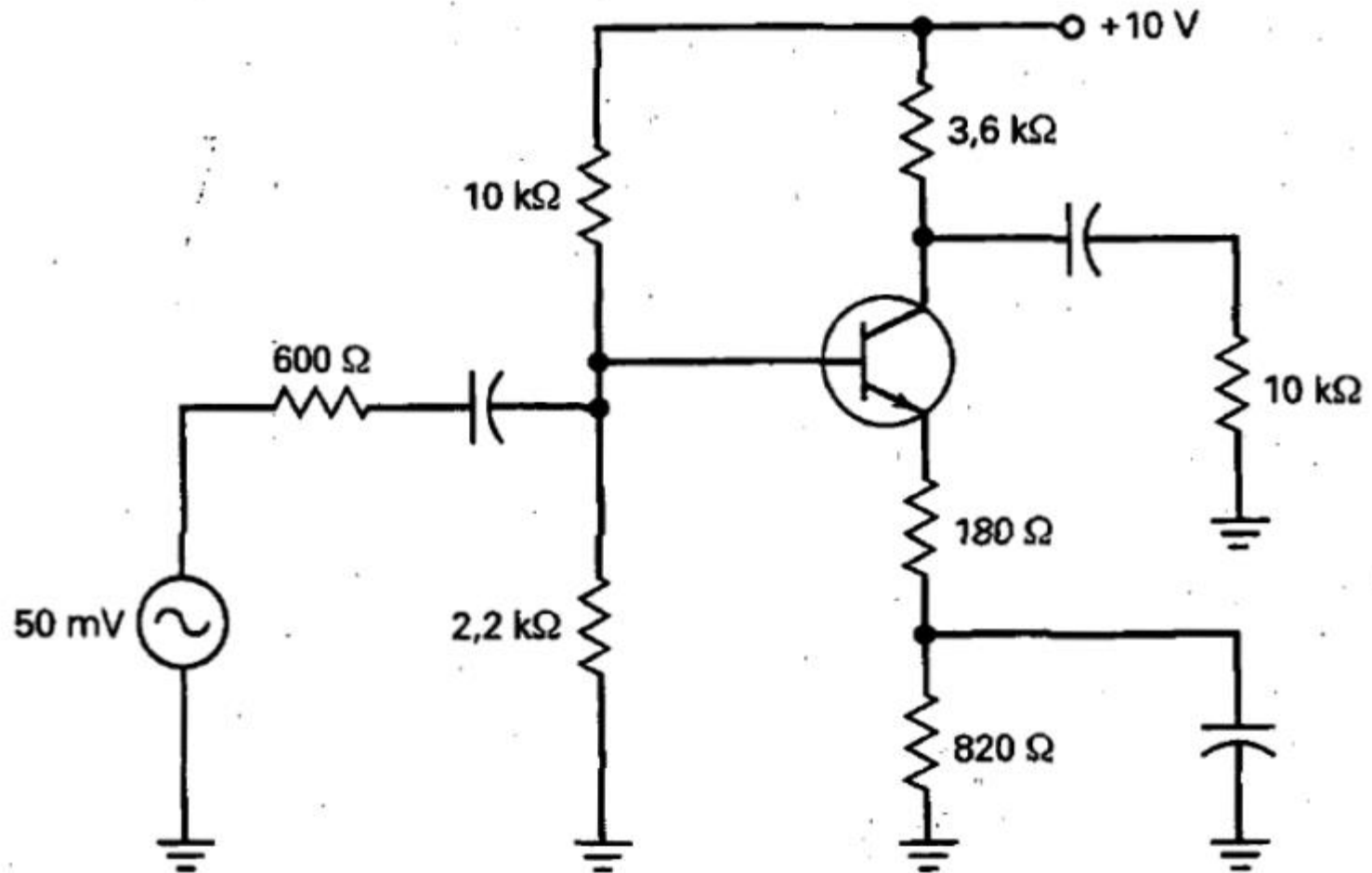
$$C_B = 795.77 \mu F$$

$Z$  = Impedancia de entrada

$$Z = \sqrt{R^2 + x_c^2} = \sqrt{2000^2 + 200^2} = 2K$$



Realice el cálculo de los condensadores de acople y desacople y el obtenga el valor de la amplitud de la señal  $V_s$  a la salida y la entrada del circuito.



## **Ayudas en internet**

<https://www.youtube.com/watch?v=9JZFjgmQS60>

<https://www.youtube.com/watch?v=rbt0klk3EFA>

<http://www.labc.usb.ve/paginas/mgimenez/EC1113/Contenido/clase15.pdf>

## TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL BJT

Lo que se busca con la técnica de polarización para el BJT es obtener un valor promedio tanto a la entrada “Vbb-Prom” como a la salida del circuito “Vout-prom” que permita a la señal análoga “información” conocer un máximo y un mínimo de su amplitud el ingresar y salir del transisto y así evitar perdida de información al pasarse de dichos límites.

El paso a paso de la técnica de polarización del BJT es la siguiente:

1. Hallar los valores de salida “Vout”, en el limite on-off así como en el limite activa-saturación. Al tiempo se deben hallar los valores a la entrada del transistor “Vbb” en cada zona anteriormente mencionada.
2. Halla el promedio de voltaje entre el limite on-off y activa saturación “Vout-prom”. Esto se logra sumando lo obtenido en los dos limites y dividiendo entre dos.

$$Vout-prom = ( Vout-limite corte + Vout-limite-satur ) / 2$$

$$Vbb-prom = (Vbb-liimite corte + Vbb-limite satur) / 2$$



3. Se procede a calcular la amplitud que puede tener la señal con información “señal analógica”, en la entrada y en la salida del transistor.

La amplitud de la señal análoga a la salida del circuito será

$$V_{s-Out} = V_{out-zona} - V_{out-prom}$$

$$V_{s-Out-lim-corte} = V_{out-corte} - V_{out-prom}$$

$$V_{s-Out-lim-sat} = V_{out-satu} - V_{out-prom}$$

Los valores de amplitud  $V_s$  de la señal análoga en la entrada se calculan así:

$$V_{s-In} = V_{bb-zona} - V_{bb-prom}$$

$$V_{s-In-limite-corte} = V_{bb-corte} - V_{bb-prom}$$

$$V_{s-In-limite-sat} = V_{bb-saturado} - V_{bb-prom}$$

La ganancia de la señal amplificada  $A_{Vo}$  se calcula así:

$$A_{Vout} = V_o/V_s = V_{s-Out} / V_{s-In}$$

$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-corte} / V_{s-In-limite-corte}$$

$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-sat} / V_{s-In-limite-sat}$$

## TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL MOSFET

Al igual que en la polarización del BJT, para el MOSFET se realizan los mismos cálculos

$$V_{out-prom} = ( V_{out-limite\ corte} + V_{out-limite-tríodo} ) / 2$$

$$V_{gg-prom} = (V_{gg-limite\ corte} + V_{gg-limite\ tríodo}) / 2$$

$V_{out-limite-corte}$     voltaje  $V_{out}$  en limite corte-encendido

$V_{out-limite\ tríodo}$     voltaje  $V_{out}$  en limite corriente continua – tríodo

$V_{out-prom}$  = voltaje promedio donde se ubicara el cero de la señal análoga

La amplitud de la señal análoga a la salida del circuito será:

$$V_{s-Out} = V_{out-zona\ limite} - V_{out-prom}$$

Los valores de la amplitud  $V_s$  de la señal análoga en la entrada se calculan así:

$$V_{s-In} = V_{gg-zona\ limite} - V_{gg-prom}$$

$$V_{gg-prom} = (V_{gg-limite\ corte} + V_{gg-limite\ tríodo}) / 2$$

La ganancia de la señal amplificada  $A_{vo}$  es:

$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-corte} / V_{s-In-limite-corte}$$

$$A_{Vout} = V_{s-Out-lim-sat} / V_{s-In-limite-sat}$$

## EJEMPLO TÉCNICA DE POLARIZACIÓN DEL MOSFET

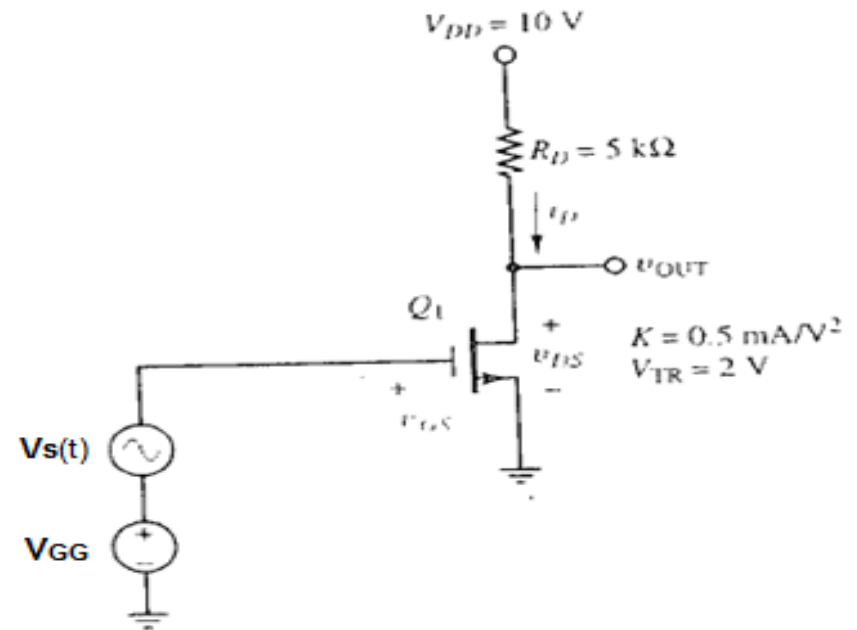
$$V_{outPromedio} = (V_{out-Corte} + V_{out-Triodo}) / 2$$

En zona limite corte-encendido  $I_d = 0$  A

de T2:  $-V_{out} - I_d \cdot R_D + V_{DD} = 0$

$$V_{out-corte} = V_{DD}$$

$$\mathbf{V_{out-corte} = 10\ V}$$



**Conocido  $V_{out-corte}$  procedo a encontrar el valor de  $V_{GG}$  en corte**

De T1:  $-V_{GG} - V_s(t) + V_{gs} = 0$  Hacemos  $V_s(t) = 0$

$$V_{GG} = v_{gs}$$

El momento exacto en que se enciende es cuando  $V_{gs} = V_{tr}$

$$V_{GG} = 2\text{ v}$$

$$\mathbf{V_{GG-Corte} = 2\text{ v}}$$

**Para el limite entre Corriente Constante y Trío do  $I_d = k(v_{ds})^2/2$  y  $V_{ds} = V_{GS} - V_{TR}$**

De T2 se tiene:

$$\begin{aligned} -V_{ds} - I_d \cdot R_d + V_{dd} &= 0; \\ -V_{ds} - (K \cdot v_{ds}^2/2) \cdot 5 + 10 &= 0 \\ -V_{ds} - (0,5 \cdot v_{ds}^2/2) \cdot 5 + 10 &= 0 \\ -1,25v_{ds}^2 - v_{ds} + 10 &= 0 \\ V_{ds} &= 2,45 \text{ V} \\ \mathbf{V_{ds} = V_{out}\text{-Trío do} = 2,45 \text{ v}} \end{aligned}$$

**Conocido  $V_{out}\text{-trío do}$  procedo a encontrar el valor de  $V_{GG}$  en trío do**

$$I_d = kv_{ds}^2 / 2 = 0.5 \cdot (2,45)^2 / 2 = 1,5 \text{ mA}$$

Como

$$\begin{aligned} V_{ds} &= V_{gs} - V_{tr} \\ V_{ds} + V_{tr} &= V_{gs} = 2,45 + 2 \\ V_{gs} &= 4,45 \text{ v} \end{aligned}$$

de T1:

$$\begin{aligned} V_{GG} &= V_{gs} \\ V_{GG} &= 4,45 \text{ v} \\ \mathbf{V_{GG}\text{-Trío do} = 4,45 \text{ V}} \end{aligned}$$

**Para el voltaje promedio Vout-Promedio entre la zona Corriente Constante y triodo se tiene:**

$$\mathbf{V_{out-promedio} = ( V_{out-Corte} + V_{out-Triodo}) / 2}$$

$$\mathbf{V_{out-promedio} = (10 + 2,45)/2 = 6,22 \text{ v}}$$

**Conocido Vout-promedio procedo a encontrar el valor de VGG correspondiente.**

De T2 se tiene:

$$\mathbf{I_d = (V_{dd} - V_{ds})/R_d = (10-6,22)/5 = 0,755 \text{ mA}}$$

Al estar en la zona promedio nos encontramos en la zona de corriente constante

$$\text{Como } I_d = k(V_{gs} - V_{tr})^2 / 2$$

$$\sqrt{2I_d/K} + V_{tr} = V_{gs}$$

$$\mathbf{V_{gs} = 3,73 \text{ v}}$$

De T1 se tiene:

$$\mathbf{V_{GG} = V_{gs}}$$

$$\mathbf{V_{GG\_Promedio} = 3,73 \text{ v}}$$

Ahora calculamos la amplitud de la señal análoga a la entrada.

$$V_s = V_{GG\text{-zona}} - V_{GG\text{-rampa}}$$

**Para zona corte**

$$\begin{aligned} V_s &= V_{GG\text{-corte}} - V_{GG\text{-rampa}} \\ &= 2 - 3.73 \\ &= \mathbf{-1.73\text{ v}} \end{aligned}$$

**Para Tríodo**

$$\begin{aligned} V_s &= V_{GG\_tríodo} - V_{gg\_medio} \\ &= 4,45 - 3,73 \\ &= \mathbf{0,72\text{ v}} \end{aligned}$$

Como se observa Para el Mosfet no hay linealidad para  $V_s$ , lo que nos indica que para amplificador lineal no es adecuada su utilización.

**Ahora calculamos la amplitud de la señal análoga a la entrada.**

$$V_{sOut} = V_{out-zona} - V_{out-medio}$$

$$\begin{aligned} V_{sOut} &= V_{out-corte} - V_{out-medio} \\ &= 10 - 6,22 \\ &= \mathbf{3,78 \text{ v}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sOut} &= V_{out-triodo} - V_{out-medio} \\ &= 2,45 - 6,22 \\ &= \mathbf{-3,78 \text{ v}} \end{aligned}$$

**La ganancia de la señal amplificada es:**

$$(V_{out-triodo} - V_{out-medio})/V_{s-trio} = (2,45 - 6,22)/0.72 = -5,23$$

$$(V_{out-corte} - V_{out-medio})/V_{s-corte} = (10 - 6,22)/-1.73 = -2,18$$

Como se observa, la ganancia no es simétrica.

## EN TRANSISTOR EN PEQUEÑA SEÑAL.

La polarización de un transistor es la responsable de establecer las corrientes y tensiones que fijan su punto de trabajo en la región activa (BJT) o corriente continua (MOSFET), regiones en donde los transistores presentan características más o menos lineales.

Al aplicar una señal alterna a la entrada, el punto de trabajo se desplaza y amplifica esa señal.

El análisis del comportamiento del transistor en amplificación se simplifica enormemente cuando se utiliza el llamado modelo de pequeña señal obtenido a partir del análisis del transistor a pequeñas variaciones de tensiones y corrientes en sus terminales.

El modelo de pequeña señal del transistor es a veces llamado modelo incremental de señal.

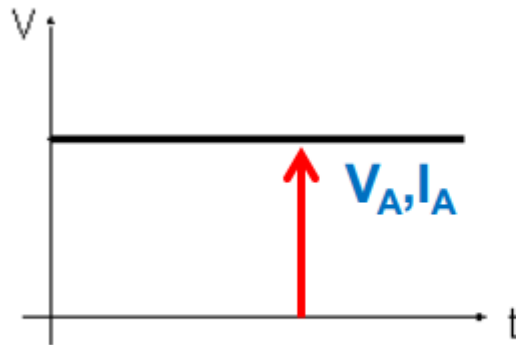
Los circuitos que se van a estudiar aquí son válidos a frecuencias medias, aspecto que se tendrá en cuenta en el siguiente tema.



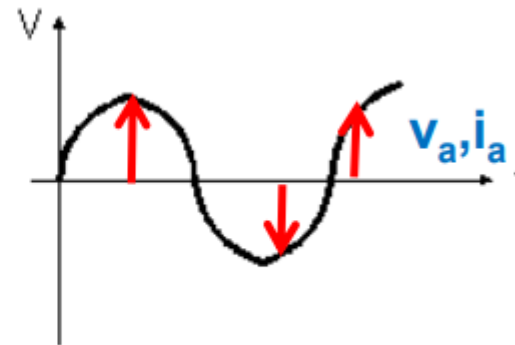
En la práctica, el estudio de amplificadores exige previamente un análisis en continua para determinar la polarización de los transistores. Tema que abarcamos en los capítulos anteriores.

Posteriormente, es preciso abordar los cálculos de amplificación e impedancias utilizando modelos de pequeña señal con objeto de establecer un circuito equivalente.

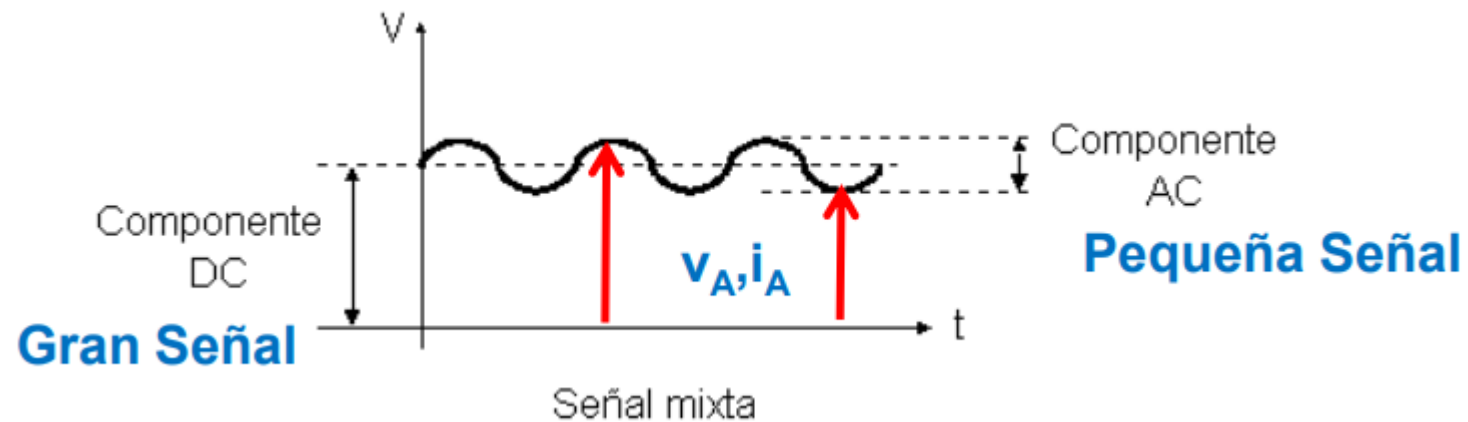
Ambas fases en principio son independientes pero están íntimamente relacionadas.



Señal continua (DC)



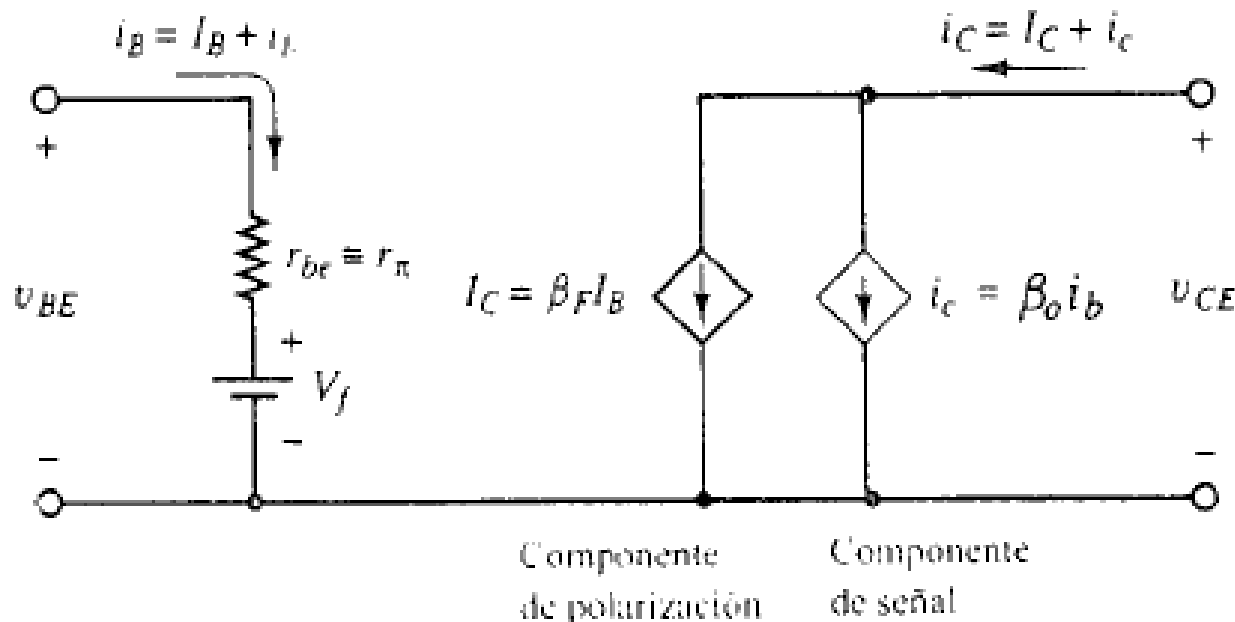
Señal alterna (AC)



**Cualquier Señal = Gran Señal + Pequeña Señal**

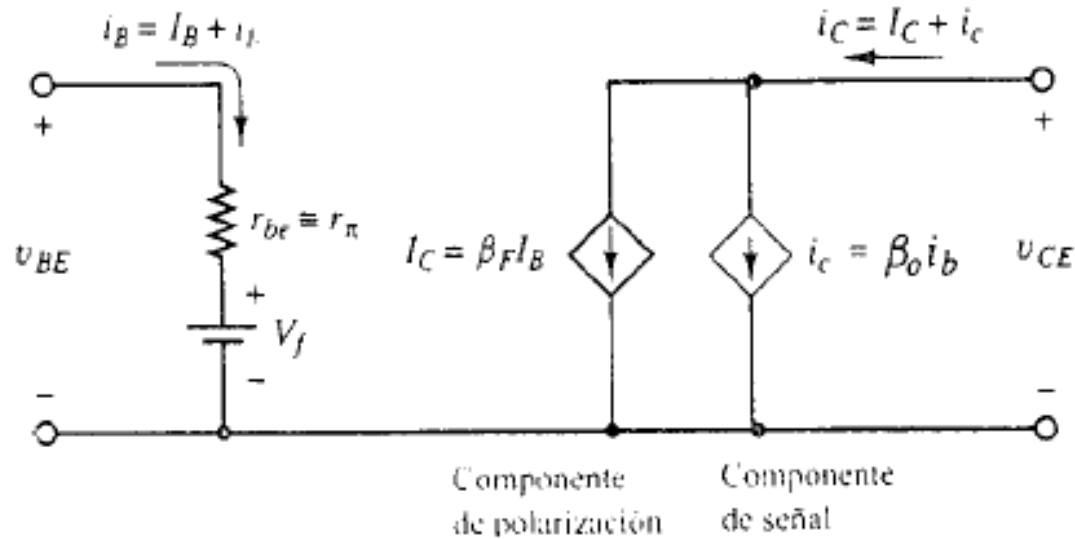
# Modelo a pequeña señal del BJT, Modelo $\pi$

Si en un circuito con BJTs coexisten componentes de DC y señal AC, utilizaremos el siguiente modelo para trabajar con las componentes de señal.



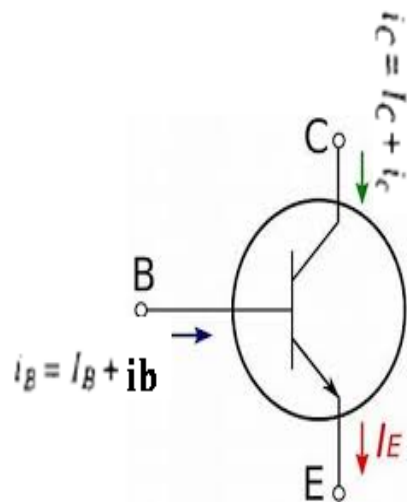
Este modelo solo funciona en la **zona activa** para el BJT y en la de **corriente constante** para el Mosfet, por lo que **debemos obtener del capítulo anterior el voltaje promedio y corrientes en ese estado.**

# Modelo a pequeña señal del BJT, Modelo $\pi$

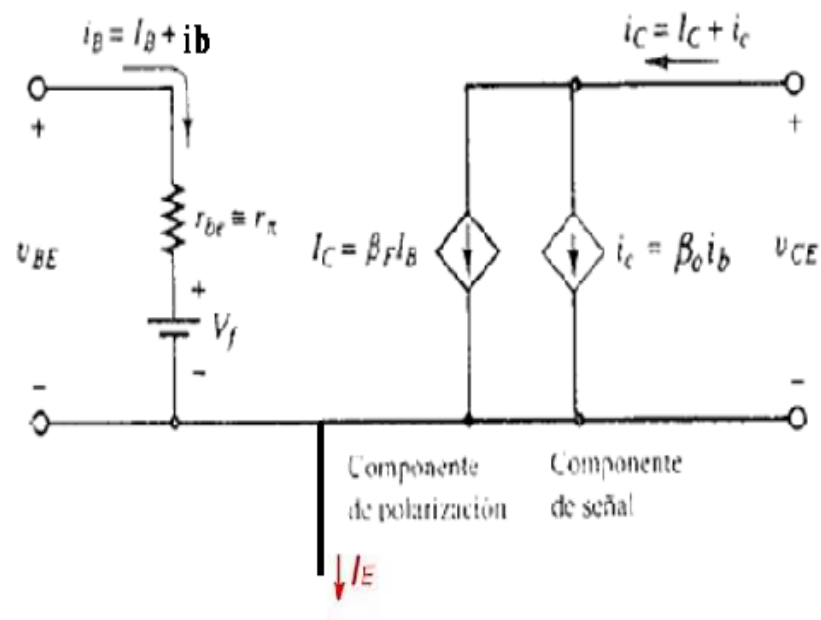


$r_{be}$  también es conocida con la denominación  $R_{\pi}$

En las hojas de datos de fabricación  $r_{be}$  también es conocida como la impedancia de entrada en pequeña señal,  $h_{ie}$



Es igual

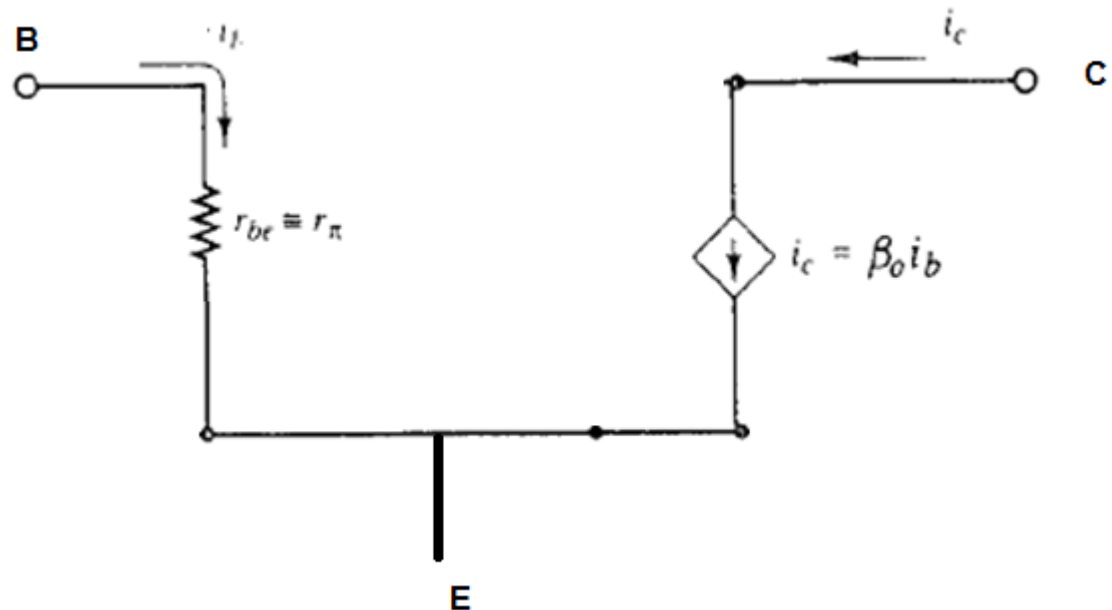


Se reemplaza el transistor por el modelo Pi

Para los cálculos de parámetros  $R_{\pi}$ ,  $I_B$  e  $I_C$ , del circuito en pequeña señal, se apaga la fuente en AC del circuito a analizar y se obtienen los parámetros que se hicieron en capítulos anterior.

Luego se apagan las fuentes en DC y se procede a reemplazar el transistor en el circuito por el modelo en pequeña señal para obtener  $V_o$  en AC.

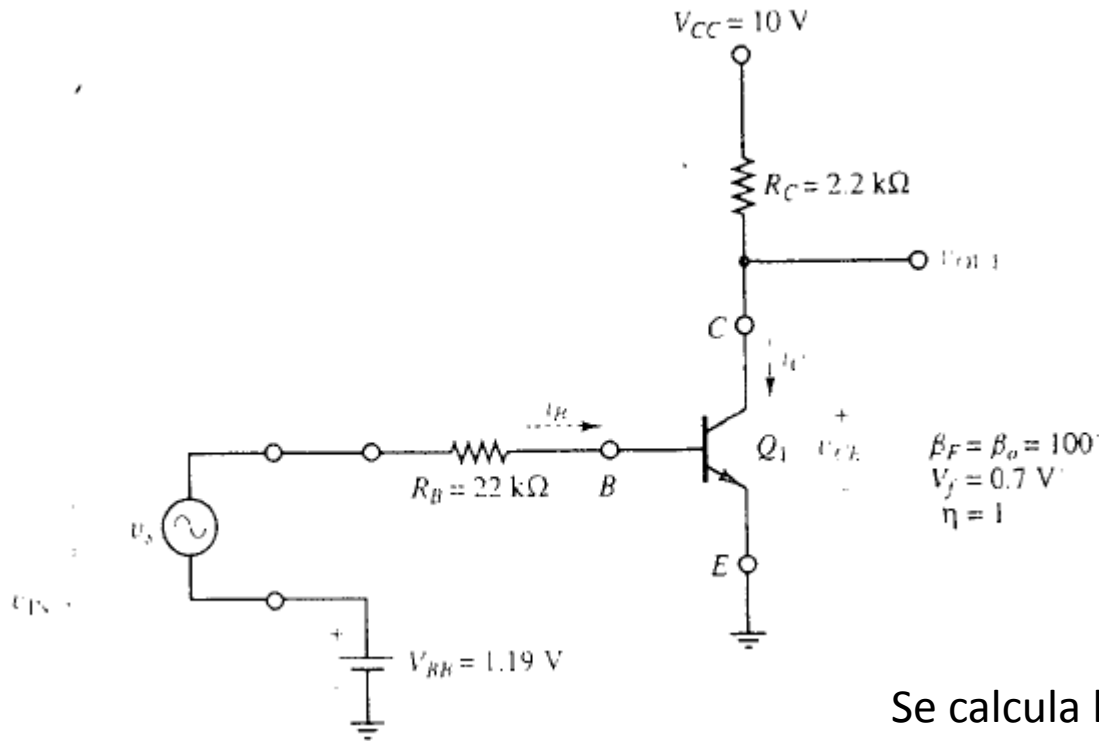
La siguiente figura es la representación del transistor en AC del modelo en pequeña señal



$$R_{be} = nV_t / I_b$$

Esta  $i_b$  es la que se obtiene en el análisis con señal en DC ya aprendido.

## Ejemplo del BJT en pequeña señal



Haciendo  $v_s = 0$ , se calculan los parámetros en DC.

$$I_b = 1.19 - 0.7 / 22 = \mathbf{0.022 \text{ mA}}$$

$$I_c = \beta_F \cdot I_b = 100 \cdot 0.022 = \mathbf{2.2 \text{ mA}}$$

$$V_o = 10 - 2.2 \cdot I_c$$

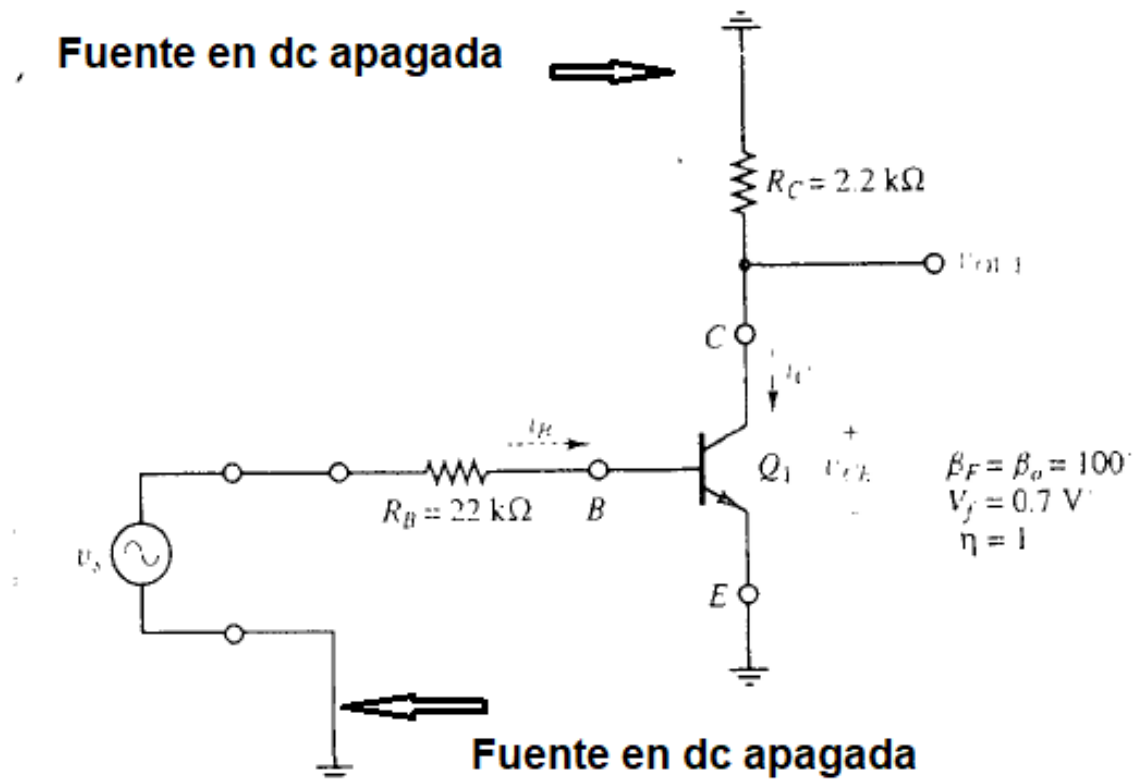
$$\mathbf{V_o = 5.1 \text{ V}}$$

Se calcula la resistencia de entrada  $R_{be}$

$$R_{be} = nV_t / i_b = 1 \cdot 25 / 0.022 = 1.14 \text{ K}$$

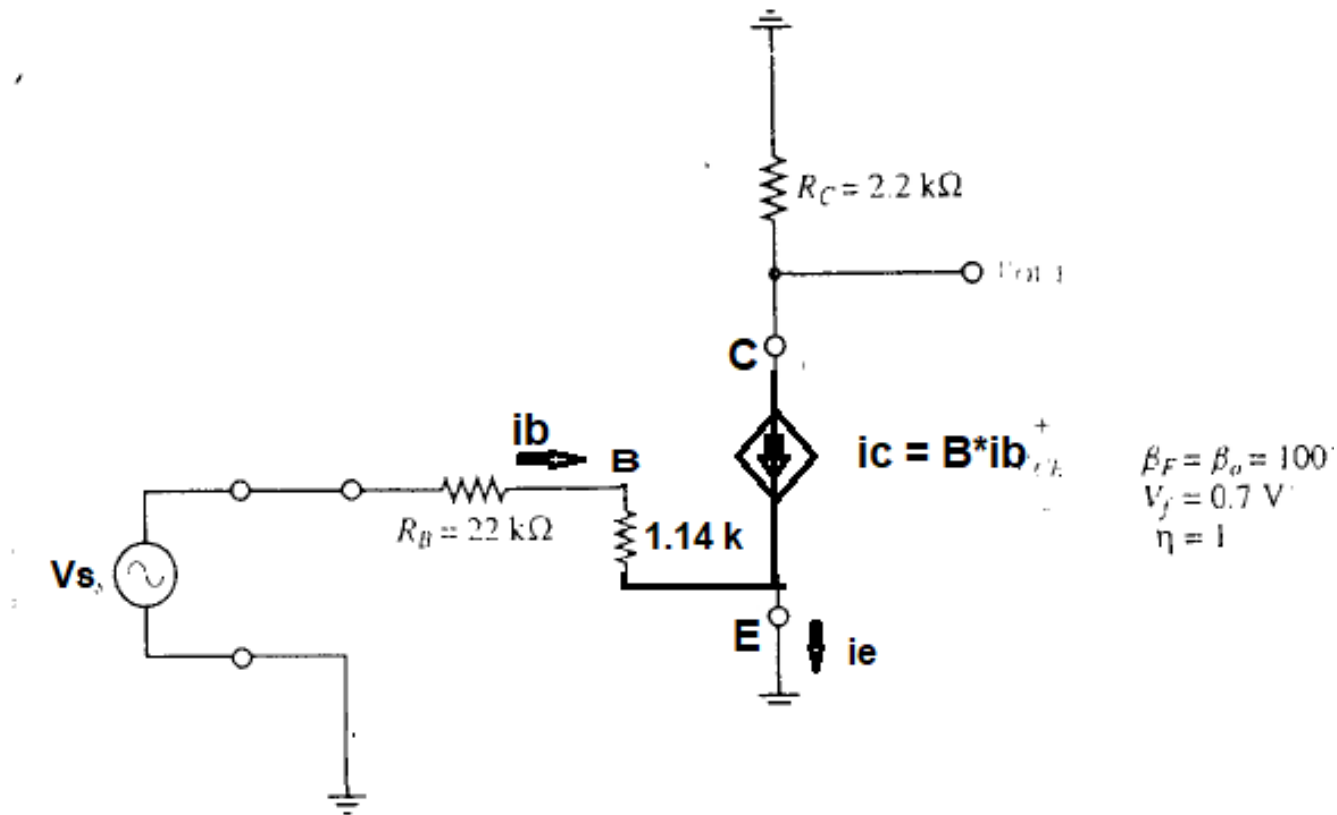
$V_t$  = voltaje térmico = 25 mV

Con los cálculos en dc se procede a apagar dichas fuentes quedando el circuito de la siguiente forma.





## Circuito con el transistor en modelo pi en pequeña señal.



De T1 se tiene  $-V_s + i_b(22 + 1.14) = 0$   
 $I_b = V_s / 23.14$

$$\begin{aligned}
 -V_o - 2.2 i_c &= 0 \\
 V_o &= -2.2 i_c = -2.2 \cdot B \cdot i_b \\
 V_o &= -2.2 \cdot 100 \cdot (V_s / 23.14) \\
 V_o &= -9.5 \cdot V_s
 \end{aligned}$$

La ganancia en ac será

$$A_v = V_{out} / V_i = -9,5 \cdot V_s / V_s$$

$$A_v = -9,5$$

$$v_{OUT} = V_{CE} + v_o(t) = 5.1 \text{ V} - 9.5 v_s(t)$$

**voltaje total = valor de polarización + señal incremental**

$$V_{o\text{-Total}} = V_{out\text{-DC}} + V_{out\text{-AC}}$$

$$V_{out\text{-Total}} = 5,1 - 9,5 \cdot V_s$$

Deseamos encontrar la respuesta del circuito a la señal de entrada aplicada, utilizando modelado en pequeña señal.

El procedimiento para formar y utilizar el modelo de pequeña señal de un circuito que contiene BJT está formado por los pasos siguientes:

1. Encuentre el punto de polarización de cd de cada BJT del circuito, con la fuente de la señal de entrada igual a cero.

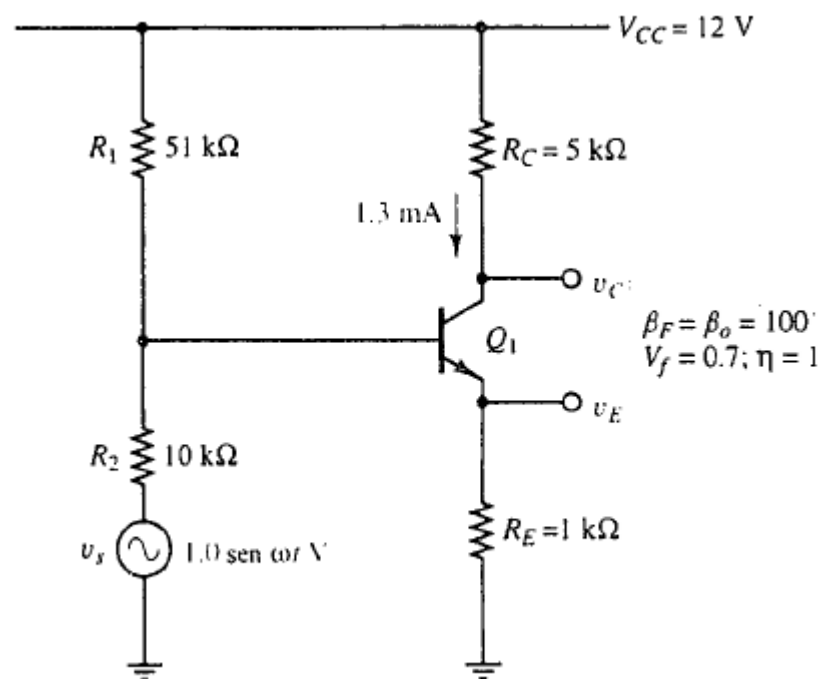
$$I_C = \beta_F \frac{V_{BB} - V_f}{R_1 \parallel R_2 + (\beta_F + 1)R_E}$$

$$I_C \approx 1.2 \text{ mA.}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 12 \text{ V} - (1.2 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega) = 6 \text{ V}$$

$$V_E = I_E R_E \approx I_C R_E = (1.2 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) = 1.2 \text{ V}$$

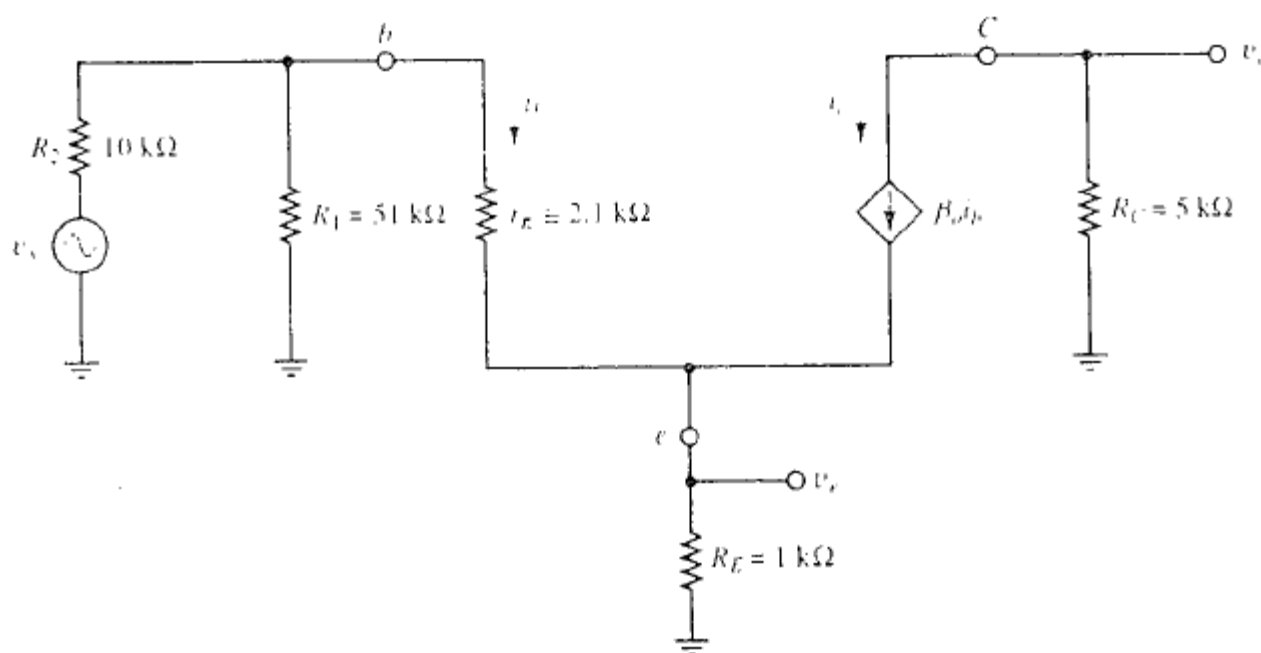
$$I_B = I_C / \beta_F = (1.2 \text{ mA}) / 100 = 12 \mu\text{A}$$



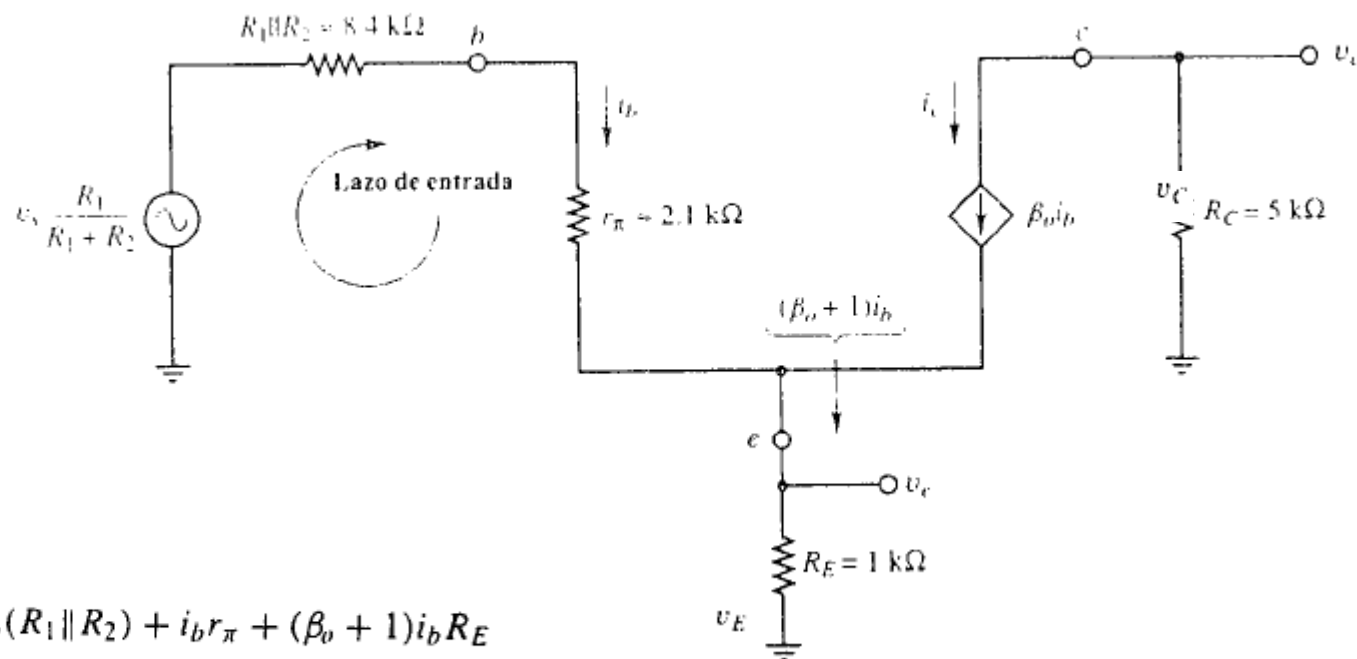
- Utilice los valores de las corrientes de polarización para evaluar cada uno de los parámetros del modelo de segmentos lineales del BJT.

$$r_{\pi} = \frac{\eta V_T}{I_B} = \frac{(1)(0.025 \text{ V})}{0.012 \text{ mA}} \approx 2.1 \text{ k}\Omega$$

- Reemplace cada BJT del circuito por su modelo de segmentos lineales.
- Haga cero todas las fuentes de cd, incluyendo las del modelo de segmentos lineales. Recuerde también hacer cero cualquier fuente que dependa únicamente de cantidades de polarización de cd. Los elementos restantes constituyen el modelo en pequeña señal del circuito.



5. Resuelva en función de la variable o variables deseadas de salida, utilizando métodos de la teoría de circuitos lineales.



$$v_s \frac{R_1}{R_1 + R_2} = i_b (R_1 \parallel R_2) + i_b r_\pi + (\beta_o + 1) i_b R_E$$

$$i_b = \frac{v_s [R_1 / (R_1 + R_2)]}{(R_1 \parallel R_2) + r_\pi + (\beta_o + 1) R_E}$$

$$v_e = (\beta_o + 1) i_b R_E = \frac{(\beta_o + 1) R_E [R_1 / (R_1 + R_2)] v_s}{(R_1 \parallel R_2) + r_\pi + (\beta_o + 1) R_E}$$

$$v_c = -(\beta_o i_b) R_C = \frac{-\beta_o R_C [R_1 / (R_1 + R_2)] v_s}{(R_1 \parallel R_2) + r_\pi + (\beta_o + 1) R_E}$$

$$\begin{aligned} \frac{v_c}{v_s} &= \frac{(\beta_o + 1) R_E [R_1 / (R_1 + R_2)]}{(R_1 \parallel R_2) + r_\pi + (\beta_o + 1) R_E} \\ &= \frac{(101)(1 \text{ k}\Omega)[51 \text{ k}\Omega / (51 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega)]}{(51 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega) + 2.1 \text{ k}\Omega + (101)(1 \text{ k}\Omega)} = 0.758 \text{ (exacto)} \end{aligned}$$

Similarmente, al evaluar la ganancia en la terminal  $v_c$

$$\begin{aligned} \frac{v_c}{v_s} &= \frac{-\beta_o R_C [R_1 / (R_1 + R_2)]}{(R_1 \parallel R_2) + r_\pi + (\beta_o + 1) R_E} \\ &= \frac{-100(5 \text{ k}\Omega)[51 \text{ k}\Omega / (51 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega)]}{(51 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega) + 2.1 \text{ k}\Omega + (101)(1 \text{ k}\Omega)} = -3.75 \text{ (exacto)} \end{aligned}$$

6. Superponga la señal de salida a sus valores correspondientes de polarización de cd, para obtener el voltaje o la corriente de salida total.

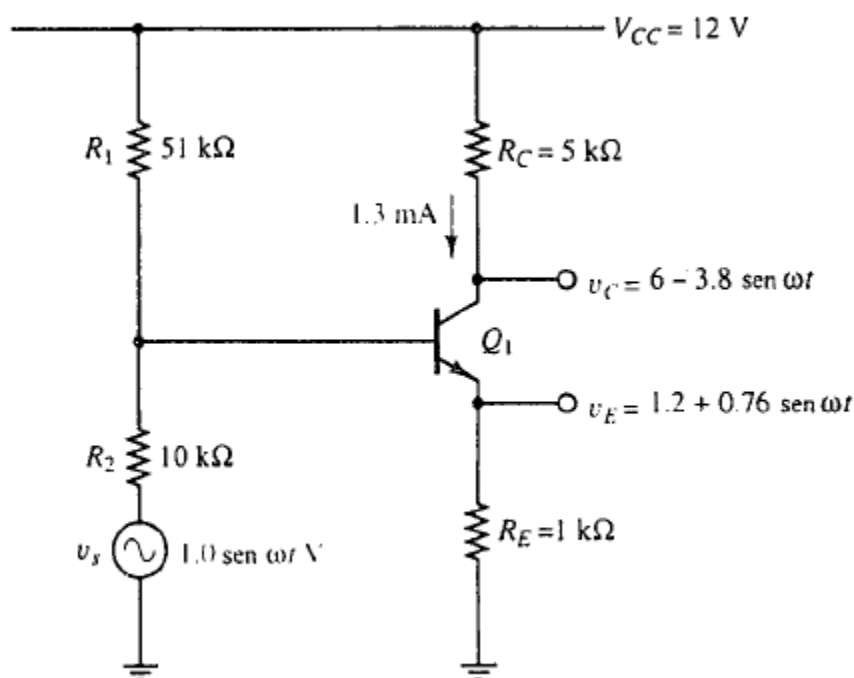
$$v_c = -3.75(1.0 \sin \omega t) \text{ V} \approx -3.8 \sin \omega t \text{ V}$$

$$v_e = 0.758(1.0 \sin \omega t) \text{ V} \approx 0.76 \sin \omega t \text{ V}$$

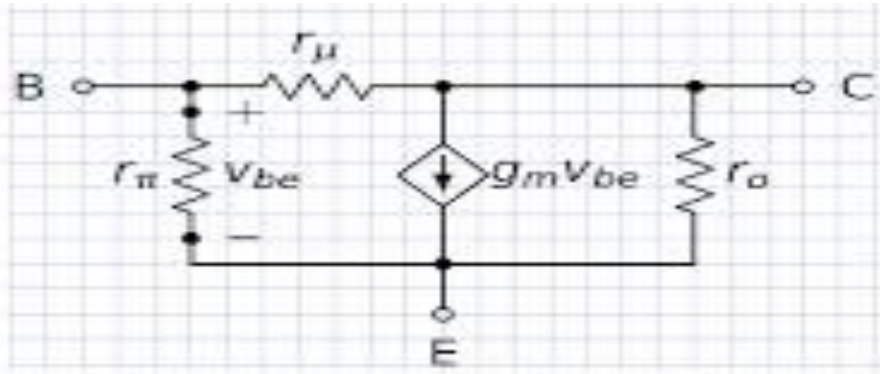
Superponiendo estas componentes de señal a sus respectivas corrientes de polarización da como resultado

$$v_C = V_C + v_c = 6 - 3.8 \sin \omega t \text{ V}$$

$$v_E = V_E + v_e = 1.2 + 0.76 \sin \omega t \text{ V}$$



## MODELO A PEQUEÑA SEÑAL DEL BJT, TRANSCONDUCTANCIA $g_m$



El voltaje Early  $V_A$  es la variación en el grosor de la capa agotamiento, base colector

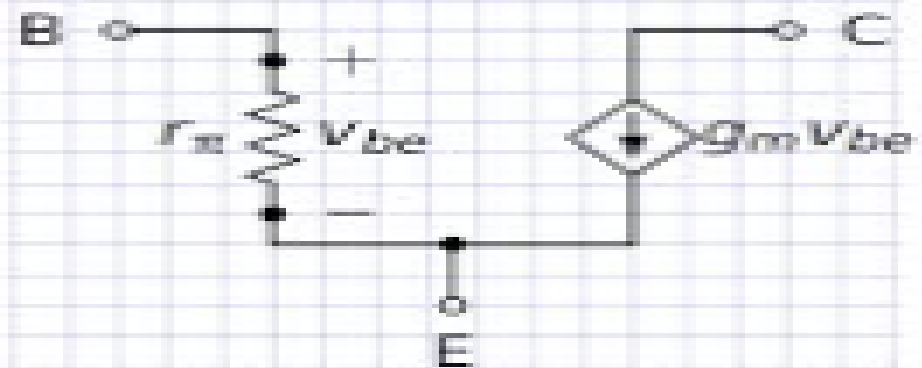
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad r_{\pi} = \frac{\beta}{g_m} \quad r_o = \frac{V_A}{I_C} \quad r_{\mu} = \beta r_o$$

$$r_{\pi} = h_{ie}$$

**$V_A$**  = Es el Voltaje de Early, valores típicos de 15 a 150 v y lo da el fabricante

- Es habitual hacer las aproximaciones  $r_{\mu} = \infty$  y  $r_o = \infty$

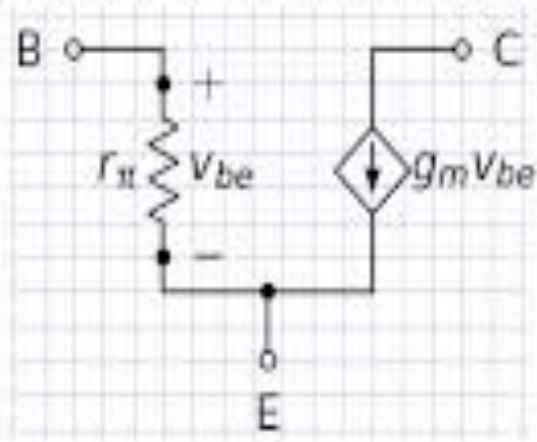
En estas condiciones el circuito equivalente queda como el de la figura.



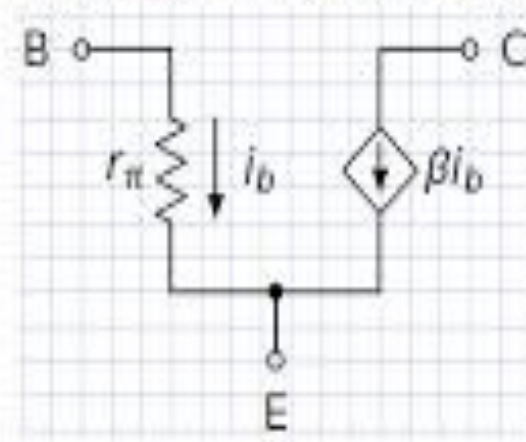


## COMPARACIÓN DE LOS MODELOS

Modelo de transconductancia



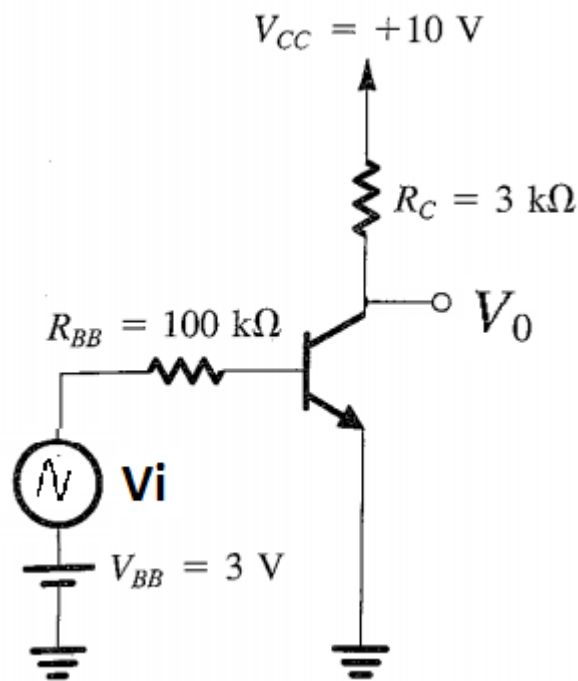
Modelo de ganancia de corriente



$$V_{be} = \frac{\beta}{g_m} i_b$$

## **PASO A PASO DEL MODELO EQUIVALENTE EN PEQUEÑA SEÑAL**

- 1.- Determinar variables de corriente y voltajes en Q, considerando solo las fuentes DC en el circuito.
- 2.- Calcular los valores de los parámetros de pequeña señal:  $g_m$ ,  $r_\pi$ .
- 3.- Elimine las fuentes DC sustituyéndolas por un cortocircuito y las fuentes de corriente por un circuito abierto quedando solo las de AC.
- 4.- Reemplace el BJT por su modelo de pequeña señal.
- 5.- Resuelva el circuito para obtener  $V_o$ -AC



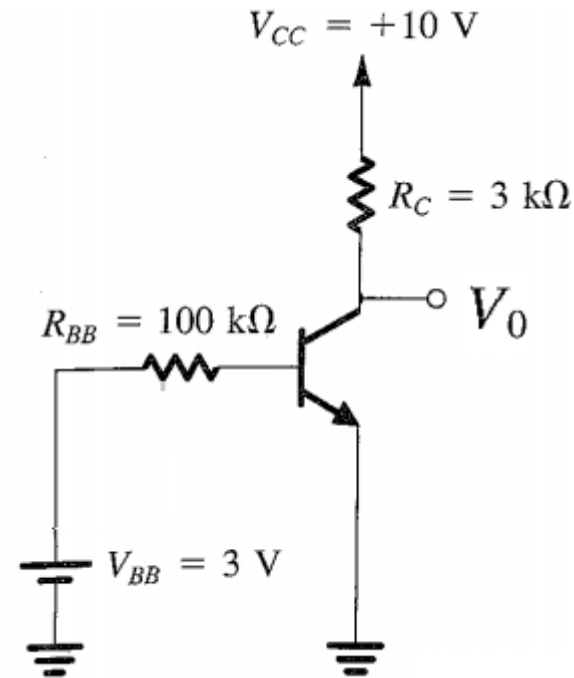
### 1ª PARTE: ANÁLISIS DC

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB}} \approx \frac{3 - 0.7}{100} = 0.023 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.023 = 2.3 \text{ mA}$$

$$V_O = V_{CC} - I_C R_C$$

$$10 - 2.3 \times 3 = +3.1 \text{ V}$$

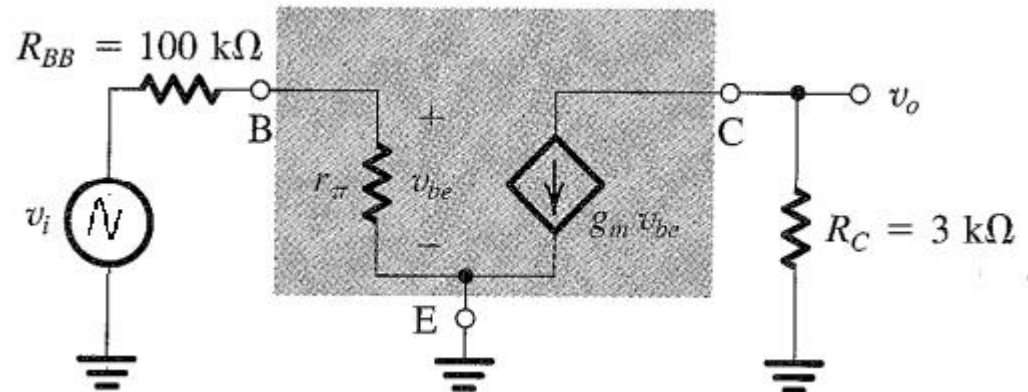
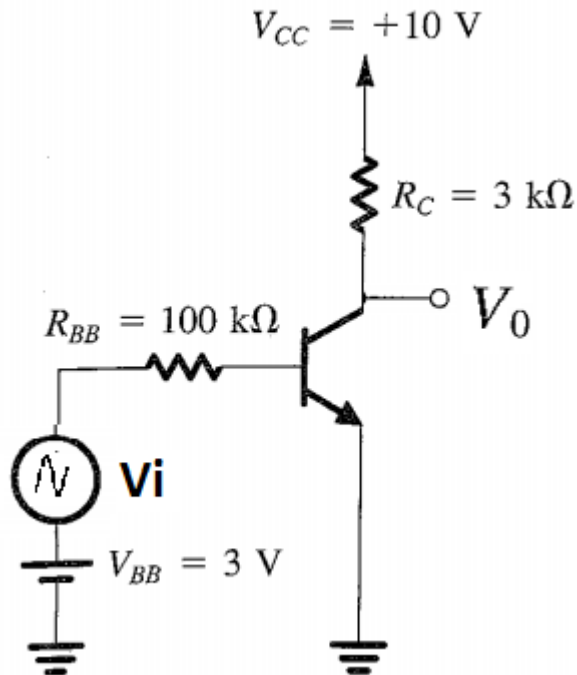


### 2ª PARTE: ANÁLISIS AC DE PEQUEÑA SEÑAL

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.3 \text{ mA}}{25 \text{ mV}} = 92 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{92} = 1.09 \text{ k}\Omega$$

3.- Eliminar las fuentes DC sustituyendo las fuentes de voltaje por un cortocircuito y las fuentes de corriente por un circuito abierto y reemplazar el BJT por uno de sus modelos de pequeña señal.



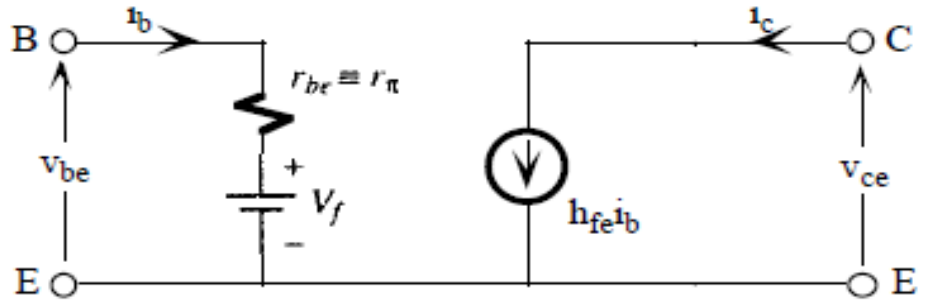
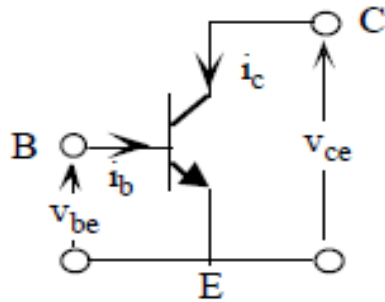
$$-v_i + I_b \cdot R_{BB} + I_b \cdot r_{\pi} = 0; \quad I_b = v_i / (R_{BB} + r_{\pi})$$

$$v_{be} = I_b \cdot r_{\pi} = v_i \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_{BB}} = v_i \frac{1.09}{101.09} = 0.011 v_i$$

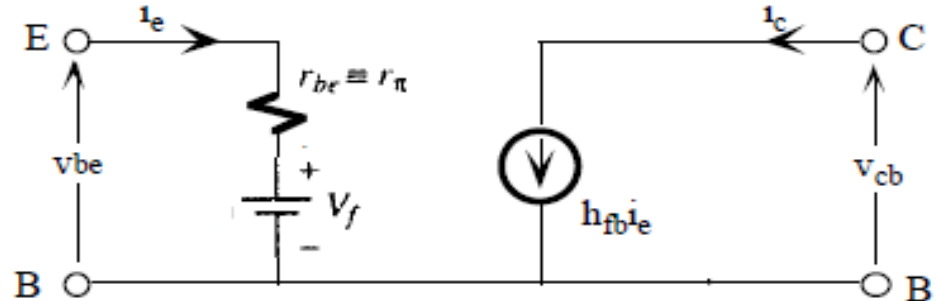
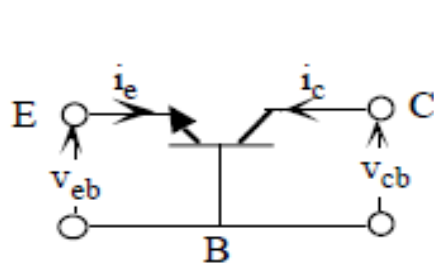
$$v_o = -g_m v_{be} R_C = -92 \times 0.011 v_i \times 3 = -3.04 v_i$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -3.04$$

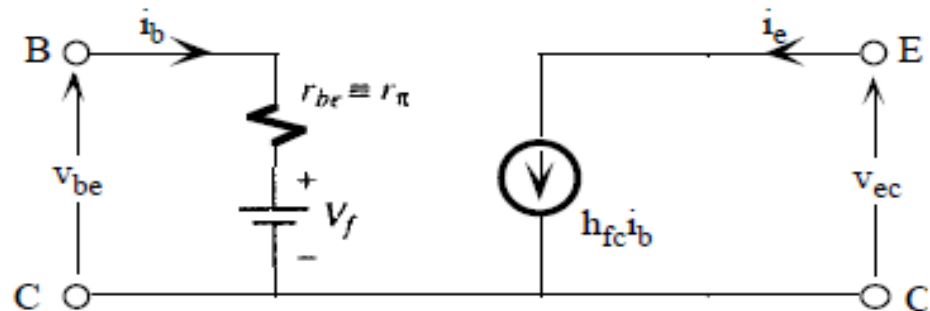
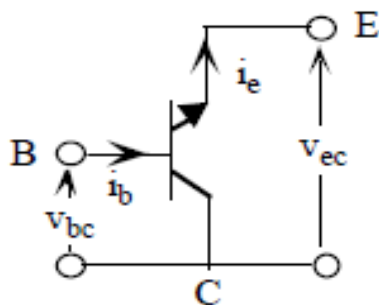
## Modelo en pequeña señal del BJT



**Emisor Común**



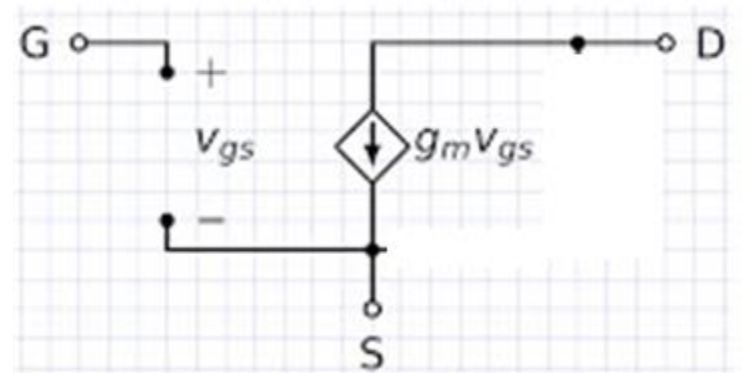
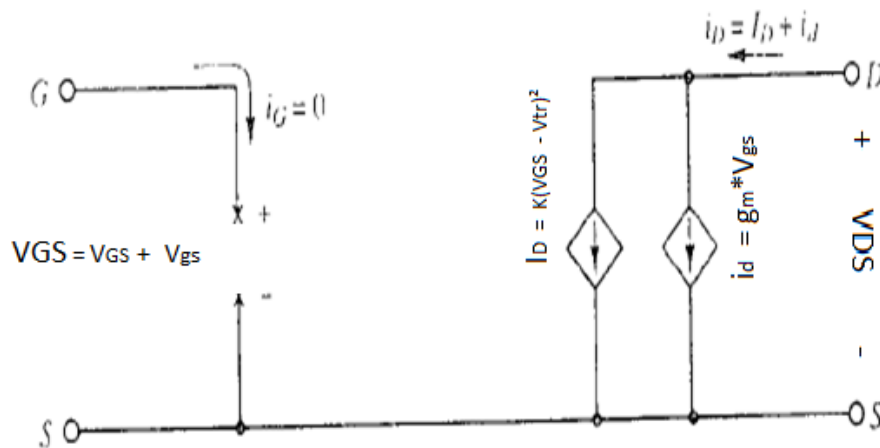
**Base Común**



**Colector-Común**

## Modelo de pequeña señal del MOSFET

Si en un circuito con FETs coexisten componentes de continua y señal, utilizaremos el siguiente modelo para trabajar con las componentes de señal. No olviden que el modelo es común para todos los FETs.



$$g_m \triangleq \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_{V_{GS}, I_D} = \frac{\partial}{\partial v_{GS}} \left[ \frac{K (v_{GS} - V_{TR})^2}{2} \right]_{V_{GS}, I_D} = \frac{2K (V_{GS} - V_{TR})}{2}$$

## Modelo de pequeña señal del MOSFET

$$g_m = \frac{K(V_{GS} - V_{TR})}{2}$$

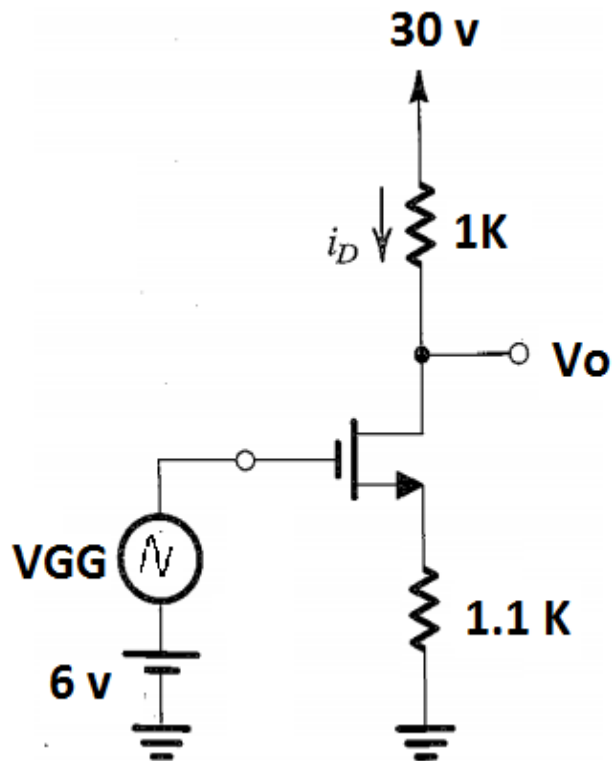
como  $I_D = k(V_{GS} - V_{TR})^2 / 2$

$$I_D^2 / k = (V_{GS} - V_{TR})^2$$

$$(I_D^2 / k)^{1/2} = (V_{GS} - V_{TR})$$

$$g_m = \frac{K (I_D^2 / k)^{1/2}}{2} = \left( \frac{K^2}{4} (I_D^2 / k) \right)^{1/2}$$

$$g_m = \sqrt{2kI_D}$$



## 1. Hallo los componentes en DC apagando VGG

$$-6 + v_{gs} + 1.1 \cdot i_D = 0$$

Si  $i_D = 0$ ;  $V_{gs} = 6$ ; como  $V_{gs} > V_{tr}$  Q on

$$-6 + v_{gs} + 1.1 \cdot 3 \cdot (v_{gs} - 2)^2 / 2 = 0$$

$$-6 + v_{gs} + 1.65 \cdot (v_{gs} - 2)^2 = 0$$

$$-6 + v_{gs} + 1.65 \cdot (v_{gs}^2 - 2v_{gs} \cdot 2 + 2^2) = 0$$

$$-6 + v_{gs} + (1.65v_{gs}^2 - 6.6v_{gs} + 4) = 0$$

$$1.65v_{gs}^2 - 5.6v_{gs} - 2 = 0$$

$$V_{gs} = 3.71 \text{ V}$$

$$I_D = k \cdot (v_{gs} - V_{tr})^2 / 2 = 4.38 \text{ A}$$

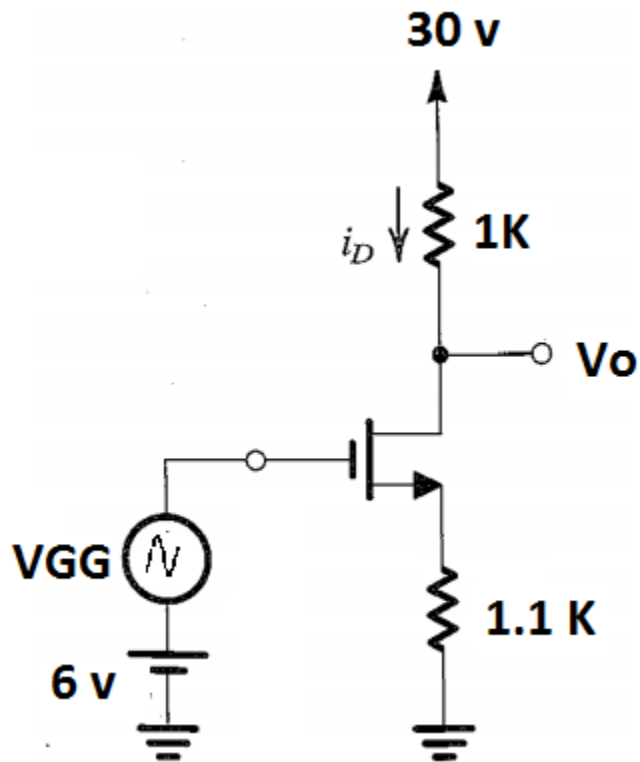
$$V_{ds} = 30 - 2.1 \cdot 4.38 = 20.78 \text{ V Cumple zona}$$

$$V_o = 30 - i_D \cdot 1 = 25.62 \text{ V}$$

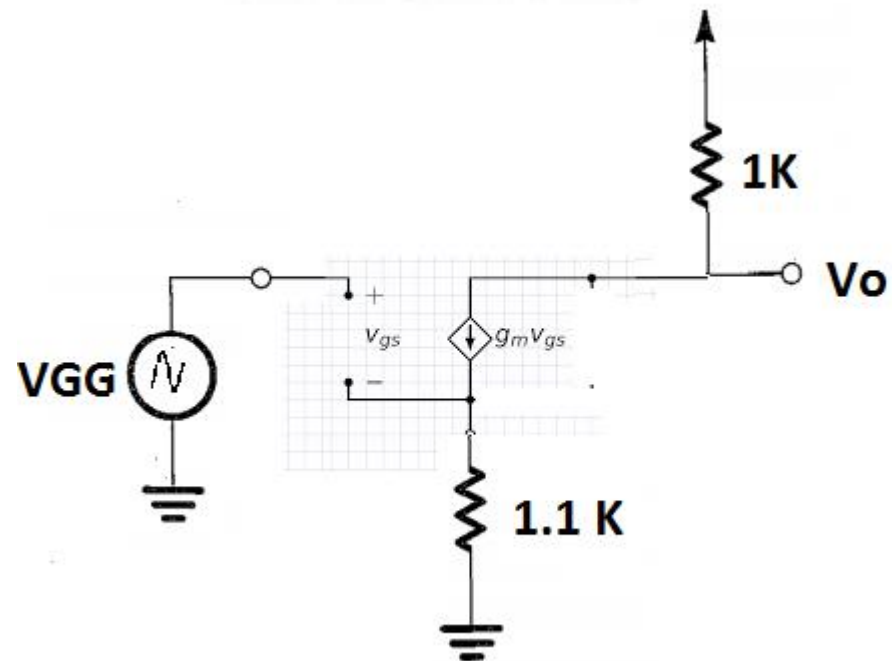
2. Hallo los componentes necesarios para el modelo en pequeña señal.

$$g_m = \sqrt{2 \cdot k \cdot i_D} = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 4.38} = 5.12 \text{ mA/V}$$





$$\begin{aligned}
 -V_{gg} + v_{gs} + 1.1 \cdot i_D &= 0 \\
 -v_{gg} + v_{gs} + 1.1 \cdot g_m \cdot v_{gs} &= 0 \\
 v_{gs} = V_{gg} / (1 + 1.1 g_m) &= V_{gg} / (1 + 1.1 \cdot 5.12) \\
 v_{gs} &= 0.15 V_{gg}
 \end{aligned}$$

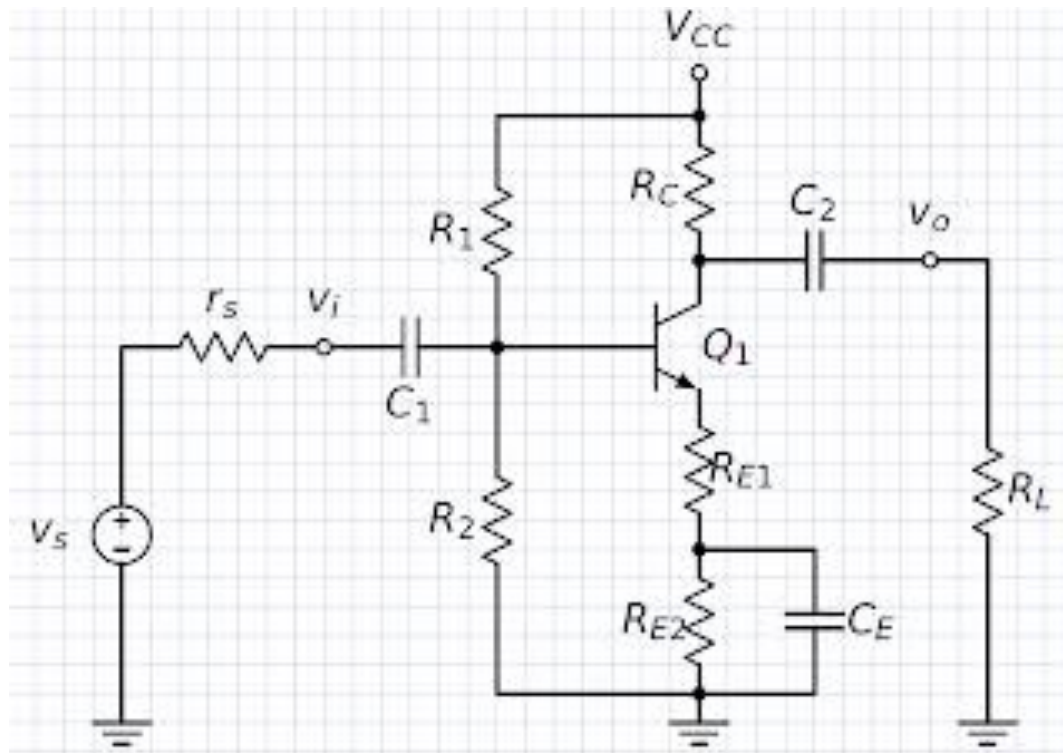


$$\begin{aligned}
 V_o &= -i_D \cdot 1 = -g_m \cdot v_{gs} \cdot 1 \\
 V_{oAc} &= -5.12 \cdot v_{gs} \\
 V_{oAc} &= -5.12 \cdot 0.15 V_{gg} \\
 V_{oAc} &= -0.77 V_{gg}
 \end{aligned}$$

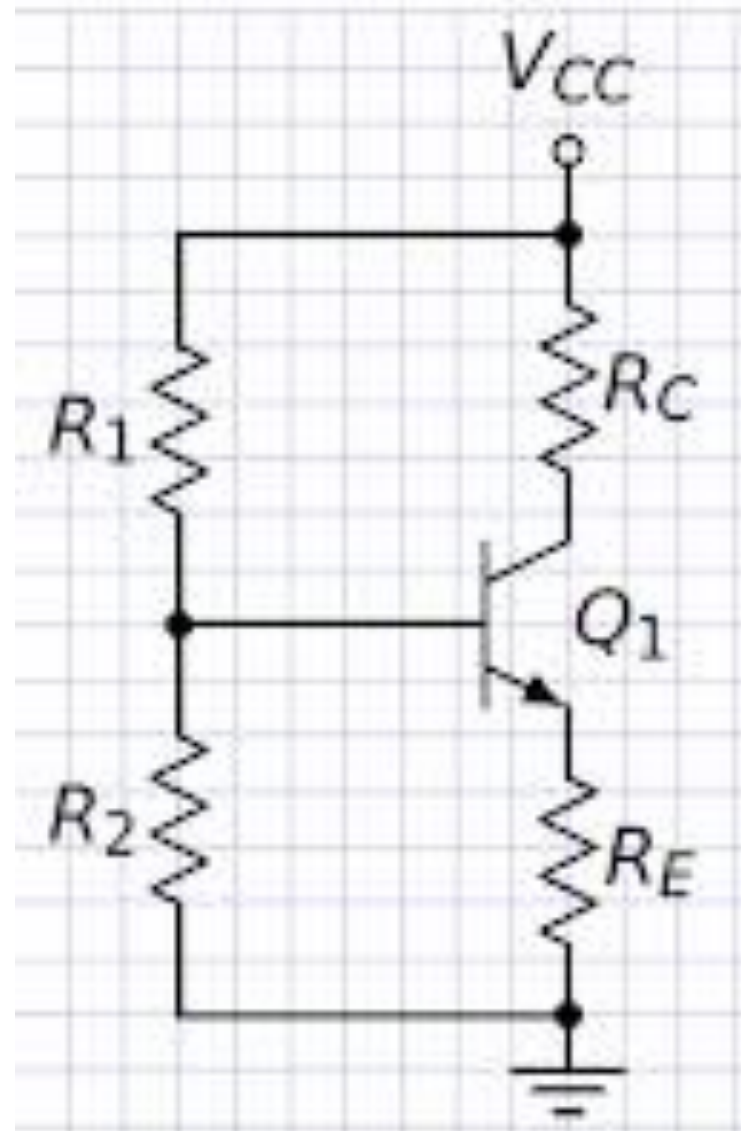
$$V_{o-total} = V_{odc} + v_{oAc} = 25.63 - 0.77 V_{gg}$$

$$A_{vi} = V_i / V_o = V_{gg} / -0.77 V_{gg} = -1.29$$

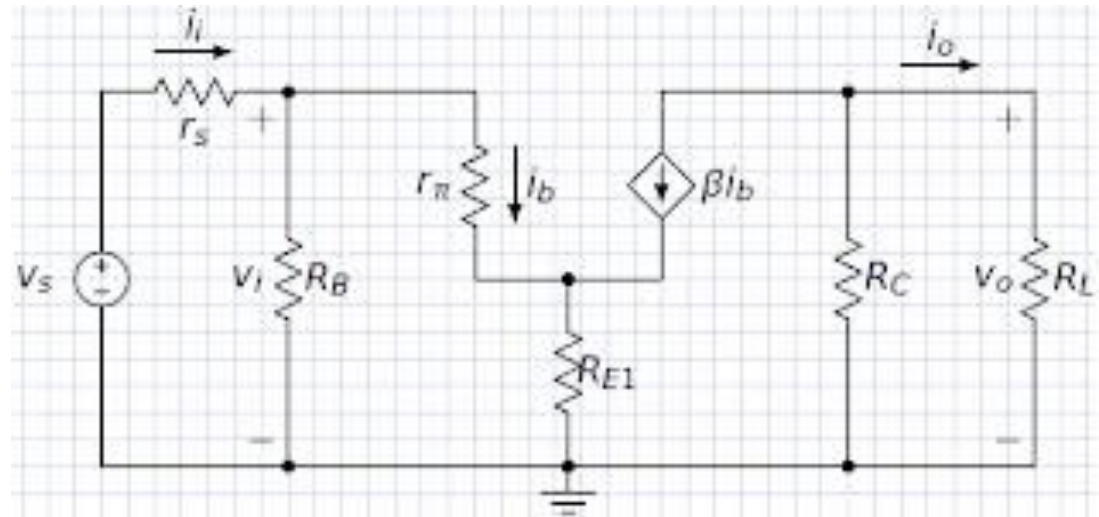
## Emisor común: Amplificador en emisor común con resistencia de emisor parcialmente desacoplada



Circuito en Dc. Calcular  
parámetros  $i_b$ ,  $i_c$ ,  $g_m$ ,  $v_{o-dc}$

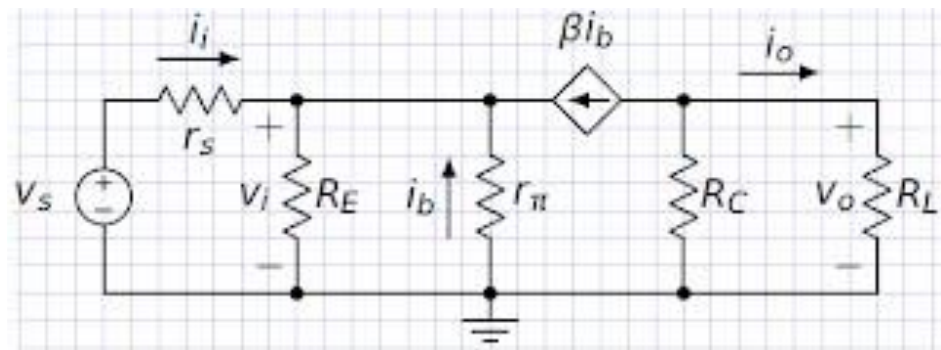
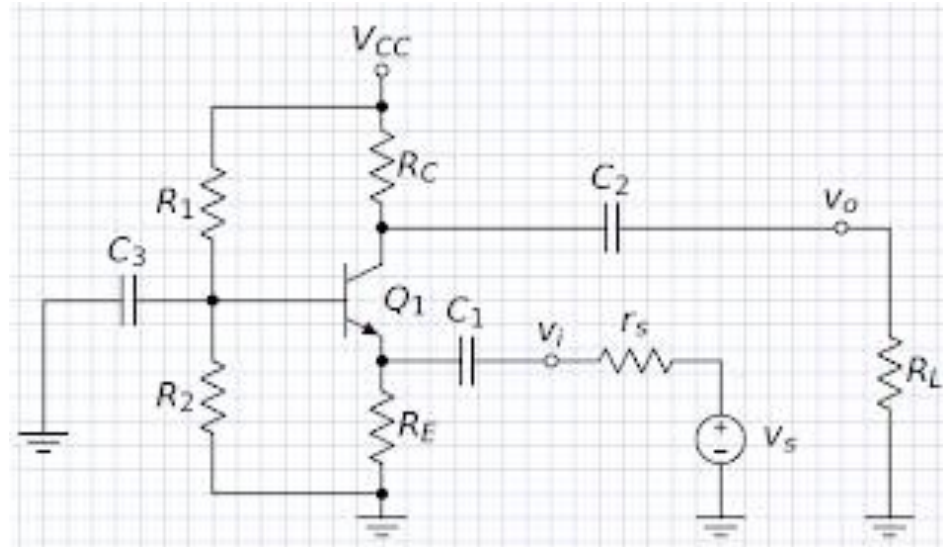


Calcular  $V_o$ -ac

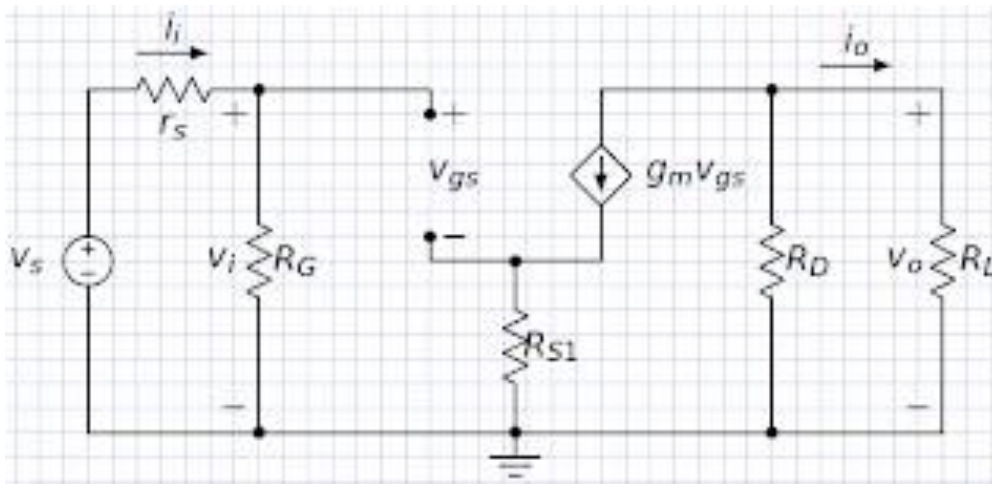
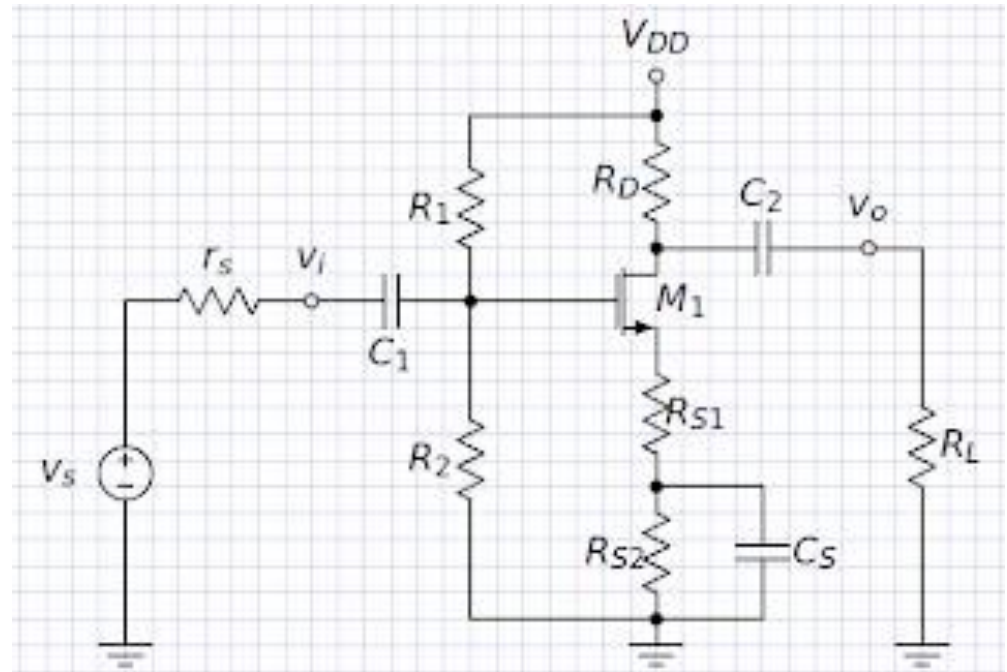


- Un aumento en la resistencia de emisor  $R_{E1}$  disminuye la ganancia y aumenta la impedancia de entrada.

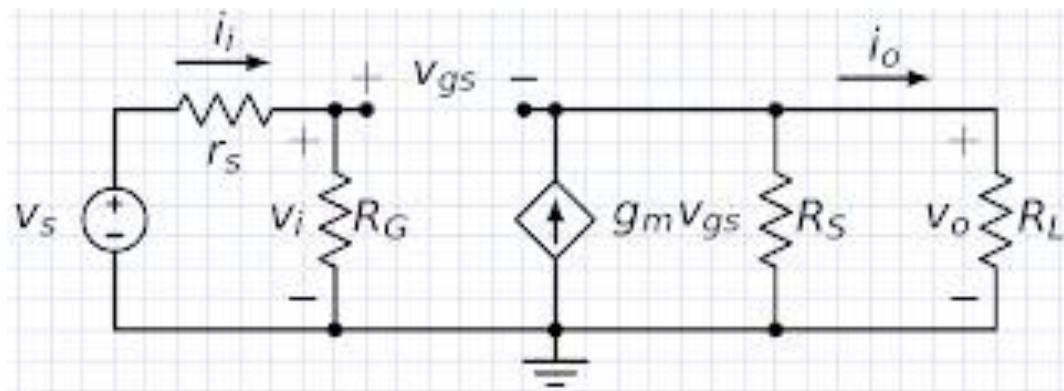
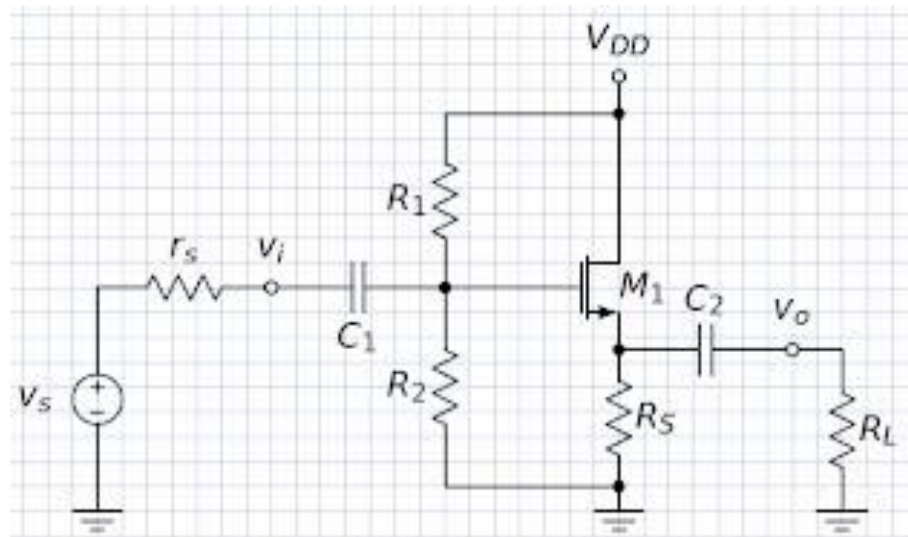
## Base común



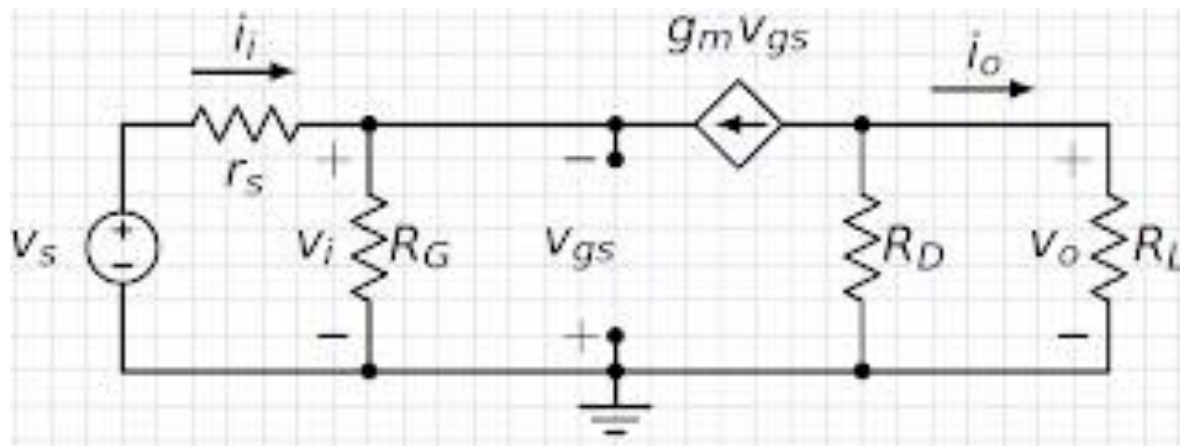
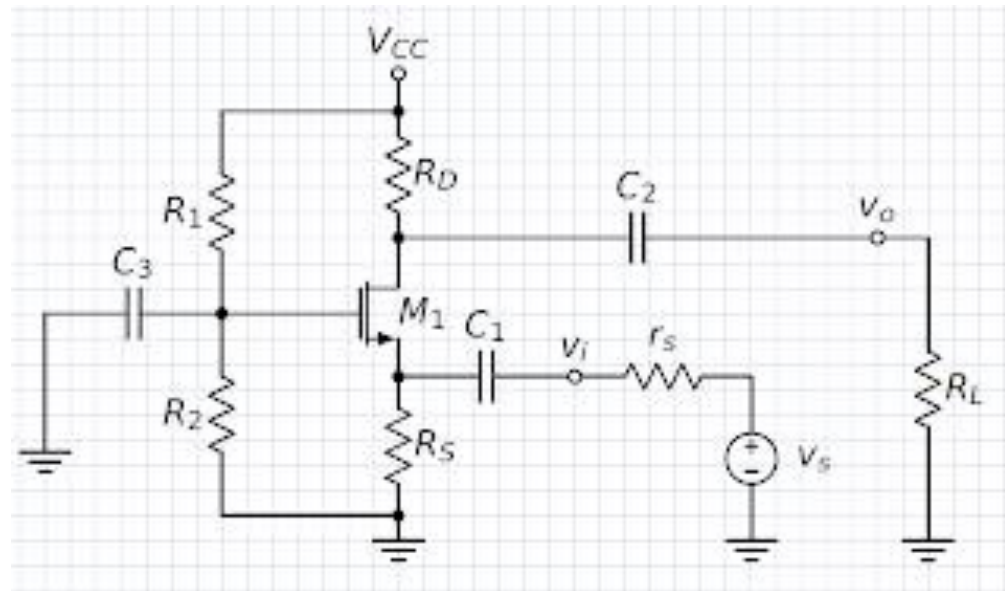
## Fuente común: Amplificador en fuente común con resistencia de fuente parcialmente desacoplada



## Drenador común



## Puerta común



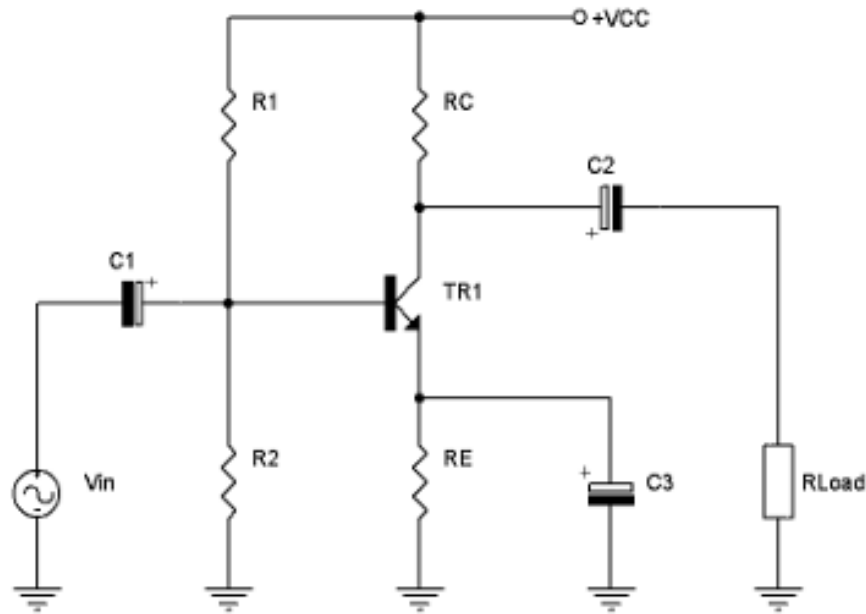


## **IMPEDANCIAS DE ENTRADA Y SALIDA**

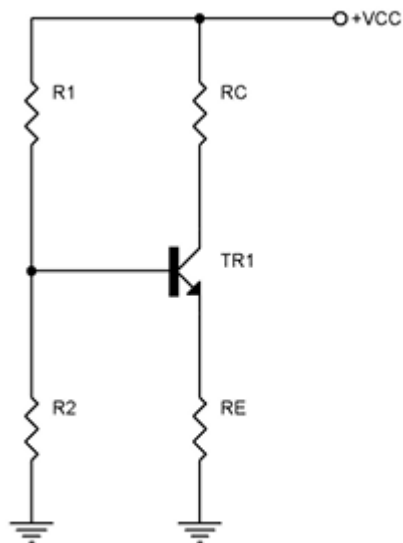
Si deseamos obtener los valores de las impedancias de entrada y salida de un circuito, debemos obtener el circuito equivalente de c.a.

Para ello deberemos realizar las siguientes acciones.

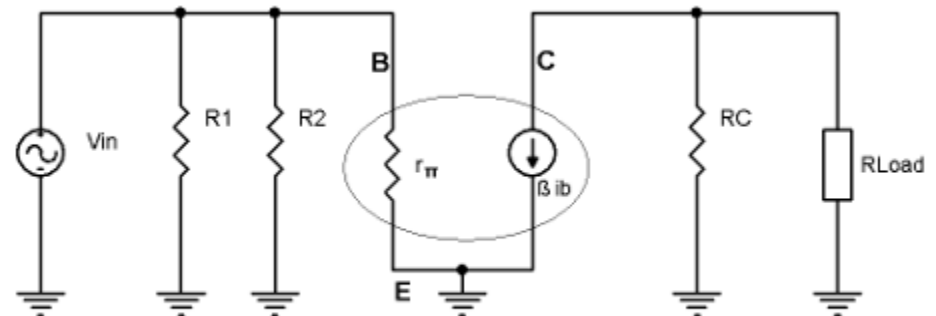
- a) Se cortocircuitan los condensadores existentes.
- b) Se cortocircuitan las fuentes de tensión continuas y alternas.
- c) Se abren las fuentes de corriente existentes.



Para realizar los cálculos en pequeña señal siempre partimos de la polarización en corriente continua. Es decir, el circuito anterior se transformaría en la siguiente figura a efectos de los cálculos en c.c. Esta polarización es el de polarización de emisor



Circuito equivalente de c.c.



Circuito equivalente de c.a. en "π"

## Impedancias del modelo en "π"

La impedancia de entrada del transistor del modelo de la figura 5.6 viene expresado por:

$$Z_{in(TR)} = \frac{v_{input}}{i_{input}} = \frac{i_B r_\pi}{i_B} = r_\pi$$

La impedancia de entrada de este circuito completo queda como

$$Z_{in(Cir)} = R_1 // R_2 // Z_{in(TR)}$$

La impedancia de salida del circuito, con la carga desconectada, vale

$$Z_{Out} = R_C$$

$$A_V = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-i_C r_C}{i_B r_\pi} = \frac{-i_B \beta r_C}{i_B r_\pi}$$

$$A_V = -\beta \frac{r_C}{r_\pi}$$

## **AYUDAS DE INTERNET**

[https://www.youtube.com/watch?v=E-e\\_oKHhybQ](https://www.youtube.com/watch?v=E-e_oKHhybQ)

<https://www.youtube.com/watch?v=zW8lMDKaXTw>

<https://www.youtube.com/watch?v=uBIC4y4oSpl>

<https://www.youtube.com/watch?v=TkRmYdMDtc0>

<https://www.youtube.com/watch?v=otxMxj02M5g>

# **TRABAJO GRUPAL AMPLIFICACIÓN ANALÓGICA**

**Entregar tres ejercicios de los siguiente temas:**

- **Técnicas de polarización para BJT**
- **Técnicas de polarización para MOSFET**
- **Modelo a pequeña señal del BJT con transconductancia**
- **Modelo a pequeña señal del FET con transconductancia**