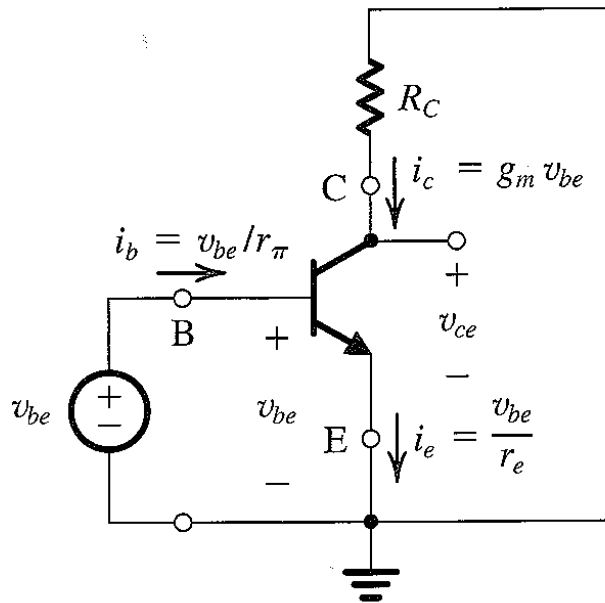
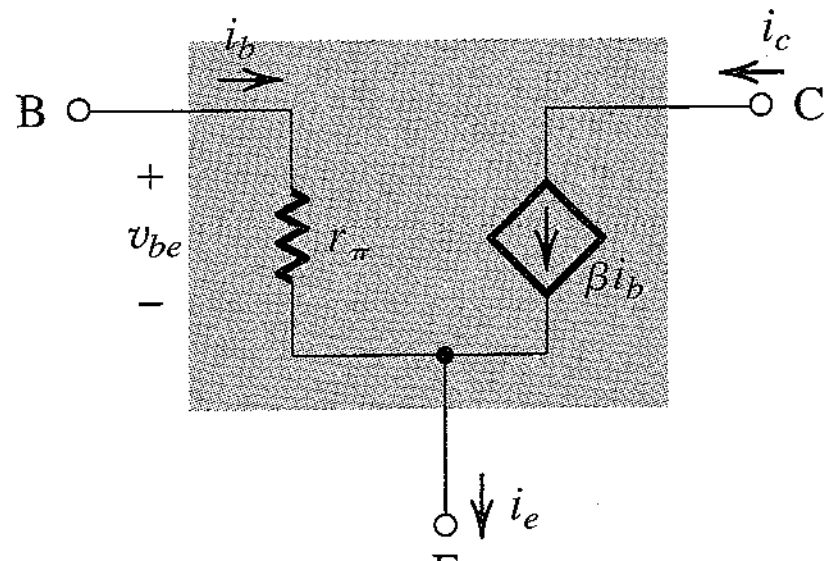
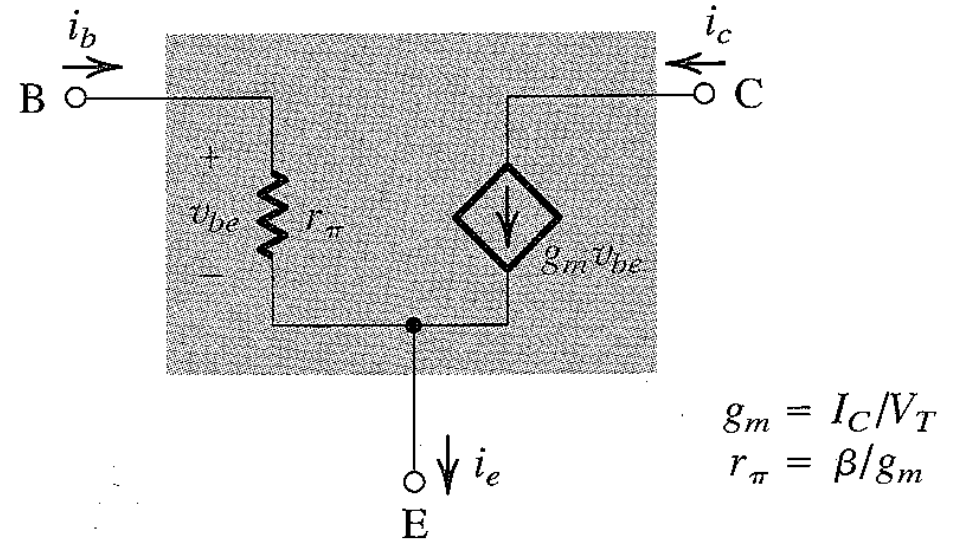


MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO HÍBRIDO π

Se eliminan las fuentes DC



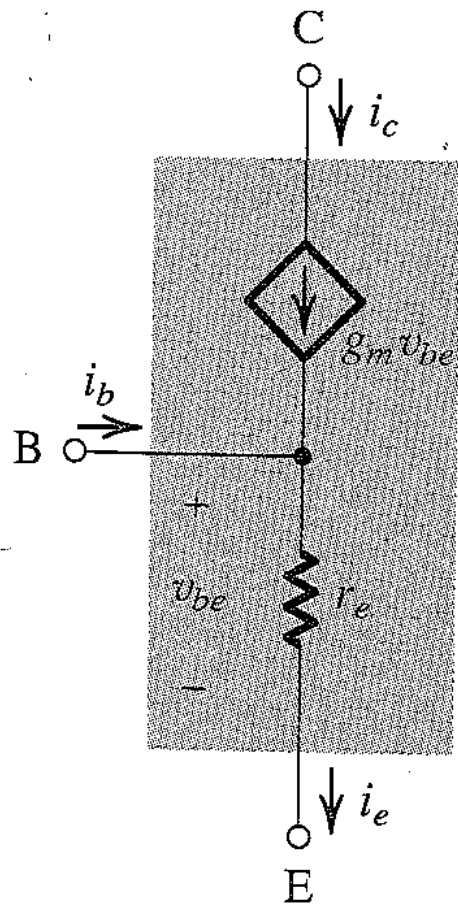
El modelo también aplica para transistores pnp sin cambio de polaridades



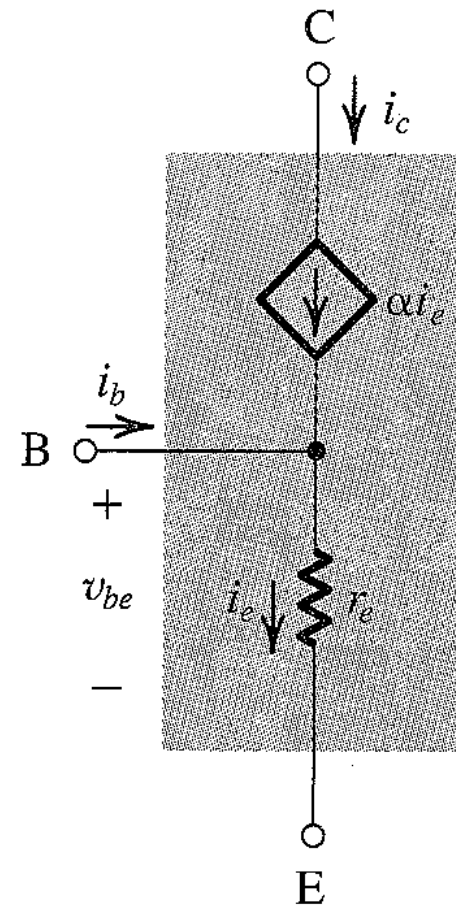
MODELOS DE PEQUEÑA SEÑAL: EL MODELO T

Se eliminan las fuentes DC

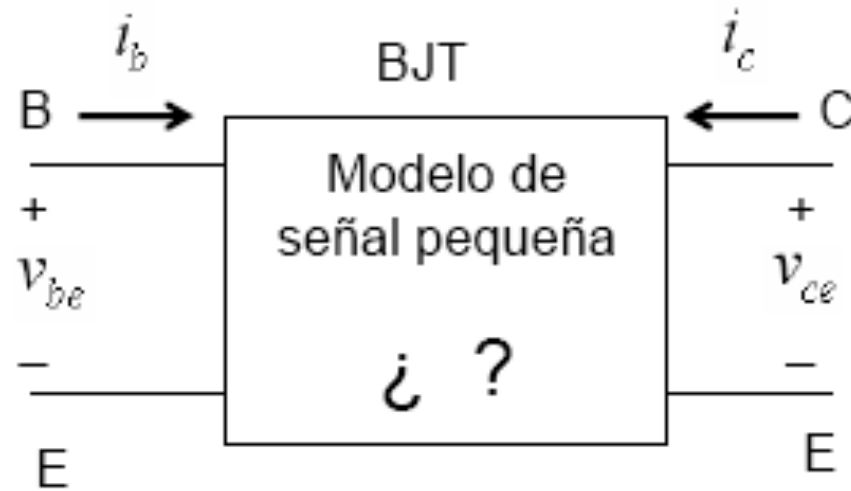
Este modelo muestra explícitamente la resistencia de emisor r_e en lugar de la resistencia de base r_π



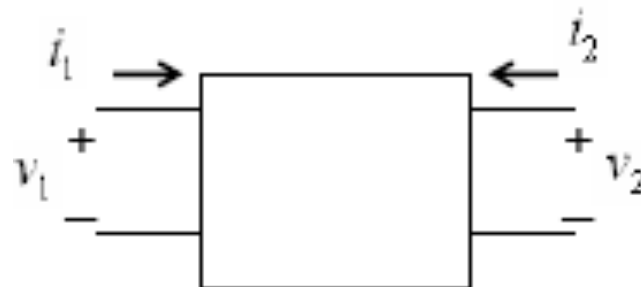
$$g_m = I_C / V_T$$
$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$



MODELO DE REDES DE DOS PUERTOS



Redes de 2 puertos
(bipuerto)



PARÁMETROS DE REDES DE DOS PUERTOS



Se escogen dos variables dependientes y dos independientes (6 opciones)

Representación	Variables dependientes	Variables independientes
Control por corriente	v_1, v_2	i_1, i_2
Control por voltaje	i_1, i_2	v_1, v_2
Híbrido 1	v_1, i_2	i_1, v_2
Híbrido 2	i_1, v_2	v_1, i_2
Transmisión 1	v_1, i_1	v_2, i_2
Transmisión 2	v_2, i_2	v_1, i_1

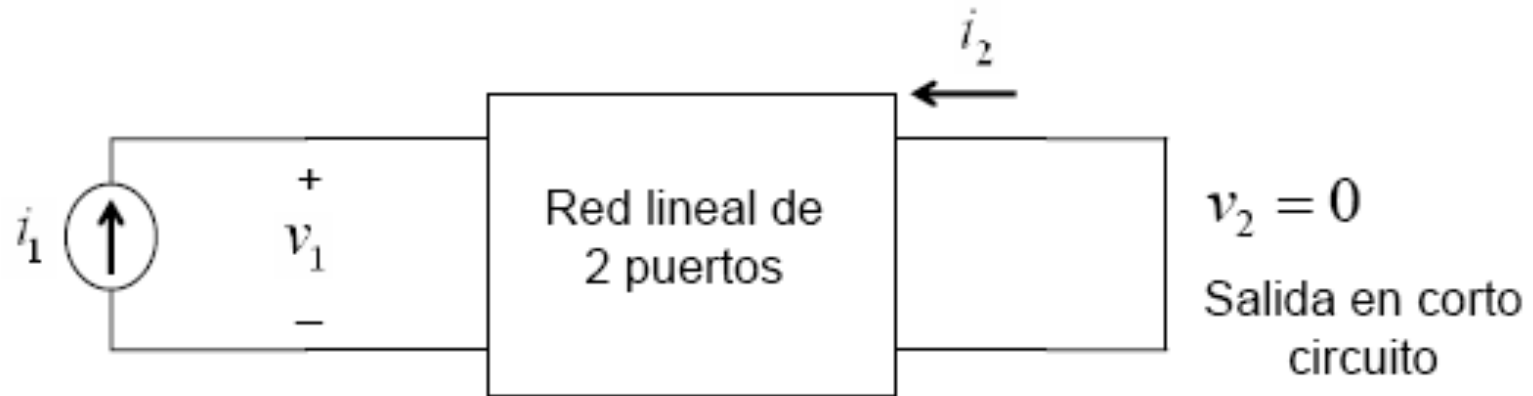
PARÁMETROS HÍBRIDOS TIPO 1



$$v_1 = h_{11}i_1 + h_{12}v_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}v_2$$

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS HÍBRIDOS PARA EL PUERTO DE ENTRADA CUANDO EL VOLTAJE DEL PUERTO DE SALIDA ES CERO



$$v_1 = h_{11}i_1 + \cancel{h_{12}v_2}$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + \cancel{h_{22}v_2}$$

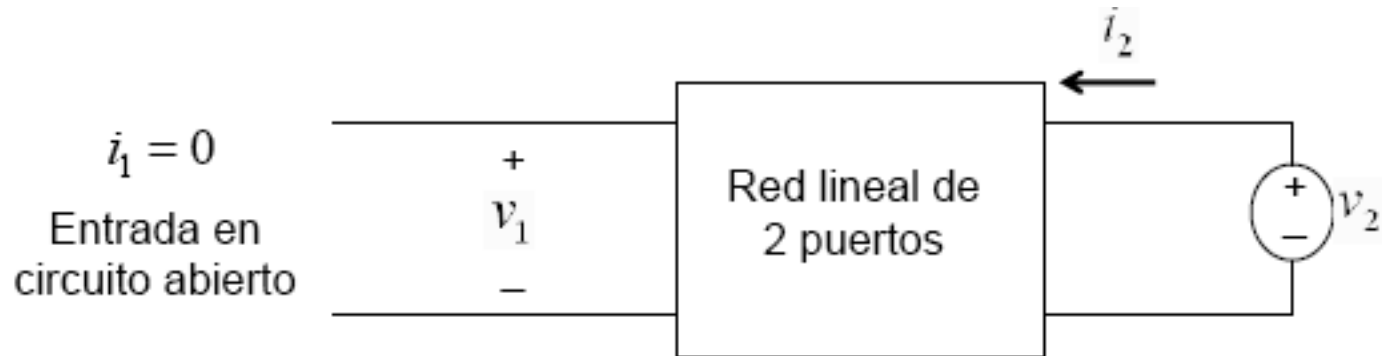
$$h_{11} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0}$$

Impedancia de entrada con salida en corto circuito
OHMS

$$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0}$$

Ganancia directa de corriente con salida en corto circuito
ADIMENSIONAL

DEFINICIÓN DE PARÁMETROS HÍBRIDOS PARA EL PUERTO DE SALIDA CUANDO LA CORRIENTE DEL PUERTO DE ENTRADA ES CERO



$$v_1 = \cancel{h_{11}i_1} + h_{12}v_2$$

$$i_2 = \cancel{h_{21}i_1} + h_{22}v_2$$

$$h_{12} = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

Ganancia inversa de voltaje con entrada en circuito abierto
ADIMENSIONAL

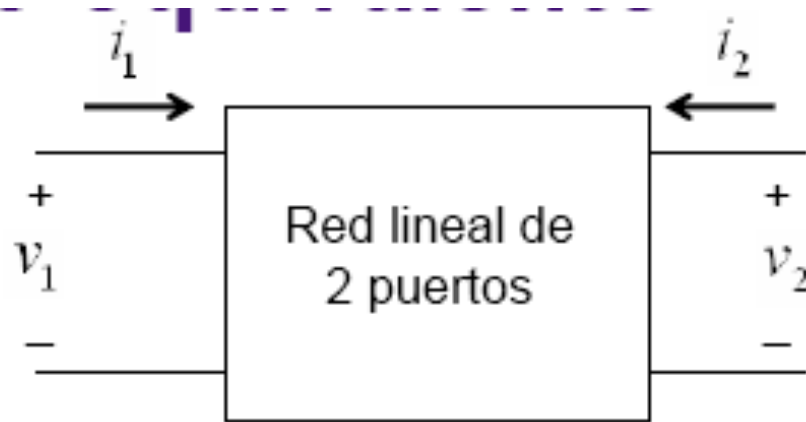
$$h_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

Admitancia de salida con entrada en circuito abierto
SIEMENS

DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍBRIDOS SEGÚN LOS CONCEPTOS CLÁSICOS DE IMPEDANCIAS Y GANANCIAS

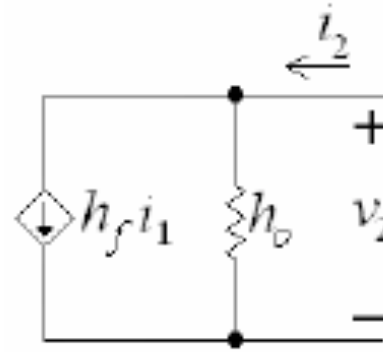
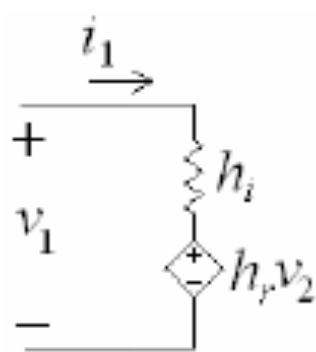
$h_{11} = \left. \frac{v_1}{i_1} \right _{v_2=0}$	Impedancia de entrada con salida en corto circuito INPUT	$\Rightarrow h_i$
$h_{21} = \left. \frac{i_2}{i_1} \right _{v_2=0}$	Ganancia directa de corriente con salida en corto circuito FORWARD	$\Rightarrow h_f$
$h_{12} = \left. \frac{v_1}{v_2} \right _{i_1=0}$	Ganancia inversa de voltaje con entrada en circuito abierto REVERSE	$\Rightarrow h_r$
$h_{22} = \left. \frac{i_2}{v_2} \right _{i_1=0}$	Admitancia de salida con entrada en circuito abierto OUTPUT	$\Rightarrow h_o$

IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS EN LAS ECUACIONES CON LA NOTACIÓN CORRESPONDIENTE Y CIRCUITO EQUIVALENTE

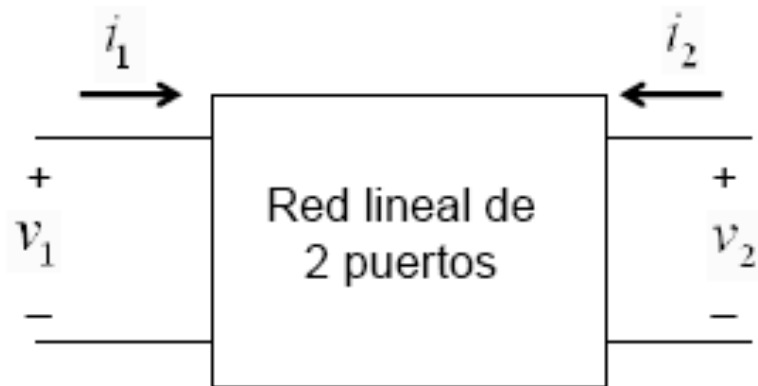


$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2 \quad (\text{Suma de voltajes})$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2 \quad (\text{Suma de corrientes})$$

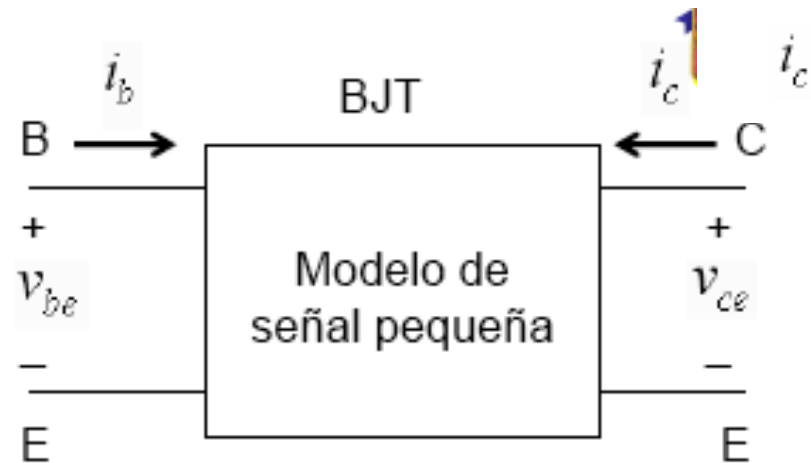
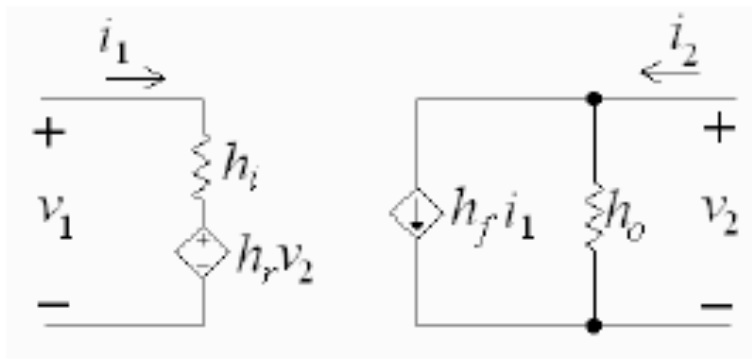


MODELO DE EMISOR COMÚN



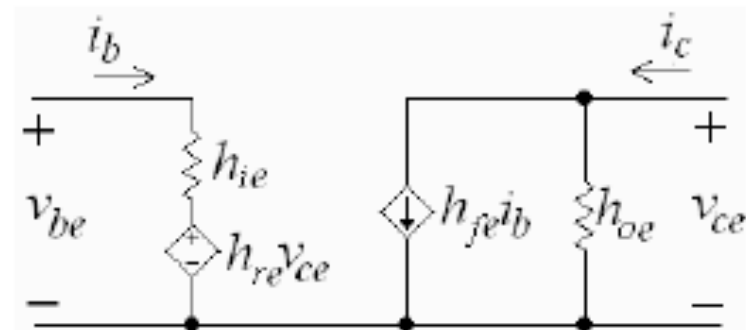
$$v_1 = h_i i_1 + h_r v_2$$

$$i_2 = h_f i_1 + h_o v_2$$



$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$

$$i_c = h_{fe} i_b + h_{oe} v_{ce}$$



OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS HÍBRIDOS DE UN TRANSISTOR SOBRE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS BE

h_{ie}

Tomando el caso de h_{ie}

$$v_{be} = h_{ie} i_b + h_{re} v_{ce}$$



$$h_{ie} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{ce}=0}$$

Recordando que para excitación senoidal

$$v_{be} = V_{bem} \sin \omega t$$

$$i_b = I_{bm} \sin \omega t$$

$$v_{ce} = V_{cem} \sin \omega t$$

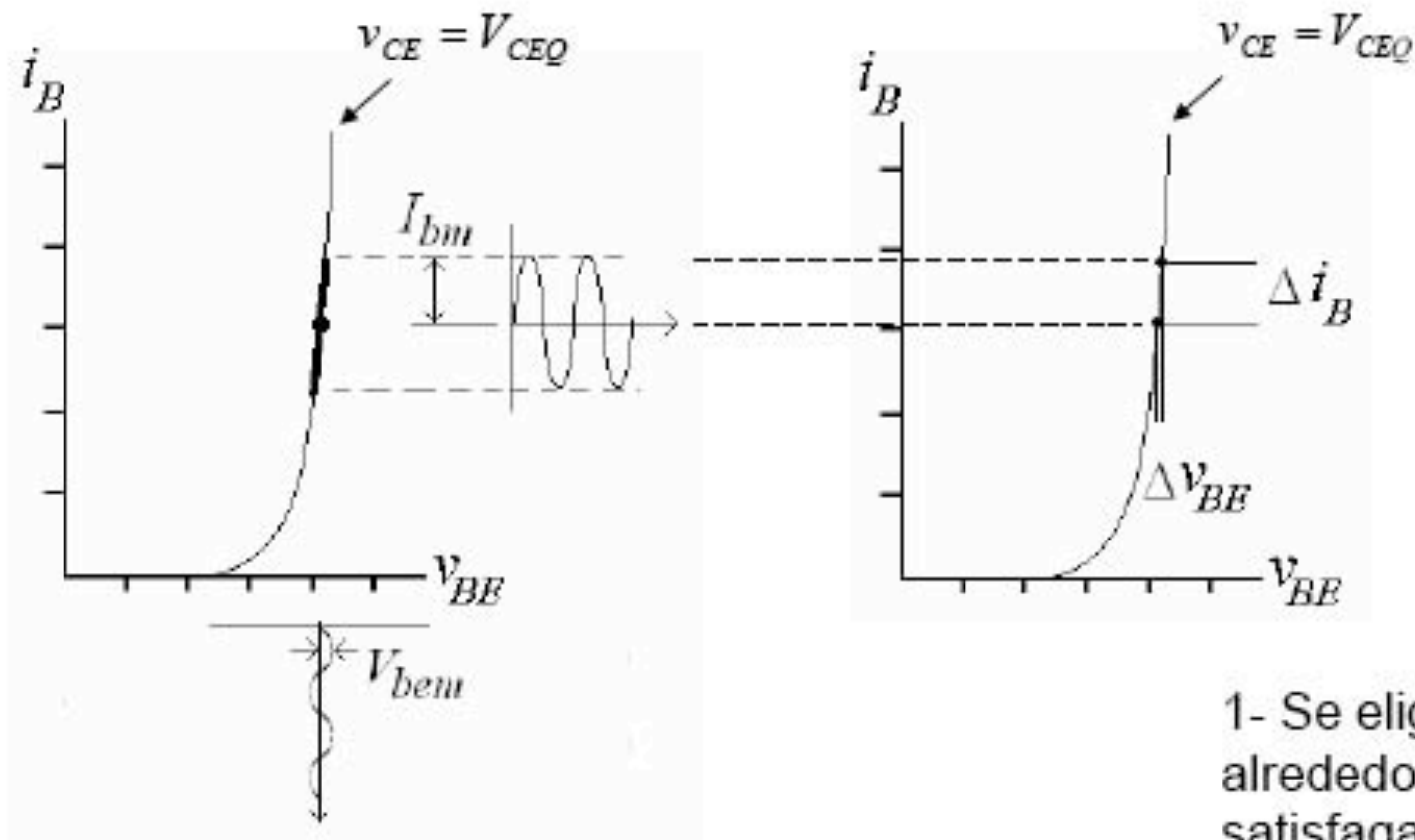
Cuando $v_{ce}=0$ entonces

$$v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce} = V_{CEQ}$$

Sustituyendo y simplificando

$$h_{ie} = \left. \frac{v_{be}}{i_b} \right|_{v_{ce}=0} = \left. \frac{V_{bem}}{I_{bm}} \right|_{v_{CE}=V_{CEQ}}$$

Usando las curvas características BE

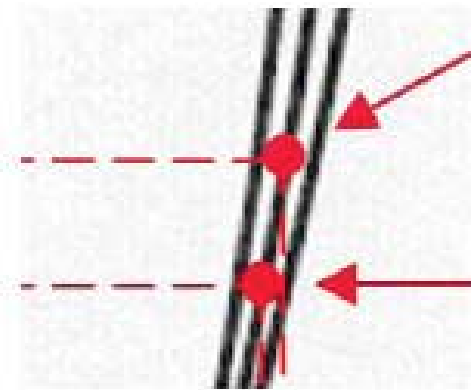
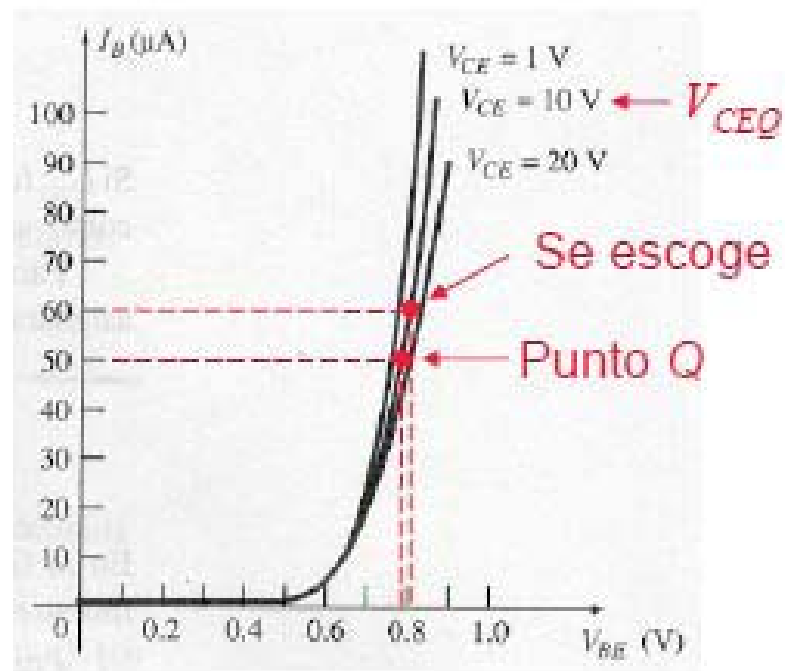


$$h_{ie} = \left. \frac{V_{bem}}{I_{bm}} \right|_{v_{CE}=V_{CEQ}} = \left. \frac{\Delta v_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{v_{CE}=V_{CEQ}}$$

- 1- Se elige un punto alrededor del punto Q que satisfaga la condición ($v_{CE}=V_{CEQ}$).
- 2- Se identifican los incrementos.
- 3- Se dividen.

EJEMPLO

Ejemplo: Usando las curvas características mostradas, obtener h_{ie} sabiendo que $I_{BQ}=50\mu\text{A}$ y $V_{CEQ}=10\text{V}$

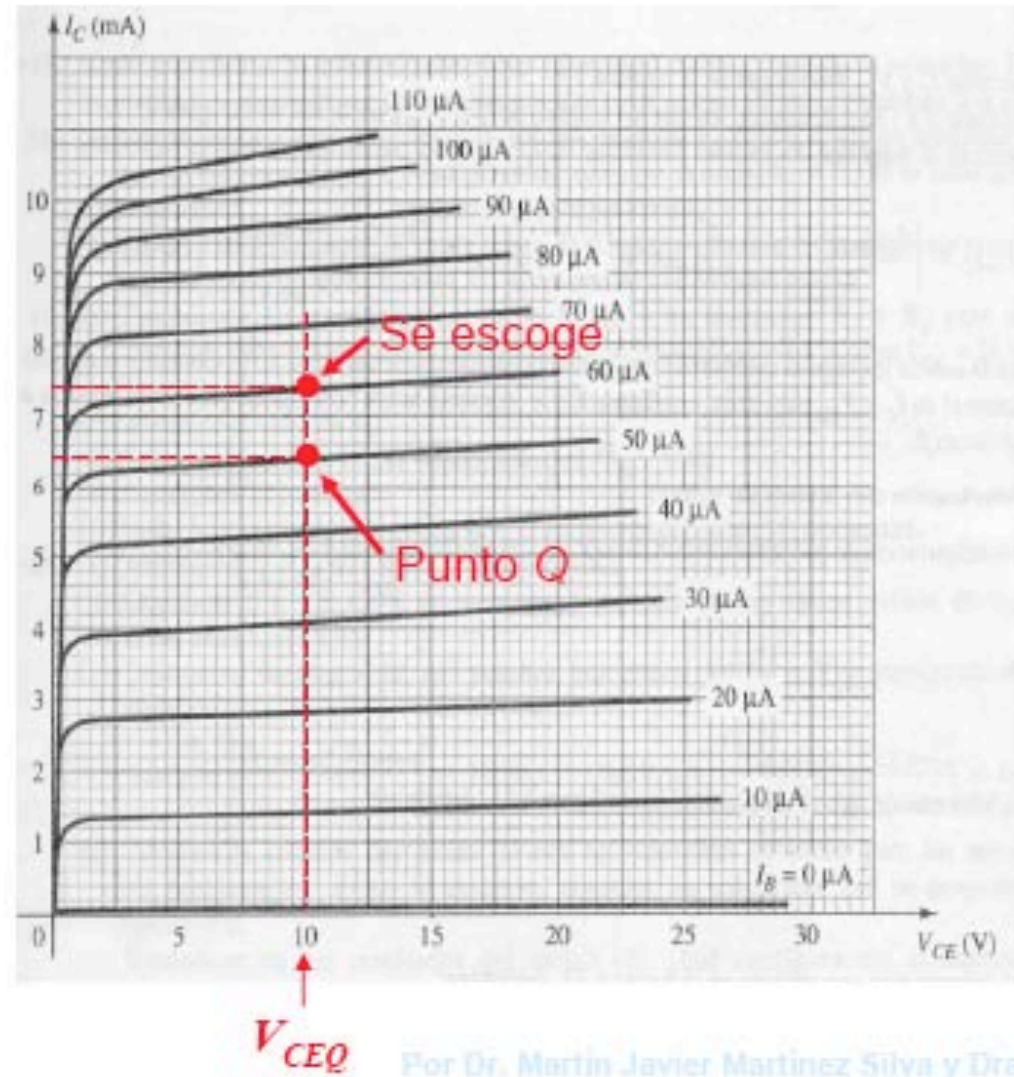


Solución: De las curvas

$$h_{ie} = \frac{(0.81 - 0.78)\text{V}}{(60 - 50)\mu\text{A}} = 3\text{ k}\Omega$$

hfe

Ejemplo: Usando las curvas características mostradas, obtener h_{fe} sabiendo que $I_{BQ}=50\mu A$ y $V_{CEQ}=10V$



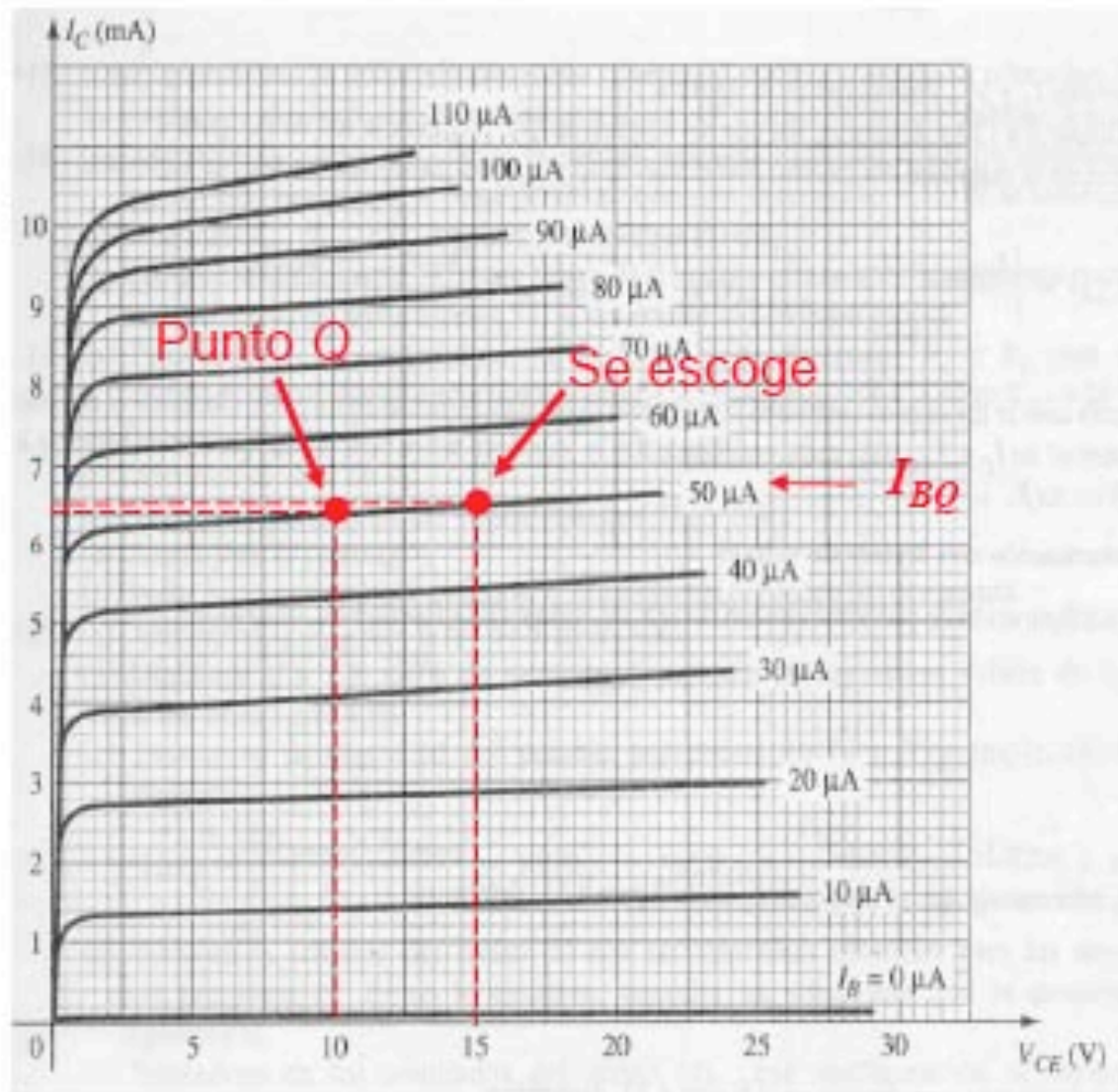
Solución: De las curvas

$$h_{fe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{V_{CE} = V_{CEQ}}$$
$$h_{fe} = \frac{(7.4 - 6.4) \text{ mA}}{(60 - 50) \mu A} = 100$$

$$h_{fe} \approx \beta$$

hoe

Ejemplo: Usando las curvas características mostradas, obtener h_{oe} sabiendo que $I_{BQ}=50\mu\text{A}$ y $V_{CEQ}=10\text{V}$



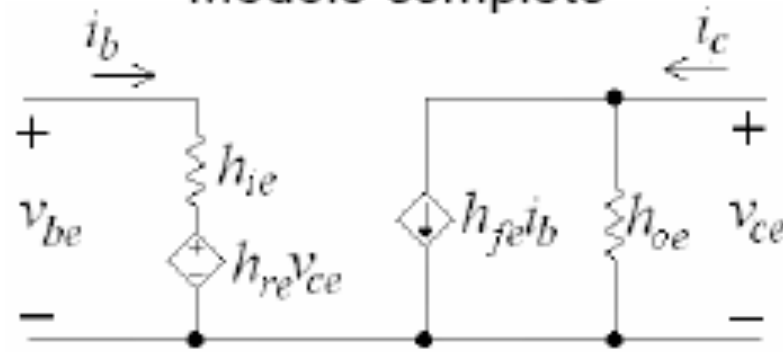
Solución: De las curvas CE

$$h_{oe} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta v_{CE}} \right|_{i_B = I_{BQ}}$$

$$h_{oe} = \frac{(6.52 - 6.4)\text{mA}}{(15 - 10)\text{V}} = 24\mu\text{S}$$

MODELOS SIMPLIFICADOS

Modelo completo



Valores típicos:

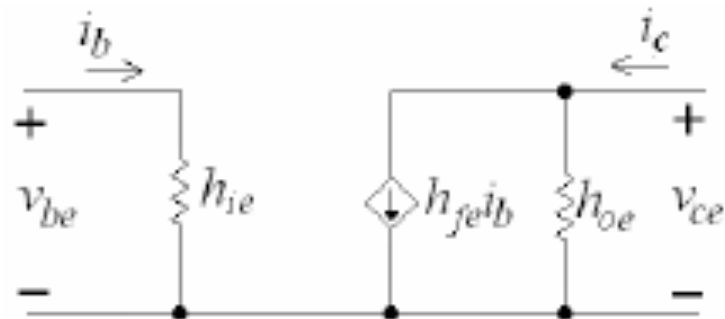
$$h_{ie} \approx 1000 \Omega$$

$$h_{fe} \approx 100$$

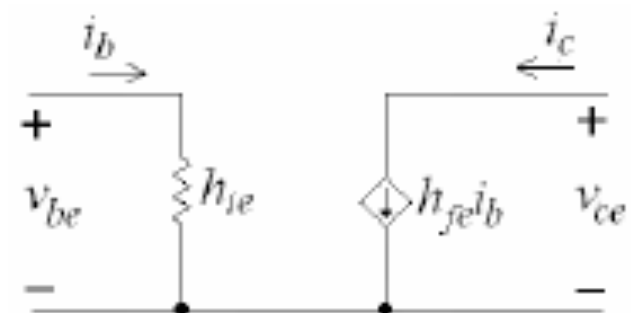
$$h_{re} < 10^{-4}$$

$$h_{oe} < 10^{-4} \text{ S}$$

Modelo simplificado 1 ($h_{re} = 0$)



Modelo simplificado 2 ($h_{re} = 0, h_{oe} = 0$)

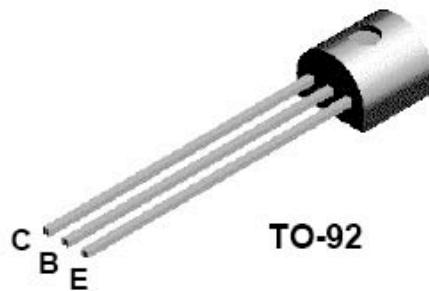


PREPARACIÓN DE LA PRÁCTICA 3

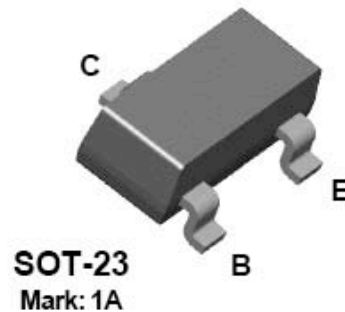
CARACTERÍSTICAS DEL BJT. AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN

ESPECIFICACIONES DEL TRANSISTOR NPN 2N3904

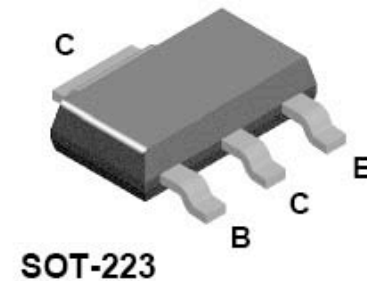
2N3904



MMBT3904



PZT3904



NPN General Purpose Amplifier

This device is designed as a general purpose amplifier and switch. The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.

Absolute Maximum Ratings* T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V _{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V _{CBO}	Collector-Base Voltage	60	V
V _{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I _C	Collector Current - Continuous	200	mA
T _J , T _{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Thermal Characteristics T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Characteristic	Max			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
P _D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	625	350	1,000	mW
		5.0	2.8	8.0	mW/°C
R _{θJC}	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
R _{θJA}	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Max	Units
--------	-----------	-----------------	-----	-----	-------

OFF CHARACTERISTICS

$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA

ON CHARACTERISTICS*

h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$ $I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V V

SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS

f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		4.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 1.0 \text{ MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_S = 1.0 \text{ k}\Omega, f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$		5.0	dB

SWITCHING CHARACTERISTICS

t_d	Delay Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{BE} = 0.5 \text{ V},$		35	ns
t_r	Rise Time	$I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$		35	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA}$		200	ns
t_f	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$		50	ns

*Pulse Test: Pulse Width $\leq 300 \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2.0\%$

CIRCUITOS PARA LA PRÁCTICA N° 3

Características de salida del BJT

El transistor se dibuja como un componente real para indicar que no es parte de un amplificador.

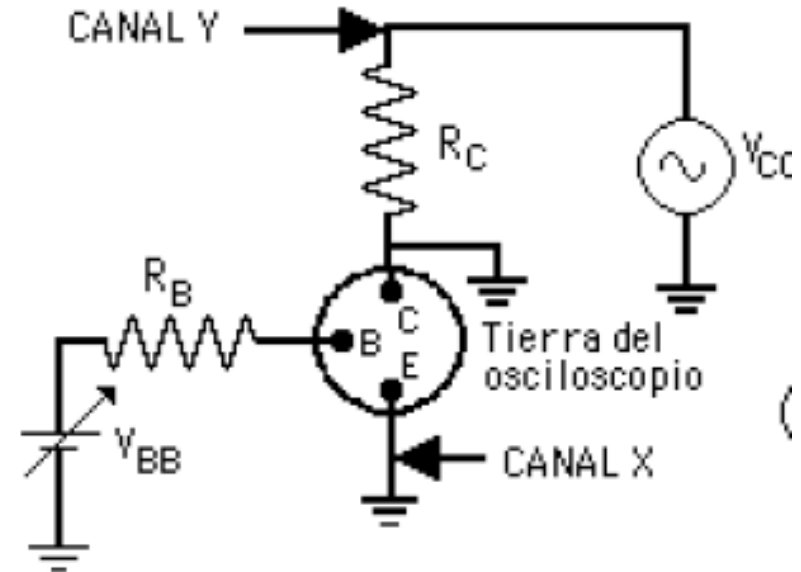
$$R_C = 1\text{k}\Omega$$

$$R_B = 4,3\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$$

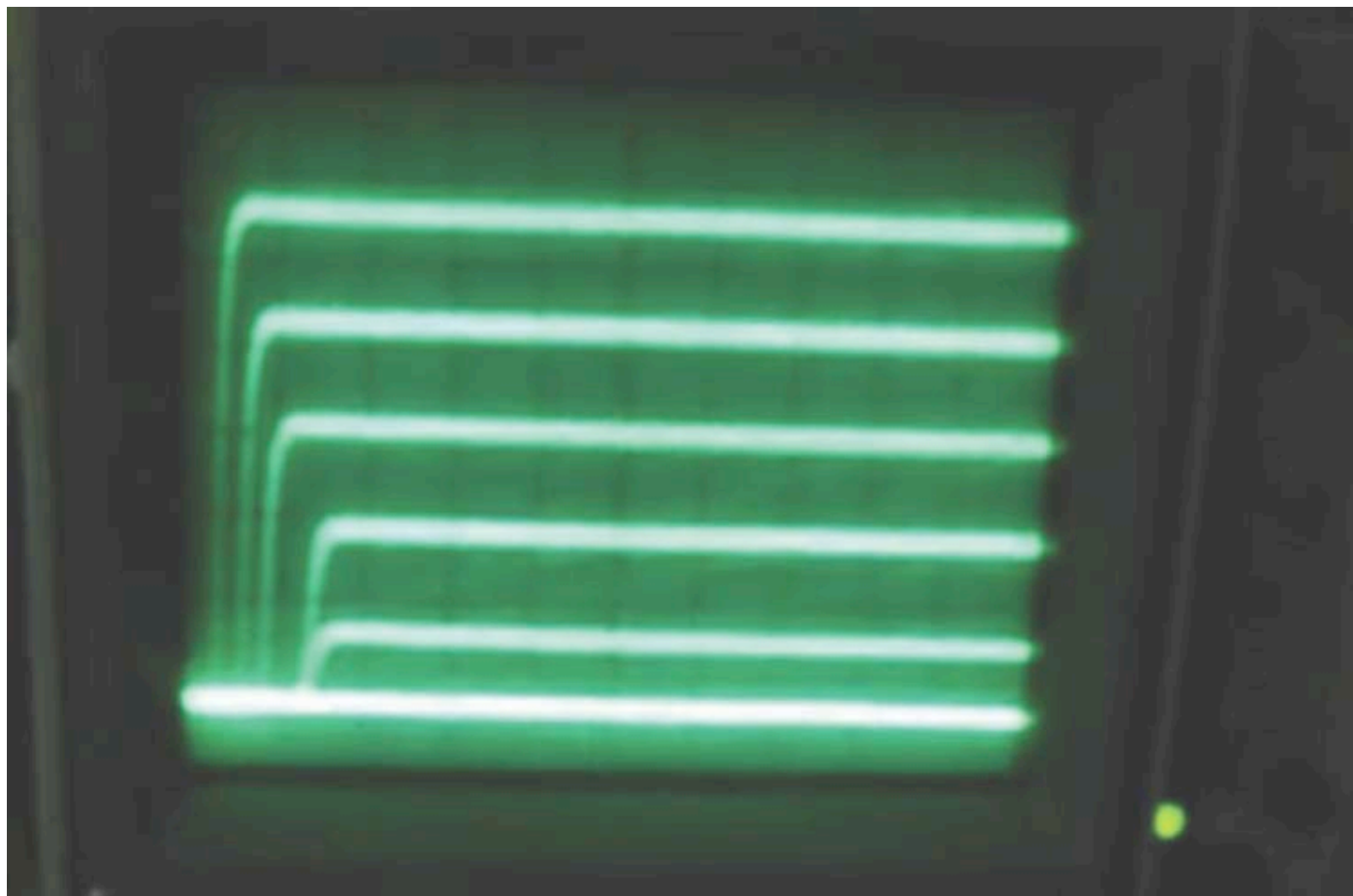
Voltaje V_{BB} = De 0 a 5V

Generador: $V_{\text{max}} = 10\text{V}$ $V_{\text{offset}} = 10\text{V}$ $f = 1\text{ kHz}$

Para cada valor de V_{BB} se observa una sola curva de I_C vs. V_{CE}



En la pantalla del osciloscopio



Para medir β (h_{fe})

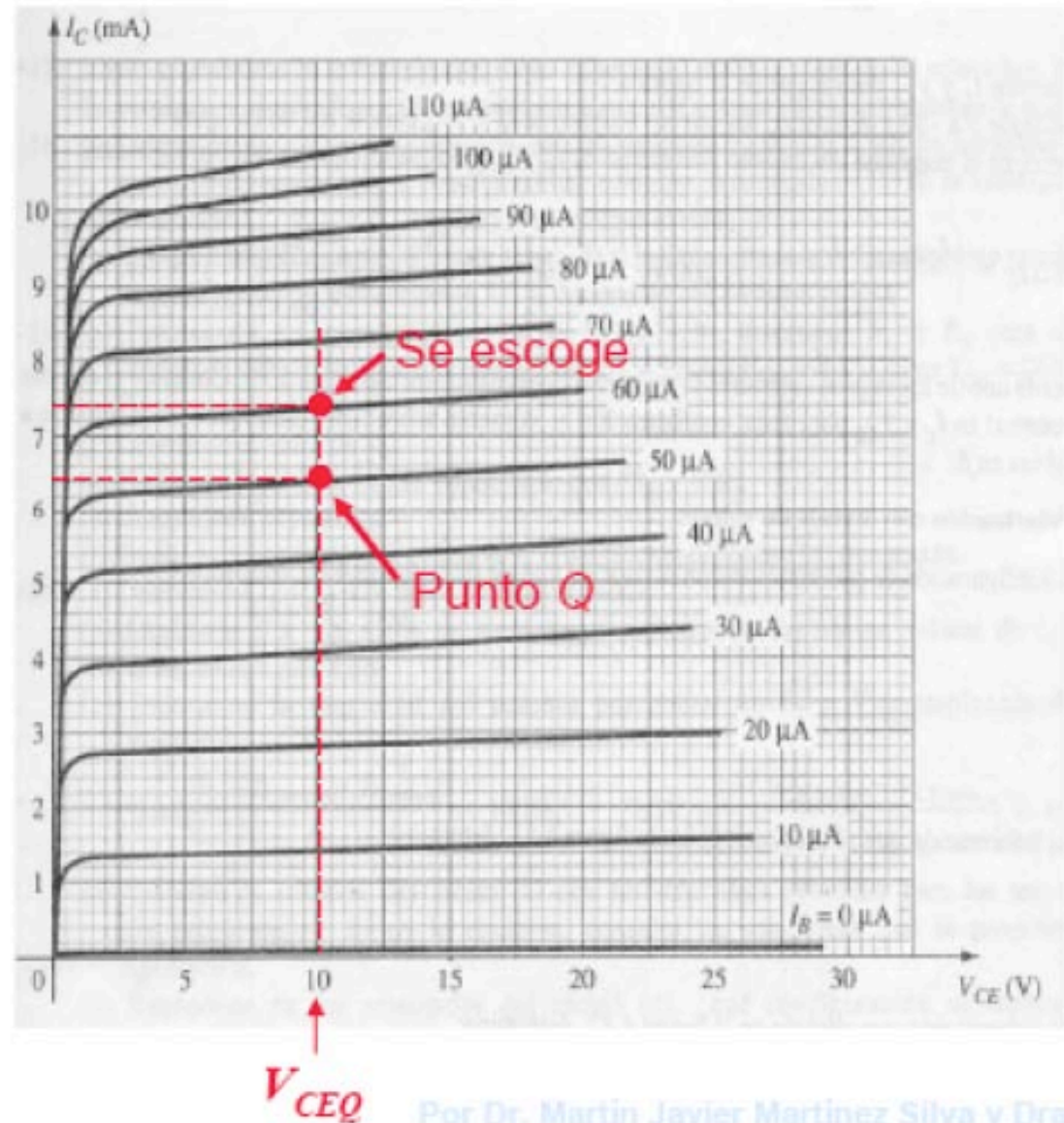
Primera curva en pantalla:
Se mide I_{B1} , I_{C1} y V_{CE}

Se incrementa la fuente DC para obtener una segunda curva.

Para el mismo V_{CE} se mide I_{B2} e I_{C2}

El parámetro β es:

$$\beta = \frac{I_{C2} - I_{C1}}{I_{B2} - I_{B1}}$$



Para medir r_o (h_{oe})

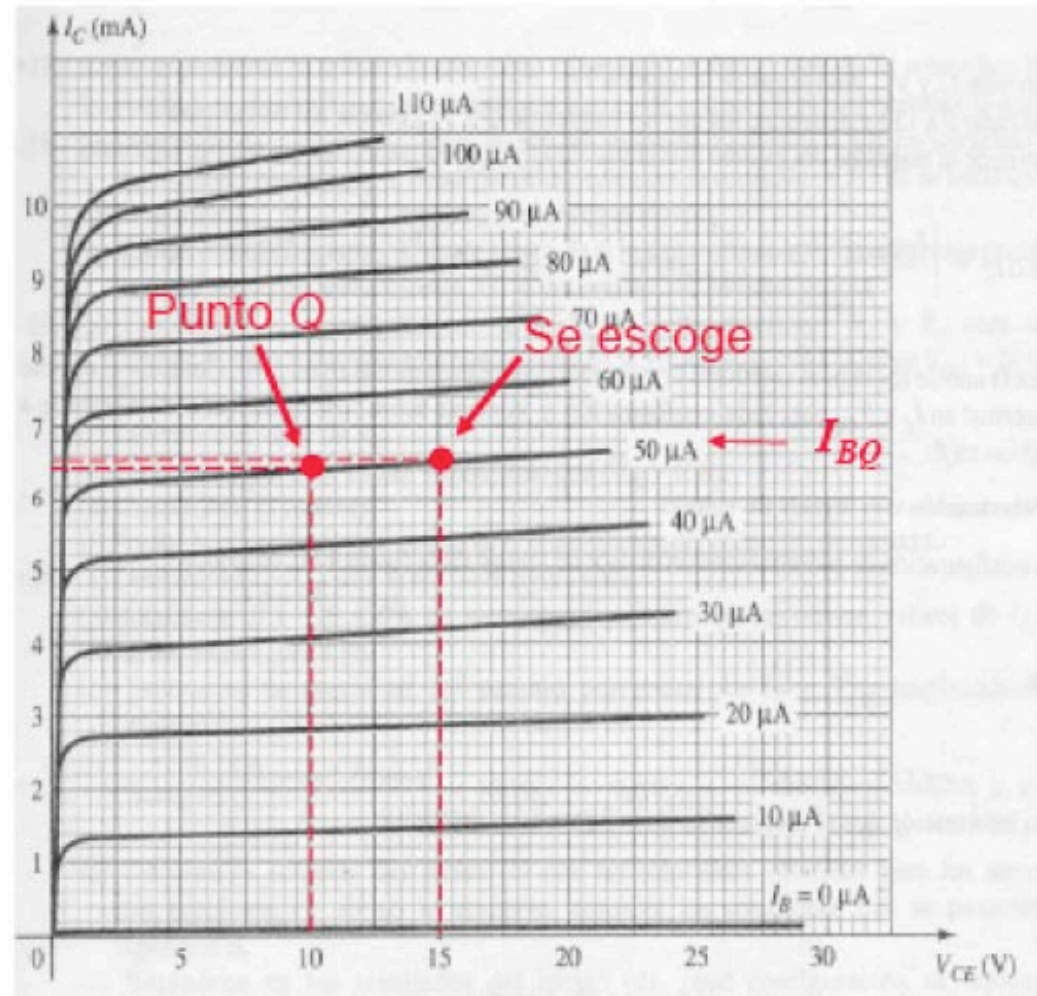
Sobre una misma curva
(I_B constante):

Se mide I_{C1} y V_{CE1}

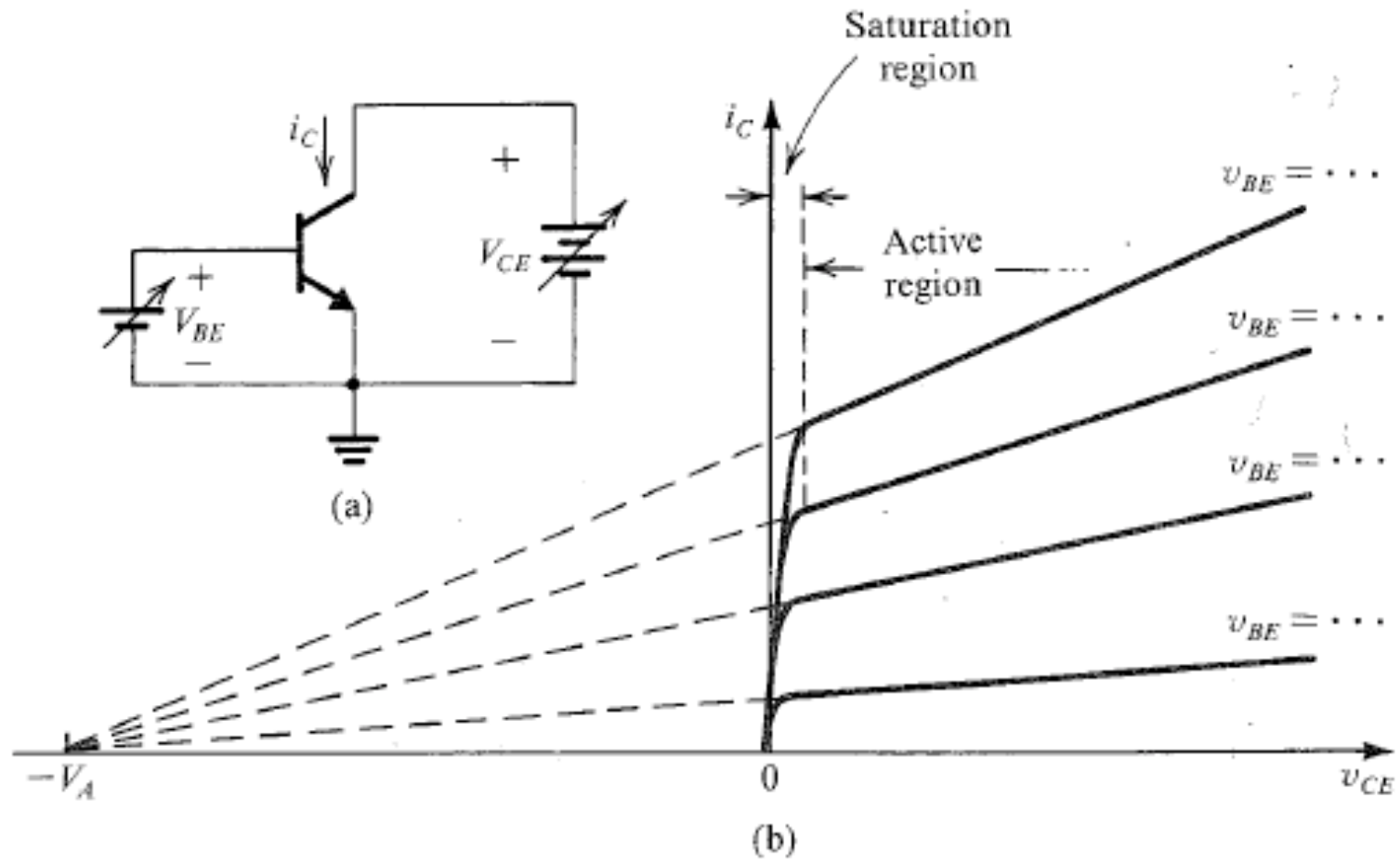
Se mide I_{C2} y V_{CE2}

El parámetro r_o es:

$$r_o = \frac{V_{CE2} - V_{CE1}}{I_{C2} - I_{C1}}$$



Determinación de V_A



Características de entrada del BJT

$$R_C = 1\text{k}\Omega$$

$$R_B = 4,3\text{k}\Omega, 10\text{k}\Omega$$

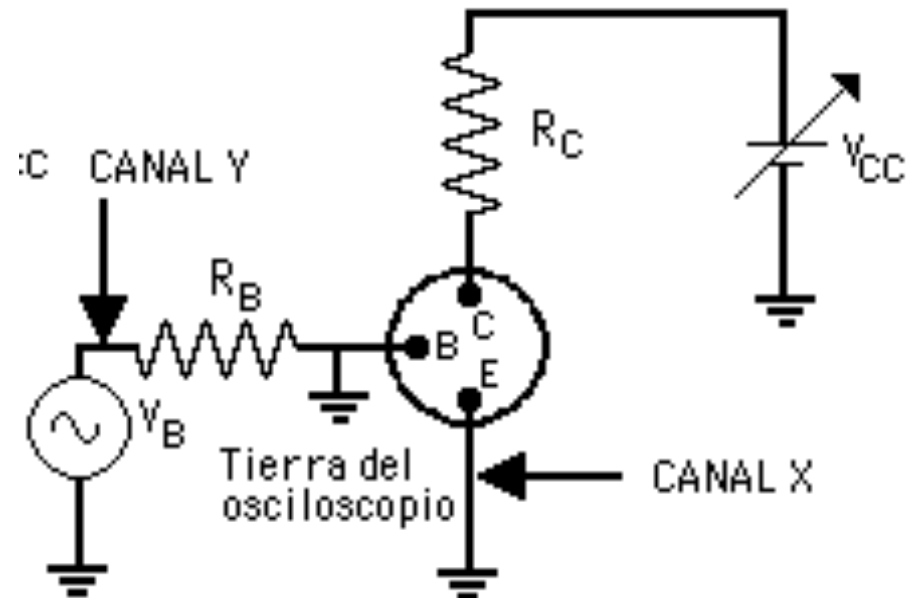
Voltaje $V_{CC} = 12$ a 20 V

Generador:

$$V_{\text{max}} = 10\text{V} \quad V_{\text{offset}} = 10\text{V} \quad f = 1 \text{ kHz}$$

Al variar V_{CC} se modifica ligeramente la curva observada en la pantalla.

La figura es la curva característica del diodo de la juntura BE.



Para medir r_{π} (h_{ie})

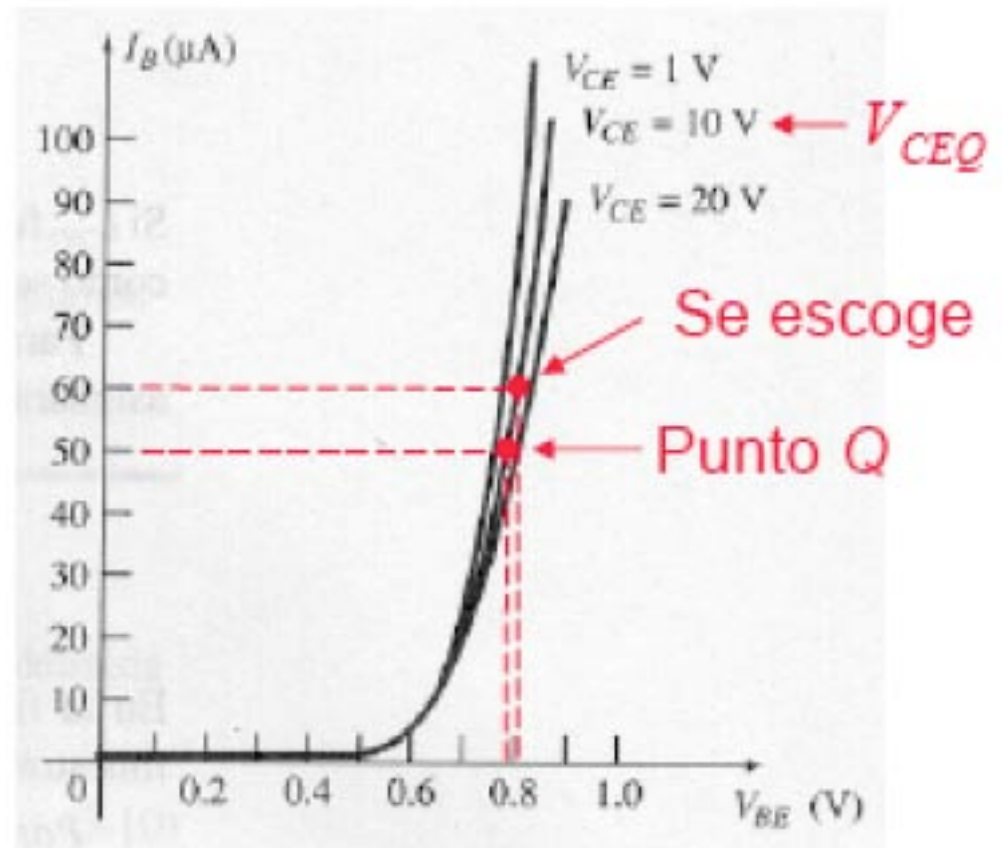
Sobre la misma curva
(V_{CE} constante):

Se mide I_{B1} y V_{BE1}

Se mide I_{B2} y V_{BE2}

El parámetro r_{π} es

$$r_{\pi} = \frac{V_{CB2} - V_{CB1}}{I_{B2} - I_{B1}}$$



AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN CON RESISTENCIA DE EMISOR PARA POLARIZACIÓN

Transistor 2N3904

$V_{CC} = 20V$

$R_{B1} = 30k\Omega$

$R_{B2} = 4,7k\Omega$

$R_C = 1k\Omega$

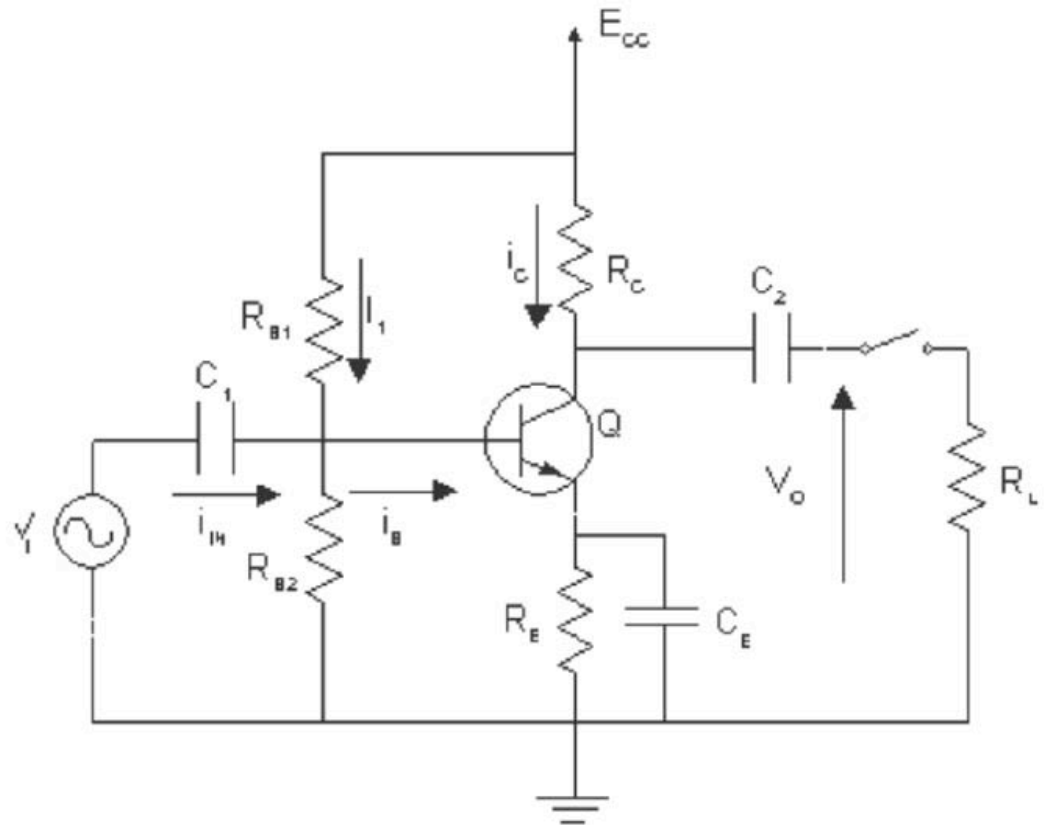
$R_E = 200\Omega$

$R_L = 1k\Omega$

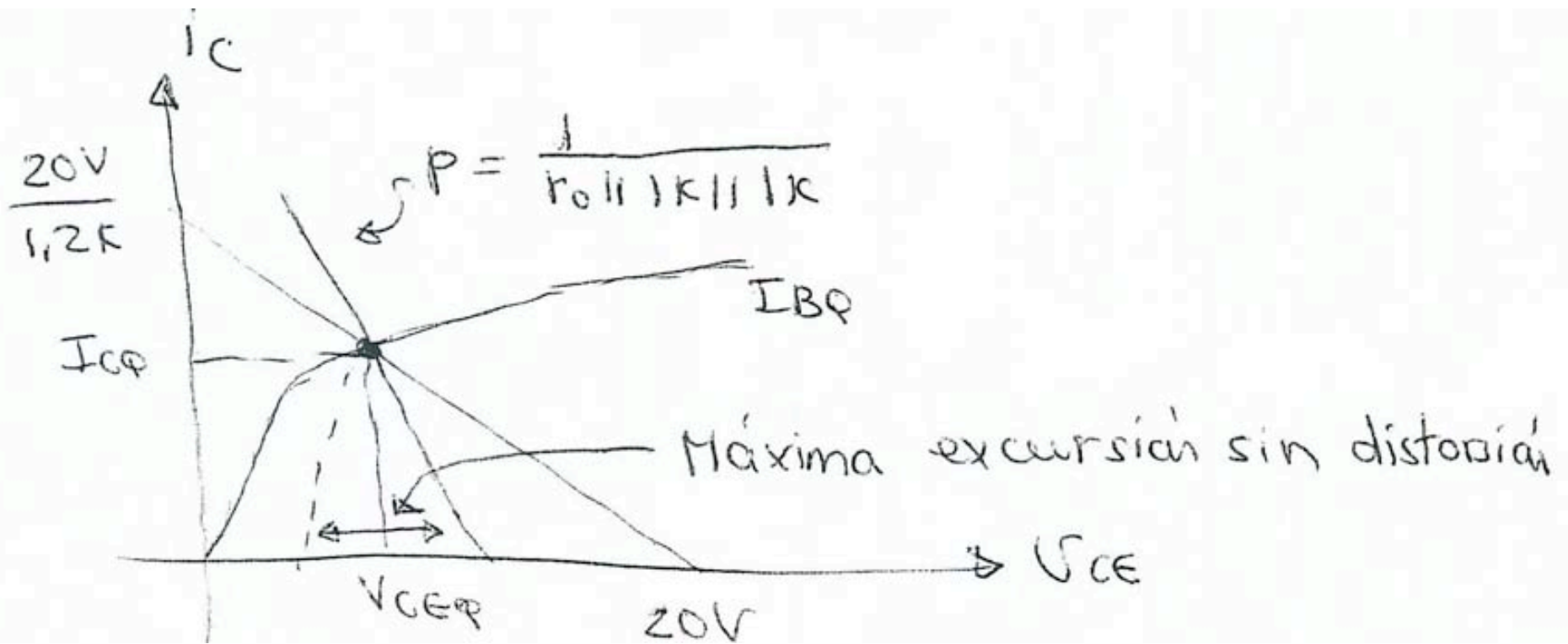
$C_1 = 22\mu F$

$C_2 = 1\mu F$

$C_E = 470\mu F$ electrolítico



RECTAS DE CARGA

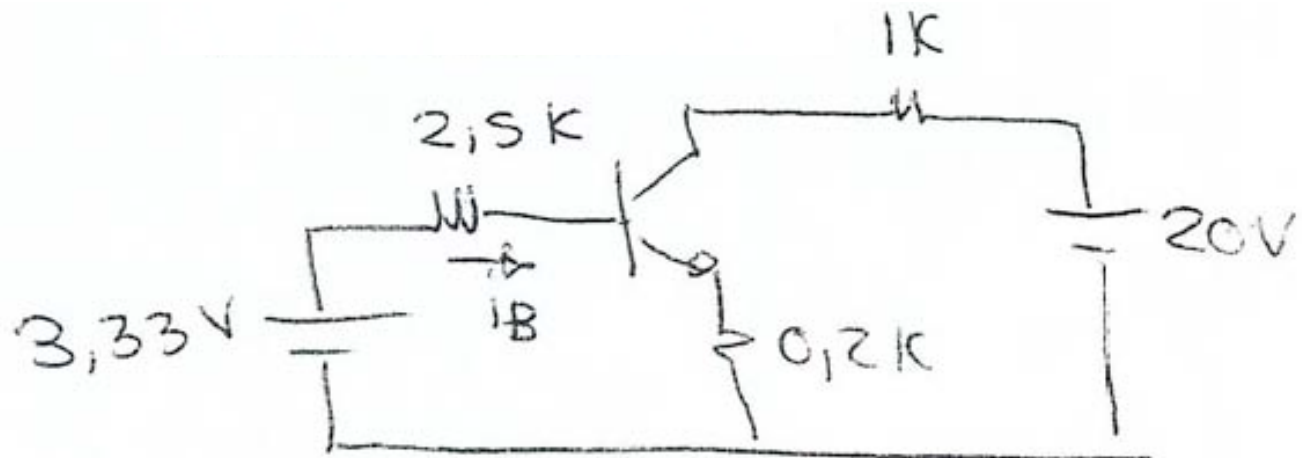
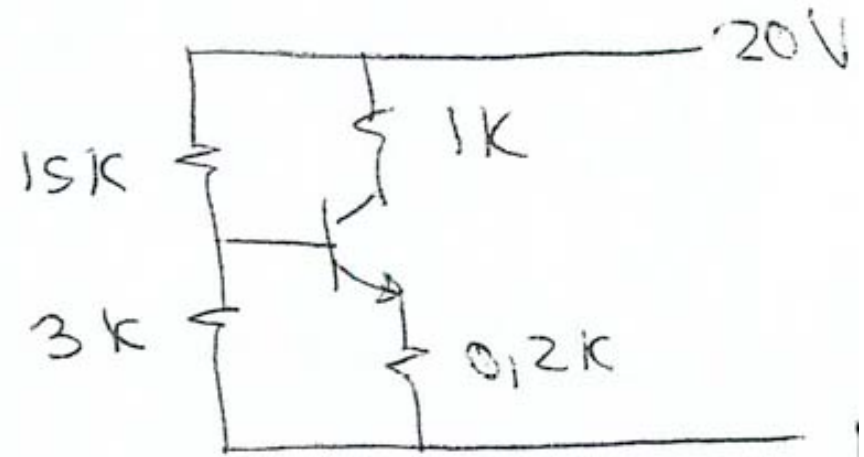


PUNTO DE OPERACIÓN

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 3,33 \text{ V}$$

$$R_B = 15 \text{ k} \parallel 3 \text{ k} = 2,5 \text{ k}$$



CÁLCULO DEL PUNTO DE OPERACIÓN

$$i_B = \frac{3,33 - 0,1}{2,5 + 0,2 \times 100} = 0,116 \text{ mA}$$

$$i_C = 11,6 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = 20 \text{ V} - 1,2 \times 11,6 = 6,08 \text{ V}$$

Punto de
operación.
Transistor
en la
zona
activa.

PARÁMETROS CON EL MODELO HÍBRIDO π

$$g_m = \frac{I_c}{V_T} = \frac{11,6 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 0,44625 = 446 \text{ mS}$$

$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} = \frac{0,026 \text{ V}}{0,116 \text{ mA}} = 224 \Omega$$

$$r_o \approx \infty$$

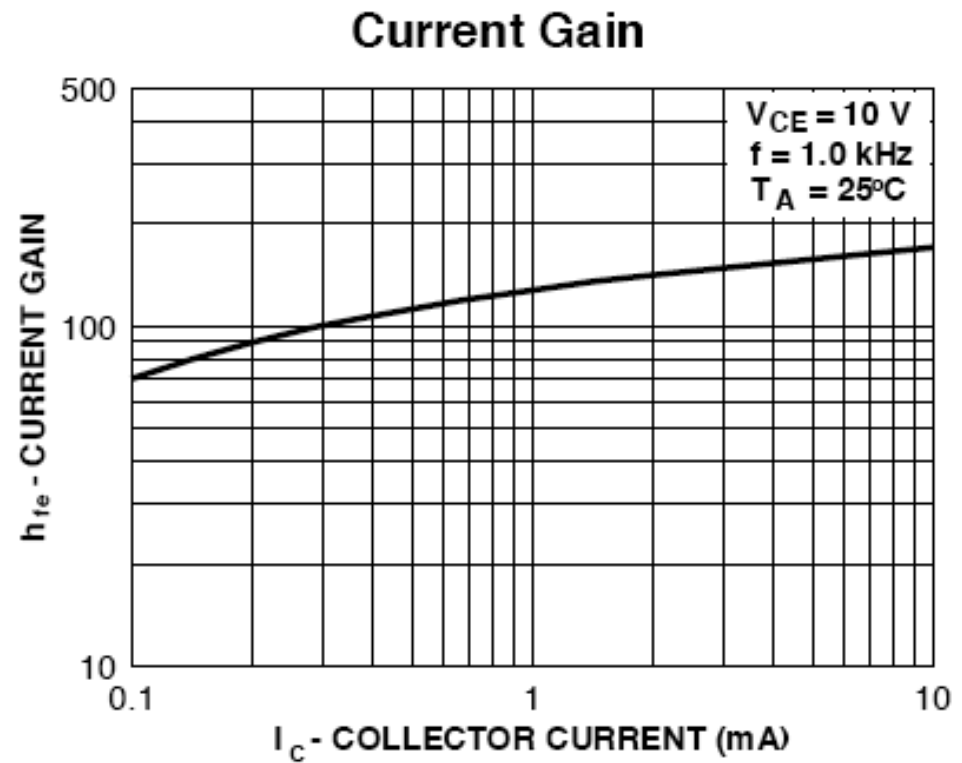
$$\beta = 100$$

PARÁMETROS HÍBRIDOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DEL FABRICANTE

Ganancia de corriente h_{fe}

h_{fe} para 11,6 mA:

$h_{fe} = 180$

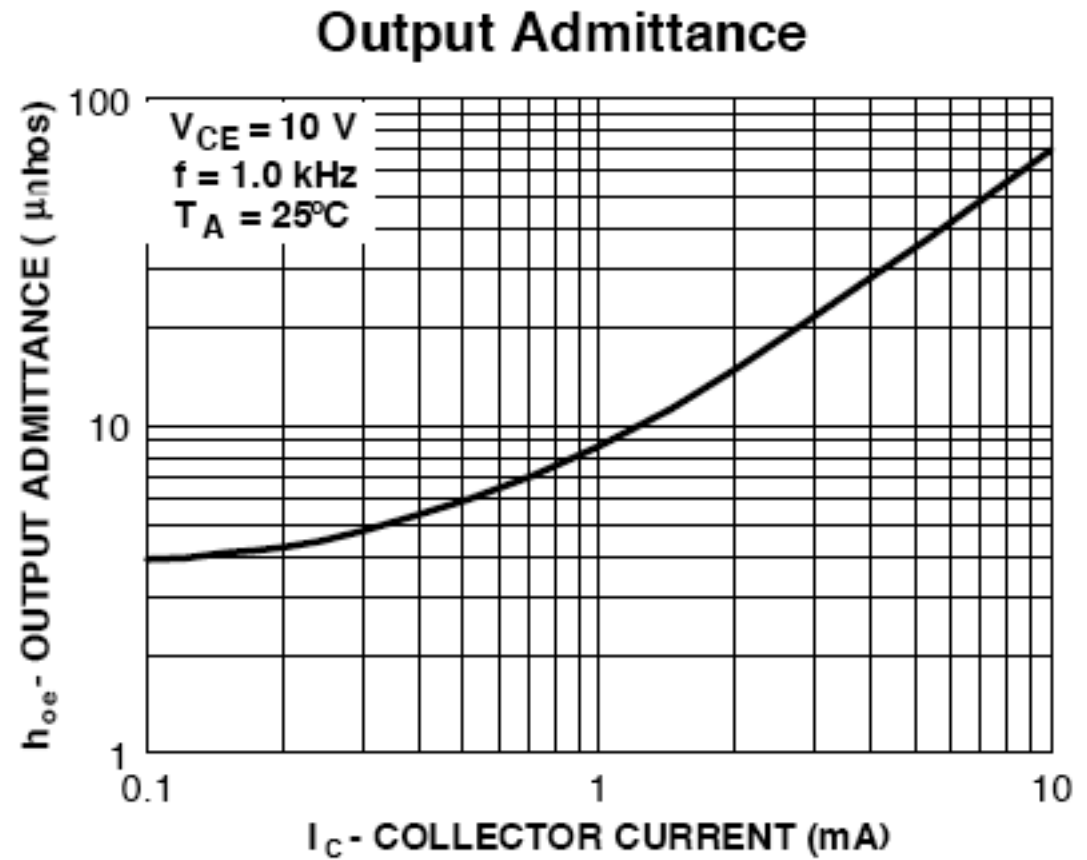


PARÁMETROS HÍBRIDOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DEL FABRICANTE

Impedancia de salida h_{oe}

h_{oe} para 11,6 mA:

$h_{oe} = 70 \mu\text{mohs}$

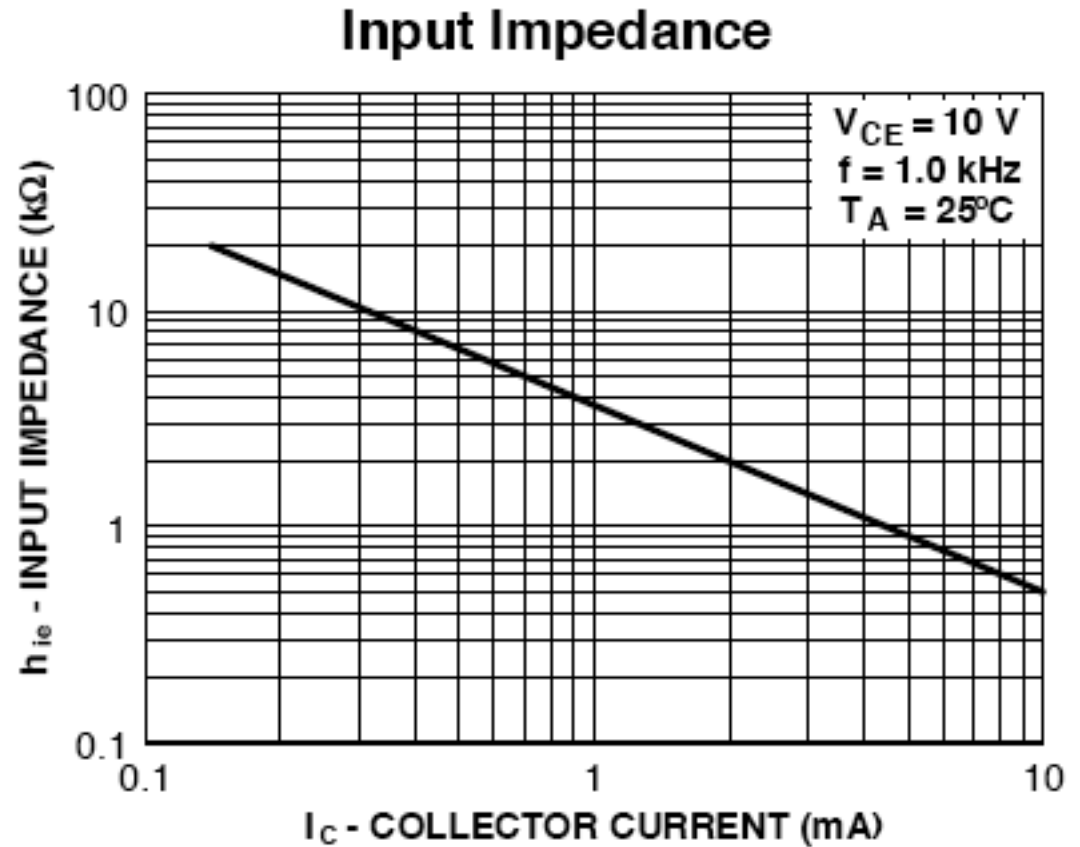


PARÁMETROS HÍBRIDOS A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DEL FABRICANTE

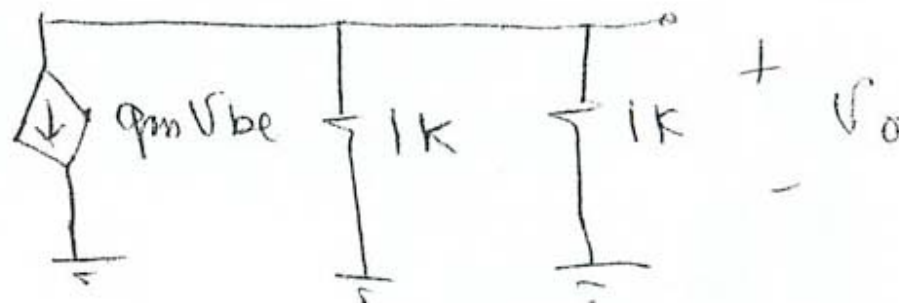
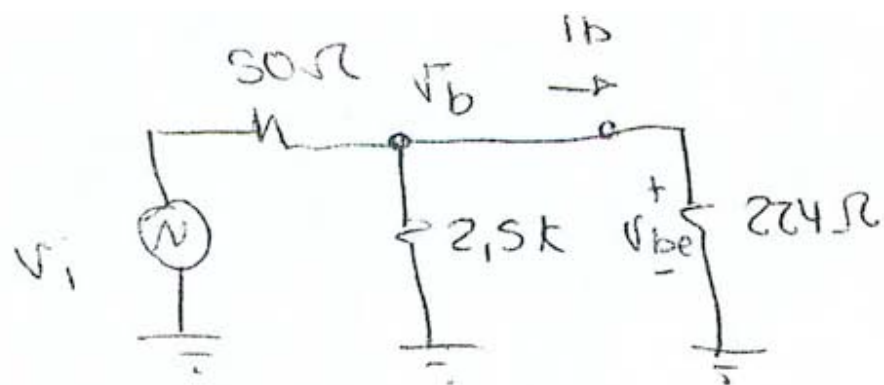
Impedancia de entrada h_{ie}

h_{ie} para 11,6 mA

$h_{ie} = 400\Omega$



ANÁLISIS CON EL MODELO HÍBRIDO π



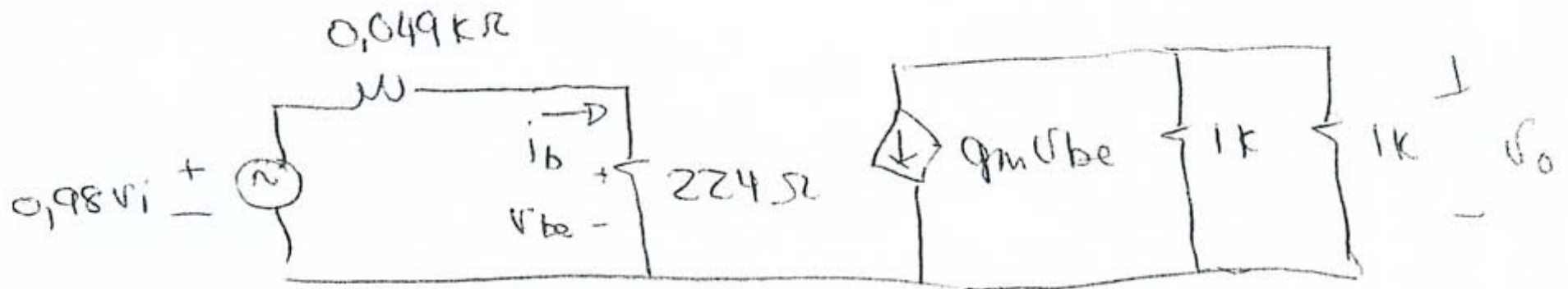
Equivalente Thevenin



$$V_{TH} = \frac{2,5k}{2,55k} v_i = 0,98 v_i$$

$$R_{TH} = 2,5 \parallel 0,05 = 0,049k\Omega$$

Modelo de pequeña señal



$$U_{be} = \frac{224}{224 + 49} 0,98V_i = 0,80V_i$$

$$V_o = -0,5\text{ k} g_m U_{be} = -0,5 \frac{\text{V}}{\text{mA}} \times 446 \frac{\text{mA}}{\text{V}} 0,80V_i$$

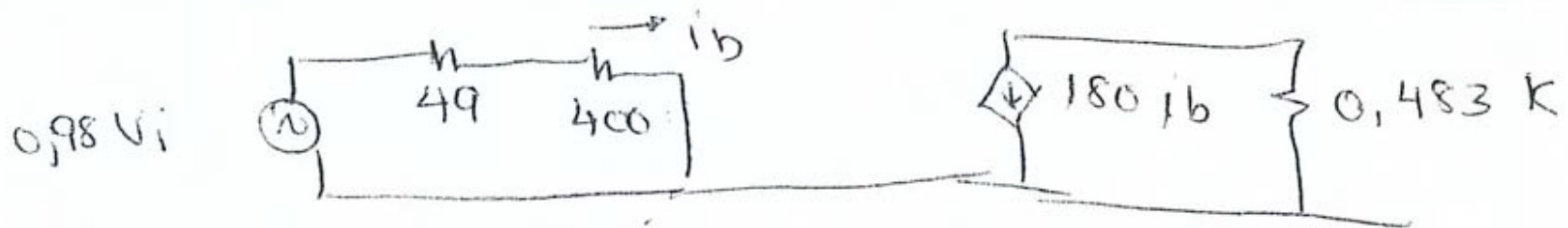
$$V_o = -179,3V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -179,3$$

ANÁLISIS CON EL MODELO DE PARÁMETROS HÍBRIDOS



En este caso está incluida la resistencia en el circuito de salida



Cálculos

$$i_b = \frac{0,98 V_i}{0,449 K} \quad v_o = -180 \times 0,483 i_b = -180 \times 0,483 \frac{0,98 V_i}{0,449}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -189,7$$

Resistencia de entrada:

$$R_i = 2,5 K \parallel 0,224 K = 205 \Omega \text{ Modelo híbrido } \pi$$

$$R_i = 2,5 K \parallel 400 \Omega = 344 \Omega \text{ Modelo parámetros híbridos}$$

Resistencia de salida:

$$R_o = 0,5 K \text{ con el modelo híbrido } \pi$$

$$R_o = 0,483 K \text{ con el modelo de parámetros híbridos}$$

EN EL LABORATORIO POLARIZACIÓN DEL TRANSISTOR

En primer lugar se monta solo el circuito DC.

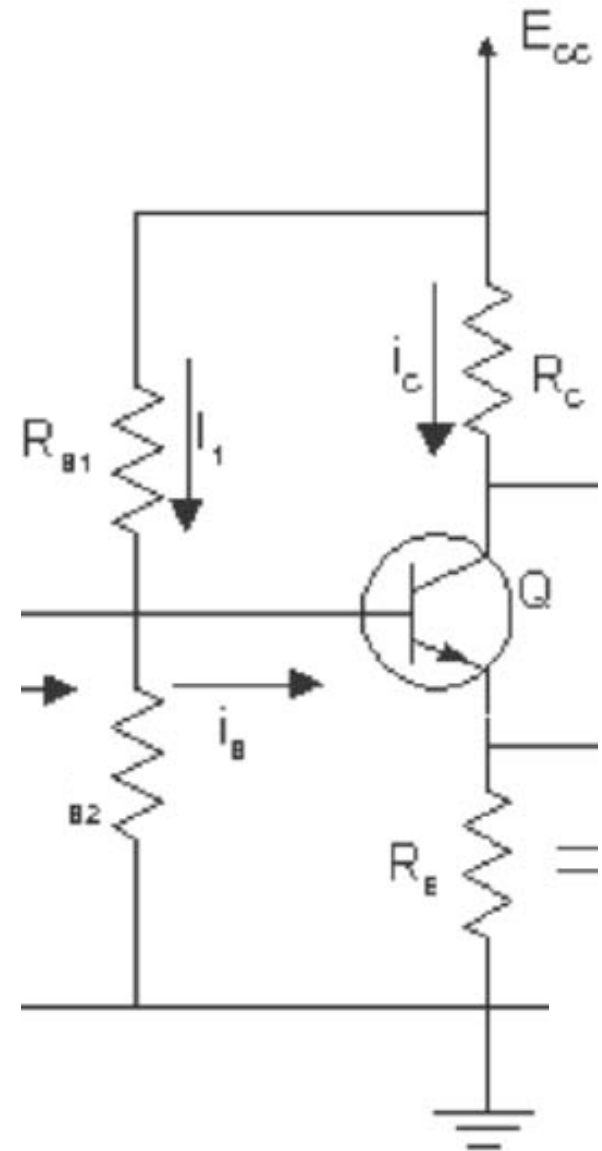
* Se determina el punto de operación midiendo con el multímetro:

V_{BE}

V_{CE}

$I_C = V_{RC} / R_C$

* Solo cuando el punto de operación se encuentre en un rango cercano a los valores deseados, se puede continuar con el estudio en AC.



EL EMISOR COMÚN COMO AMPLIFICADOR

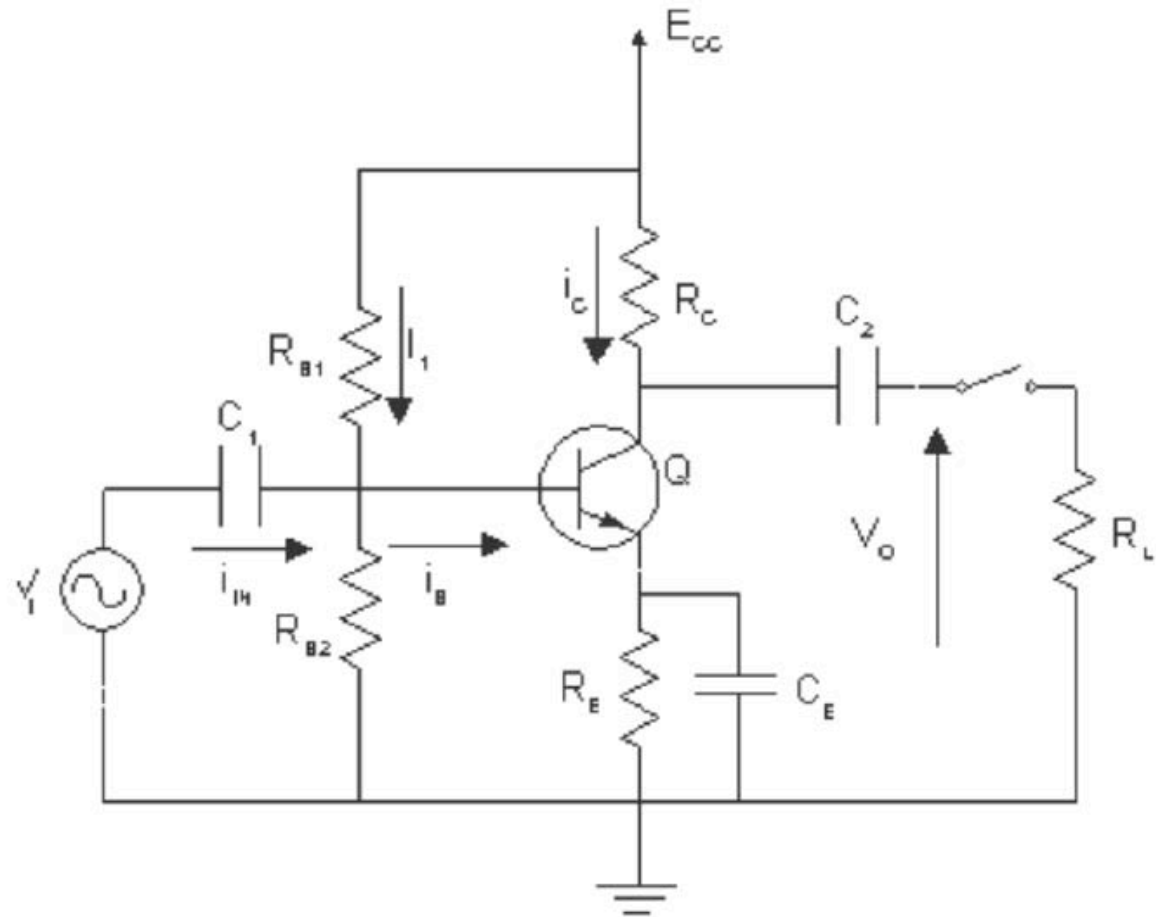
* Se enciende la fuente DC

NOTA : COLOCAR UN DIVISOR DE VOLTAJE A LA SALIDA DEL GENERADOR PARA AJUSTAR V_i , PORQUE EL VOLTAJE MÍNIMO ES MUY ALTO

* Se aplica el voltaje de salida del generador

* Se observa el V_{imax} que no produce

distorsión a la salida y luego se aumenta hasta producir distorsión

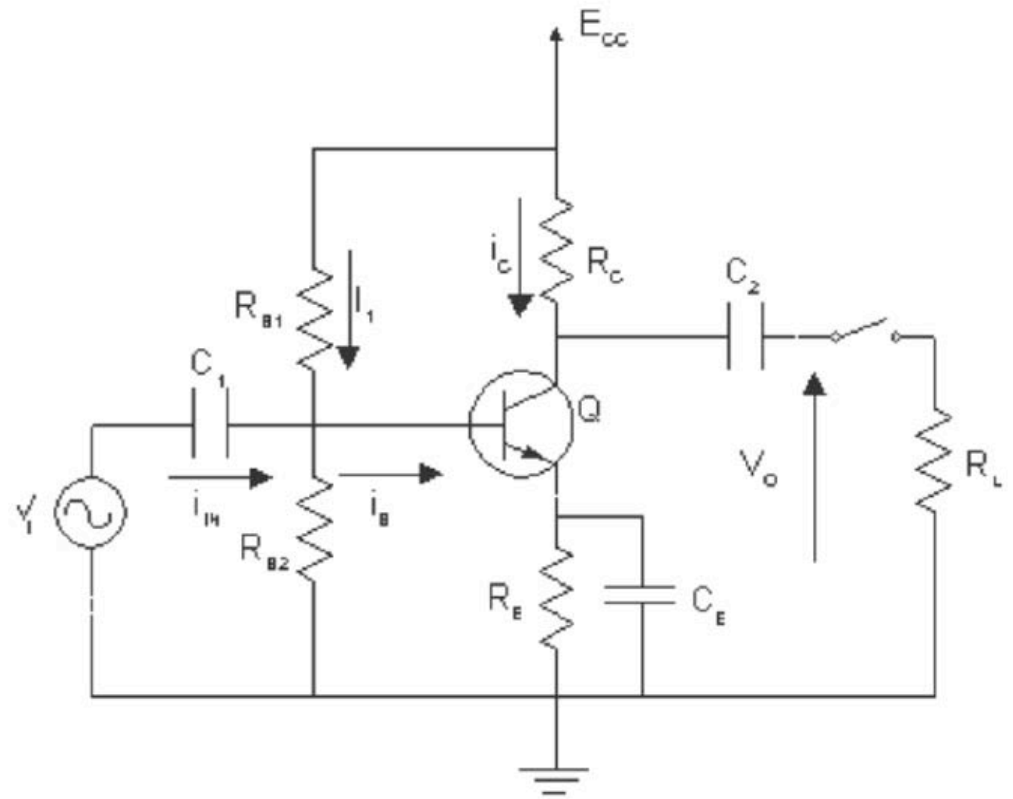


MEDICIÓN DE LAS GANANCIA DE VOLTAJE

Ganancia de voltaje:

$$A_V = V_o / V_i$$

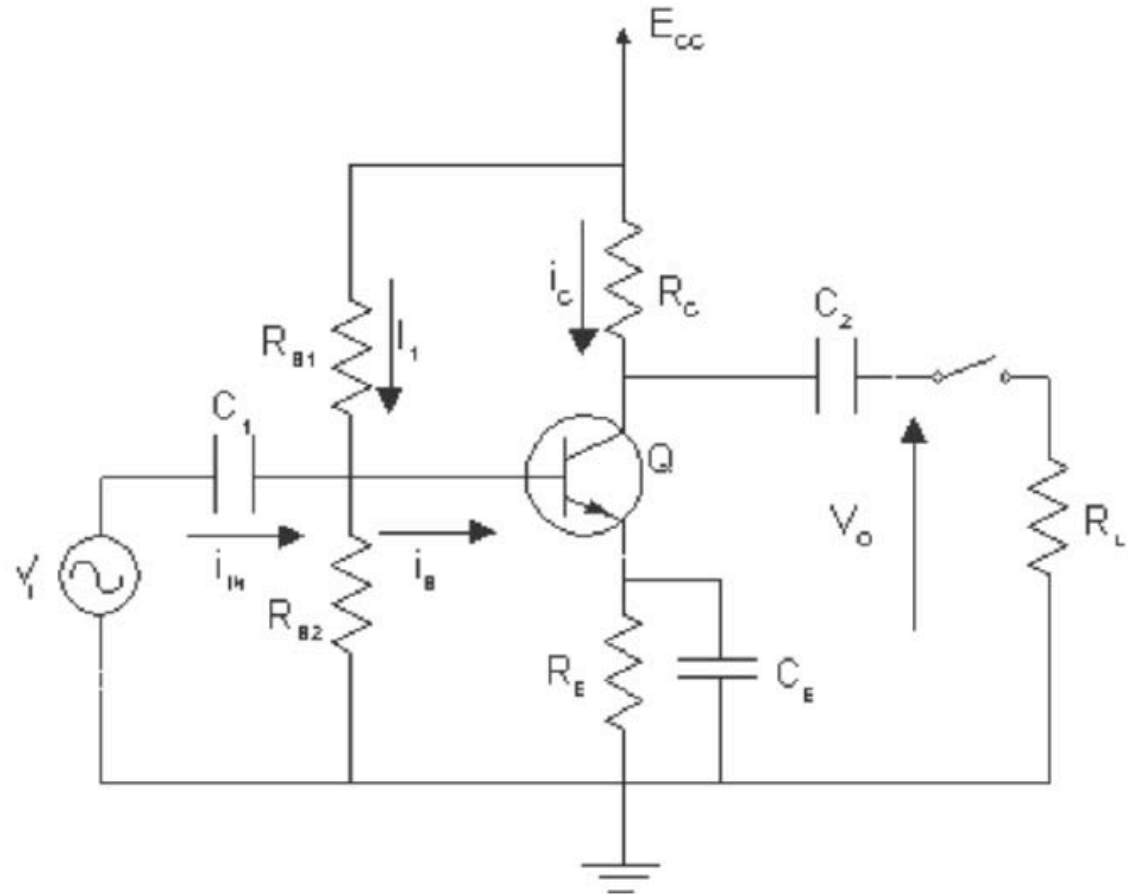
**NOTA : COLOCAR UN
DIVISOR DE VOLTAJE A
LA SALIDA DEL
GENERADOR PARA
AJUSTAR V_i , PORQUE EL
VOLTAJE MÍNIMO ES
MUY ALTO**



MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE ENTRADA

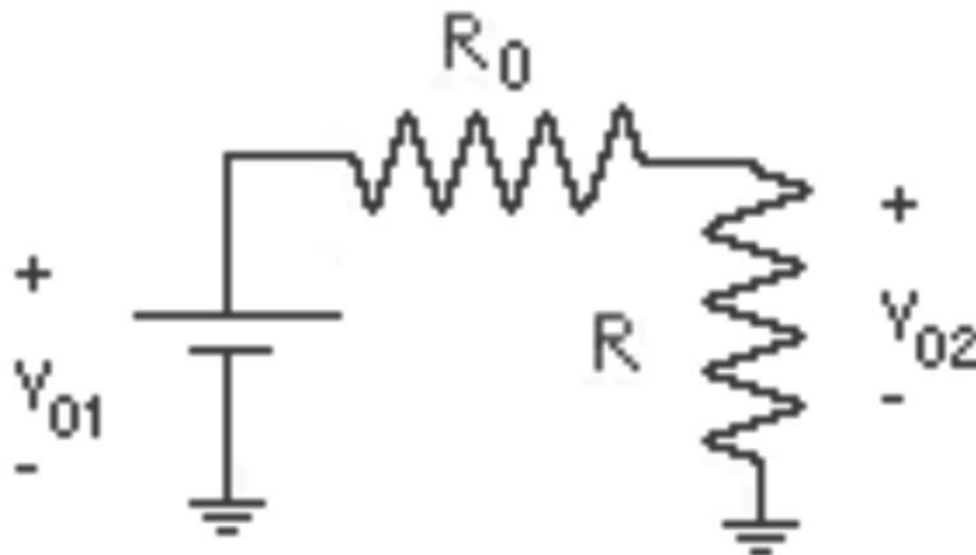
- * Se coloca una resistencia de $100\ \Omega$ en serie con C1
- * Se enciende la fuente DC
- * Se enciende el generador
- * Se mide la corriente en R_{P1} y el voltaje en la base del transistor V_{BE}

$$R_I = \frac{V_{BE}}{V_{R_{P1}} / R_{P1}}$$



MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE SALIDA

- * Se aplica un voltaje de entrada que produzca una salida de 3 o 4 Vpp y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{01} .
- * Se coloca una resistencia de carga de R (por ejemplo $1k\Omega$) y se mide cuidadosamente el voltaje de salida V_{02} .
- * Con esos datos se puede plantear el circuito mostrado y determinar el valor de R_o .



RESPUESTA EN FRECUENCIA

* Se enciende la fuente DC

* Manteniendo el voltaje de salida del generador constante y asegurándose que el amplificador no entre en saturación, se hace un barrido de frecuencia y se toman las correspondientes mediciones a la salida, para poder realizar un diagrama de amplitud vs. frecuencia y otro de desfasaje vs. frecuencia, en un rango comparable con el que se realizó la simulación