



tema 4. Transistores bipolares

Introducción

El transistor bipolar en cuasi-estática

Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

Modelos aproximados en frecuencias medias y pequeña señal

El transistor bipolar en dinámica

Material de apoyo para el grupo 13.2 de INEL

Carlos del Cañizo
canizo@ies-def.upm.es
Curso 2011-2012

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



tema 4. Transistores bipolares

OBJETIVOS

Conocer la estructura interna de los transistores bipolares npn y pnp. Conocer el modelo de Ebers-Moll y las ecuaciones para los distintos modos de funcionamiento del dispositivo.

Trabajar con los modelos aproximados del transistor bipolar en circuitos sencillos y analizar circuitos sencillos mediante el método analítico (planteamiento de hipótesis, resolución, verificación de la hipótesis).

Analizar qué es una pequeña señal en un transistor bipolar, deduciendo el modelo equivalente del transistor para este caso y realizando el análisis correspondiente en circuitos sencillos.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción a la Electrónica

Transistor bipolar

Introducción

El transistor bipolar en cuasi-estática

Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

Modelos aproximados en frecuencias medias y pequeña señal

El transistor bipolar en dinámica

Entender el funcionamiento básico del transistor bipolar, enunciando las características y aplicaciones de sus aplicaciones.

Reconocer los tipos, símbolos y nomenclatura usados habitualmente en los circuitos con transistores bipolares de unión.

Analizar cualitativamente, a partir de las propiedades de la unión p-n, el funcionamiento de un "transistor".

Objetivos, apto. 5.1.1 - 5.1.3

Contenido, apto. 4.1

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned to the right of a vertical orange and yellow gradient bar that tapers at the top and bottom. The background behind the text is a light blue and white abstract shape.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

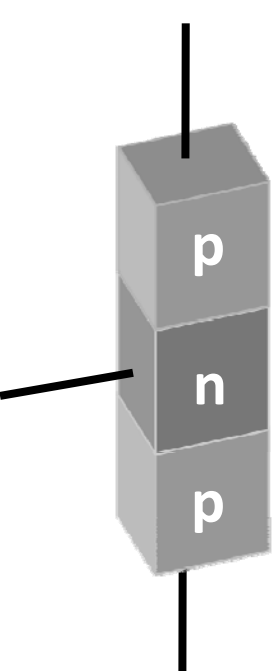
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

--

Transistor bipolar

bipolar de unión (BJT): Dispositivo de tres terminales formado por os uniones p-n, sobre el mismo material semiconductor, que comparten una zona. La corriente es debida a electrones y huecos.

(TRANSfer resistOR): control de la corriente que fluye a través de un terminal mediante el voltaje aplicado entre los otros dos.



Dos configuraciones posibles:

- npn
- pnp



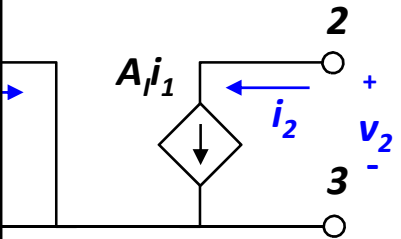
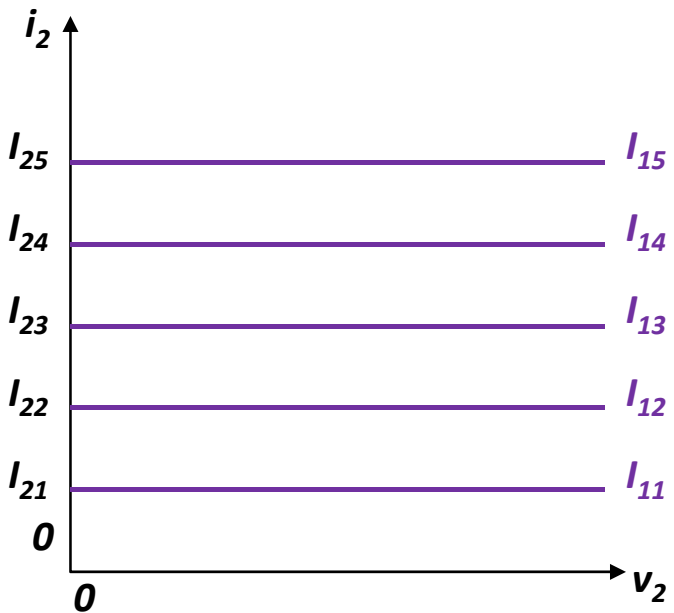
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

En determinadas condiciones, el comportamiento de un BJT se aproxima al de un elemento controlado por corriente



Características principales

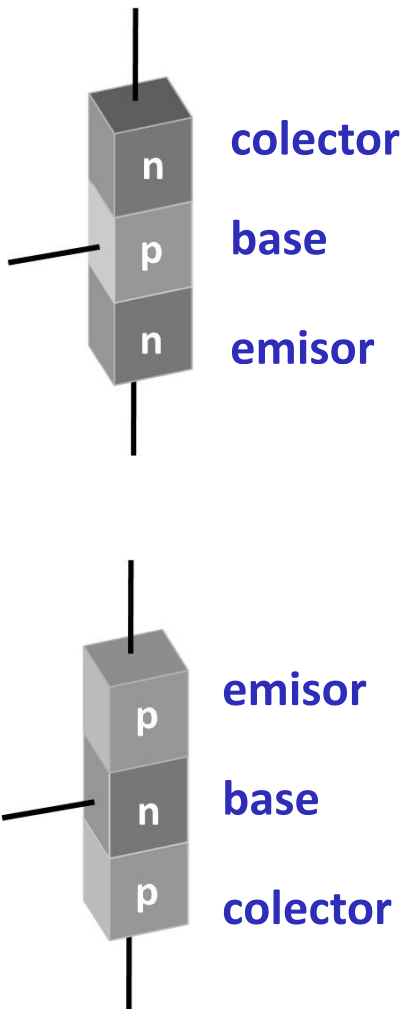
- 👉 Interruptor gobernado por señal de control (**CONMUTACIÓN**)
- 👉 Amplificador lineal de pequeña señal (**AMPLIFICACIÓN**)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

símbolos: dos configuraciones posibles



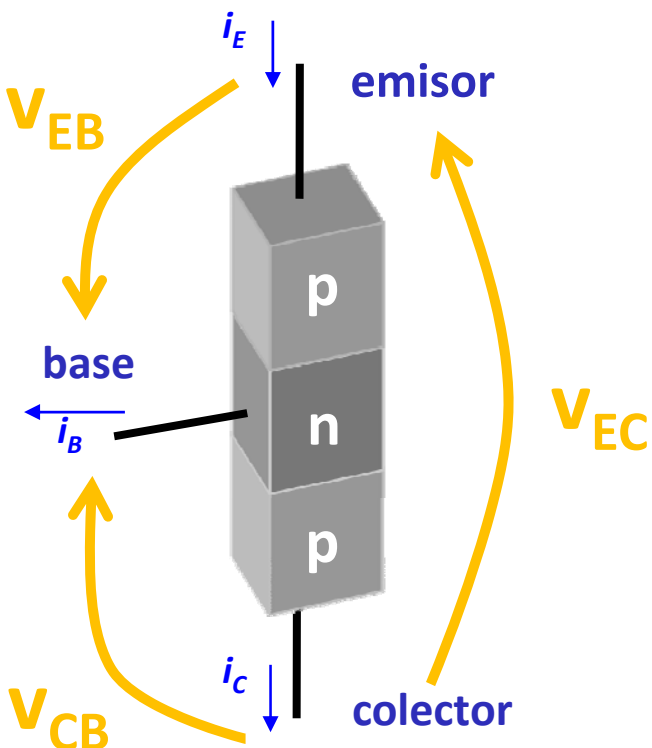
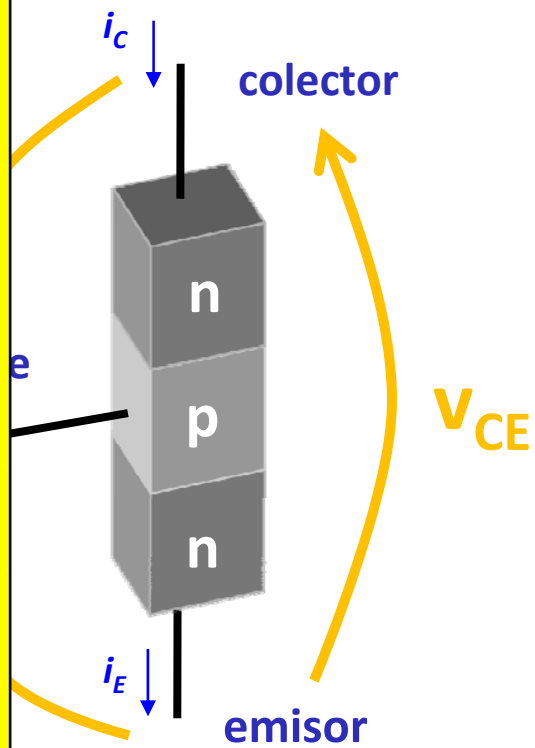
- Flecha en el **emisor**, sentido de p a n .
- Los **sentidos que asignamos a las corrientes** corresponden al funcionamiento en uno de los estados del transistor, **activa directa**.
- Unión base-emisor.
- Unión base-colector.
- Estructura asimétrica: emisor más dopado que colector.
- Zona de base muy estrecha, responsable de que exista el efecto transistor: interacción entre ambas uniones p-n.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

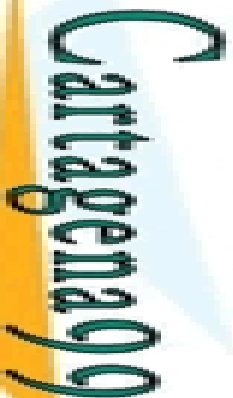
Transistor bipolar

símbolos: definición de las tensiones

Se definen tres tensiones diferenciadas entre las tres regiones del transistor:

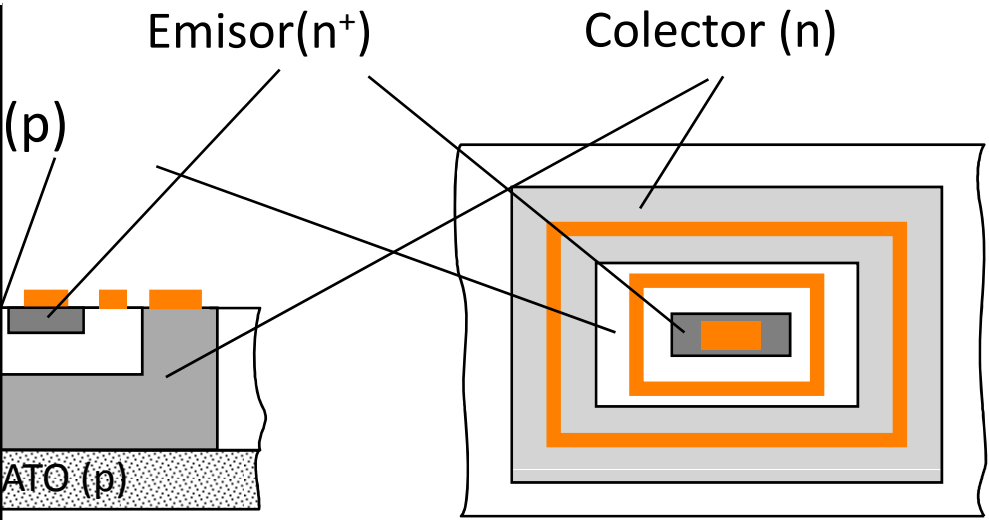


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

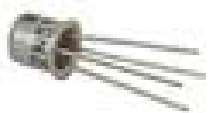


Transistor bipolar

tecnología: tecnología CI



CONTACTOS

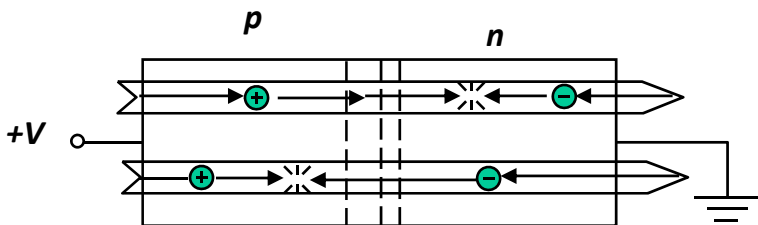


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

los de polarización: función de las uniones p-n que lo forman

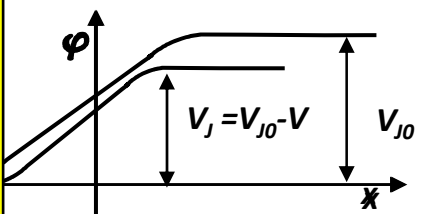


ón aplicada se invierte en disminuir la barrera de tensión en la unión

Disminución de la barrera \Rightarrow Huecos de la zona p se inyectan en la zona n y electrones de la zona n en la zona p \Rightarrow INYECCIÓN DE MAYORITARIOS

Esta inyección de portadores **disminuye la anchura de la zona de deplexión**

Difunden ahora como minoritarios, recombinándose a medida que avanzan \Rightarrow **Predomina corriente de difusión ($I_D > I_S$)**, fuertemente dependiente del voltaje

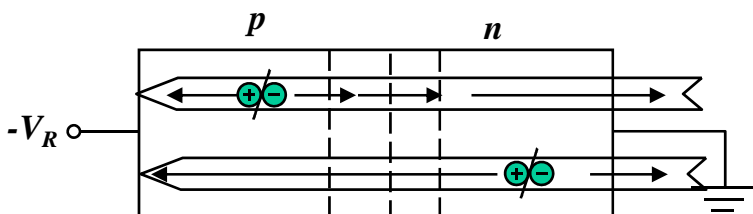


Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

los de polarización: función de las uniones p-n que lo forman

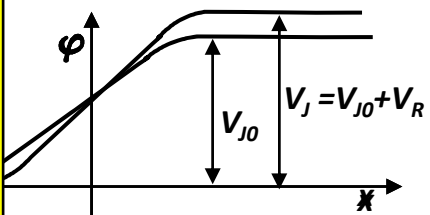


ión aplicada se invierte en aumentar la barrera de tensión en la unión

Aumento de la barrera \Rightarrow Electrones de la zona p se inyectan en la zona n y huecos de la zona n en la zona p \Rightarrow INYECCIÓN DE MINORITARIOS

Esta inyección de portadores deja más iones descubiertos, aumentando la anchura de la zona de deplexión

Predomina corriente de arrastre ($I_S > I_D$) \Rightarrow Al inyectar portadores de los que hay pocos en sus zonas de origen, corrientes muy débiles



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

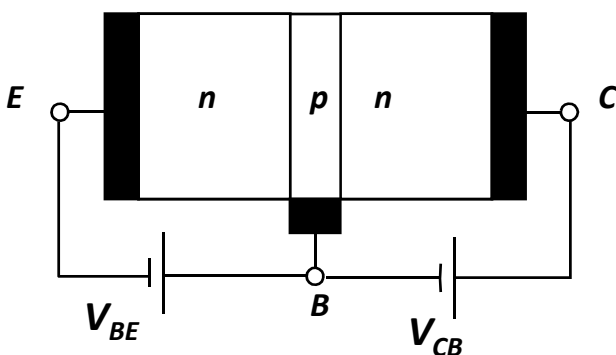
amamiento físico del transistor en **activa directa**:

Unión base-emisor: **DIRECTA**

$$v_{BE} = V_{BE} > 0 \Rightarrow \begin{array}{l} e^- \text{ de } n \text{ a } p, h^+ \text{ de } p \text{ a } n \\ \text{unión diseñada para que } J_e \gg J_h \end{array}$$

Unión base-colector: **INVERSA**

$$v_{BC} = -V_{CB} < 0 \Rightarrow \begin{array}{l} h^+ \text{ de } n \text{ a } p \text{ (pocos), } e^- \text{ de } p \text{ a } n \text{ (¡muchos!)} \end{array}$$



Debido a la interacción entre las uniones, si la base es **suficientemente estrecha**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

amamiento físico del transistor en **activa directa**:

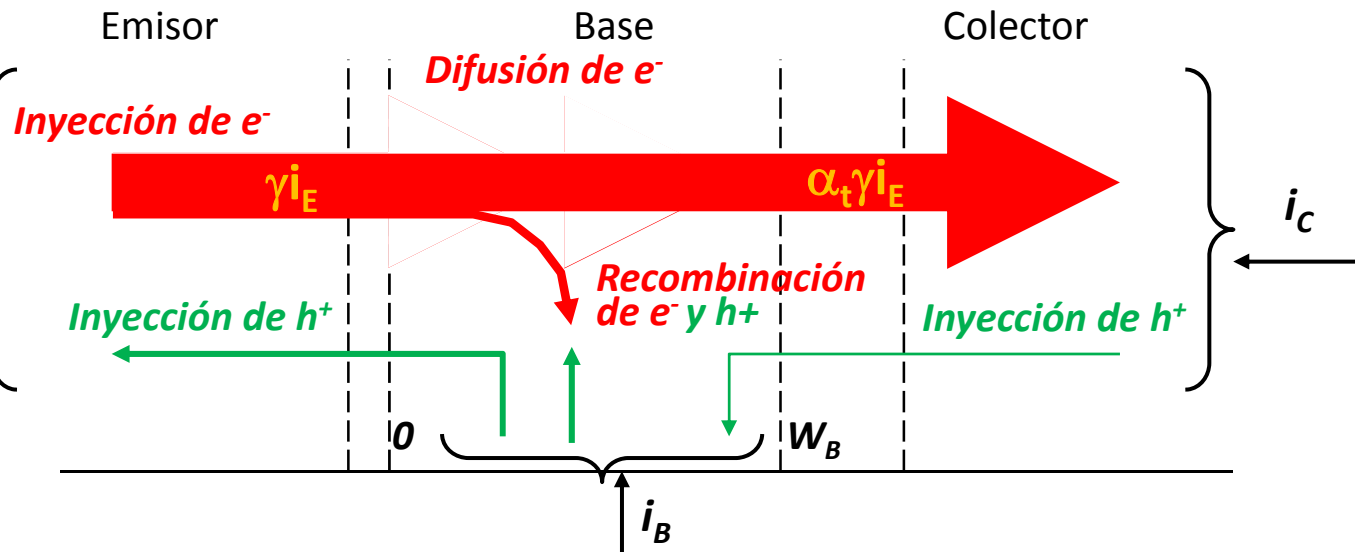
inión base-emisor: **DIRECTA**

$$v_{BE} = V_{BE} > 0 \Rightarrow \begin{array}{l} e^- \text{ de } n \text{ a } p, h^+ \text{ de } p \text{ a } n \\ \text{unión diseñada para que } J_e \gg J_h \end{array}$$

en la base, **e⁻ son minoritarios** \Rightarrow Difunden (algunos recombinan)

inión base-colector: **INVERSA**

$$v_{BC} = -V_{CB} < 0 \Rightarrow \begin{array}{l} h^+ \text{ de } n \text{ a } p \text{ (pocos), } e^- \text{ de } p \text{ a } n \text{ (¡muchos!) } \end{array}$$



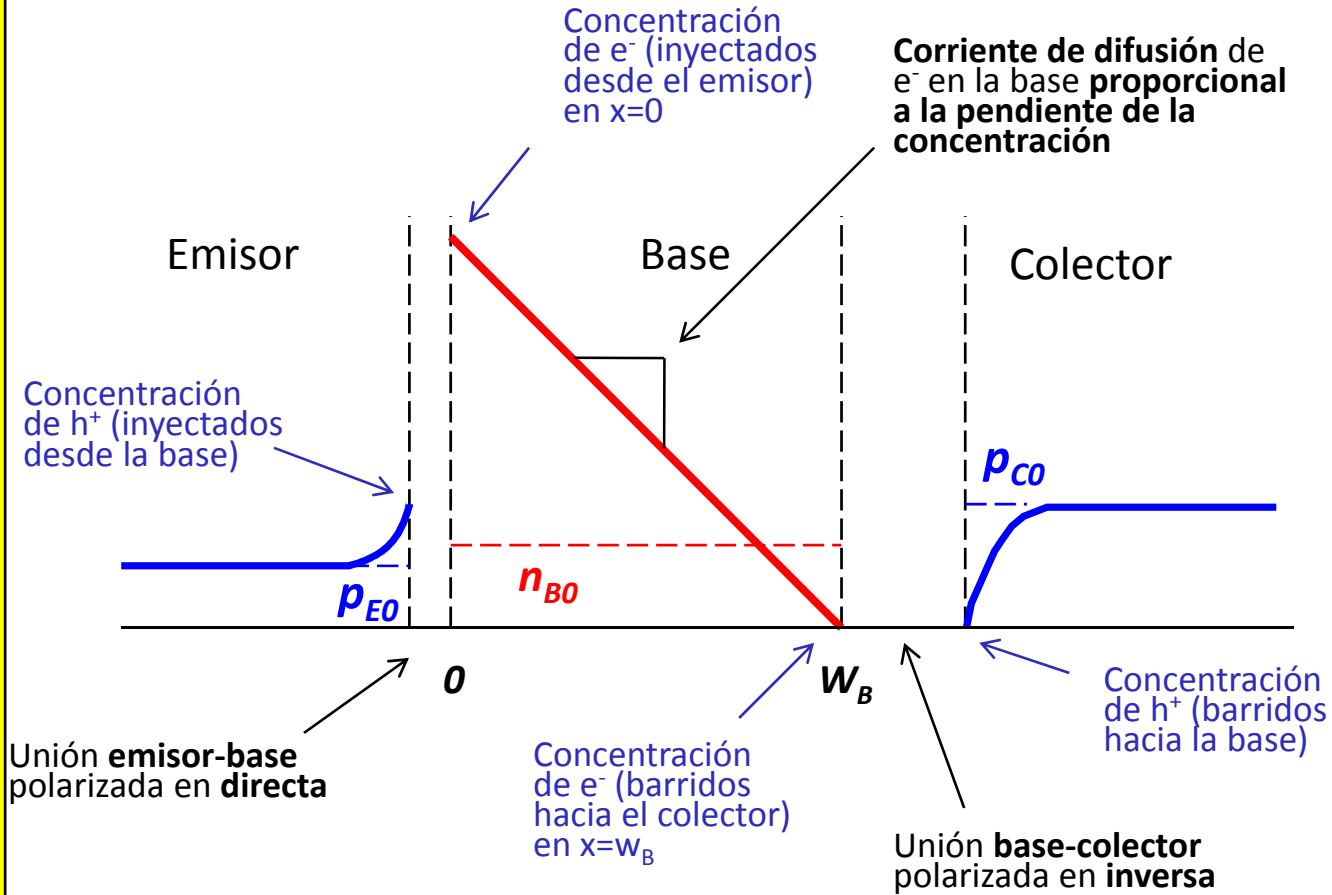
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Diagrama físico del transistor en **activa directa**:

de minoritarios (*nnp*)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

RESUMEN DEL APTO. 4.1

El transistor bipolar de unión (BJT) está formado por dos uniones p-n que comparten una zona estrecha (la base)

Bajo determinadas condiciones, el BJT se comporta como una fuente de corriente controlada por corriente, permitiendo su uso como interruptor en aplicaciones digitales o amplificador de pequeña señal en aplicaciones analógicas

Al polarizar en directa la unión base-emisor, se produce una corriente de colector que depende de la tensión base-emisor y que es independiente de la tensión en el colector siempre que la unión base-emisor esté en inversa. La corriente de base es una fracción de la corriente de colector y la corriente de emisor es la suma de la corriente de colector y base

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción a la Electrónica

transistor bipolar

Introducción

El transistor bipolar en cuasi-estática

Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal

Modelos aproximados en frecuencias medias y pequeña señal

El transistor bipolar en dinámica

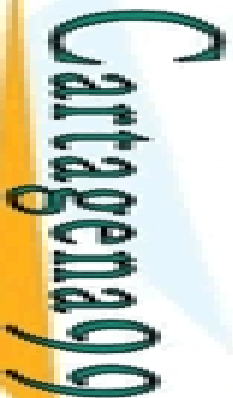
seguir los estados de funcionamiento del transistor bipolar, en función de la polarización de las uniones de emisor y colector

obtener el modelo de Ebers-Moll, deduciendo a partir de él las curvas características del funcionamiento del transistor

realizar las principales modificaciones a las ecuaciones de Ebers-Moll, considerando fundamentalmente el efecto Early

tema 5, apto. 5.1.2, 5.1.4-5.1.6 (5ª edición)

tema 4, apto 4.2-4.3.



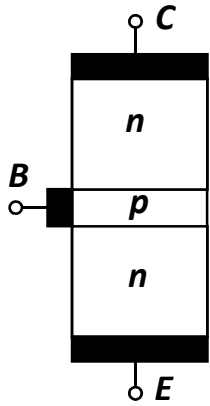
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

los de polarización y régimen de operación:



		Unión Base-Colector	
		Directa	Inversa
Unión Base-Emitor	Directa	SATURACIÓN	ACTIVA DIRECTA
	Inversa	ACTIVA INVERSA	CORTE

- ACTIVA DIRECTA →
- SATURACIÓN Y CORTE →
- ACTIVA INVERSA →

Aplicaciones analógicas

Aplicaciones digitales

Prácticamente no se usa, excepto en tecnología TTL

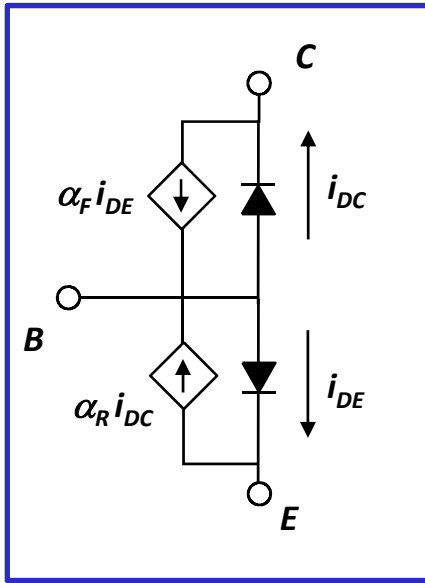


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Transistor en cuasi-estática: modelo de Ebers-Moll



$\alpha_F \equiv$ Alfa directa $\sim 0,99-0,997$

Ganancia directa de corriente en base común con salida en cortocircuito

$\alpha_R \equiv$ Alfa inversa $\sim 0,05-0,8$

Ganancia inversa de corriente en base común con entrada en cortocircuito

de la ecuación de Shockley:

$$I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1)$$

$I_{ES} \equiv$ Corriente inversa de saturación de emisor

$$I_{CS} (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

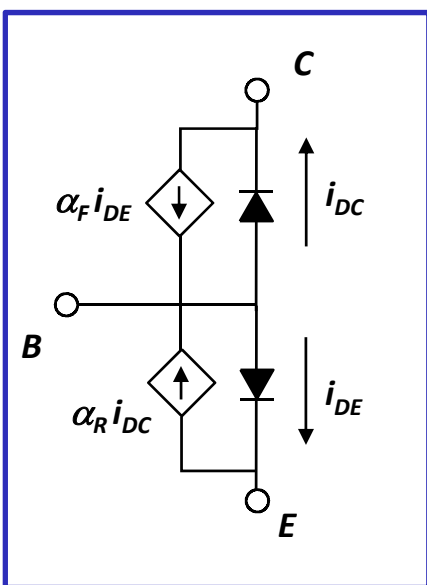
$I_{CS} \equiv$ Corriente inversa de saturación de colector

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Transistor en cuasi-estática: modelo de Ebers-Moll



$\alpha_F \equiv$ Alfa directa $\sim 0,99-0,997$

Ganancia directa de corriente en base común con salida en cortocircuito

$\alpha_R \equiv$ Alfa inversa $\sim 0,05-0,8$

Ganancia inversa de corriente en base común con entrada en cortocircuito

de nodos:

$$= \alpha_F i_{DE} - i_{DC}$$

$$= i_{DE} - \alpha_R i_{DC}$$

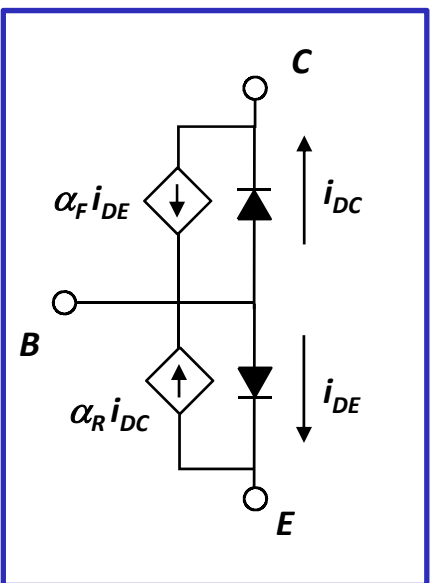
Sustituyendo las expresiones anteriores para i_{DC} e i_{DE} :

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

stor en cuasi-estática: modelo de Ebers-Moll



$\alpha_F \equiv$ Alfa directa $\sim 0,99-0,997$

Ganancia directa de corriente en base común con salida en cortocircuito

$\alpha_R \equiv$ Alfa inversa $\sim 0,05-0,8$

Ganancia inversa de corriente en base común con entrada en cortocircuito

$$\alpha_F I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_{CS} (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

$$I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \alpha_R I_{CS} (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

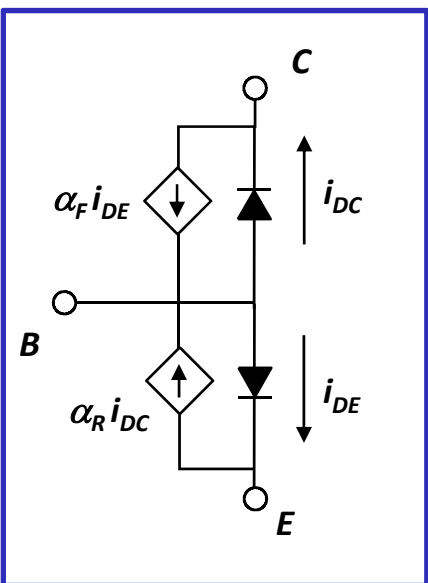
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Transistor en cuasi-estática: modelo de Ebers-Moll



$\alpha_F \equiv$ Alfa directa $\sim 0,99-0,997$

Ganancia directa de corriente en base común con salida en cortocircuito

$\alpha_R \equiv$ Alfa inversa $\sim 0,05-0,8$

Ganancia inversa de corriente en base común con entrada en cortocircuito

Reciprocidad:

$$i_{ES} = \alpha_R i_{CS}$$

$$i_C = I_S (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \frac{I_S}{\alpha_R} (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

$$i_E = \frac{I_S}{\alpha_F} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_S (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

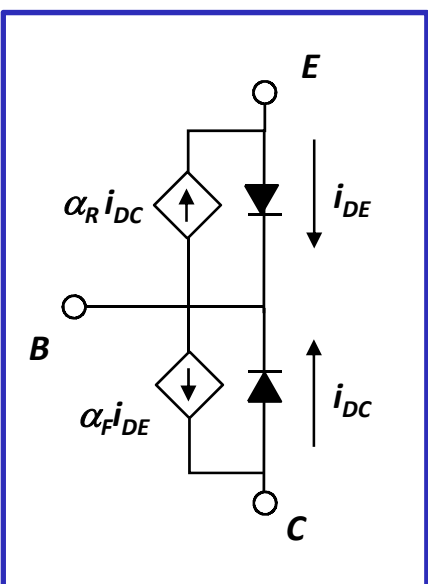
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

stor en cuasi-estática: modelo de Ebers-Moll para el BJT pnp



$\alpha_F \equiv$ Alfa directa $\sim 0,99-0,997$

Ganancia directa de corriente en base común con salida en cortocircuito

$\alpha_R \equiv$ Alfa inversa $\sim 0,05-0,8$

Ganancia inversa de corriente en base común con entrada en cortocircuito

$$\alpha_F I_{ES} (e^{v_{EB}/V_T} - 1) - I_{CS} (e^{v_{CB}/V_T} - 1)$$

$$I_{ES} (e^{v_{EB}/V_T} - 1) - \alpha_R I_{CS} (e^{v_{CB}/V_T} - 1)$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

bricar diodos en circuitos integrados, es habitual usar la unión p-n de un
alcular la relación corriente-tensión de las siguientes configuraciones:

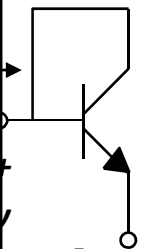
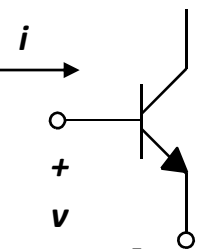
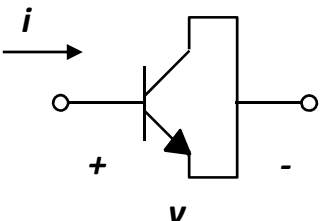
DATOS

$$a_F = 0,99$$

$$a_R = 0,2$$

$$I_{ES} = 5 \cdot 10^{-14} \text{ A}$$

$$V_T = 0,025 \text{ V}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

ón en activa directa de las ecuaciones Ebers-Moll: ejemplo npn

BE en **ON**

$$e^{v_{BE}/V_T} - 1 \sim e^{v_{BE}/V_T}$$

BC en **OFF**

$$i_{DC} = I_{CS}(e^{v_{BC}/V_T} - 1) \approx 0$$

onces:

$$i_C = \alpha_F I_{ES}(e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_{CS}(e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

$$i_E = I_{ES}(e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \alpha_R I_{CS}(e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

tanto:

$$i_C \approx \alpha_F I_{ES} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E \approx I_{ES} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C \approx \alpha_F i_E$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ón en activa directa de las ecuaciones Ebers-Moll: ejemplo npn

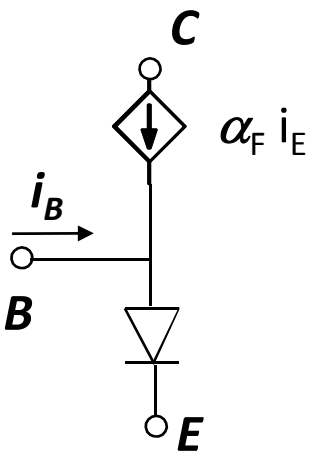
BE en **ON**

$$e^{v_{BE}/V_T} - 1 \sim e^{v_{BE}/V_T}$$

BC en **OFF**

$$i_{DC} = I_{CS}(e^{v_{BC}/V_T} - 1) \approx 0$$

$$i_C \approx \alpha_F i_E$$



Circuito
equivalente

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

va

Transistor bipolar

ón en activa directa de las ecuaciones Ebers-Moll: ejemplo npn

expresar la corriente de colector en función de i_B :

$$i_E = i_E(v_{BE})$$

$$i_C = i_C(i_B)$$

Corriente de base en función de v_{BE} :

$$\begin{aligned} i_B &= i_E - i_C = I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \alpha_F I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) \\ &= I_{ES} (1 - \alpha_F) (e^{v_{BE}/V_T} - 1) \end{aligned}$$

$$\frac{i_C}{i_B} \approx \frac{\alpha_F I_{ES} e^{v_{BE}/V_T}}{I_{ES} (1 - \alpha_F) e^{v_{BE}/V_T}} = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F} \equiv \beta_F$$

$$i_B \approx \frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_F} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C \approx \beta_F i_B$$

$$\beta \sim 100 - 300$$

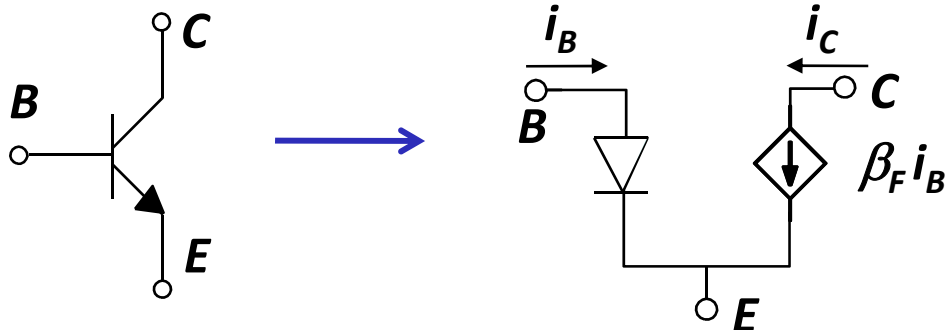
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

ón en activa directa de las ecuaciones Ebers-Moll: ejemplo npn

tonces:



$$i_B \approx \frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_F} e^{v_{BE}/V_T}$$

I_S^{eq}

$$i_C \approx \beta_F i_B$$

Amplificación (activa directa):
corriente en **C** proporcional a i_B con
una constante de proporcionalidad
 β grande.

ambién se define:

$$\beta_R = \frac{\alpha_R}{1 - \alpha_R}$$

cuando el transistor funciona en **inversa**

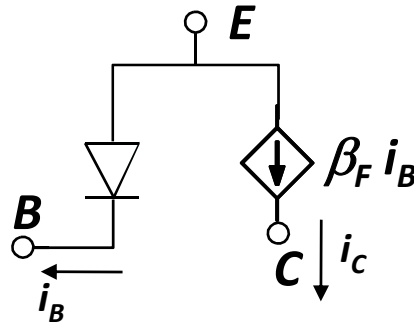
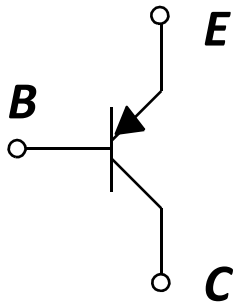
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

En activa directa de las ecuaciones Ebers-Moll: ejemplo **npn**

este caso:



$$i_B \approx \frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_F} e^{v_{EB}/V_T}$$

I_S^{eq}

$$i_C \approx \beta_F i_B$$

Finalmente:

$$\beta_R = \frac{\alpha_R}{1 - \alpha_R}$$

cuando el transistor funciona en **inversa**

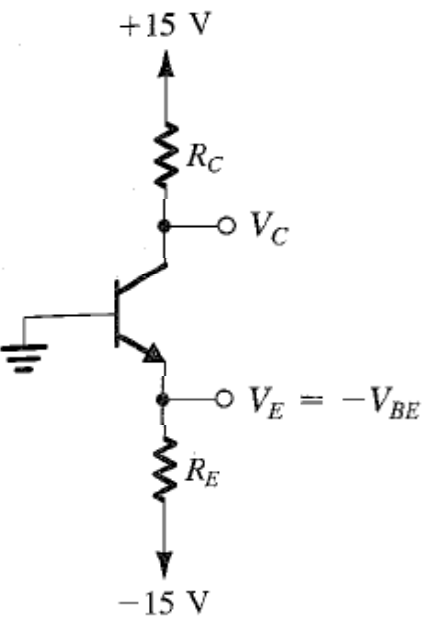
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Transistor de la figura, que opera en activa, funciona de manera que $i_C = 1 \text{ mA}$ si $v_{BE} = 0.7 \text{ V}$. Diseñe el circuito de la figura de manera que $i_C = 2 \text{ mA}$ y la tensión en el colector sea $V_C = 10 \text{ V}$. Tome $V_T = 25 \text{ mV}$



Cartagena99

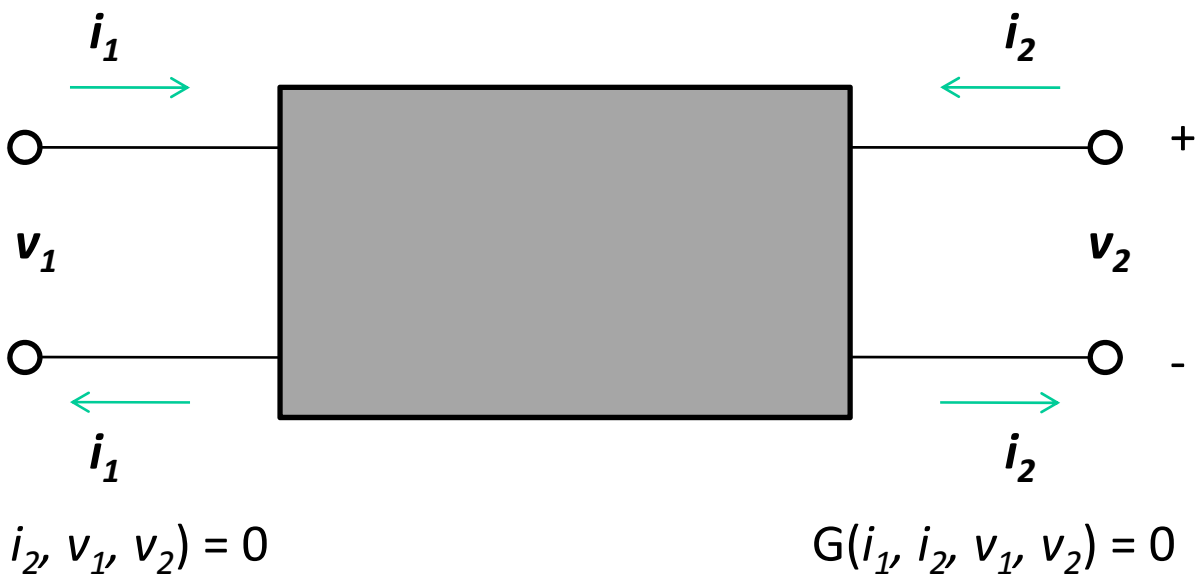
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



Características: si en F y G no aparece t ni d/dt entonces tenemos una familia de ecuaciones y podremos en general representar:

$$i_1 = F(v_1, v_2)$$

Curva característica de entrada

$$i_2 = G(v_1, v_2)$$

Curva característica de salida

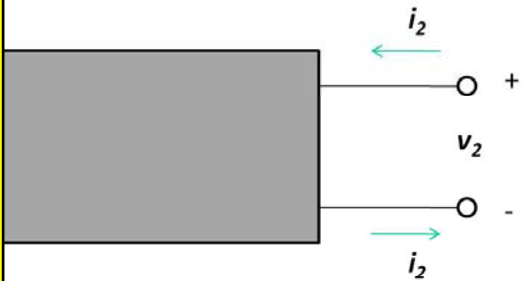
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

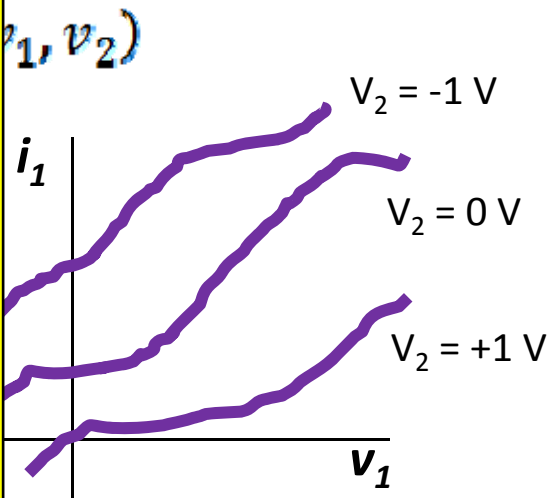
Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)

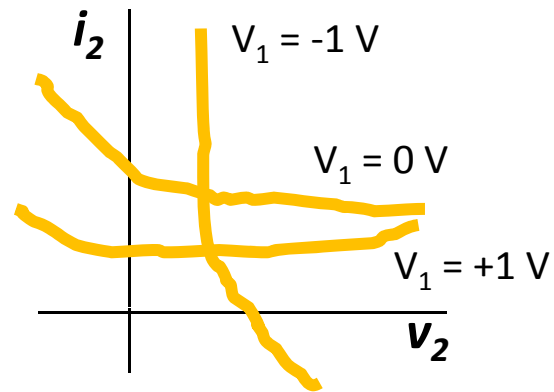


Curvas características: si en F y G no aparece t ni d/dt entonces tenemos un sistema de ecuaciones y podremos en general representar:



características de entrada

$$i_2 = G(v_1, v_2)$$



Curvas características de salida

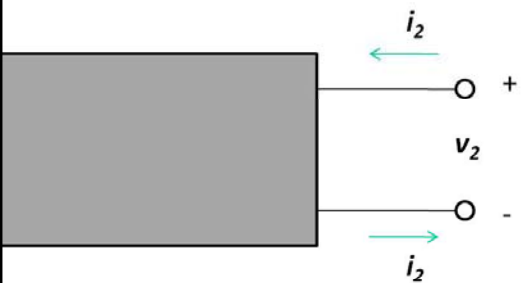
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

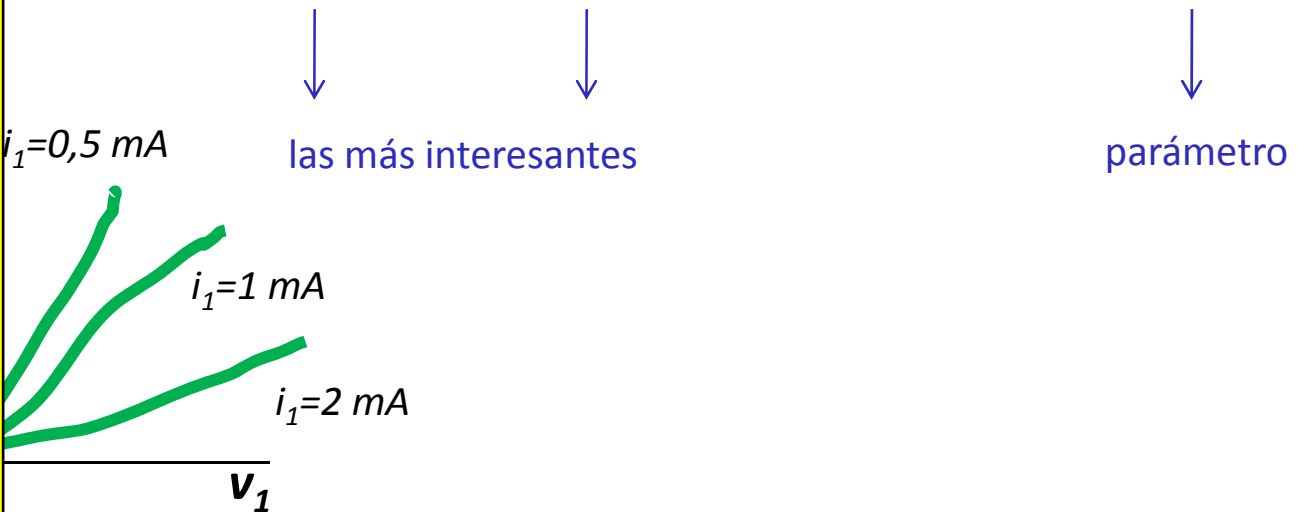
iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



Otra familia de curvas de interés son las **curvas de transferencia:**

table de salida = h (variable de entrada, otra variable)

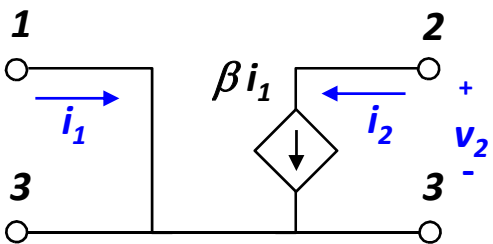


Cartagena99

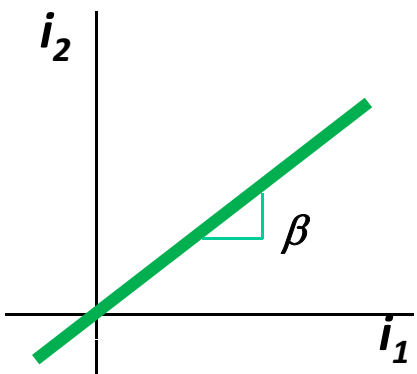
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

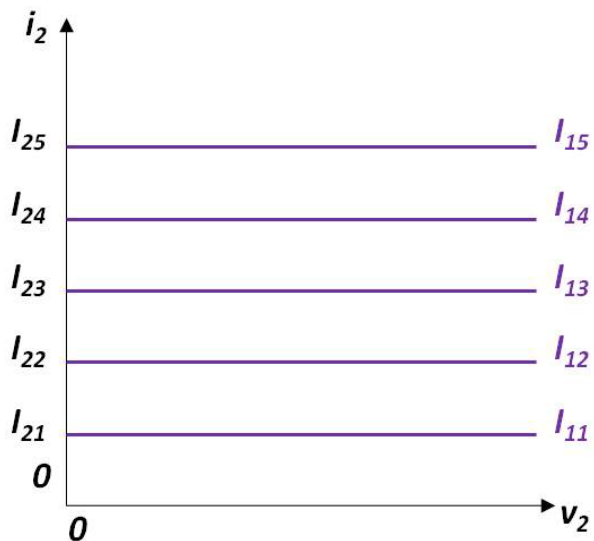
en algunos casos el comportamiento de un BJT se aproxima al de un elemento de corriente controlada por corriente



v_1
de entrada



Curva de transferencia



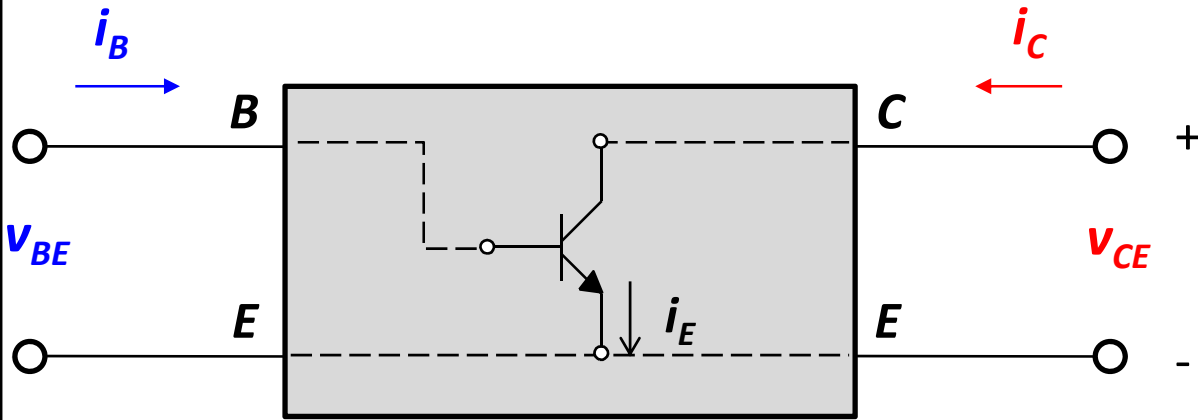
Características de salida



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
- - -
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:
 como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

$$\alpha_F I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_{CS} [e^{(v_{BE}-v_{CE})/V_T} - 1]$$

$$i_C + i_B = I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \alpha_R I_{CS} [e^{(v_{BE}-v_{CE})/V_T} - 1]$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{v_{BC} = v_{BE} - v_{CE}}$$

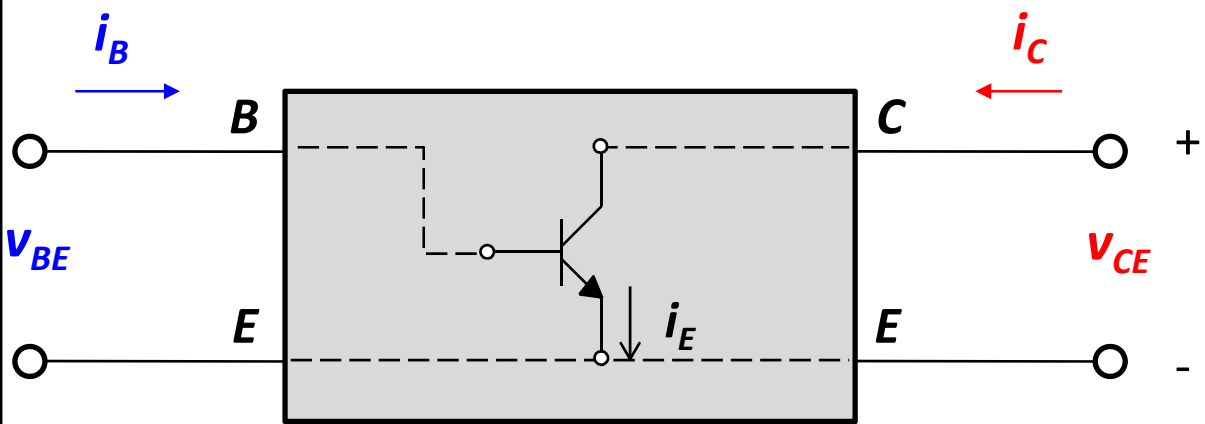
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

salida:

$$(v_{CE}, i_B)$$

do v_{BE} :

$$g(i_C, i_B)$$



$$i_C \approx \frac{\beta_F i_B}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

ción de:

$$i_C \approx \frac{\beta_F i_B}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

s de:

$$I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_{CS} [e^{(v_{BE}-v_{CE})/V_T} - 1]$$

$$i_C + i_B = I_{ES} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \alpha_R I_{CS} [e^{(v_{BE}-v_{CE})/V_T} - 1]$$

$$i_B + i_C$$

ando las unidades frente a las exponenciales:

$$(\alpha_F I_{ES} - I_{CS} e^{-v_{CE}/V_T}) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$I_{ES} (1 - \alpha_F) + I_{CS} (1 - \alpha_R) e^{-v_{CE}/V_T} \Big] e^{v_{BE}/V_T}$$

:

$$\frac{\alpha_F I_{ES} - I_{CS} e^{-v_{CE}/V_T}}{I_{ES} (1 - \alpha_F) + I_{CS} (1 - \alpha_R) e^{-v_{CE}/V_T}}$$

Siendo:

$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}, \quad \alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$\frac{i_C}{i_B} = \beta_F \frac{1 - \frac{1}{\alpha_R} e^{-v_{CE}/V_T}}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

válida en activa directa e inversa.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$\frac{i_C}{i_B} = \beta_F \frac{1 - \frac{1}{\alpha_R} e^{-v_{CE}/V_T}}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

válida en activa directa e inversa.

Directa: $v_{CE} > 0$ →

$$\frac{i_C}{i_B} = \beta_F$$

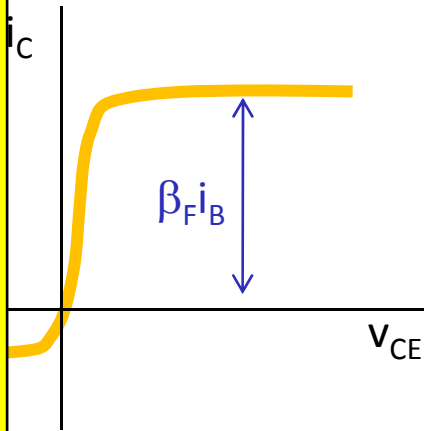
Inversa: $v_{CE} < 0$ →

$$\frac{i_C}{i_B} \approx \beta_F \frac{-\frac{1}{\alpha_R} e^{-v_{CE}/V_T}}{\frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}} = \frac{-\beta_R}{\alpha_R} = -(\beta_R + 1)$$

$$i_C \approx -(\beta_R + 1)i_B$$

Como: $i_E = i_B + i_C$

$$i_E \approx -\beta_R i_B$$



Inversa el BJT trabaja con las polaridades opuestas con respecto al caso de activa directa.

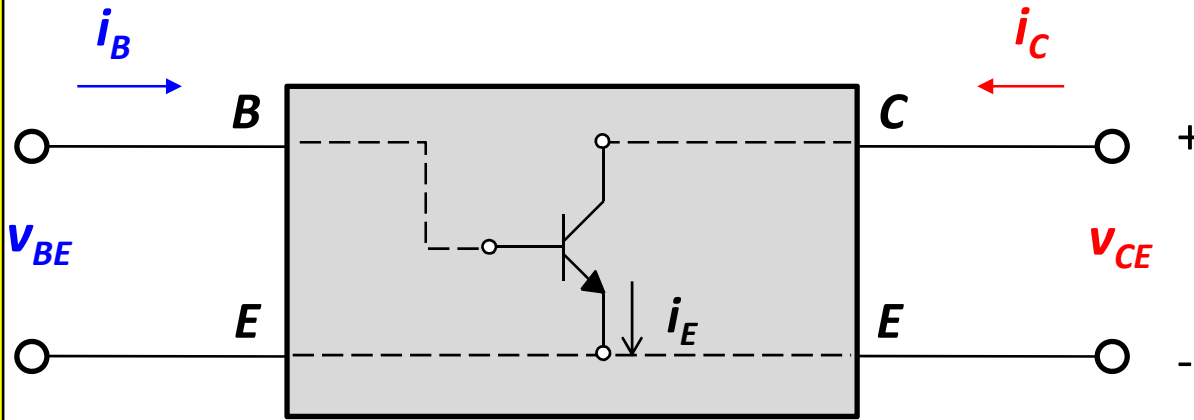
El transistor opera entonces desde el colector hacia el emisor.

La estructura pnp o npn garantiza que $\beta_F \neq \beta_R$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Configuraciones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:
 Como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

En activa:

$$i_C = \beta_F i_B$$



$$1 \gg \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}$$

$$\frac{1}{20} \approx \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T} \Rightarrow v_{CE} \approx V_T \ln \frac{20\beta_F}{\beta_R} \equiv v_{CE,sat}$$

$$\frac{\beta_F i_B}{1 - \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

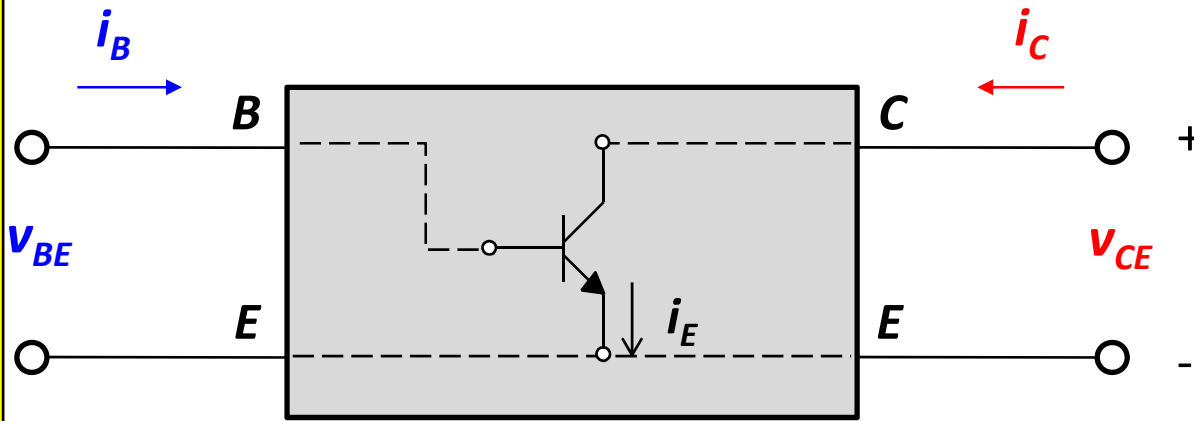
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Configuraciones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

Como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

En saturación:

$$1 \approx \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T} \quad \longrightarrow \quad i_C = \frac{\beta_F i_B}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

$$\frac{\beta_F i_B}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$

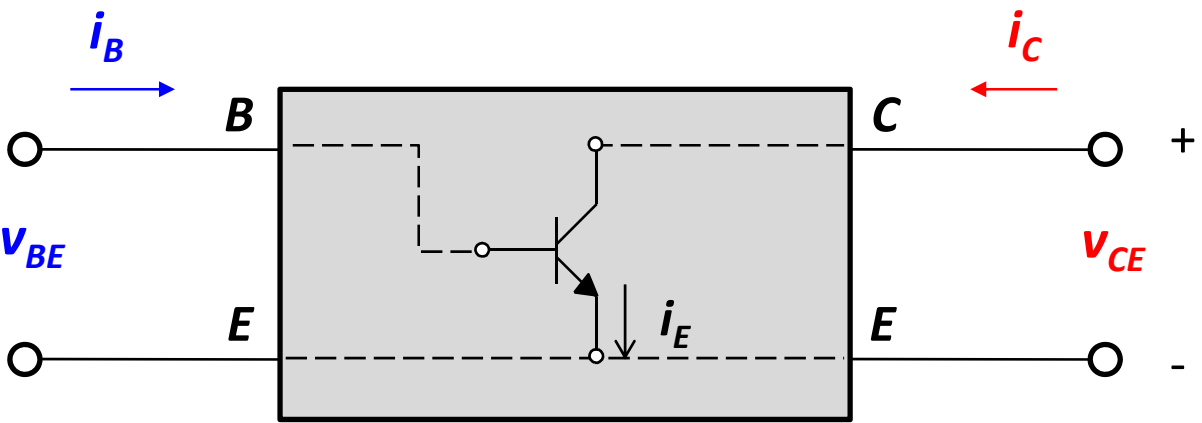
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

En corte:

$$i_C \approx 0, i_C \approx 0$$

$$\beta_F i_B$$
$$\frac{E}{R} e^{-v_{CE}/V_T}$$



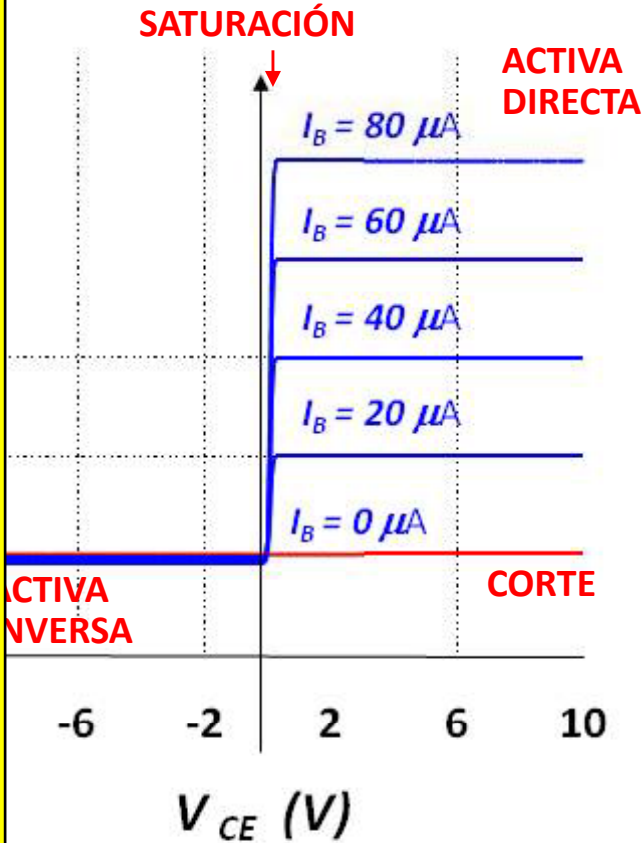
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

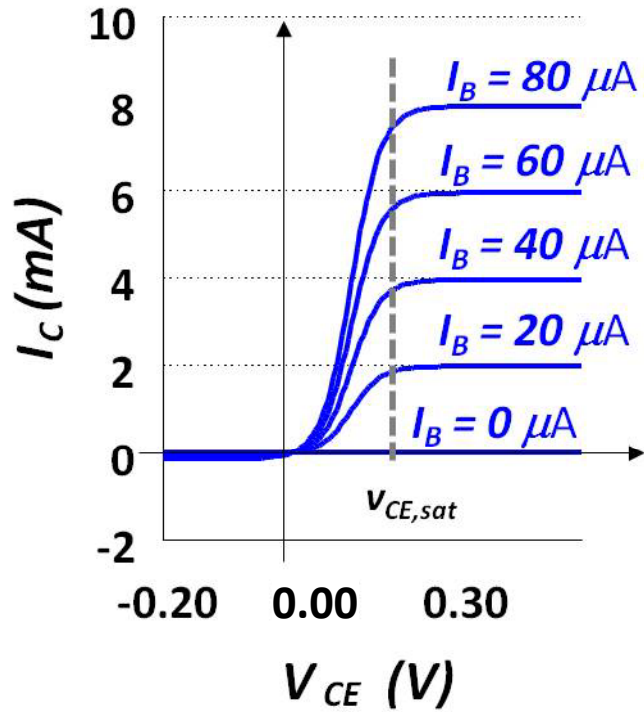
Características en emisor común

Característica de Salida $\rightarrow i_C = i_C(v_{CE}, i_B)$:

$$i_C \approx \frac{\beta_F i_B}{1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}}$$



Región de saturación



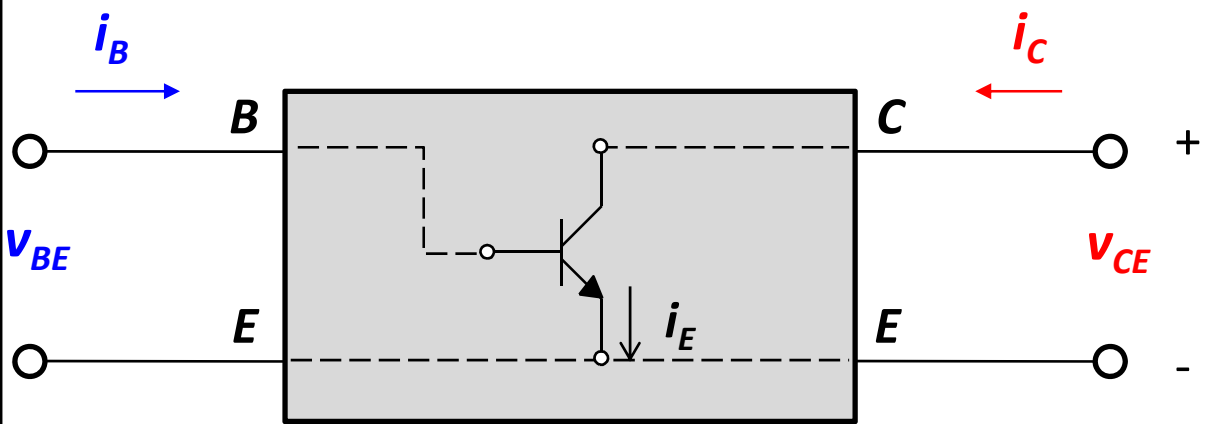
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:

como componente de cuatro terminales (cuadripolo)



EMISOR común

Entrada:

v_{BE}, v_{CE}

Restando las dos ecuaciones del cuadripolo:

$$i_B = [I_{ES}(1 - \alpha_F) + I_{CS}(1 - \alpha_R)e^{-v_{CE}/V_T}]e^{v_{BE}/V_T} - [I_{ES}(1 - \alpha_F) + I_{CS}(1 - \alpha_R)]$$

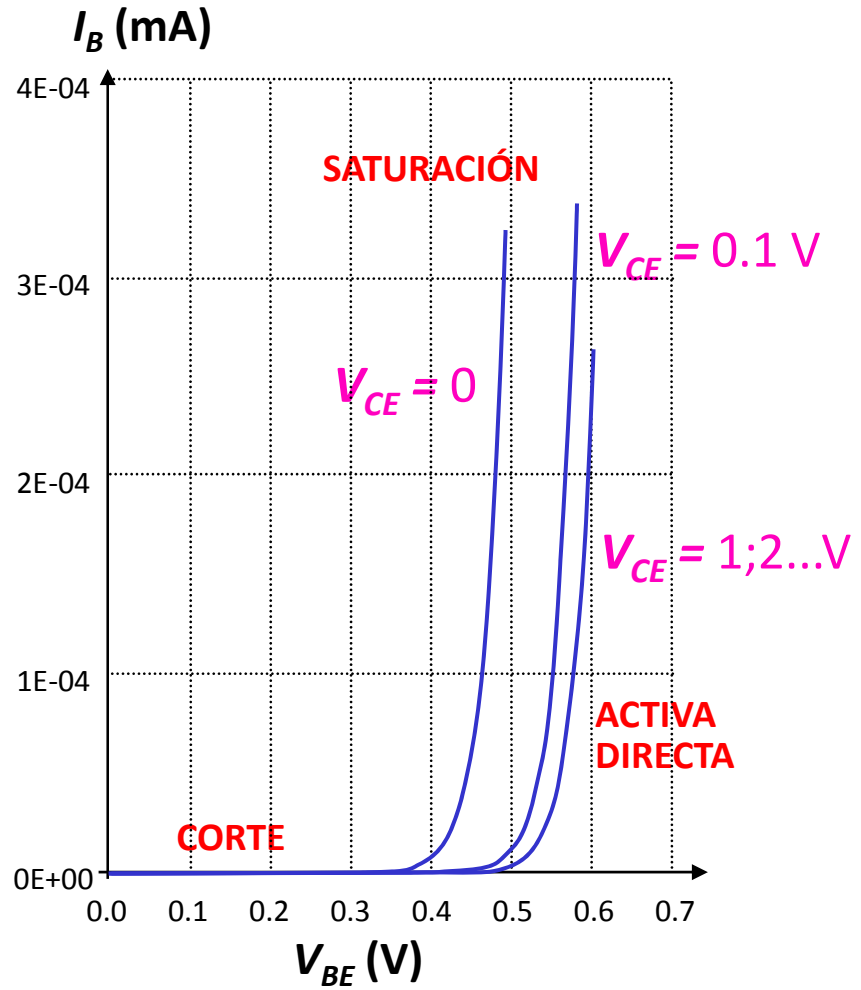
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Características en emisor común

Entrada $\rightarrow i_B = i_B(v_{BE}, v_{CE})$



$$\frac{\alpha_F}{1 - \alpha_F}, \quad \alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

$$\left(1 + \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}\right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$[I_{ES}(1 - \alpha_F) + I_{CS}(1 - \alpha_R)]$$

$$1 \gg \frac{\beta_F}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}$$

$$i_B \approx \frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_F} e^{v_{BE}/V_T}$$

En corte:
 $v_{BE} \approx v_{CE}$

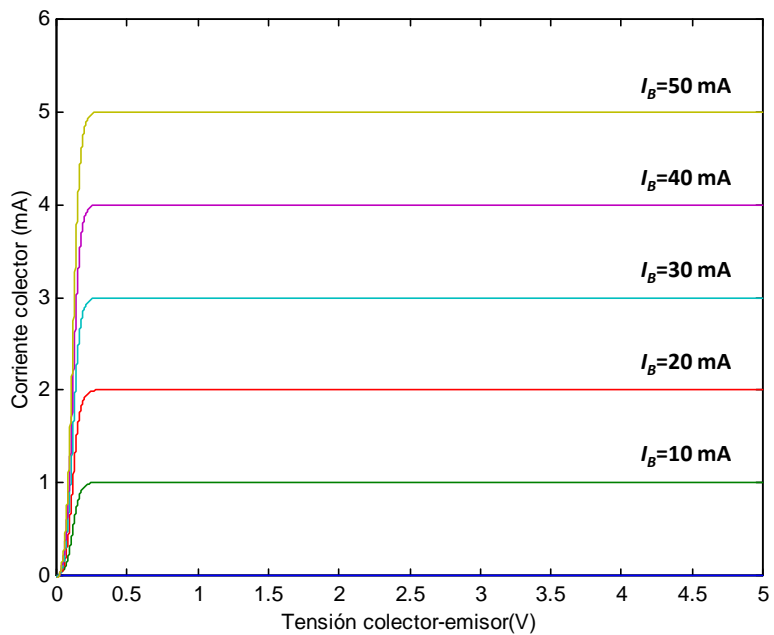
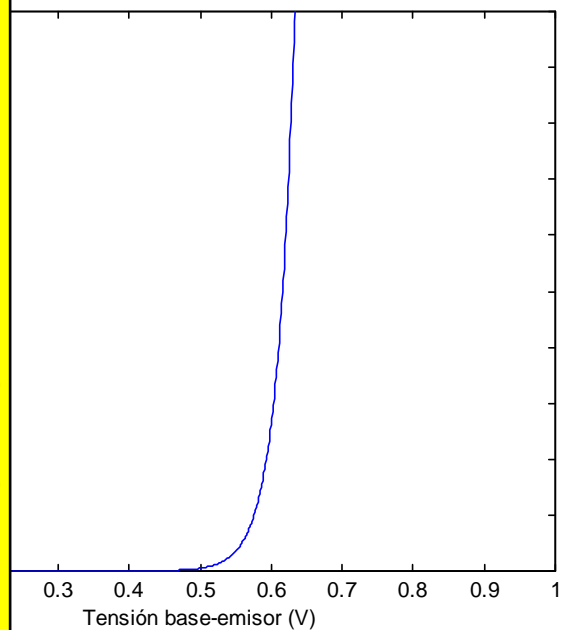
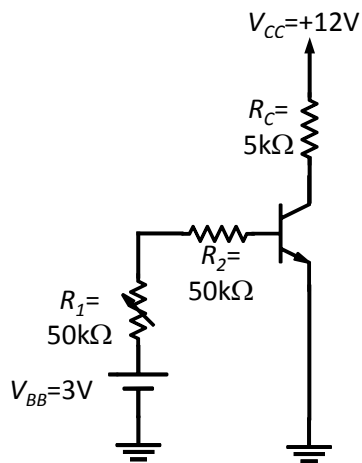
En corte:
 $v_{BE} \approx v_{CE}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Conociendo de la figura, el transistor tiene las características mostradas. Si, cambiando gráficamente, se pide:
 1. Determinar las coordenadas del punto de trabajo cuando R_1 tiene un valor de $50\text{k}\Omega$.

2. Graficar el desplazamiento del punto de trabajo cuando variamos R_1 desde $0\text{k}\Omega$ hasta $100\text{k}\Omega$.
 3. Determinar el punto de trabajo si $V_{CC}=24\text{ V}$ para $R_1=0$.

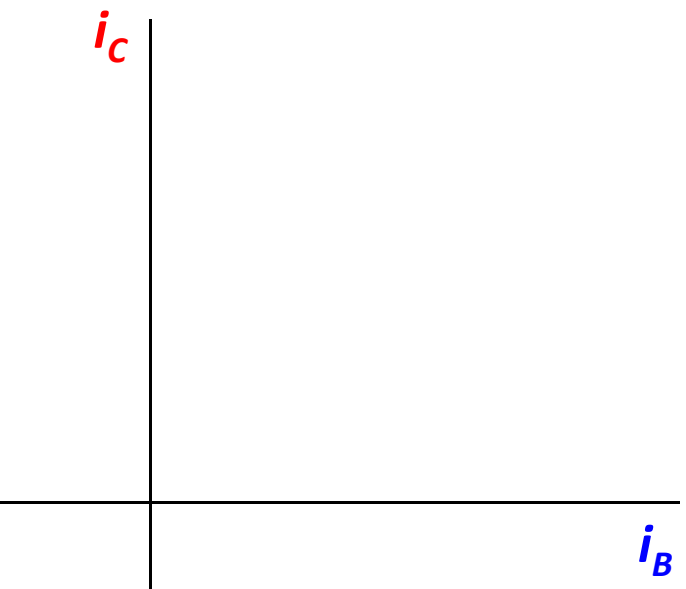


 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

tenga las curvas de transferencia en emisor común tomando como ro v_{CE}



$$\beta_F i_B + \frac{\beta_E}{\beta_R} e^{-v_{CE}/V_T}$$

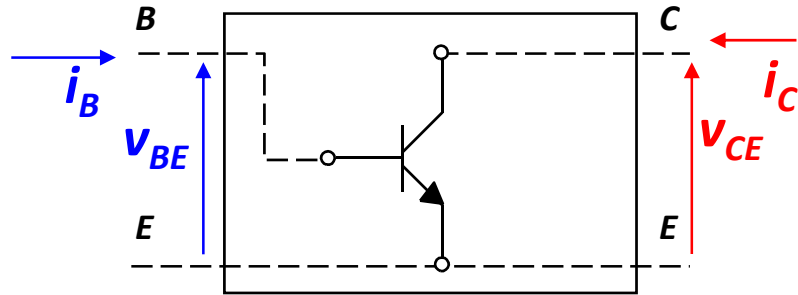
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

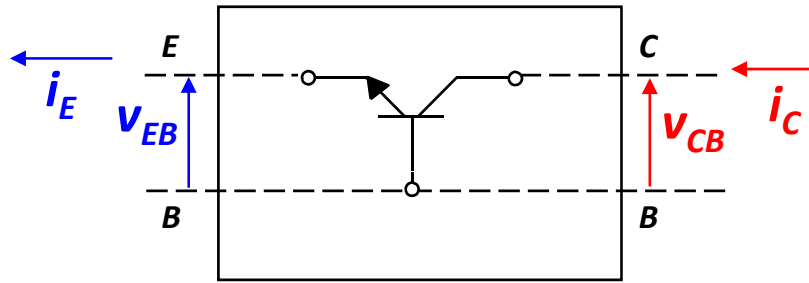
Cartagena99

Transistor bipolar

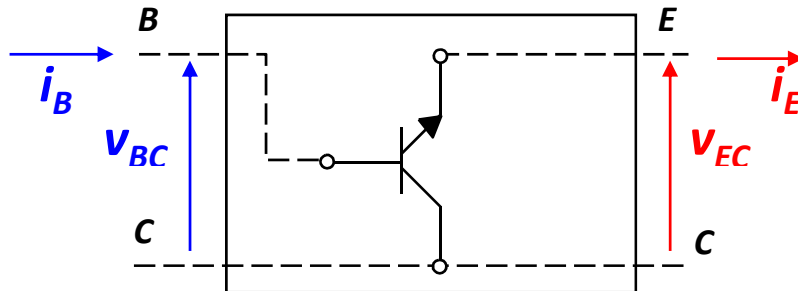
iones básicas y curvas de entrada, salida y transferencia:



C.S. $\rightarrow i_C = i_C(v_{CE}, i_B)$
 C.E. $\rightarrow i_B = i_B(v_{BE}, v_{CE})$
 C.T. $\rightarrow i_C = i_C(i_B, v_{CE})$



C.S. $\rightarrow i_C = i_C(v_{CB}, i_E)$
 C.E. $\rightarrow i_E = i_E(v_{EB}, v_{CB})$
 C.T. $\rightarrow i_C = i_C(i_E, v_{CB})$



C.S. $\rightarrow i_C = i_C(v_{BC}, i_B)$
 C.E. $\rightarrow i_B = i_B(v_{BC}, v_{EC})$
 C.T. $\rightarrow i_C = i_C(i_B, v_{EC})$

Expresiones análogas para pnp

mún

n

omún

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

de la temperatura

En general, al aumentar la temperatura de operación de un BJT:

- I_{ES} aumenta
- I_{CS} aumenta
- β_F aumenta
- β_R aumenta
- $V_{\gamma E}$ disminuye
- $V_{\gamma C}$ disminuye

Los tramos horizontales de las características de salida se desplazan verticalmente hacia arriba

$$I_{ES}(T_0) + \left. \frac{d\beta_F}{dT} \right|_{T=T_0} (T - T_0) + \dots \rightarrow$$

$$\left. \frac{d\beta_F}{dT} \right|_{T=T_0} \approx 0,5 K^{-1}$$

$$V_{\gamma E,C}(T_0) + \left. \frac{dV_{\gamma E,C}}{dT} \right|_{T=T_0} (T - T_0) + \dots$$

$$\left. \frac{dV_{\gamma E,C}}{dT} \right|_{T=T_0} \approx -2 mVK^{-1}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

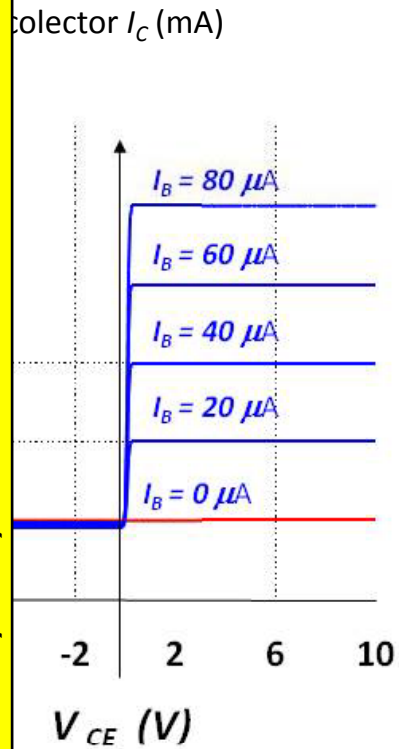
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

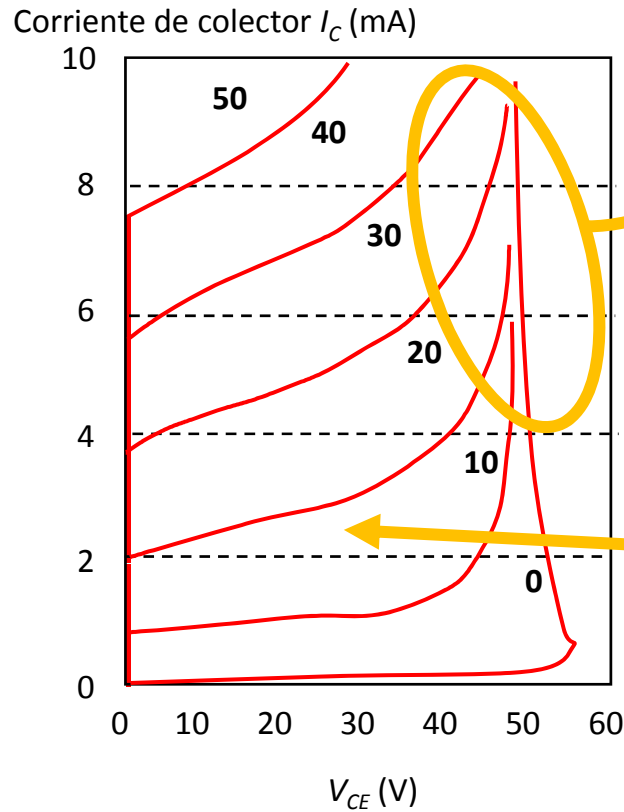
Características del modelo Ebers-Moll

Limitaciones del modelo y efectos de segundo orden.

Características ideales



Características reales



Disrupción de la unión de colector

Modulación de la anchura de base (efecto EARLY)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

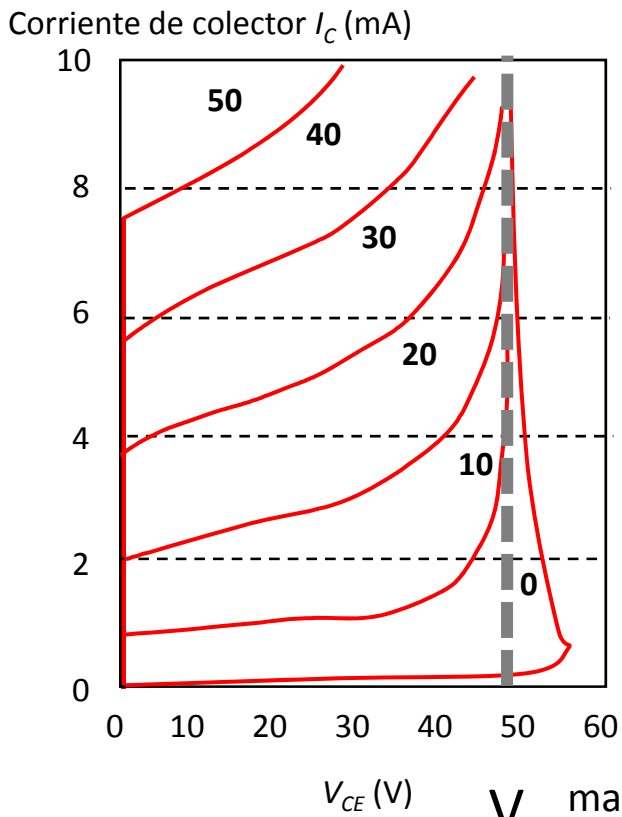
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Características del modelo Ebers-Moll

Características de la unión de colector.

Características reales



$$V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} \sim 0,7 \text{ V} - V_{CE} \leq V_{\gamma C}$$

La unión BC se comporta como un diodo Zener

$$V_{CE}^{\max} = V_{\gamma E} - V_Z$$



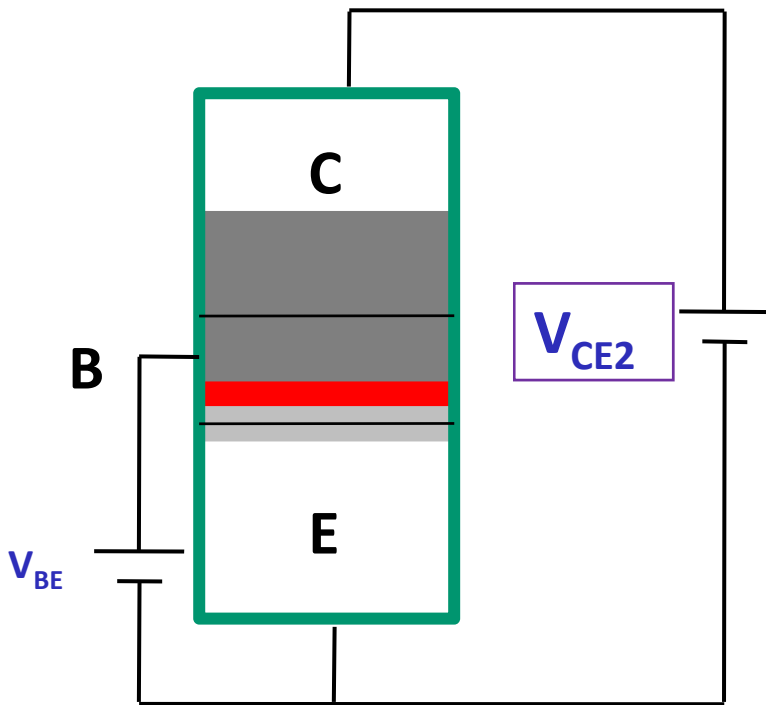
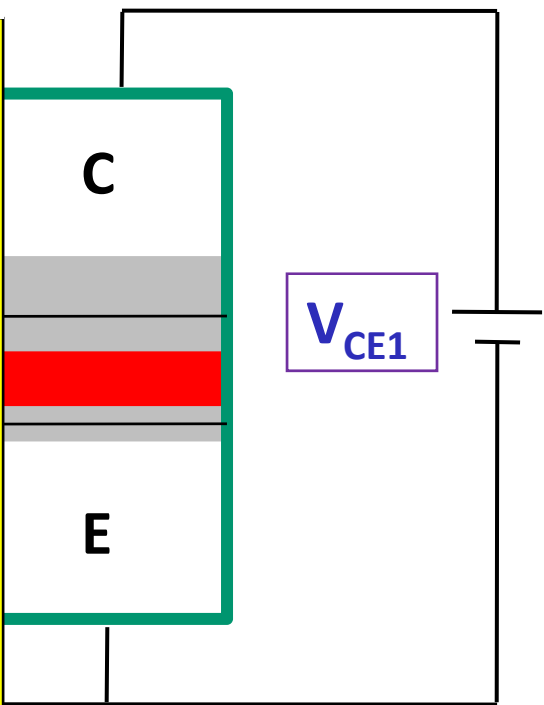
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Modificaciones del modelo Ebers-Moll

Dependencia de la anchura de base (EFECTO EARLY)



Grey box: Zona de carga espacial
Red box: Anchura efectiva de la base

Grey box: Zona de carga espacial
Red box: Anchura efectiva de la base

$V_{CE1} > V_{CE2} \rightarrow$ aumenta la anchura de la zona de carga espacial en BC



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Características del modelo Ebers-Moll

Dependencia de la anchura de base (EFECTO EARLY).

$V_{CE1} \rightarrow$ aumenta la anchura de la zona de carga espacial en BC.

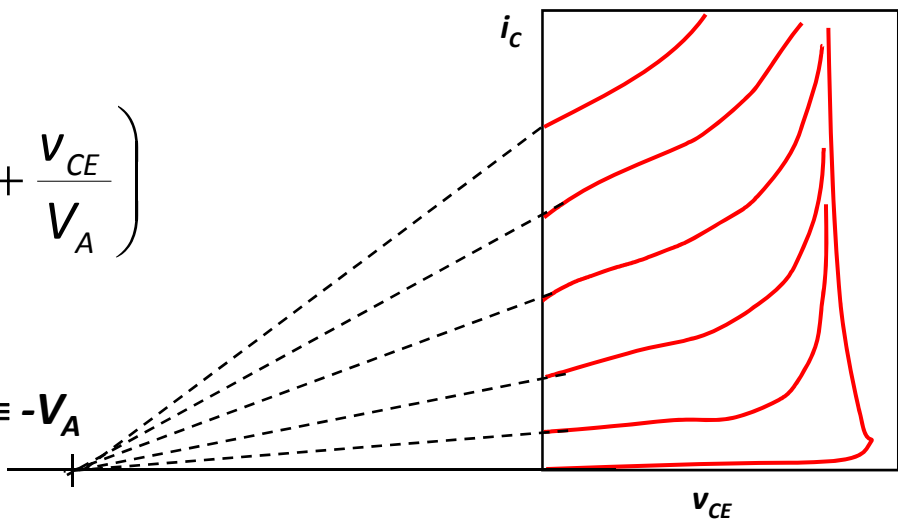
Los portadores minoritarios que difunden a través de la base proyectados desde el emisor tienen que atravesar una distancia menor.

Disminuye la recombinación de portadores minoritarios en la base.

Aumenta el factor de transporte α en función de v_{CE} .

$$\beta_F \cong \beta_0 \left(1 + \frac{v_{CE}}{V_A} \right)$$

V_A DE EARLY $\equiv -V_A$



Cartagena99

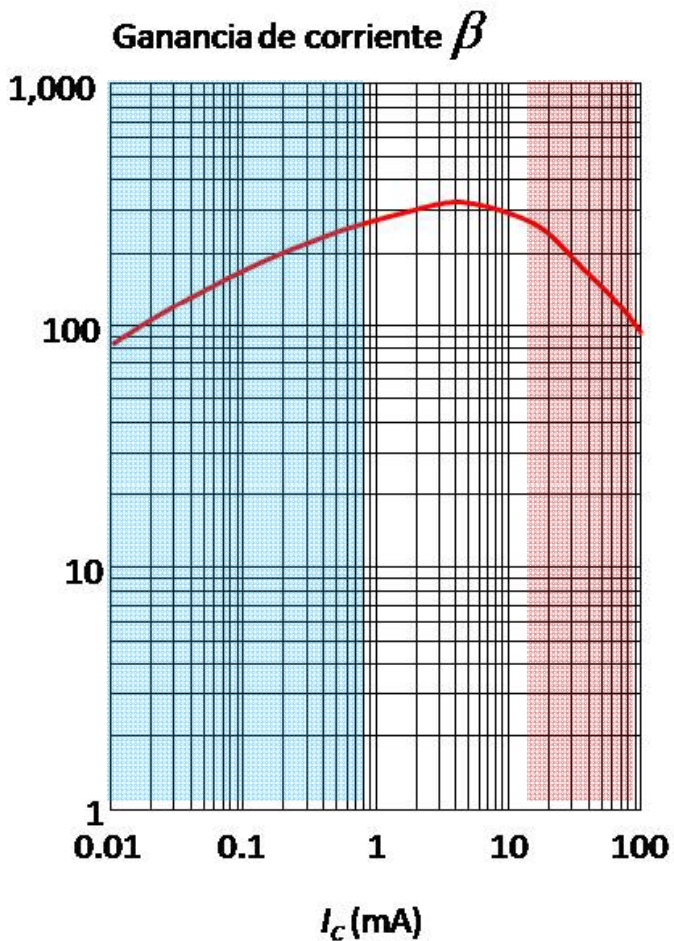
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Condiciones del modelo Ebers-Moll

con el punto de trabajo.

Condiciones de de I_c



Concentraciones de portadores en emisor afectadas por la inyección.

Concentración en zona espacial BE no estable.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO. 4.2

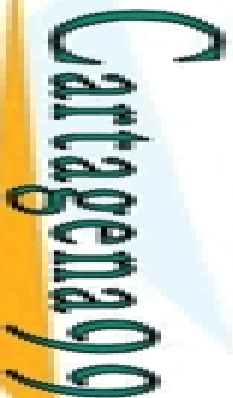
nsistor bipolar se puede modelar en estática teniendo en cuenta las uniones p-n que lo forman y las interacciones entre ellas, lo que da a las ecuaciones de Ebers-Moll

nción de la polarización de dichas uniones, se distinguen cuatro os: activa directa, corte, saturación y activa inversa.

tiva directa, el transistor se comporta como una fuente de corriente olada por corriente. También en activa inversa, pero debido a que el istor bipolar no es simétrico, en este caso la ganancia es muy eña.

transistor en corte, las corrientes son nulas.

zona de saturación la corriente de salida baja abruptamente en torno tensión prácticamente constante.

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange arrow-like shape pointing downwards.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

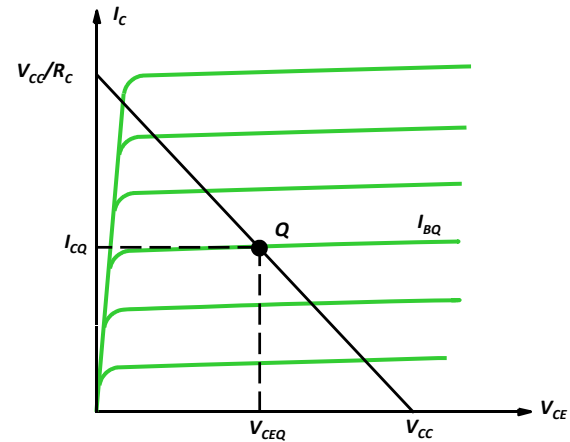
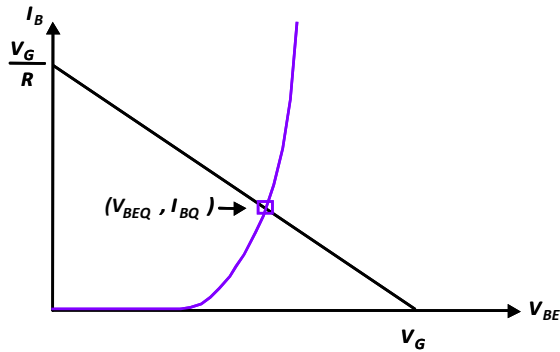
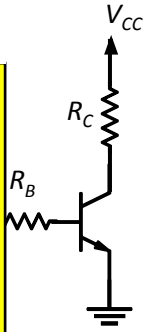
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

de Ebers-Moll: apropiadas para modelar físicamente el transistor bipolar, orrosas y poco prácticas para análisis de circuitos

$$i_C = I_S (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - \frac{I_S}{\alpha_R} (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$

$$i_E = \frac{I_S}{\alpha_F} (e^{v_{BE}/V_T} - 1) - I_S (e^{v_{BC}/V_T} - 1)$$



Complejos: necesidad de un análisis rápido

aproximados por tramos lineales:

Facilitación del análisis

de precisión-complejidad

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Importancia de los
efectos capacitivos

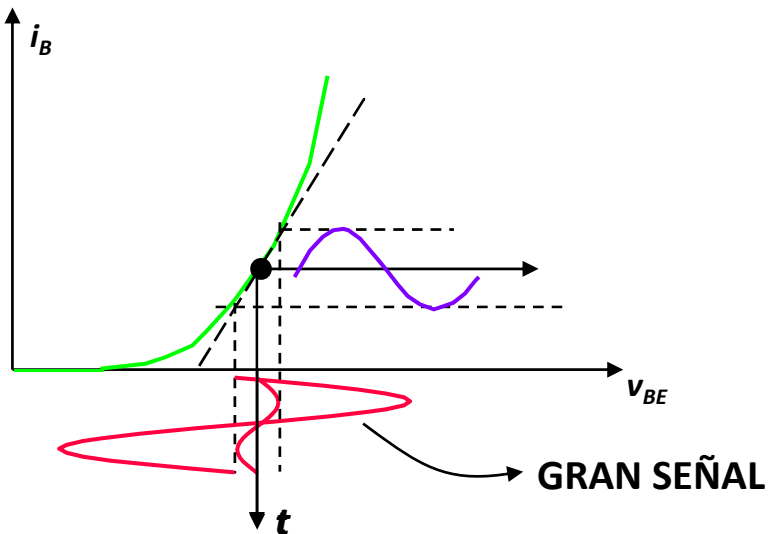
Relación **cuasi-estática**

$$v_D(t) \left| \frac{dv_D(t)}{dt} \right| \ll |I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)| \rightarrow t_D \approx I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

Gran señal

$v_D(t)$ no son pequeños.

Amplitud de la señal
hacer aproximación de
la señal

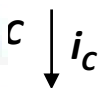


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

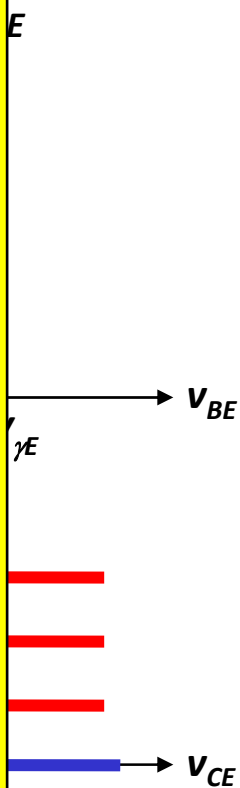
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Modelo 1: MODELO LINEAL POR TRAMOS BÁSICO



Región	Ecuaciones	Condiciones	Circuito equivalente
CORTE	$i_B = 0$ $i_C = 0$	$V_{BE} < V_{\gamma E}$	
ACTIVA DIRECTA	$V_{BE} = V_{\gamma E}$ $i_C = \beta i_B$	$i_B > 0$ $V_{CE} > V_{CEsat}$	
SATURACIÓN	$V_{BE} = V_{\gamma E}$ $V_{CE} = V_{CEsat}$	$i_B > 0$ $i_C < \beta i_B$	



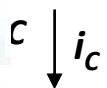
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

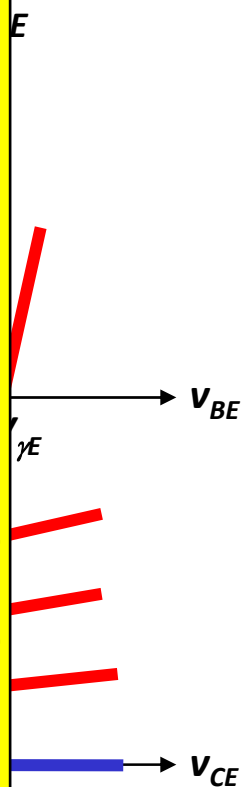
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Modelo 2: MODELOS LINEALES POR TRAMOS AVANZADO



Región	Ecuaciones	Condiciones	Circuito equivalente
CORTE	$i_B = 0$ $i_C = 0$	$v_{BE} < V_{\gamma E}$	
ACTIVA DIRECTA	$v_{BE} = V_{\gamma E} + r_D i_B$ $i_C = \beta_0 (1 + v_{CE}/V_A) i_B$	$i_B > 0$ $v_{CE} > V_{CEsat}$	
SATURACIÓN	$v_{BE} = V_{\gamma E} + r_D i_B$ $v_{CE} = V_{CEsat}$	$i_B > 0$ $i_C < \beta_0 (1 + v_{CE}/V_A) i_B$	



Cartagena99
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Modelos en cuasi-estática y gran señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN ESTÁTICA

Plantear hipótesis sobre la región de funcionamiento en que se encuentran los transistores.

Reemplazar modelo aproximado y sustituir los transistores por sus circuitos equivalentes.

Calcular corrientes y tensiones mediante análisis de circuitos.

Probar la validez de las hipótesis, verificando el cumplimiento de las condiciones:

- Si **no hay contradicción**, planteamiento correcto.
- Si **hay contradicción**, replantear a partir de otra hipótesis

--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Modelos en cuasi-estática y gran señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN ESTÁTICA

Contradicción, replantear a partir de otra hipótesis

Hipótesis falsa	Contradicción	Nueva hipótesis
ACTIVA	$i_B < 0$	CORTE
	$V_{CE} < V_{CE,sat}$	SATURACIÓN
SATURACIÓN	$i_B < 0$	CORTE
	$i_C > \beta i_B$	ACTIVA
CORTE	$V_{BE} > V_{\gamma E}$	Cualquiera

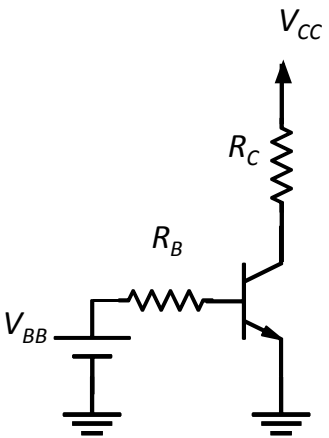
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Se pide el punto de trabajo del transistor de la figura, utilizando el modelo lineal por tramos. Represente gráficamente la solución en las curvas características. ¿Qué corriente relativa se obtendría utilizando el modelo lineal por tramos avanzado?

$$V_{CC} = 5 \text{ V}; V_{BB} = 3 \text{ V}; R_B = 50 \text{ k}\Omega; R_C = 700 \Omega$$
$$V_{\gamma E} = 0,7 \text{ V}; V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}; \beta_0 = 100; r_D = 2 \text{ k}\Omega; V_A = 80 \text{ V}$$

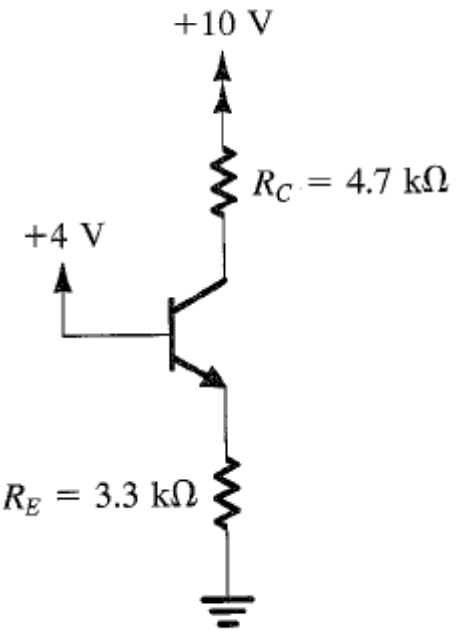


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

Para un circuito que incluye un transistor. Dicho transistor tiene un valor $\beta_F = 100$ y un voltaje de codo en la unión de emisor de 0,7 V. Determine los voltajes y corrientes en los nodos y ramas del circuito.



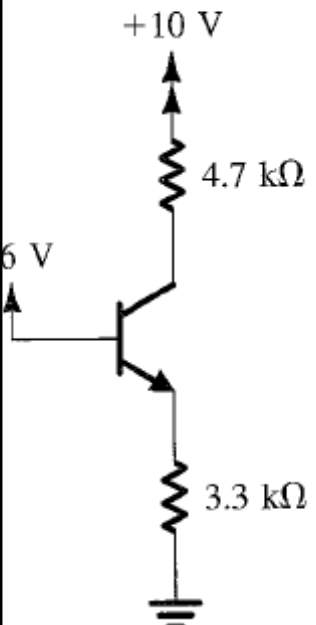
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Transistor bipolar

circuito de la figura que incluye un transistor. Dicho transistor tiene un valor de tensión de codo en la unión de emisor de 0,7 V y en la unión de colector termine los voltajes y corrientes en los nodos y ramas del circuito.



--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

Modelos en cuasi-estática y gran señal

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN CUASI-ESTÁTICA

Reemplazar generador $v_i(t)$ por uno de continua (valor instantáneo).

Calcular la **función de transferencia** $v_o=f(v_i)$

- Resolver circuito de **estática** para todas las hipótesis.
- Calcular rango de valores de v_i para el que **cada hipótesis es cierta**.
- Obtener la **solución** del circuito “enlazando” las soluciones de cada circuito lineal.

Reemplazar la **solución** $v_o(t)=f(v_i(t))$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

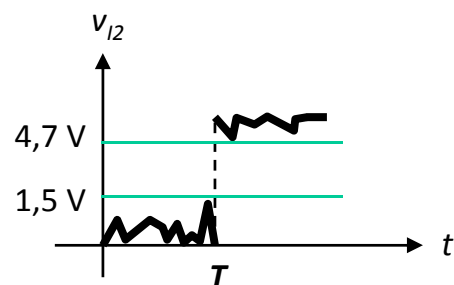
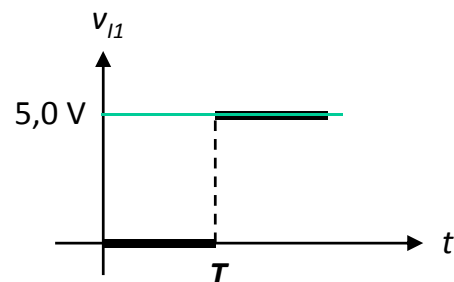
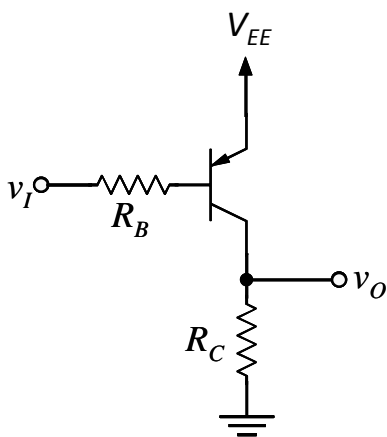
Transistor bipolar

El circuito de la figura muestra un inversor RTL (Resistor-Transistor-Logic).

Se pide: a) Determinar la curva de transferencia $v_o=f(v_i)$, representándola gráficamente. Indique la forma de la salida $v_o(t)$ para las señales de entrada v_{i1} y v_{i2}

$$V_{EE} = 5 \text{ V}; R_B = 25 \text{ k}\Omega; R_C = 700 \Omega$$

$$V_{\gamma E} = 0,7 \text{ V}; V_{ECsat} = 0,3 \text{ V}; \beta = 100$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Transistor bipolar

RESUMEN DEL APTO. 4.3

analizar circuitos con transistores en estática nos servimos de los lineales por tramos que aproximan las ecuaciones de Ebers-Moll

álisis de circuitos de continua se realiza mediante un método de ramamiento de hipótesis – resolución – verificación de la hipótesis.

analizar circuitos de variación lenta, se calcula la curva de transferencia haciendo un barrido de los posibles estados del transistor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ransistor bipolar

1 **Introducción**

2 **El transistor bipolar en cuasi-estática**

3 **Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal**

4 **Modelos aproximados en frecuencias medias y pequeña señal**

5 **El transistor bipolar en dinámica**

Seguir el papel de la polarización y la pequeña señal en un circuito
amplificador con transistores

Analizar la pertinencia y el uso de la aproximación de pequeña señal a
partir de la deducción del circuito equivalente del transistor

Trabajar algunos ejemplos de transistores trabajando en frecuencias
medias y pequeña señal

Temas, aptos. 5.6

Temas, aptos. 7.2.2 y 7.2.3

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange arrow-like shape pointing downwards.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

Modelos en cuasi-estática y pequeña señal

el modo de operación del diodo:

Situación cuasi-estática

$$\left| i_D(v_D(t)) \frac{dv_D(t)}{dt} \right| \ll |I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)| \rightarrow i_D \approx I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

se pueden despreciar los efectos capacitivos.

Pequeña señal

$$v_D = V_D + v_d(t), \quad i_D(t) = I_D + i_d(t)$$

El componente de polarización fija el punto de trabajo:

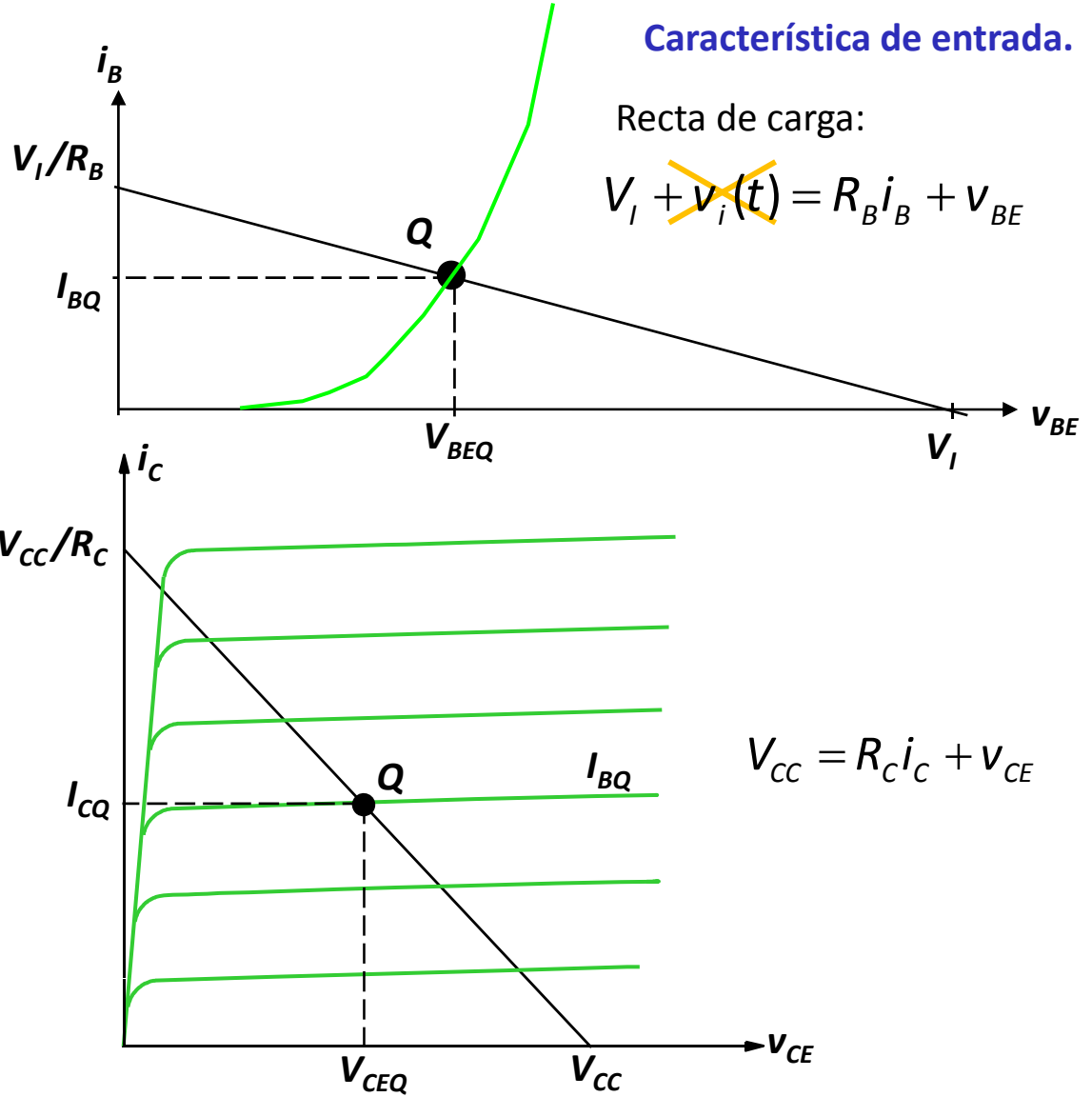
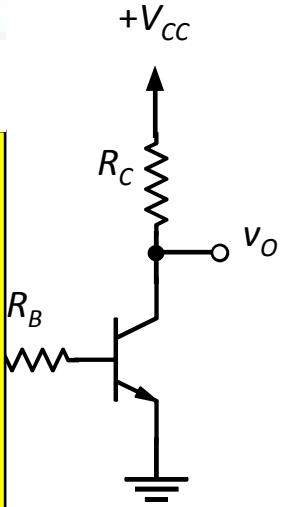
La señal modula el la operación del diodo alrededor del punto de trabajo:

Se puede aproximar el diodo por un dispositivo lineal.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR: Polarización



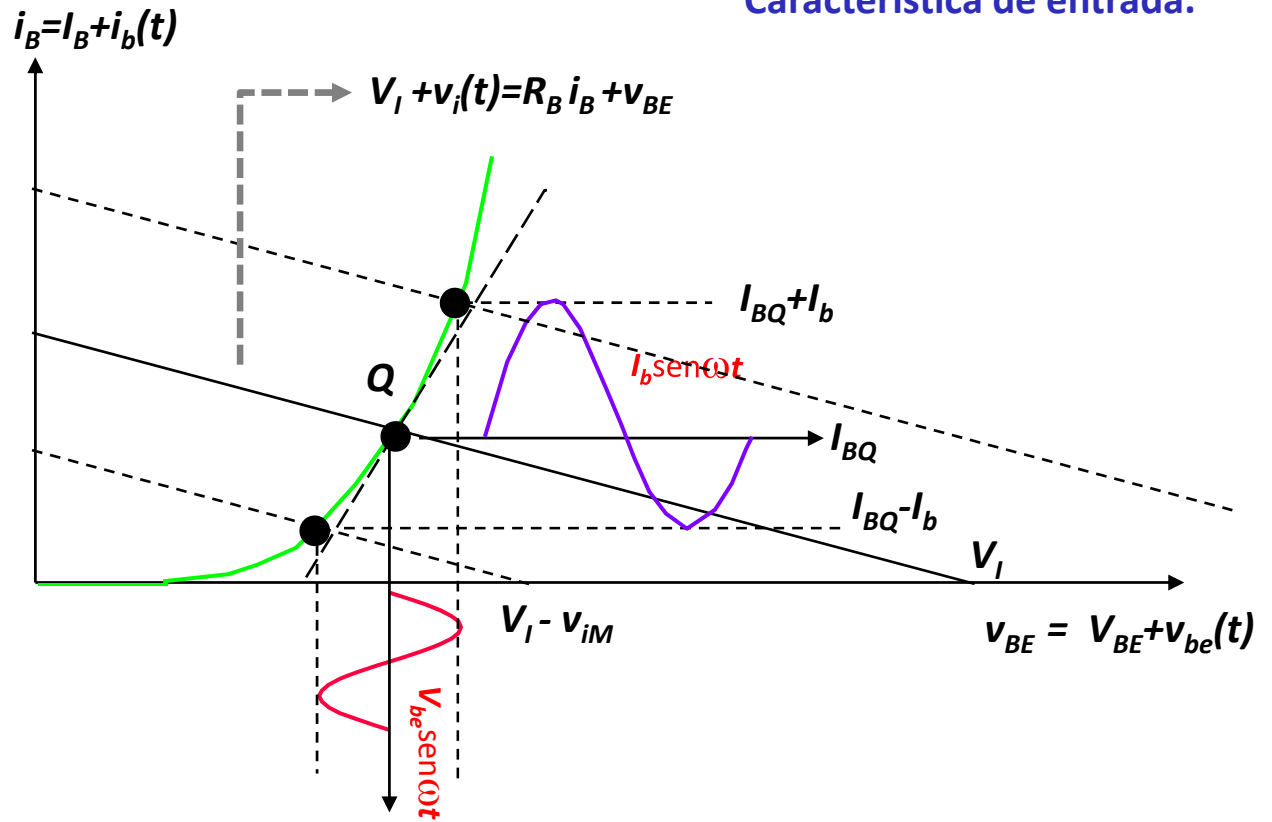
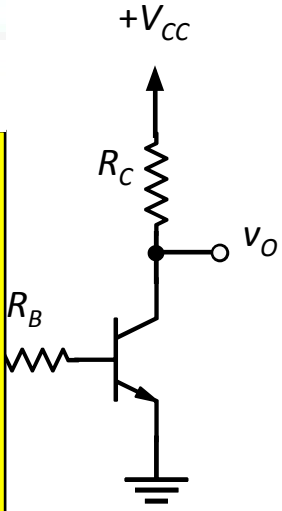
...
 polarizado en
 RECTA

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR: Pequeña señal



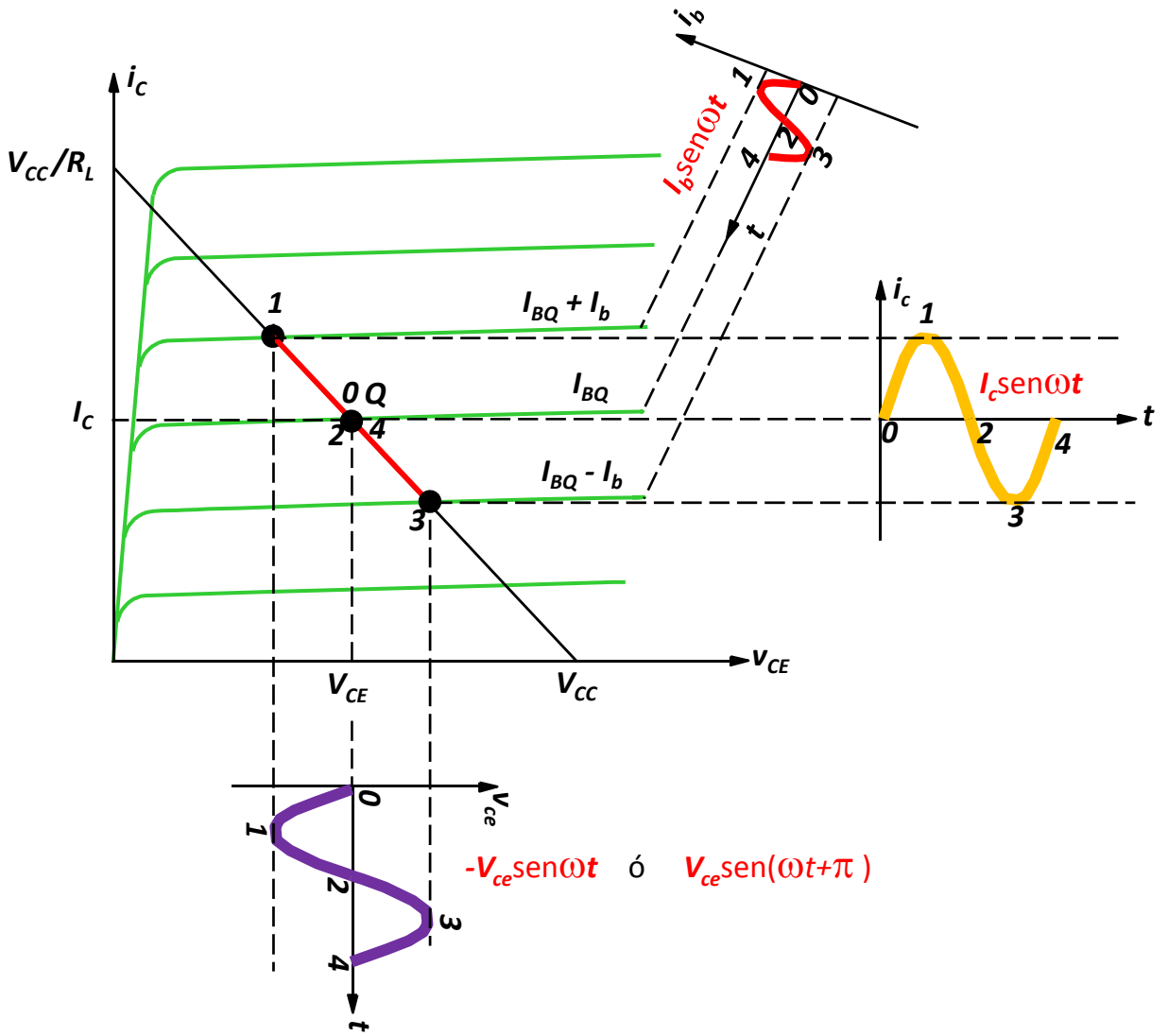
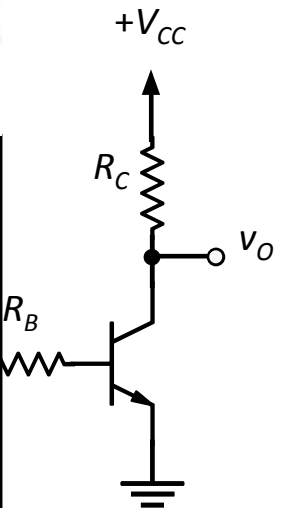
Si la señal es *suficientemente pequeña*, podemos *aproximar* la característica de entrada por una línea recta en torno al punto de trabajo .

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR: Pequeña señal

Característica de salida.

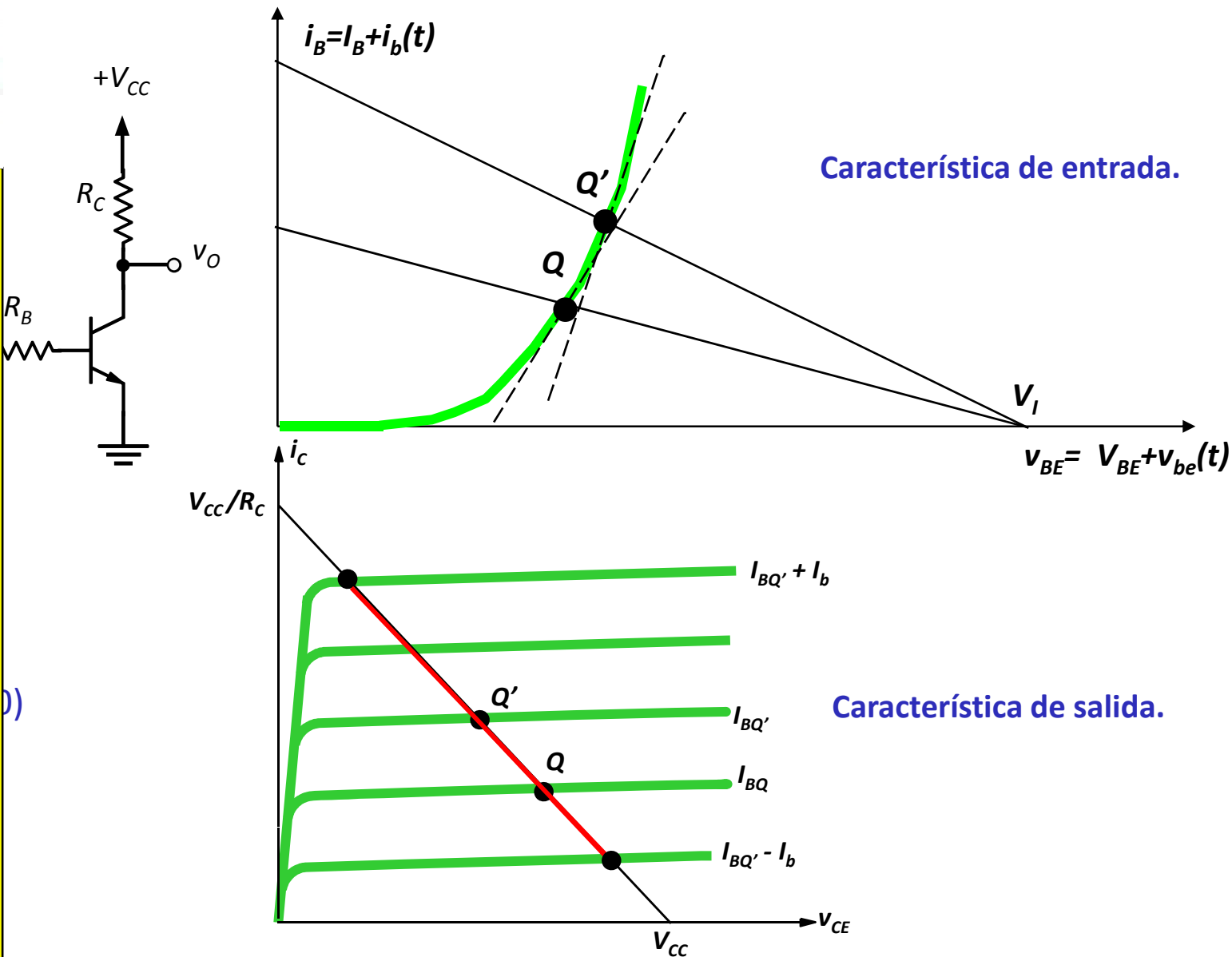


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR: Variación del punto de trabajo



Característica de entrada.

Característica de salida.

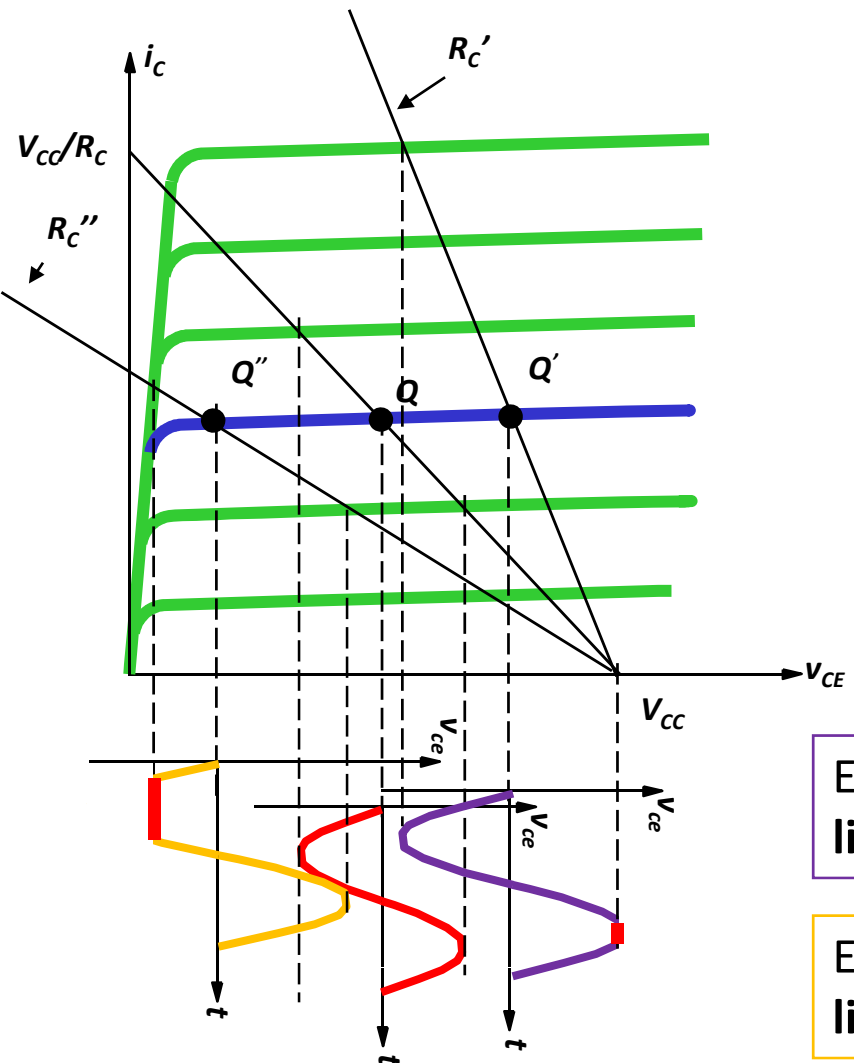
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

TOR COMO AMPLIFICADOR: Máxima excursión de la señal



Excursión positiva de v_{ce}
limitada por corte

Excursión negativa de v_{ce}
limitada por saturación

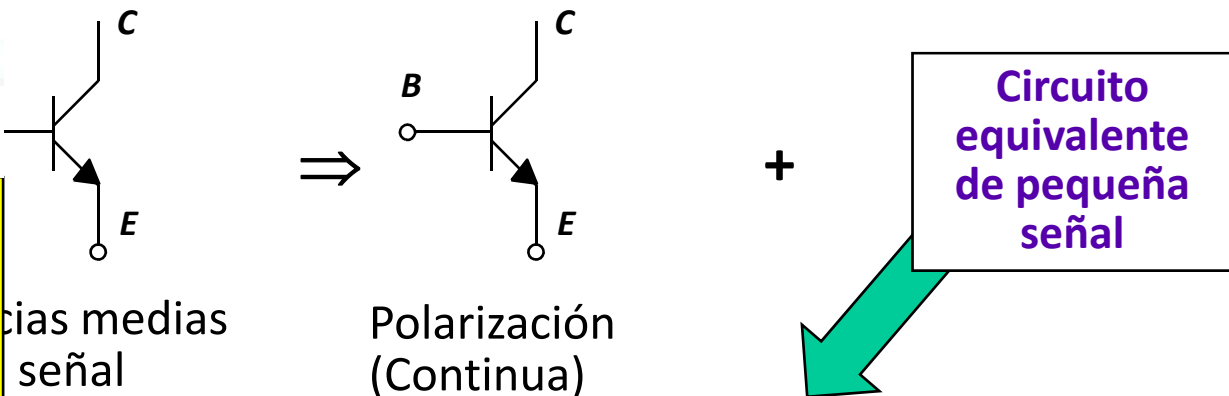
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ACCIÓN DE PEQUEÑA SEÑAL



- * Muchas **versiones**, dependiendo de:
 - Configuración elegida (EC, BC, CC)
 - Nivel de detalle/aproximación
 - Rango de frecuencias
 - Elección de variables dependientes/independientes
- * Las diferentes versiones son **equivalentes**
 - Para el mismo rango/nivel de aproximación
 - Representan el mismo comportamiento cerca de Q
 - Conversión mediante transformaciones lineales
- * Elementos dependientes del **punto de trabajo**
- * Semejante para **pnp** y **npn** (sin cambio de signos)

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ÁSiCO (sin efecto Early): Activa directa

$$= \frac{\alpha I_{ES}}{\beta_F} \exp\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right)$$

$$= \beta_F i_B$$

ando:

$$\left. \begin{aligned} v_{BE} &= V_{BE} + v_{be} \\ i_B &= I_B + i_b \\ i_C &= I_C + i_c \end{aligned} \right\} \begin{aligned} i_C - I_C &= \beta_F (i_B - I_B) \\ i_c &= \beta_F i_b \end{aligned}$$

el caso de pequeña señal en el diodo:

$$f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0)$$

$$i_{BE} = f(V_{BE}) + f'(V_{BE})(v_{BE} - V_{BE})$$

$$= I_B + \frac{I_B}{V_T} (v_{BE} - V_{BE})$$

$$i_B - I_B = \frac{1}{r_{\pi}(I_B)} (v_{BE} - V_{BE})$$

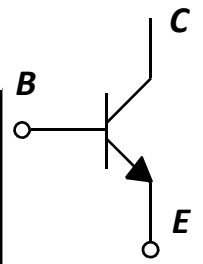
$$i_b = \frac{1}{r_{\pi}(I_B)} v_{be}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

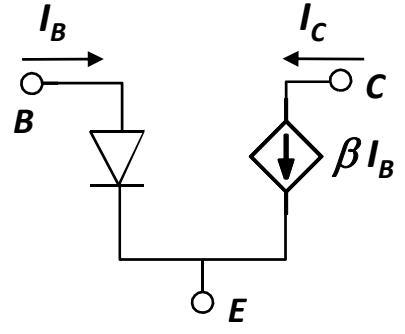
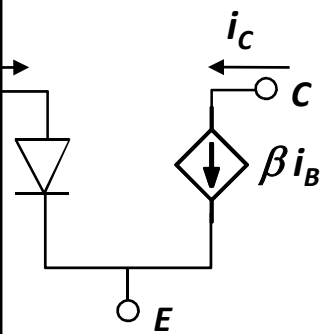
ÁSiCO (sin efecto Early): Activa directa



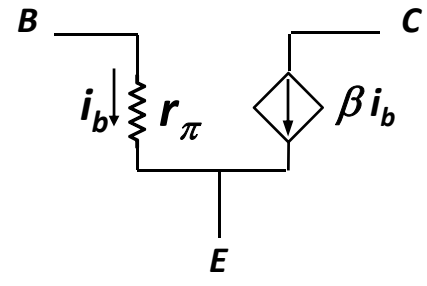
Polarización
(continua)

+

Pequeña señal
(alterna)



+



$$I_{ES} \exp\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right) = I_B + i_b$$

$$I_B = I_C + i_c$$

$$I_B = \frac{\alpha I_{ES}}{\beta} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$i_b \approx \frac{v_{be}}{r_\pi}$$

$$r_\pi(I_B) = \frac{V_T}{I_B}$$

$$i_c = \beta_F i_b$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

VANZADO (con efecto Early): Activa directa

$$\frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_0 \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \quad i_C = \beta_0 \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right) i_B$$

mos:

$$\frac{\alpha_F I_{ES}}{\beta_0} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) \Rightarrow i_b \approx \frac{V_{be}}{r_\pi}$$

en serie de Taylor de una función de dos variables:

$$f(x, y) = f(x_0, y_0) + \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{(x_0, y_0)} (x - x_0) + \frac{\partial f}{\partial y} \Big|_{(x_0, y_0)} (y - y_0)$$

$$i_C(i_B, v_{CE}) = I_C + \underbrace{\frac{\partial I_C}{\partial i_B} \Big|_Q}_{i_b} (i_B - I_B) + \underbrace{\frac{\partial I_C}{\partial v_{CE}} \Big|_Q}_{V_{ce}} (v_{CE} - V_{CE})$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

VANZADO (con efecto Early): Activa directa

$$\left. \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right|_Q = \beta_0 \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) \bigg|_Q = \beta_0 \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right) = \beta_F(V_{CE}) = \beta_Q$$

$$\left. \frac{\partial I_C}{\partial V_{CE}} \right|_Q = \frac{\beta_0 I_B}{V_A} \bigg|_Q = \frac{\beta_0 I_B}{V_A} = \frac{I_C}{V_A + V_{CE}} \equiv \frac{1}{r_0} \quad \text{resistencia de salida}$$

Es:

$$\begin{aligned} i_c &= i_C - I_C = \beta_F(V_{CE}) i_b + \frac{V_{CE}}{r_0(I_C, V_{CE})} \\ &= \beta_Q i_b + \frac{V_{CE}}{r_0} \end{aligned}$$

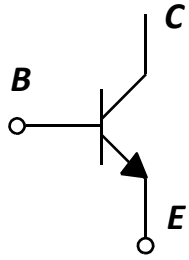
modelo básico = modelo avanzado con $V_A = \infty \rightarrow r_0 = \infty, \beta_Q = \beta$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

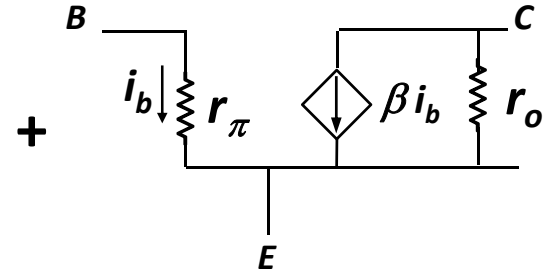
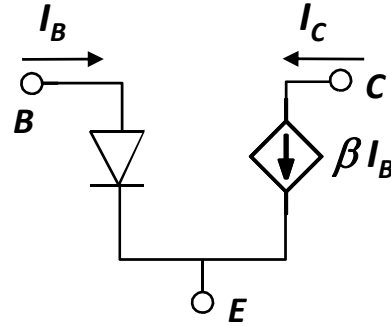
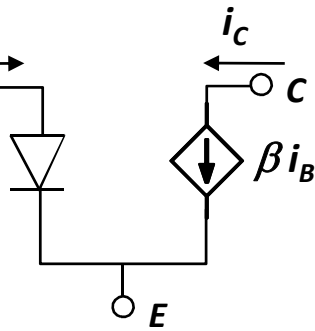
VANZADO (con efecto Early): Activa directa



Polarización
(continua)

+

Pequeña señal
(alterna)



$$I_E \exp\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right) = I_B + i_b$$

$$= I_C + i_c$$

$$I_B = \frac{\alpha I_{ES}}{\beta} \exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$i_b \approx \frac{v_{be}}{r_\pi} \quad r_\pi(I_B) = \frac{V_T}{I_B}$$

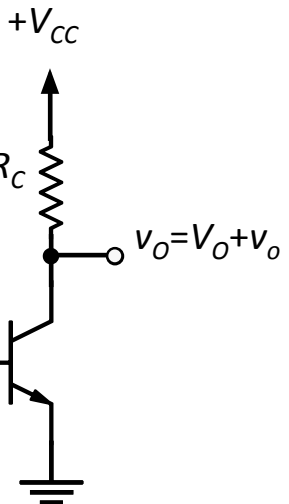
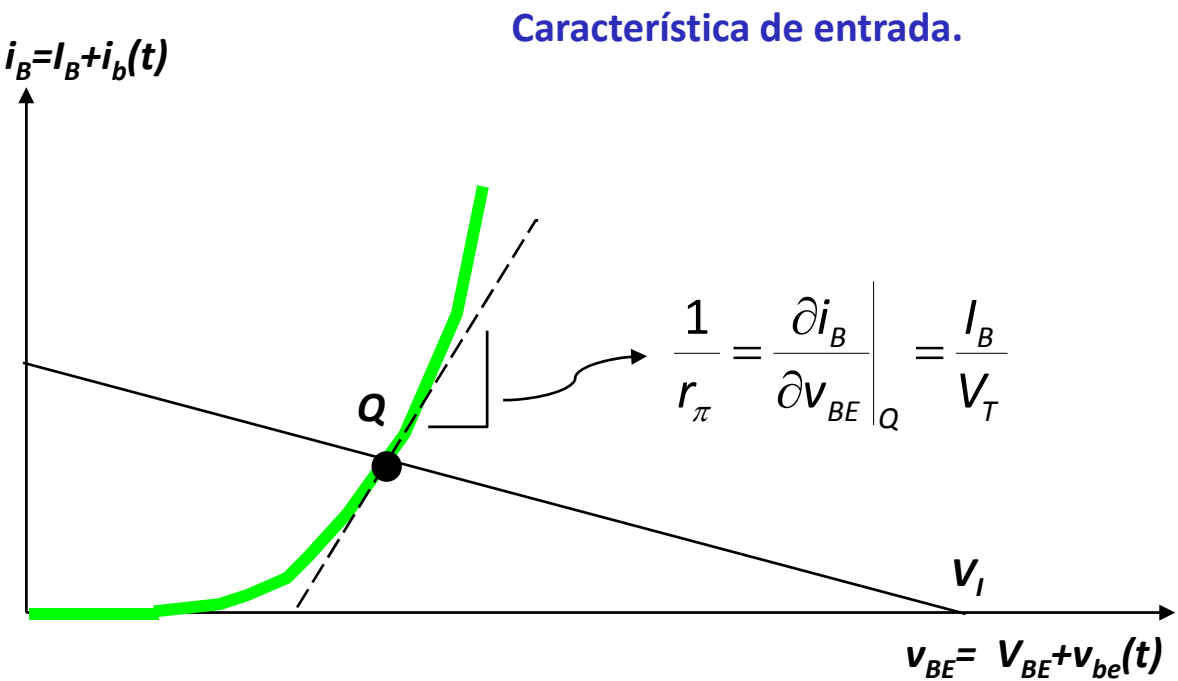
$$i_c = \beta_F i_b + \frac{v_{CE}}{r_o}$$

$$r_o = \frac{V_A}{\beta_0 I_B} = \frac{V_A + V_{CE}}{I_C}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

ción gráfica de los parámetros de pequeña señal:



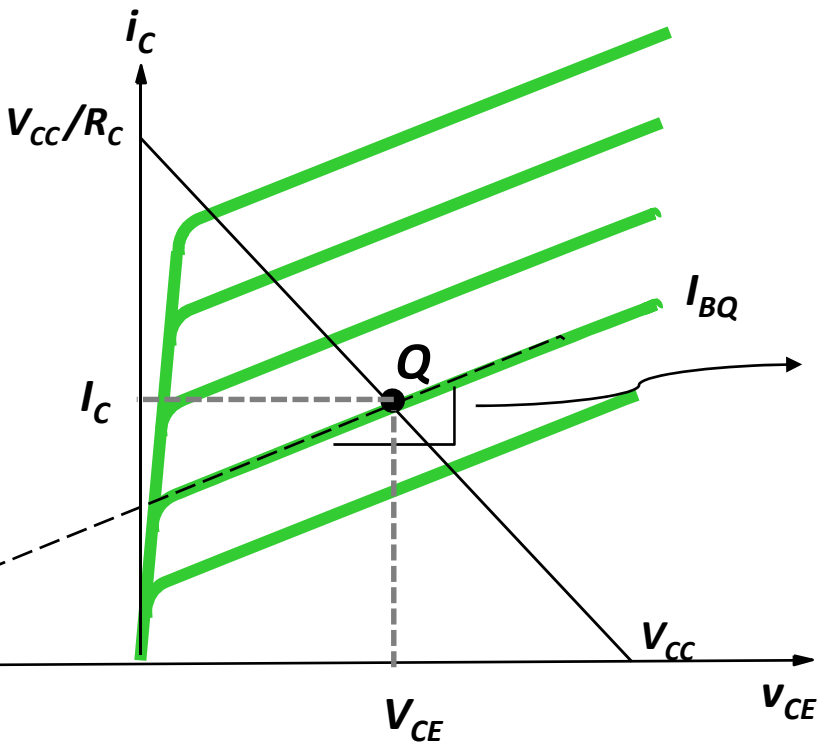
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ción gráfica de los parámetros de pequeña señal:

Característica de salida.



$$\frac{1}{r_o} = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{CE}} \right|_Q = \frac{I_C}{V_A + V_{CE}}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
-- --
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ANÁLISIS DE CIRCUITOS EN CUASI-ESTÁTICA Y PEQUEÑA SEÑAL

de la polarización y del punto de trabajo.

- En el circuito original se **anulan** los **generadores independientes de pequeña señal**.

generador de tensión $v_g = 0 \rightarrow$ **cortocircuito**

generador de corriente $i_g = 0 \rightarrow$ **circuito abierto**

- **Resolver el circuito de estática** utilizando modelos lineales por tramos (gran señal), calculando $Q(I_B, V_{BE}, I_C, V_{CE})$.

de la pequeña señal

- En el circuito original se **anulan** los **generadores independientes de continua**, quedando los de pequeña señal.

generador de tensión $V_G = 0 \rightarrow$ **cortocircuito**

generador de corriente $I_G = 0 \rightarrow$ **circuito abierto**

- **Calcular** los valores de **pequeña señal** (r_π, r_o, β).

- **Sustituir cada transistor por su circuito equivalente** de pequeña señal.

- Resolver el circuito de pequeña señal y comprobar hipótesis: $|v_{be}| \ll V_T$.

de la solución final:

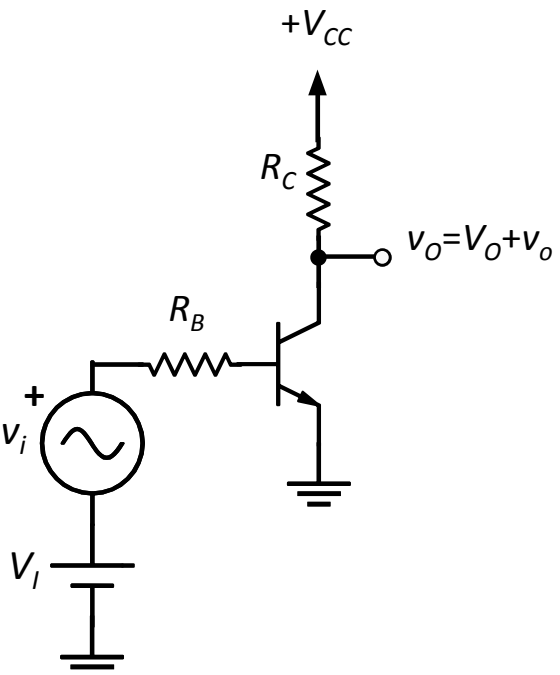
$$i(t) = I + i(t), \quad v(t) = V + v(t)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

Del circuito de la figura, calcule:
El punto de trabajo y la componente continua a la salida
La ganancia de tensión en pequeña señal v_o/v_i
Ajustar la tensión completa a la salida $v_o(t)$ para $v_i(t)=A\sin \omega t$
Incluir el efecto Early en el cálculo de la polarización.



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

entre ganancia (pequeña señal) y función de transferencia (gran señal):

Función de transferencia: $v_o = f(v_i)$
Exacta, no aprox. por tramos

Ganancia: $v_o = A \times v_i$

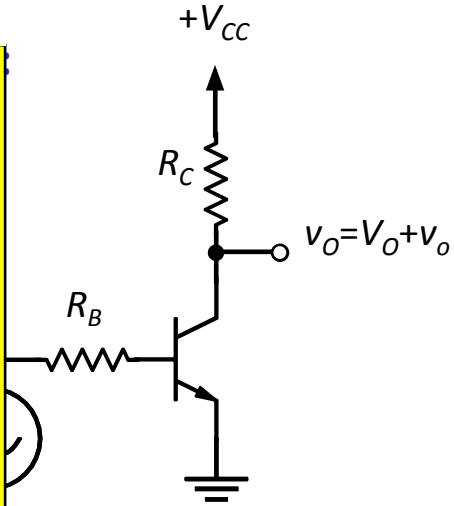
Aproximación lineal en $v_i = V_I$:

$$v_o \approx f(V_I) + \left. \frac{df}{dv_i} \right|_{V_I} (v_i - V_I)$$

$$v_o \approx V_0 + \left. \frac{dv_o}{dv_i} \right|_Q v_i$$

$$v_o \approx v_o - V_0 = \left. \frac{dv_o}{dv_i} \right|_Q v_i$$

$$\frac{v_o}{v_i} \approx \left. \frac{dv_o}{dv_i} \right|_Q \equiv A$$



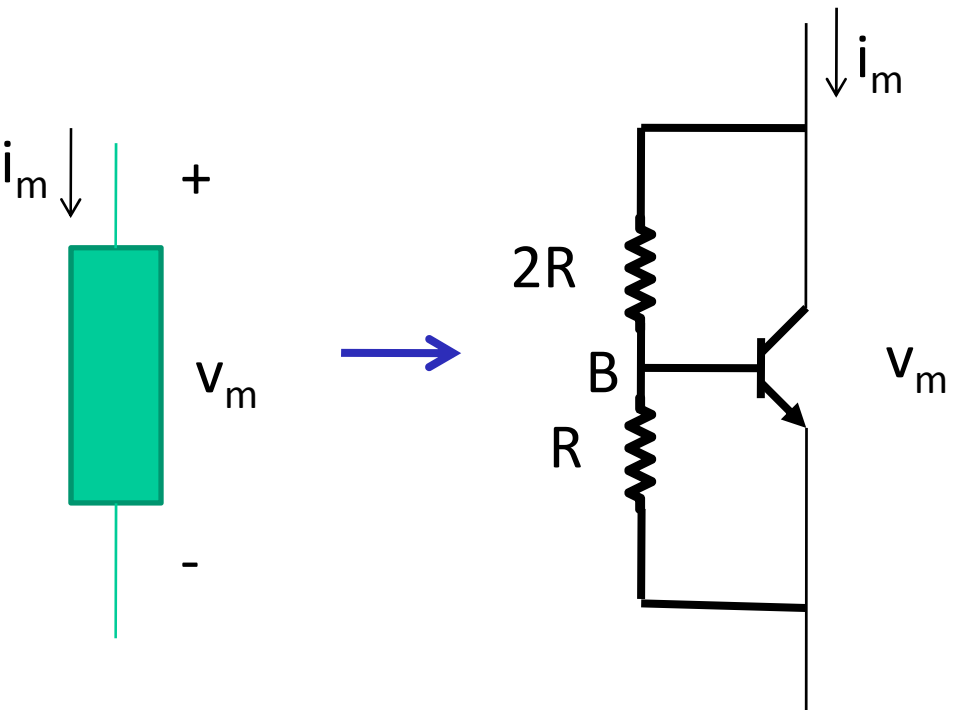
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Para muestra un circuito multiplicador de v_{BE} que realiza la función de obtener una triplo de v_{BE} . Para su funcionamiento la corriente de base ha de ser despreciable en el punto de trabajo indicado en el apartado b) calcule la resistencia equivalente de salida para pequeña señal.

Calcule el valor M tal que $v_m = M v_{BE}$, suponiendo que $i_B \sim 0$ en B.

Si se ha medido $V_M = 1860$ mV y $V_{BE} = 610$ mV, calcule I_{ES} del transistor.

En el punto de trabajo indicado en el apartado b) calcule la resistencia equivalente de salida para pequeña señal.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

RESUMEN DEL APTO. 4.4

Una pequeña señal ($v_{be} \ll V_T$) se puede descomponer el análisis de un circuito con transistores en dos partes:

Análisis del circuito de polarización, eliminando las señales variables, con el modelo de estática y gran señal

Análisis del circuito equivalente de pequeña señal, eliminando las señales continuas y sustituyendo el transistor por su circuito equivalente de pequeña señal

La aproximación de pequeña señal se basa en equiparar las curvas características del transistor, en un pequeño margen, a rectas tangentes a las mismas en el punto de trabajo

--

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

ransistor bipolar

1 **Introducción**

2 **El transistor bipolar en cuasi-estática**

3 **Modelos aproximados en cuasi-estática y gran señal**

4 **Modelos aproximados en frecuencias medias y pequeña señal**

5 **El transistor bipolar en dinámica**

Analizar el funcionamiento de la unión p-n en dinámica

Analizar el origen de las capacidades internas en el transistor

Derivar los modelos del BJT en dinámica, para gran señal y pequeña

Temas, aptos. 5.8

Temas, aptos. 4.10 y 4.11

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange arrow-like shape pointing downwards.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

égimen de funcionamiento en el que la rápida variación de las señales
apreciar los efectos capacitivos asociados a los dispositivos

Situación **dinámica**

$$i_D(t) \frac{dv_D(t)}{dt} \sim I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1)$$

mantienen las dependencias temporales
efectos capacitivos no despreciables

$$I_S (e^{v_D(t)/V_T} - 1) + C_D(v_D) \frac{dv_D}{dt}$$

Existe curva característica



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
...
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

régimen de funcionamiento en el que la rápida variación de las señales apreciar los efectos capacitivos asociados a los dispositivos

Capacidad del diodo tiene dos componentes:

$$C(v_D) = C_d(v_D) + C_j(v_D)$$

C_d ≡ Capacidad de unión / deplexión

C_j ≡ Capacidad de difusión

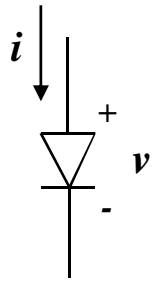
The logo for Cartagena99, featuring the word 'Cartagena99' in a stylized, green, cursive font. The text is set against a background of a blue and orange gradient that resembles a stylized flame or a drop shape.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

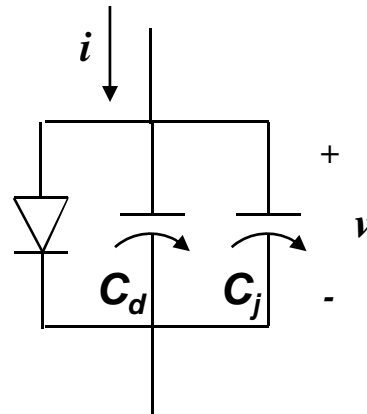
do las capacidades asociadas al funcionamiento en **dinámica y**
ñal:

$$i(t) = I_s \left[\exp\left(\frac{v(t)}{V_T}\right) - 1 \right] + C_j(v(t)) \frac{dv(t)}{dt} + C_d(v(t)) \frac{dv(t)}{dt}$$



ónica

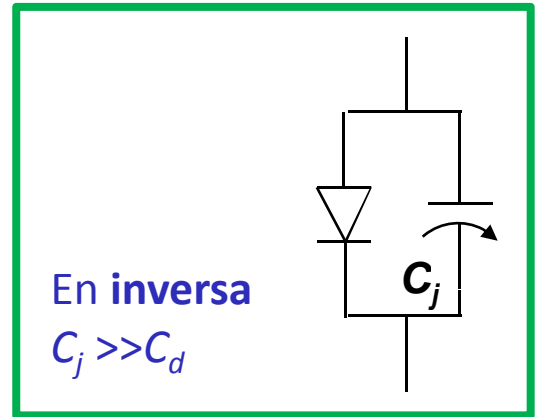
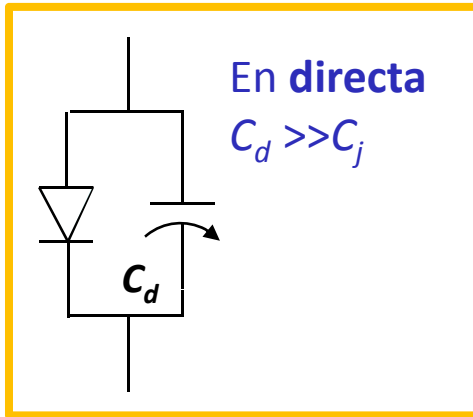
estática



, según el estado del diodo, se cumple:

$$C_d \gg C_j$$

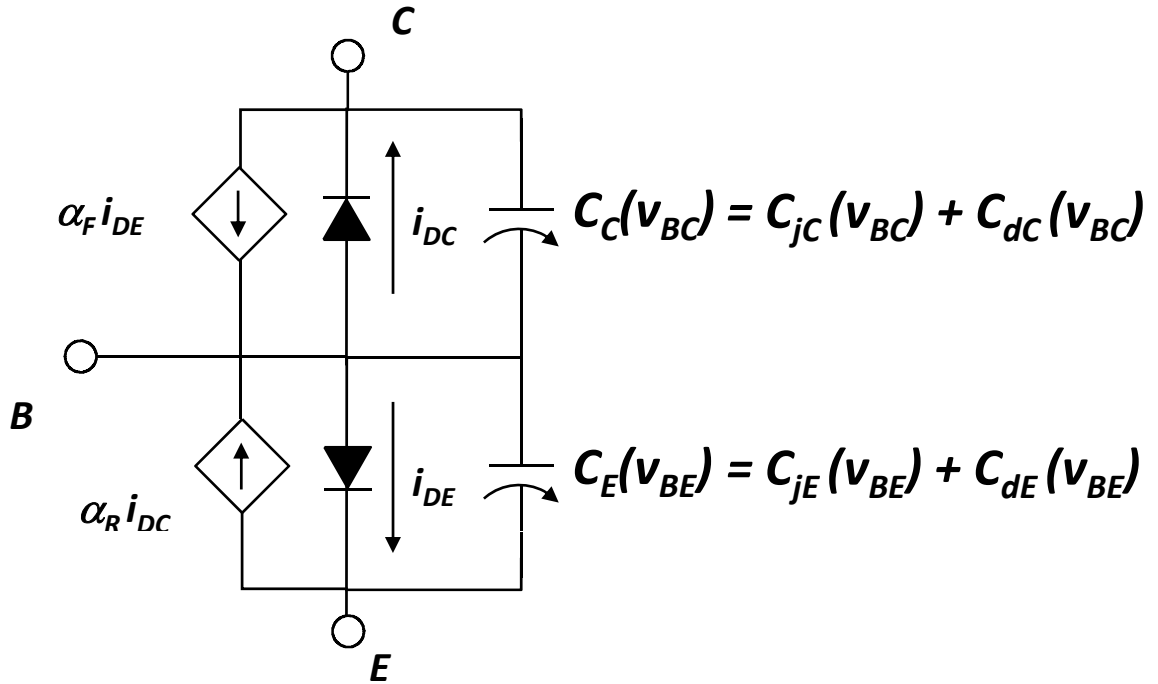
$$C_j \gg C_d$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

del transistor bipolar en dinámica y gran señal:
 acción mediante modelo lineal por tramos.



$$C_C(v_{BC}) = C_{jC}(v_{BC}) + C_{dC}(v_{BC})$$

$$C_E(v_{BE}) = C_{jE}(v_{BE}) + C_{dE}(v_{BE})$$

$$\left(e^{v_{BE}/V_T} - 1 \right) - I_{CS} \left(e^{v_{BC}/V_T} - 1 \right) + C_C(v_{BC}) \frac{dv_{BC}}{dt}$$

$$\left(e^{v_{BE}/V_T} - 1 \right) - \alpha_R I_{CS} \left(e^{v_{BC}/V_T} - 1 \right) + C_E(v_{BE}) \frac{dv_{BE}}{dt}$$

Activa: $C_E(v_{BE}) \gg C_C(v_{BC})$

Corte: $C_E(v_{BE}) \gg C_C(v_{BC})$

Saturación: $C_E(v_{BE}) \gg C_C(v_{BC})$

valores constantes

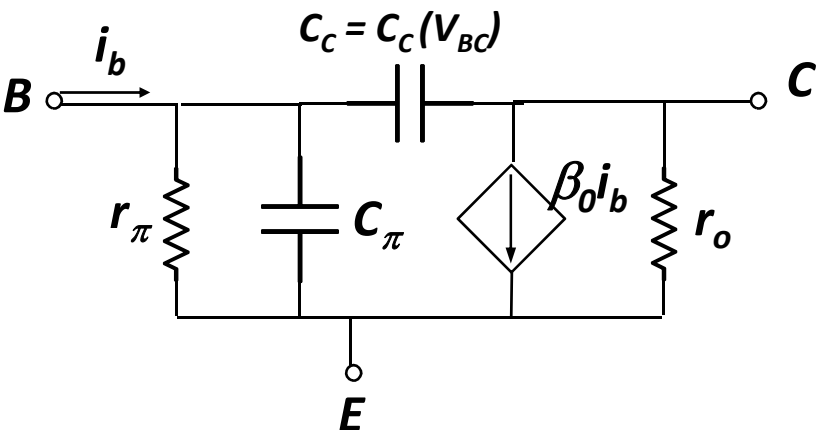
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Transistor bipolar

del transistor bipolar en dinámica y pequeña señal:

linearizamos C_C y C_E de modo lineal en torno al punto de trabajo.



$$C_E = C_E (V_{BE}) = C_{dE} + C_{jE}$$

$$\frac{C_{C0}}{\left(1 + \frac{V_{CB}}{V_{0C}}\right)^m}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Transistor bipolar

RESUMEN DEL APTO. 4.5

El régimen de funcionamiento en dinámica se hacen sentir efectos internos debido a los movimientos de portadores asociados a uniones p-n.

En la unión p-n en directa, la contribución dominante es la capacidad de difusión debida al exceso de minoritarios inyectados a ambos lados de la zona de deplexión. En inversa domina la capacidad de deplexión debida a la carga almacenada en dicha zona.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

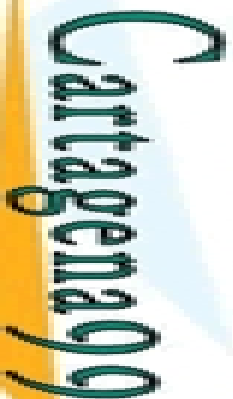
CONCEPTOS CLAVE DEL TEMA 4

dos del transistor: activa directa, corte, saturación y activa

de modelos aproximados por tramos para el análisis en
ca de transistores bipolares

olución de circuitos en estática por el “método analítico”
eamiento de hipótesis del estado del dispositivo, resolución y
cación de hipótesis)

ximación de pequeña señal, distinguiendo el papel de la
zación y el de la señal propiamente dicha

The logo for Cartagena99 features the word "Cartagena99" in a stylized, green, cursive font. The text is positioned above a graphic element consisting of a blue and orange shape that resembles a stylized map of the city or a decorative banner.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70