

Tema 8: Amplificación.

Contenidos

8.1 Objetivos

8.2 Conceptos Previos

8.3 Modelos H de un transistor bipolar

8.4 Modelo π o de Giacoletto

8.5 Conceptos sobre amplificadores

8.6 Características de las configuraciones del transistor bipolar

8.7 Modelos de Pequeña Señal FET

8.8 Características de las configuraciones del transistor

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

8.1 Objetivos

Una vez aprendidos los elementos básicos de la electrónica (transistores y diodos) y los circuitos básicos de polarización

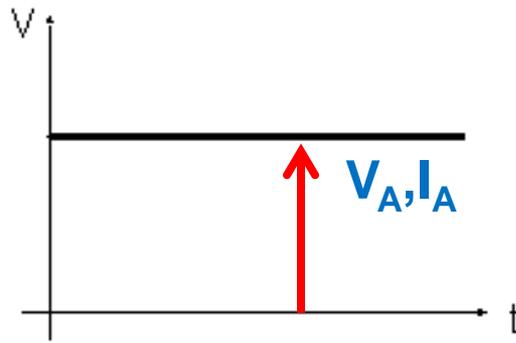
- El objetivo de este tema es aprender a analizar y diseñar estructuras para amplificar señales tanto de tensión como de intensidad, ya sean simples o diferenciales
- Aprenderemos cuales son las mejores características que deben reunir estos amplificadores

Cartagena99

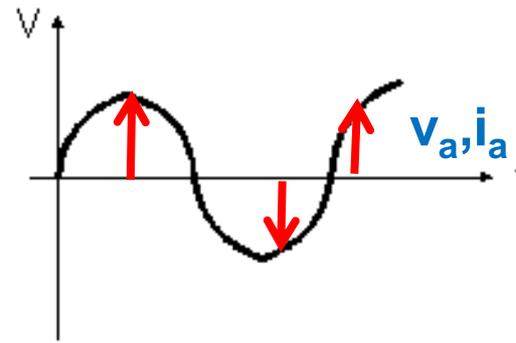
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

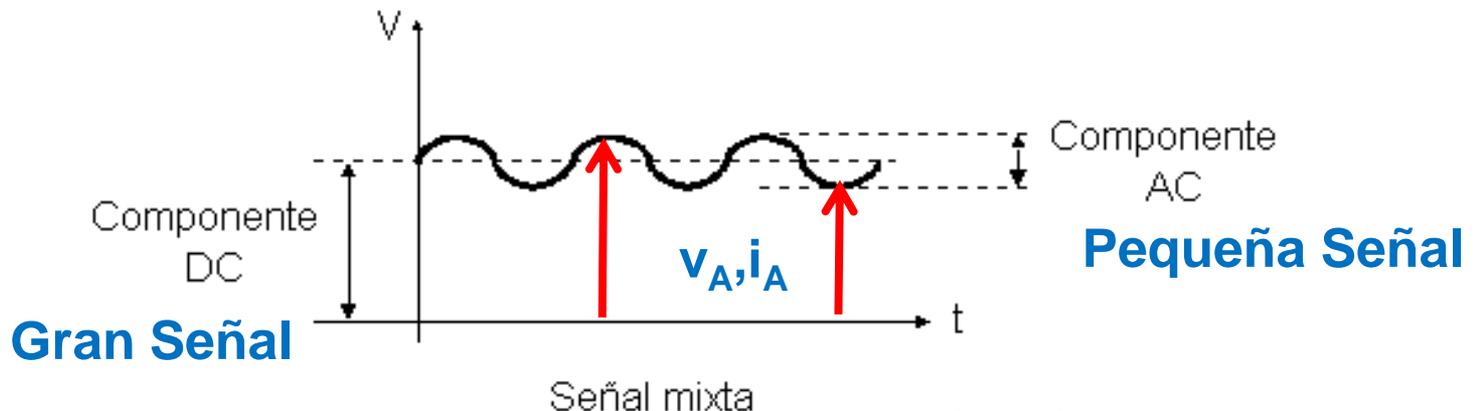
8.2 Conceptos Previos. Notación.



Señal continua (DC)



Señal alterna (AC)



Cartagena99

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

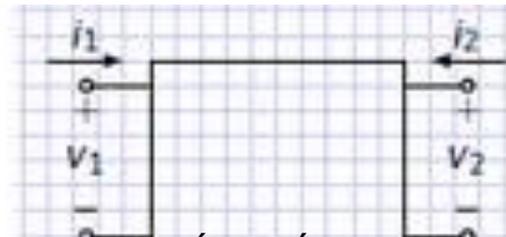
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

8.2.2 Conceptos previos. Cuadripolos para pequeña señal

- Es conveniente disponer de una representación sencilla de los circuitos y componentes lineales que nos permita describir fácilmente su comportamiento de cara al exterior cuando operamos con pequeñas señales
- Los cuadripolos representan estas características eléctricas sin necesidad de preocuparnos por la topología y los componentes de un circuito concreto.
- Por ejemplo, el funcionamiento de un amplificador puede describirse por unos parámetros de ganancia, impedancia de entrada y de salida, sin necesidad de conocer el circuito y los componentes que lo integran.

Definición

Un cuadripolo es un circuito con 4 nudos (polos) accesibles desde el exterior



Cartagena99

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

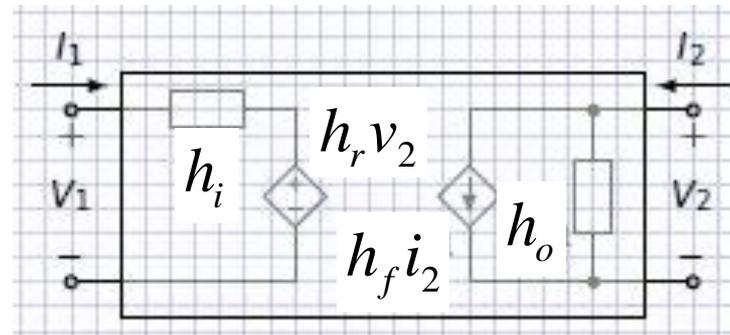
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8.2.2 Conceptos Previos. Cuadripolos.

- Dependiendo de qué variables consideremos dependientes o independientes, podemos tener distintos tipos de cuadripolos para un mismo circuito
- Usaremos los cuadripolos **H** que consideran variables independientes la **i1** y **v2**, siendo dependientes de estas **v1** e **i2**, para describir, transistores, diodos o circuitos complejos

$$v_1 = h_i \cdot i_1 + h_r \cdot v_2$$

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2$$



$$h_i = \left. \frac{v_1}{i_1} \right|_{v_2=0} \quad h_r = \left. \frac{v_1}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

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

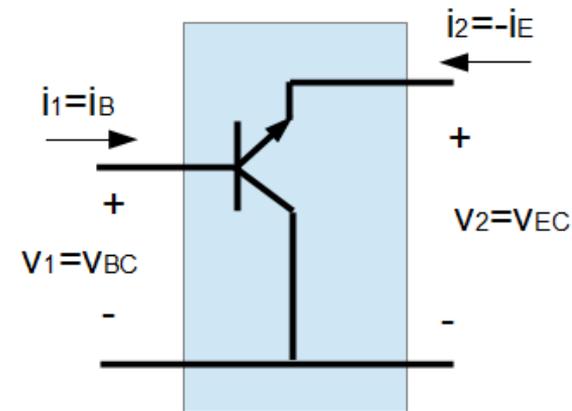
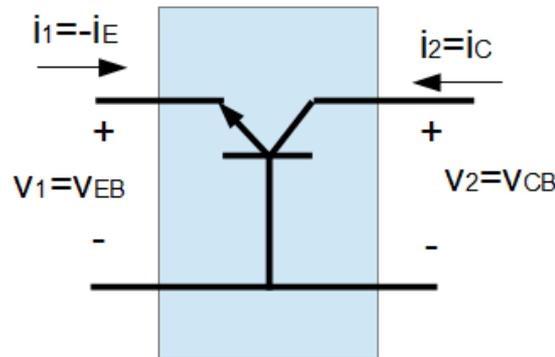
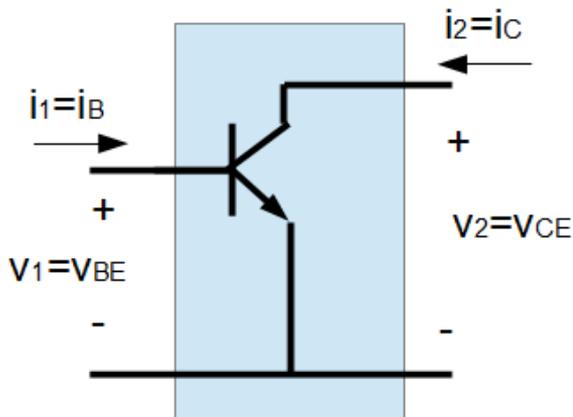
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

$$h_f = \left. \frac{i_2}{i_1} \right|_{v_2=0} \quad h_o = \left. \frac{i_2}{v_2} \right|_{i_1=0}$$

Cartagena99

8.3 Modelos H de un transistor Bipolar.

- Un problema que tenemos a la hora de hallar el cuadripolo H de un transistor es que este tiene 3 terminales mientras que, un cuadripolo tiene 4.
- Compartiremos un terminal como polo tanto de entrada como de salida
- Dependiendo de qué terminal compartamos hablamos de 3 **configuraciones** del transistor

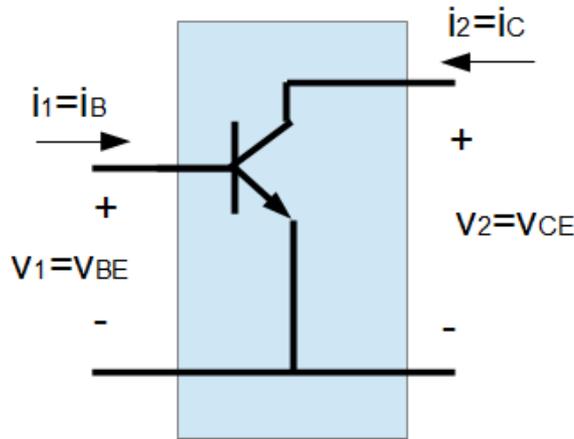


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.3.2 Modelo H de una configuración EC.



• **Configuración EC (Emisor Común)**

Nuestro objetivo



$$v_1 = h_i \cdot i_1 + h_r \cdot v_2$$

$$i_2 = h_f \cdot i_1 + h_o \cdot v_2$$

Partimos de las Ecuaciones de Ebers-Moll y de las leyes de Kirchoff que permiten expresar cualquiera 2 variables del transistor en función de otras dos:

$$v_1 = v_{BE} = v_{BE}(i_B, v_{CE}) = f(i_1, v_2)$$

$$i_2 = i_C = i_C(i_B, v_{CE}) = g(i_1, v_2)$$

Pero estas ecuaciones son en general exponenciales de forma más o menos complicada

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

expresiones de un cuadripolo H

8.3.2 Modelo H de una configuración EC.

El punto en torno al cual vamos a desarrollar las funciones v_{BE} e i_C , es el punto de polarización dado por I_B y V_{CE} .

El desarrollo lo haremos mediante un polinomio de Taylor de primer orden.

$$v_{BE} = v_{BE}(i_B, v_{CE}) \approx \overbrace{v_{BE}(I_B, V_{CE})}^{V_{BE}} + \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \cdot (i_B - I_B) + \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \cdot (v_{CE} - V_{CE})$$

$$i_C = i_C(i_B, v_{CE}) \approx \overbrace{i_C(I_B, V_{CE})}^{I_C} + \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \cdot (i_B - I_B) + \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \cdot (v_{CE} - V_{CE})$$

$$v_{be} \approx \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \cdot i_b + \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \cdot v_{ce}$$

≈ ≈

$$v_{be} \approx h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce}$$

$$i_c \approx h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce}$$

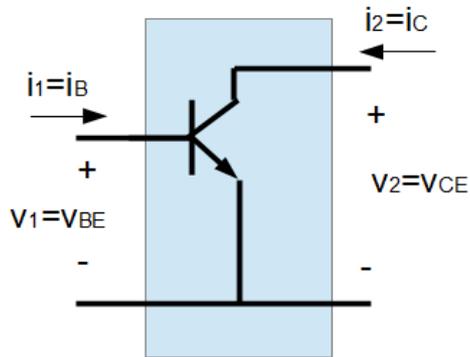
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

de un EC

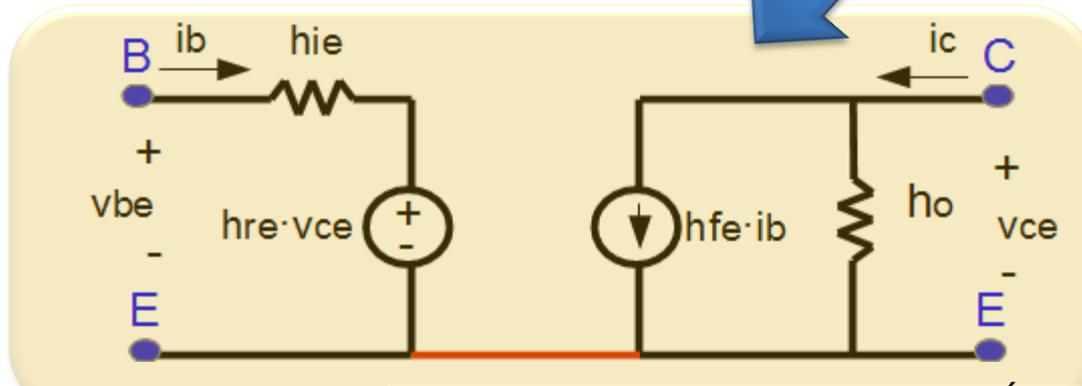
8.3.2 Modelo H de una configuración EC.



$$v_{be} \approx h_{ie} \cdot i_b + h_{re} \cdot v_{ce}$$

$$i_c \approx h_{fe} \cdot i_b + h_{oe} \cdot v_{ce}$$

•Configuración EC
(Emisor Común)



•Válido tanto para NPN como para PNP

•En cualquier configuración el transistor se puede sustituir por este modelo.

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

8.3.2 Modelo H de una configuración EC.

- Los parámetros H de un transistor Bipolar pueden extraerse del modelo Ebers-Moll del transistor, pero obviamente tienen valores distintos para cada punto de operación y los cálculos no son sencillos

- Por esto la mayoría de fabricantes los proporcionan para distintos puntos de operación. De forma que, conocido el punto de operación del transistor, podemos mediante tablas encontrar el valor de los parámetros H

➔ **Búsqueda Tabulada**

- Únicamente h_{fe} es conocido de una forma sencilla, ya que los **transistores bipolares operan en Z. Activa cuando se utilizan**

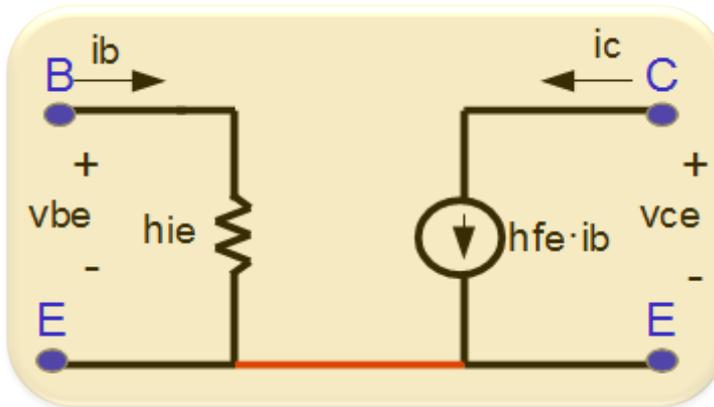
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

8.3.2 Modelo H simplificado

- Para un gran número de casos nos encontramos con que los parámetros $h_{re} \sim 0$ y $h_{oe} \rightarrow \infty$



Modelo de parámetros H simplificado

•Válido tanto para NPN como para PNP

- Este modelo ha sido derivado para una configuración de EC, sin embargo, cualquier transistor sea cual sea su configuración se puede sustituir por el modelo de parámetros H de EC.

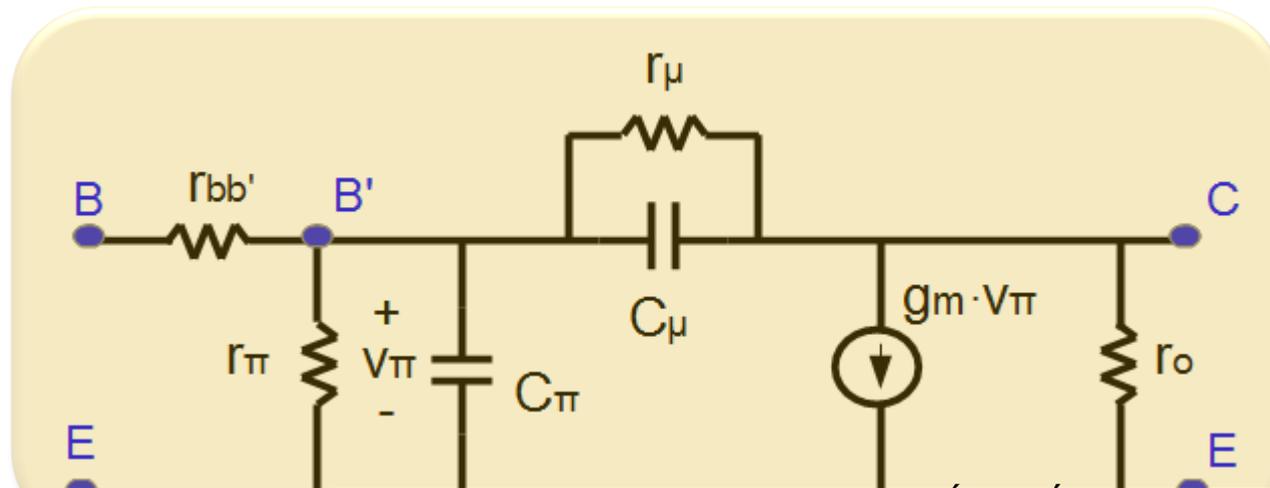
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

8.4 Modelo π o de Giacoletto

- Para evitar el problema de la tabulación y poder encontrar los parámetros de un modelo de pequeña señal de una forma sencilla, Giacoletto desarrolló un modelo basándose en el funcionamiento del transistor.
- Este modelo permite tener en cuenta los efectos de la frecuencia



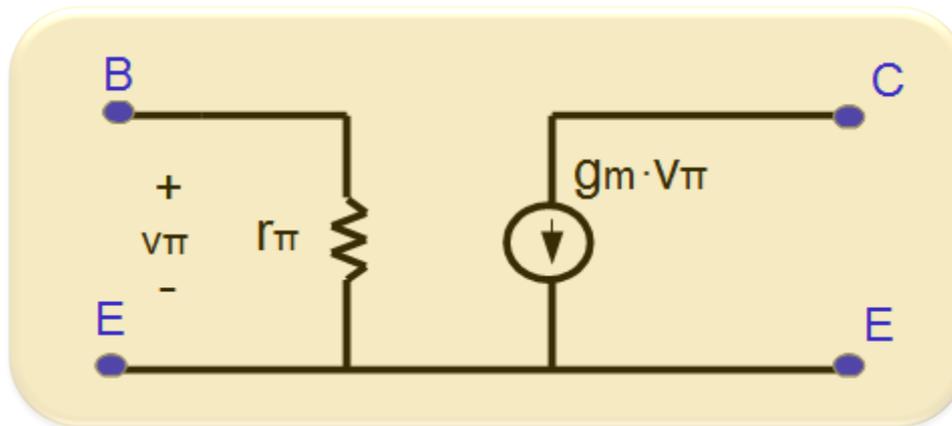
Cartagena99

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

8.4.2 Modelos π simplificados

- Si no tenemos que tener en cuenta los efectos de la frecuencia, el modelo π se puede simplificar eliminando los condensadores y según la aplicación las resistencias $r_{bb'}$, r_{μ} e incluso r_o
- El modelo más simple sería:



• **Válido tanto para NPN como para PNP**

• **Modelo válido para cualquier configuración**

Modelo de parámetros π simplificado

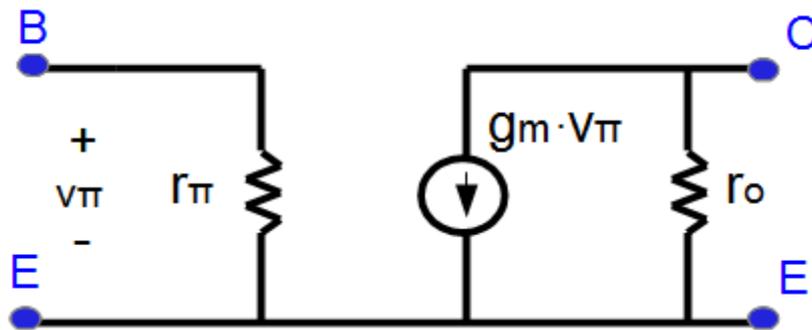
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.4.2 Modelos π simplificados

- Los principales valores del modelo π los podemos calcular analíticamente de los datos del punto de operación (En el modelo simplificado: **todos**)
- El resto serán suministrados por el fabricante



$$g_m = \frac{I_C}{V_{TE}}$$
$$g_\pi \equiv \frac{1}{r_\pi} = \frac{I_B}{V_{TE}} = \frac{g_m}{\beta}$$
$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

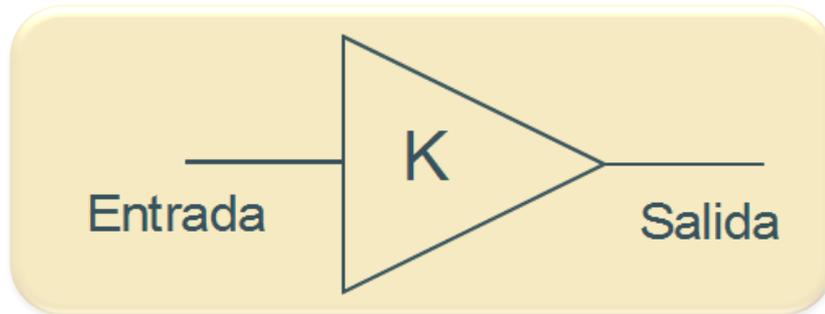
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.5 Conceptos sobre Amplificadores

¿Qué es un amplificador?



$$\text{Salida}(t) = K * \text{Entrada}(t - t_0)$$

$K \Rightarrow$ Ganancia del Amplificador ($K > 1$)

Salida Entrada

$K \neq cte \Rightarrow$ (Distorsión de amplitud)

$t_0 \neq cte \Rightarrow$ (Distorsión de fase)

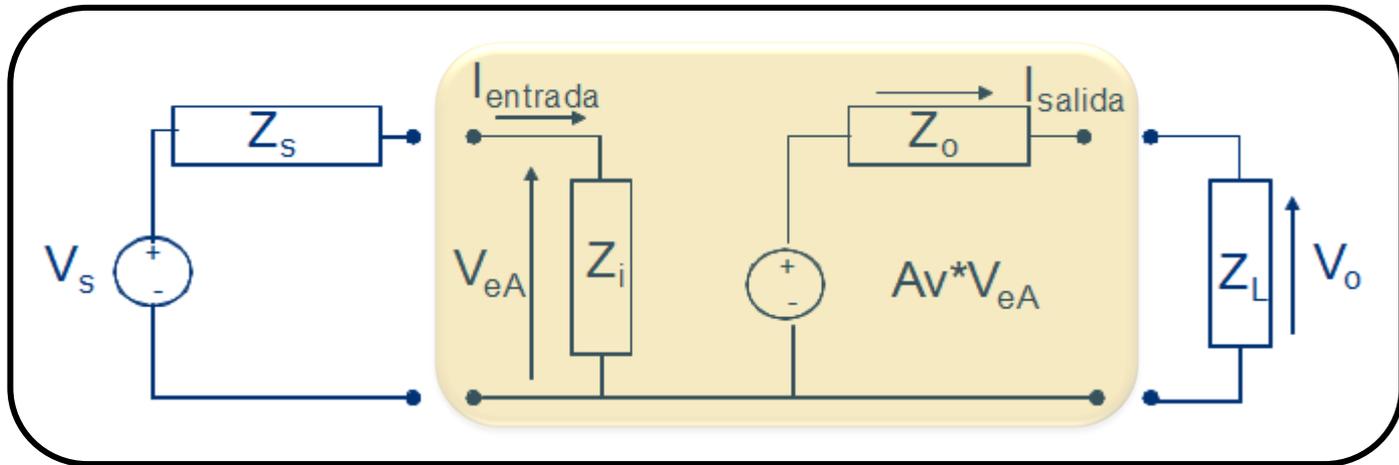
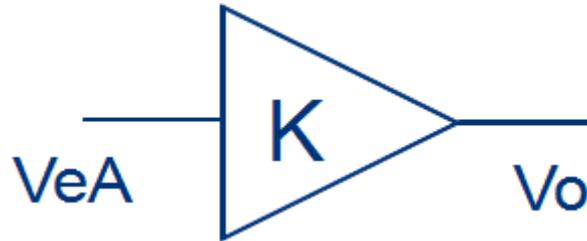
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.5.2 Tipos de Amplificadores.

Amplificador de Tensión



$$\frac{V_{eA}}{V_s} = \frac{Z_i}{Z_s + Z_i}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{Z_i}{Z_s + Z_i} \cdot \frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \cdot A_v$$

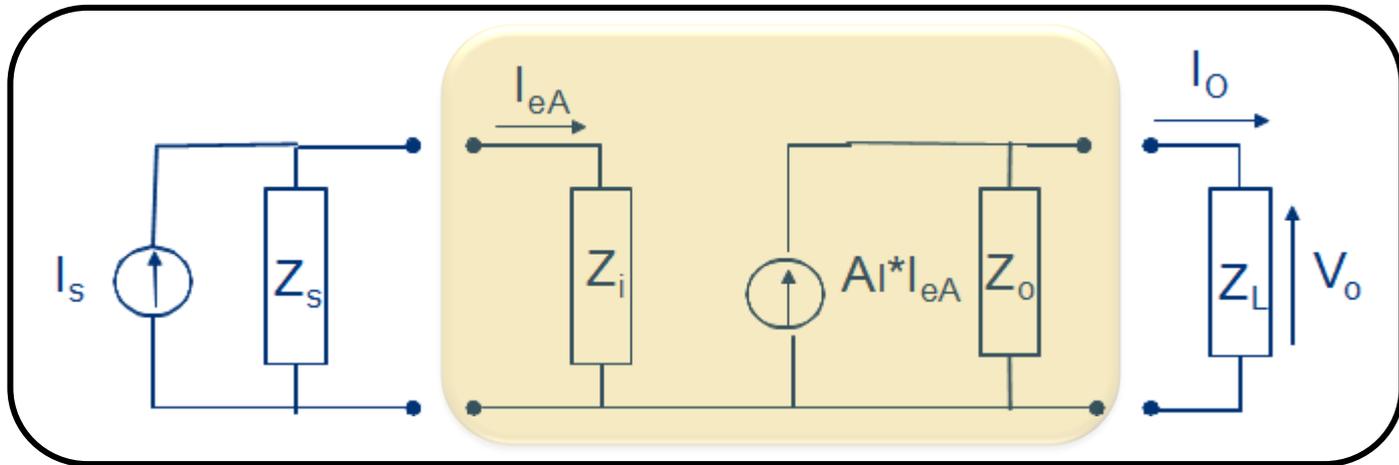
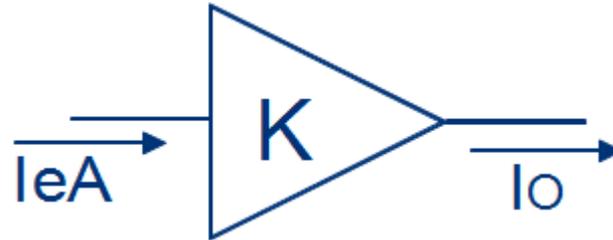
Cartagena99

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

8.5.3 Tipos de Amplificadores.

Amplificador de Intensidad



$$\frac{I_{eA}}{I} = \frac{Z_S}{Z_S + Z_i}$$

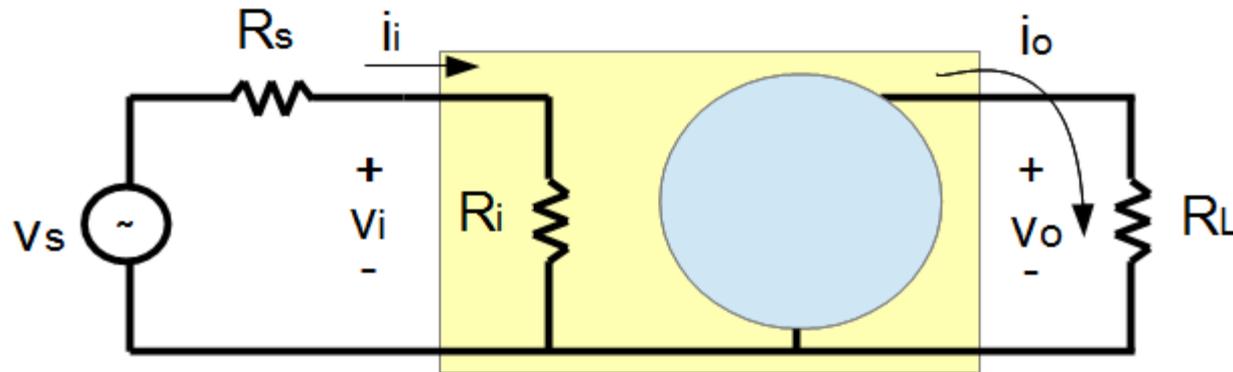
$$\frac{I_o}{I_s} = \frac{Z_S}{Z_S + Z_i} \cdot \frac{Z_o}{Z_o + Z_L} \cdot A_I$$

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

8.5.4 R_{Th} y Ganancias



↗
**Cualquier tipo de
 amplificador**

$$A_I \equiv \frac{i_o}{i_i}$$

$$A_v \equiv \frac{v_o}{v_i}$$

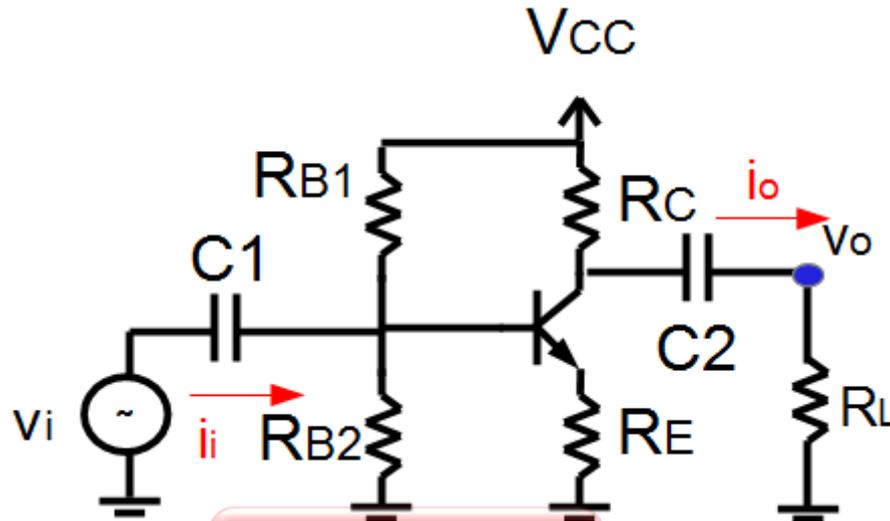
$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o \cdot R_L}{i_i \cdot R_i} = A_I \cdot \frac{R_L}{R_i}$$

Cartagena99

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

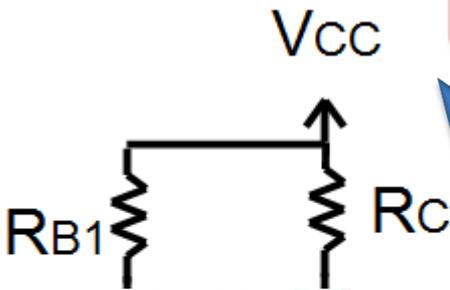
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8.5.5 Análisis General de un Circuito de Amplificación a frecuencias medias



$Z_C \rightarrow \infty$

• Pasivación de fuentes independientes de Continua



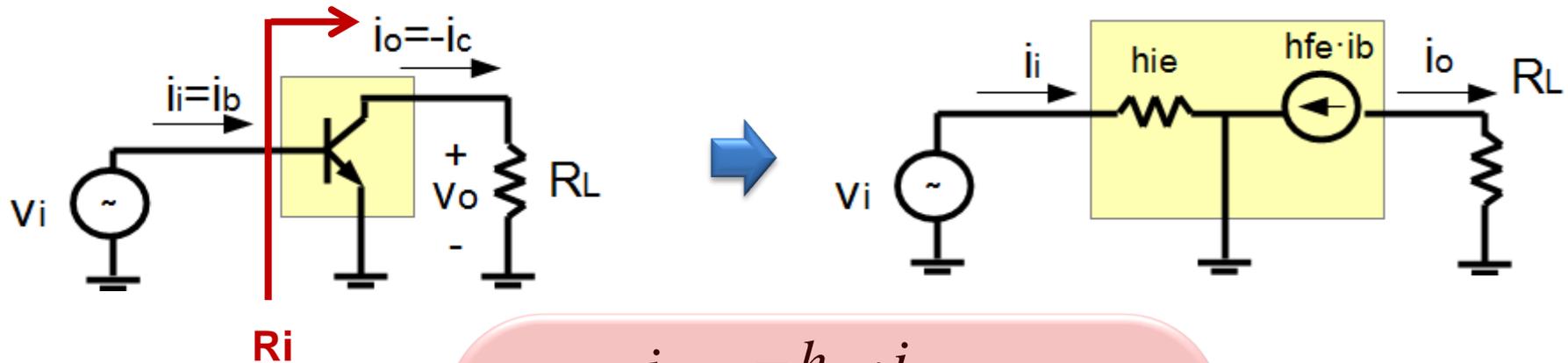
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **EC** con parámetros **H**. A_i , A_v , R_i



$$A_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-h_{fe} \cdot i_b}{i_b} = -h_{fe}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{i_o \cdot R_L}{i_b \cdot h_{ie}} = -h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}$$

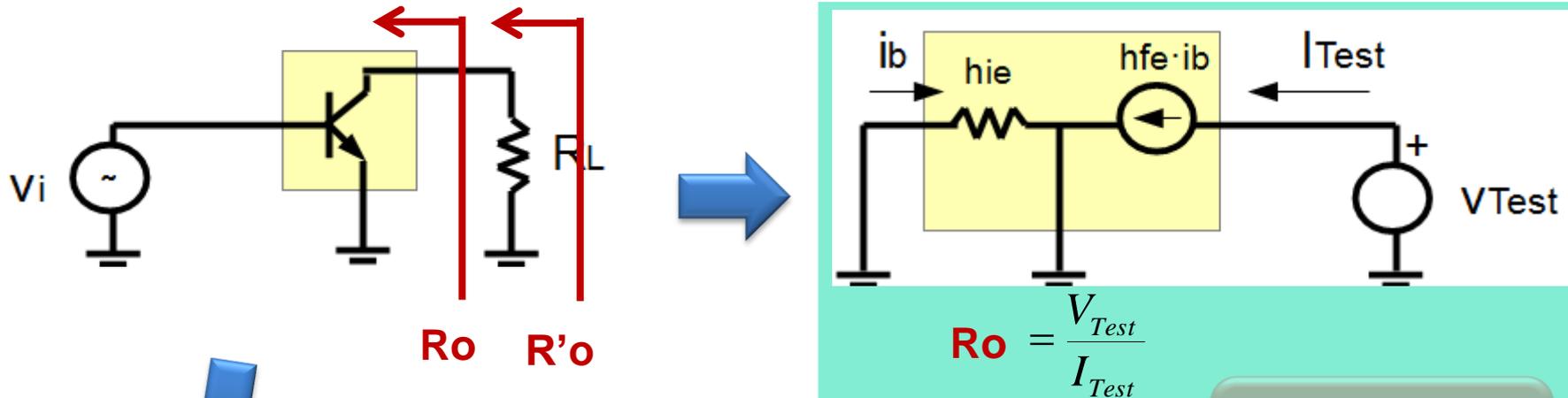
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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



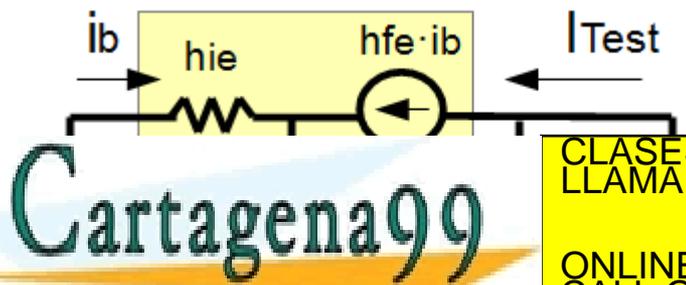
8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **EC** con parámetros **H**. R_o , $R'o$



$$i_b = 0 \Rightarrow h_{fe} \cdot i_b = 0 \Rightarrow I_{Test} = 0 \Rightarrow$$

$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = \infty$$



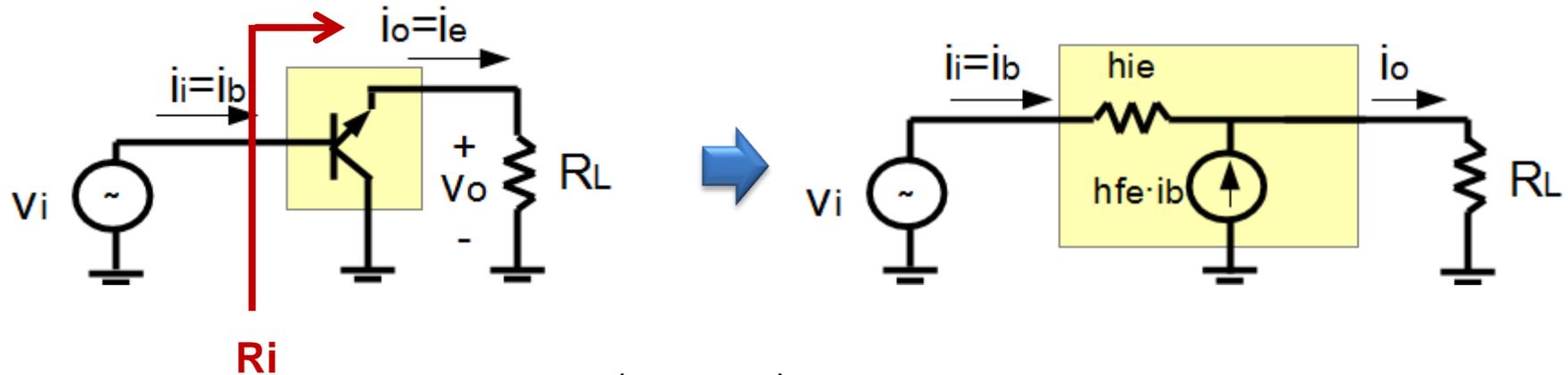
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **CC** con parámetros **H**. A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot i_b \cdot R_L}{i_b} = h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_L$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_b + h_{fe} \cdot i_b}{i_b} = 1 + h_{fe}$$

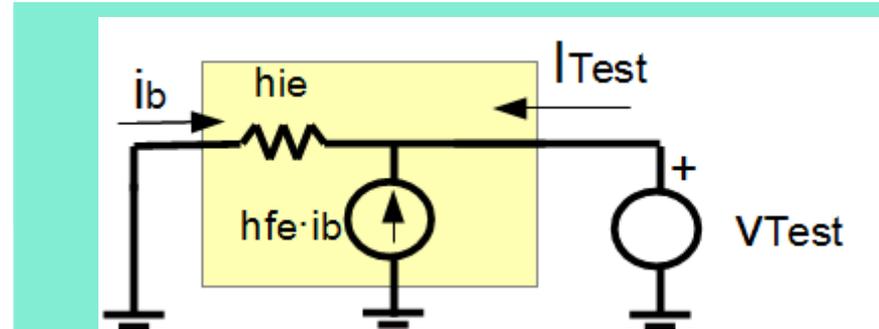
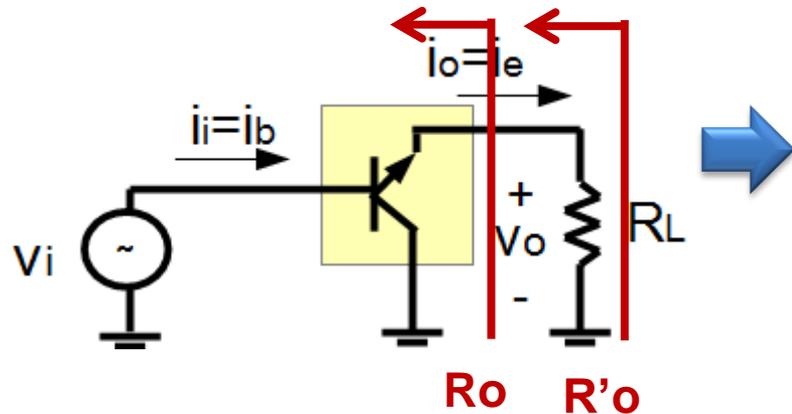
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

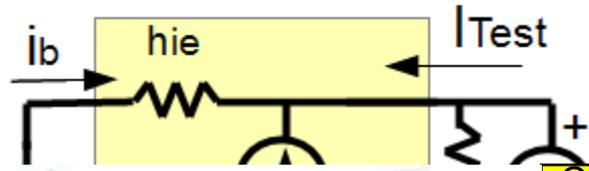
Configuración **CC** con parámetros **H**. R_o , $R'o$



$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}}$$

$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = \frac{-i_b \cdot h_{ie}}{-(1 + h_{fe}) \cdot i_b} = \frac{h_{ie}}{(1 + h_{fe})}$$

Si hubiese una etapa previa con resistencia de salida



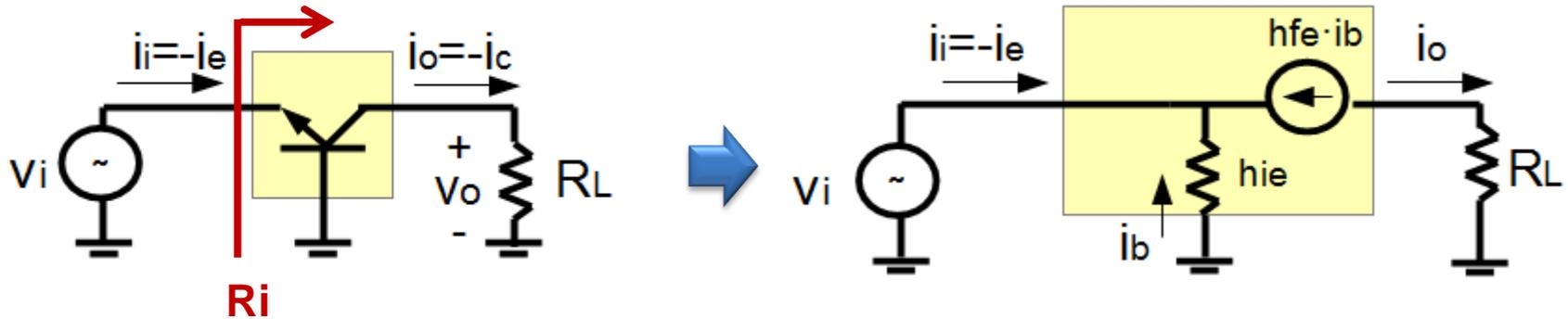
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **BC** con parámetros **H**. A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{-i_b \cdot h_{ie}}{-(1 + h_{fe}) \cdot i_b} = \frac{h_{ie}}{1 + h_{fe}}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-h_{fe} \cdot i_b}{-(1 + h_{fe}) \cdot i_b} = \frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}}$$

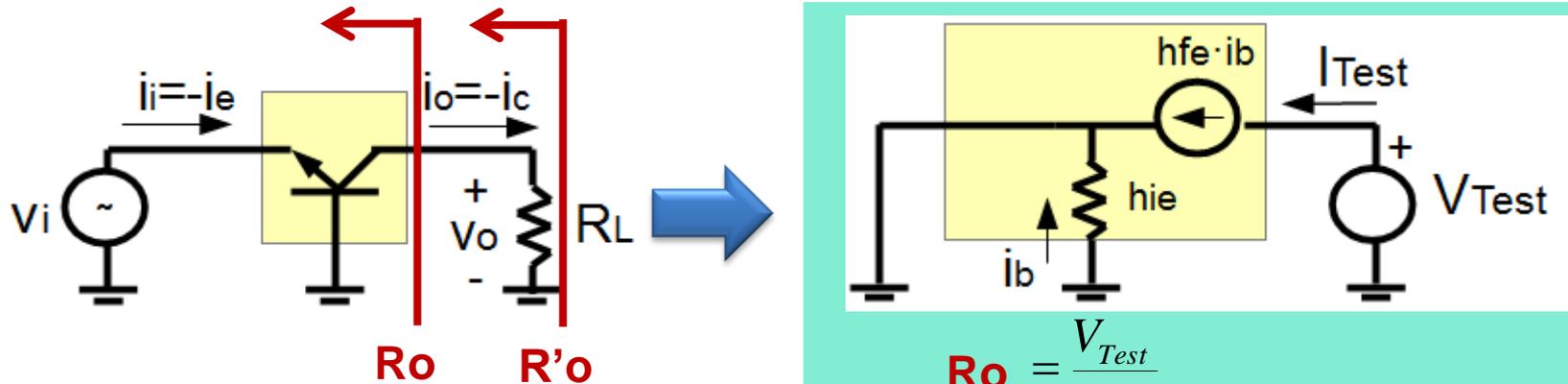
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **BC** con parámetros **H**. R_o , $R'o$



$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}}$$

$$i_b = 0 \Rightarrow h_{fe} \cdot i_b = 0 \Rightarrow I_{Test} = 0 \Rightarrow$$

$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = \infty$$



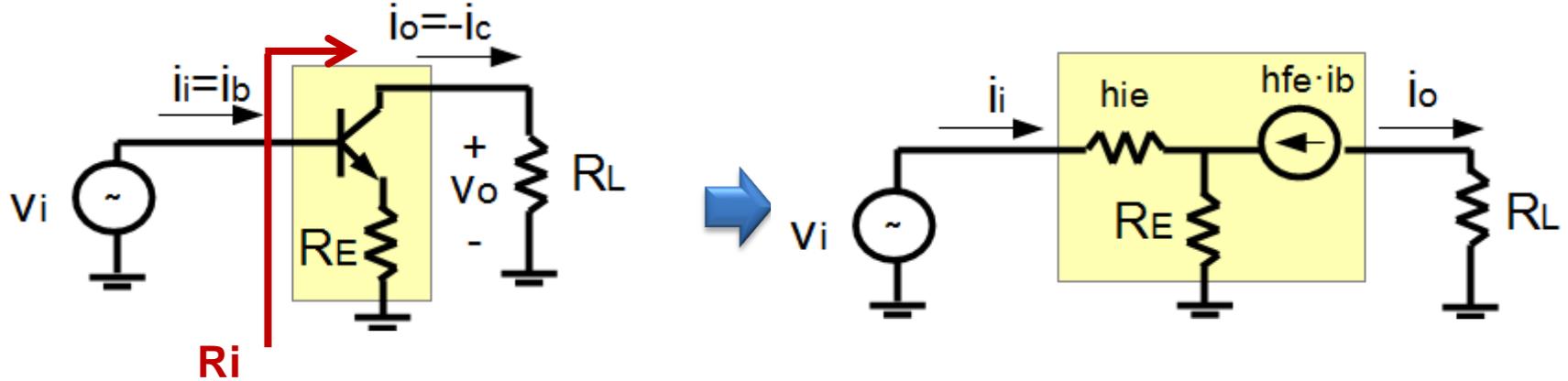
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **EC con RE** con parámetros **H**. A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot i_b \cdot R_E}{i_b} = h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot R_E$$

$$A_I = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-h_{fe} \cdot i_b}{i_b} = -h_{fe}$$

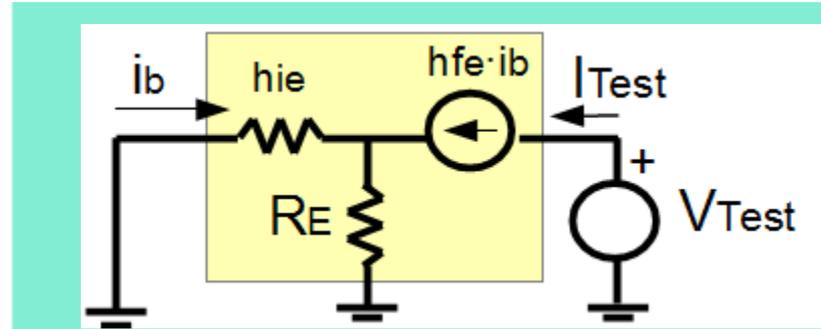
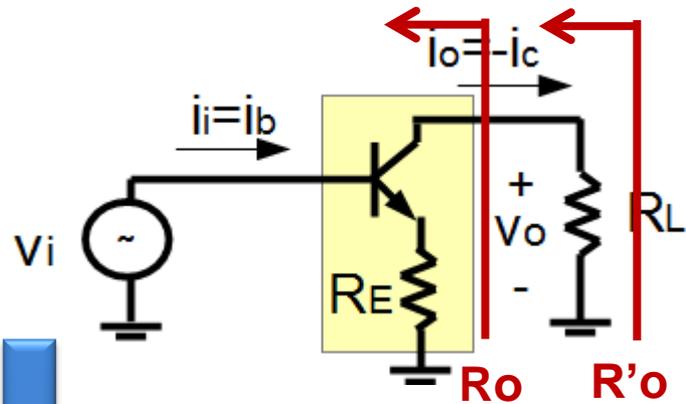
Cartagena99

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

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **EC con RE** con parámetros H. Ro, R'o



$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}}$$

$$i_b \cdot h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot i_b = 0 \Rightarrow i_b = 0 \Rightarrow I_{Test} = 0 \Rightarrow R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = \infty$$



I_{Test}

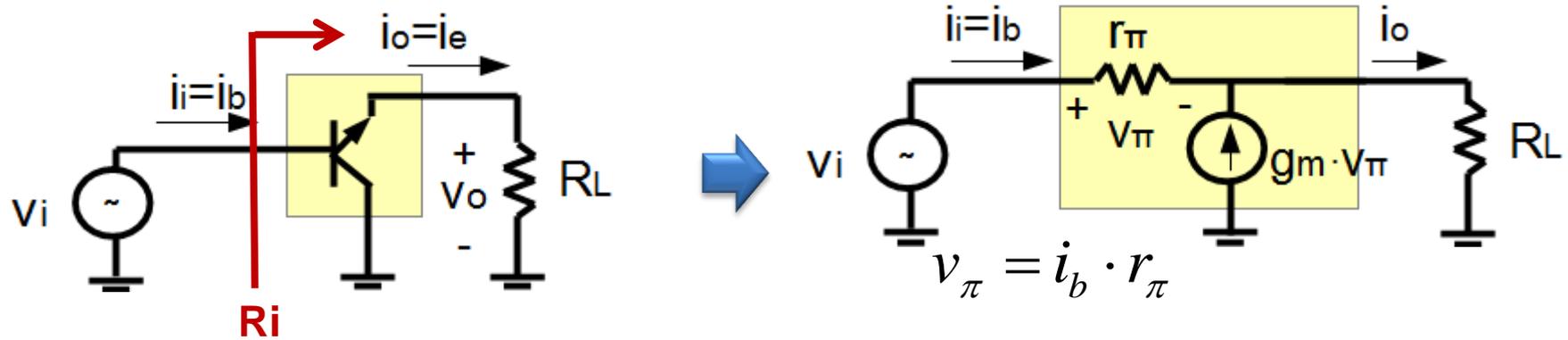
Cartagena99

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

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **CC** con parámetros **π** . A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{i_b \cdot r_\pi + (i_b + g_m v_\pi) \cdot R_L}{i_b} = \frac{i_b \cdot r_\pi + (i_b + g_m \cdot i_b \cdot r_\pi) \cdot R_L}{i_b} = r_\pi + (1 + \beta) \cdot R_L$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_b + g_m \cdot v_\pi}{i_b} = 1 + \beta$$

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

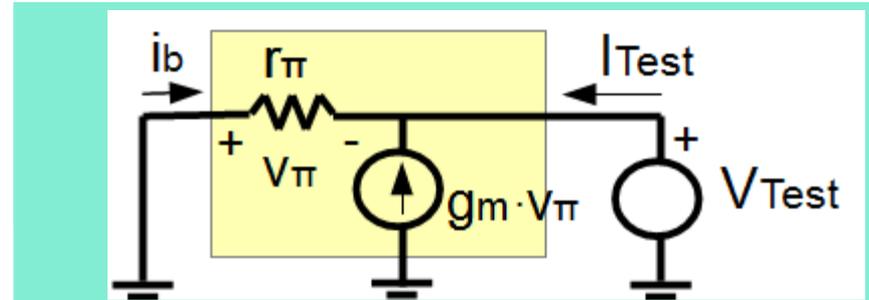
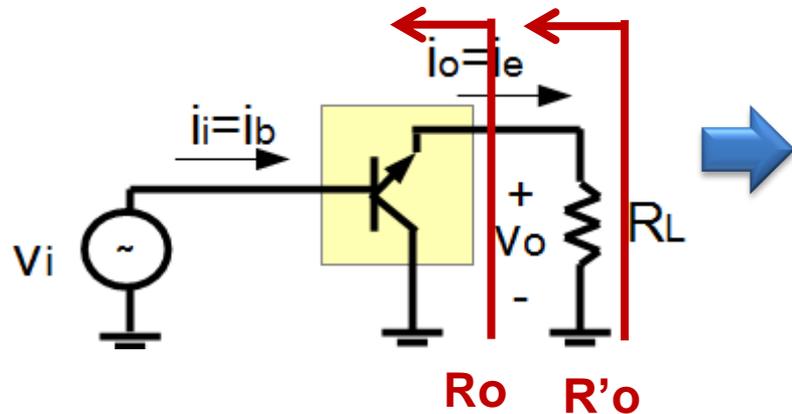
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

$g_m + g_\pi$ 28

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **CC** con parámetros **π** . R_o , $R'o$



$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}}$$

$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = \frac{-i_b \cdot r_\pi}{-(1 + g_m \cdot r_\pi) \cdot i_b} = \frac{r_\pi}{(1 + \beta)}$$

Si hubiese una etapa previa con resistencia de salida

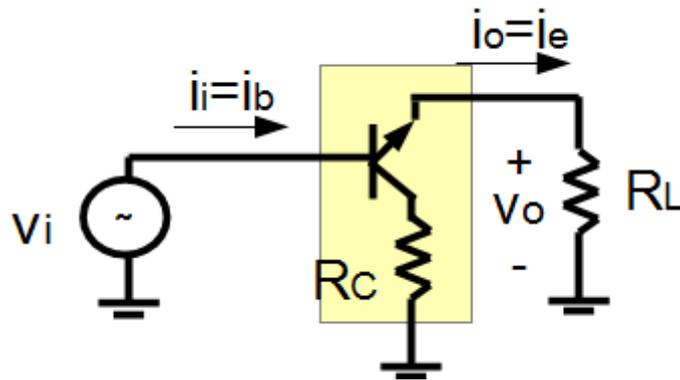
CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **CC con Rc**



•Se puede comprobar (realizar como ejercicio) que las características de esta etapa son exactamente las mismas que las de **CC**

Por lo que no tiene un estudio propio y se suele denominar también **configuración CC**

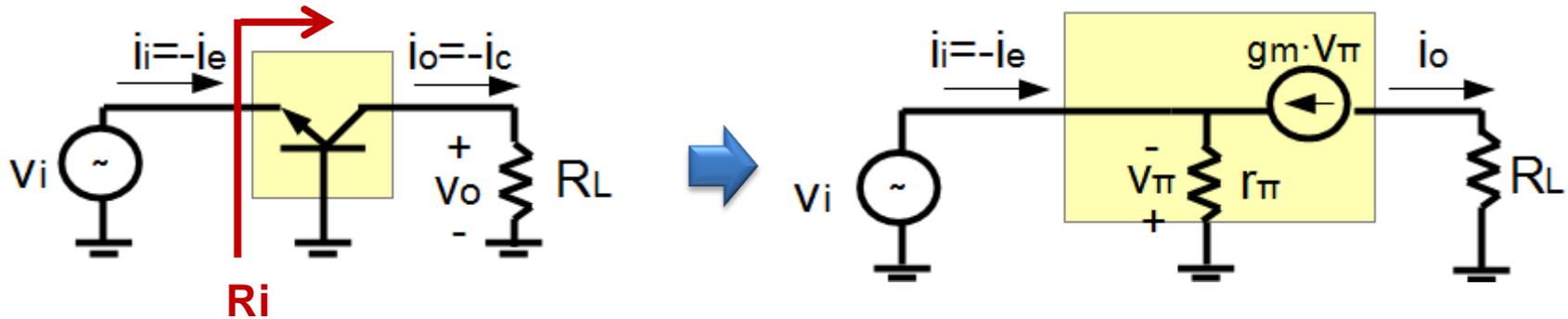
Cartagena99

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

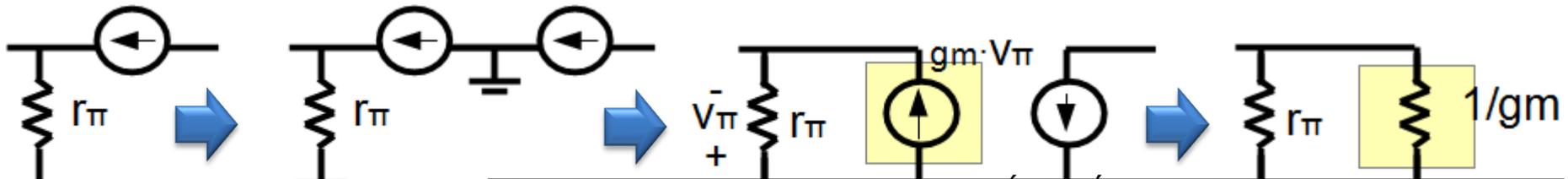
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración BC con parámetros π . A_i , A_v , R_i



Transformación de Fuente de Corriente:



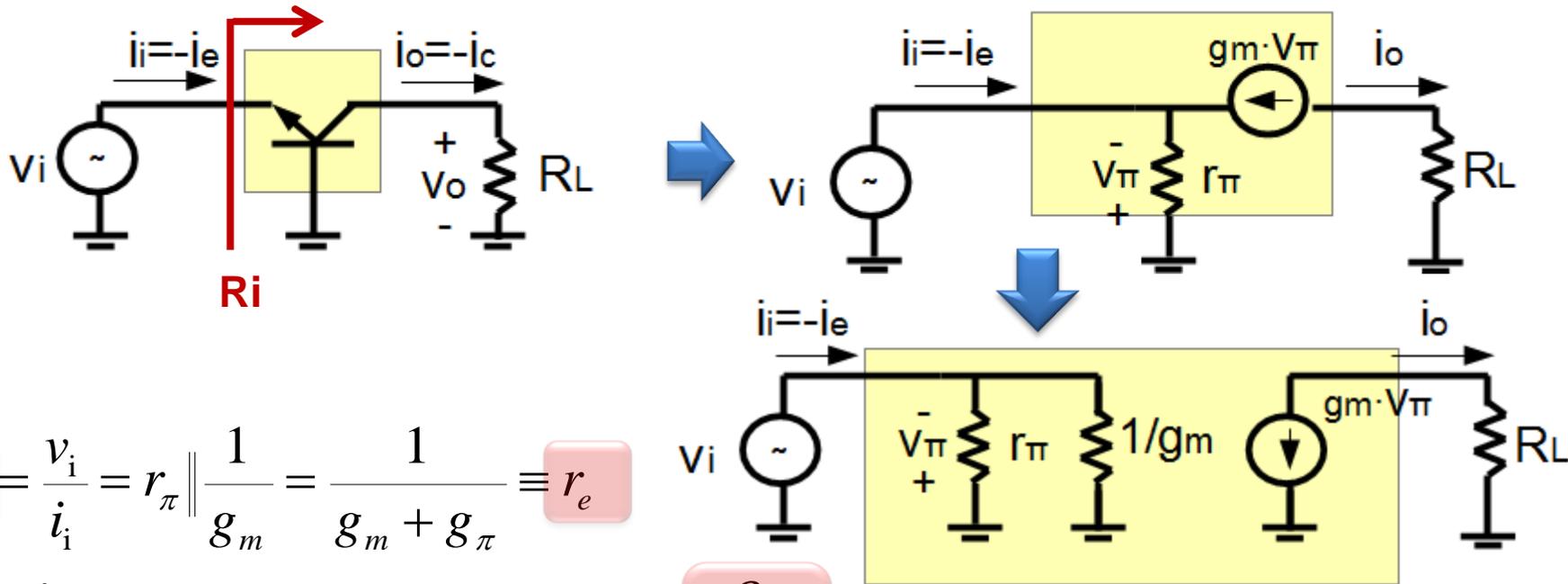
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Configuración **BC** con parámetros π . A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = r_\pi \parallel \frac{1}{g_m} = \frac{1}{g_m + g_\pi} \equiv r_e$$

$$A_v = \frac{i_o}{i_i} = \frac{-g_m \cdot v_\pi}{i_i} = \frac{g_m}{g_m + g_\pi} = \beta$$

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



8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Tabla Resumen (ro, 1/hoe) $\rightarrow \infty$

	EC	ECRE	CC	BC	EC	ECRE	CC	BC
AI	$-h_{fe}$	$-h_{fe}$	$1+h_{fe}$	$\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}}$	$-\beta$	$-\beta$	$1+\beta$	$\frac{\beta}{1+\beta}$
Ri	h_{ie}	$\frac{h_{ie} + (1+h_{fe})R_E}{1+h_{fe}}$	$\frac{h_{ie} + (1+h_{fe})R_L}{1+h_{fe}}$	$\frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$	r_π	$\frac{r_\pi + (1+\beta)R_E}{1+\beta}$	$\frac{r_\pi + (1+\beta)R_L}{1+\beta}$	$r_e = \frac{1}{g_m + g_\pi}$
AV	$-h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}$	$-h_{fe} \frac{R_L}{R_i}$	$1 - \frac{h_{ie}}{R_i}$	$h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}$	$-g_m R_L$	$-\beta \frac{R_L}{R_i}$	$\frac{R_L}{R_L + r_e}$	$g_m R_L$
Ro	∞	∞	$\frac{R_{o,prev} + h_{ie}}{1+h_{fe}}$	∞	∞	∞	$\frac{R_{o,prev} + r_\pi}{1+\beta}$	∞

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

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Tabla Resumen

	EC	ECRE	CC	BC		EC	ECRE	CC	BC
AI	$-h_{fe}$	$-h_{fe}$	$1+h_{fe}$	$\frac{h_{fe}}{1+h_{fe}}$		$-\beta$	$-\beta$	$1+\beta$	$\frac{\beta}{1+\beta}$
Ri	h_{ie}	$h_{ie} + (1+h_{fe})R_E$	$h_{ie} + (1+h_{fe})R_L$	$\frac{h_{ie}}{1+h_{fe}}$		r_{π}	$r_{\pi} + (1+\beta)R_E$	$r_{\pi} + (1+\beta)R_L$	$r_e = \frac{1}{g_m + g_{\pi}}$
AV	$-h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}$	$-h_{fe} \frac{R_L}{R_i}$	$1 - \frac{h_{ie}}{R_i}$	$h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}}$		$-g_m R_L$	$-\beta \frac{R_L}{R_i}$	$\frac{R_L}{R_L + r_e}$	$g_m R_L$
Ro	∞	∞	$\frac{R_{o,prev} + h_{ie}}{1+h_{fe}}$	∞		∞	∞	$\frac{R_{o,prev} + r_{\pi}}{1+\beta}$	∞

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

8.6 Características de las configuraciones del transistor Bipolar

Resistencia de Salida si r_o o $1/h_{oe} < \infty$

Aunque se modifican más casillas, sólo lo tendremos en cuenta para las resistencias de salida

	EC	ECRE	CC	BC	EC	ECRE	CC	BC
Ro	$\frac{1}{h_{oe}}$	$f(R_E)$	$\frac{R_{o,prev} + h_{ie}}{1 + h_{fe}} \parallel \frac{1}{h_{oe}}$	$f(R_{o,prev})$	r_o	$g(R_E)$	$\frac{R_{o,prev} + r_{\pi}}{1 + \beta} \parallel r_o$	$g(R_{o,prev})$

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

$$g(R_E) = r_o + (1 + g_m \cdot r_o)(r_{\pi} \parallel R_E)$$

8.7 Modelos de pequeña señal FET. Transistor MOS.

Se procede de igual forma que en el caso de transistores bipolares:

$$i_D = i_D(v_{GS}, v_{DS}, v_{SB}) \approx \overbrace{i_D(V_{GS}, V_{DS}, V_{SB})}^{I_D} + \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \cdot (v_{GS} - V_{GS}) + \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \cdot (v_{DS} - V_{DS}) + \frac{\partial i_D}{\partial v_{SB}} \cdot (v_{SB} - V_{SB})$$

$$i_d = \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \cdot v_{gs} + \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \cdot v_{ds} + \frac{\partial i_D}{\partial v_{SB}} \cdot v_{sb}$$

$$g_m \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}};$$

$$g_o = \frac{1}{r_o} \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}};$$

$$g_{mb} \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{SB}}$$

$$i_d = g_m \cdot v_{gs} + g_o \cdot v_{ds} + g_{mb} \cdot v_{sb}$$



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

8.7 Modelos de pequeña señal FET. Transistor MOS.

Los transistores **MOS** operan en zona de saturación cuando se utilizan como amplificadores:

$$i_D = \frac{\beta_n}{2} (v_{GS} - V_T)^2 \cdot (1 + \lambda \cdot v_{DS})$$

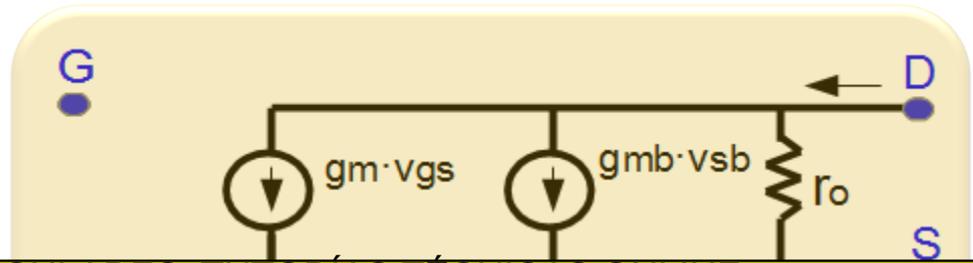
$$V_T \equiv V_{TO} + \gamma \left(\sqrt{2|\phi_F| + V_{SB}} - \sqrt{2|\phi_F|} \right)$$

$$g_m \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \approx \sqrt{2 \cdot \beta \cdot I_D}$$

$$g_{mb} \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{SB}} = \frac{\partial i_D}{\partial V_T} \cdot \frac{\partial V_T}{\partial v_{SB}} = -g_m \cdot \frac{\gamma}{2 \cdot \sqrt{2|\phi_F| + V_{SB}}}$$

$$g_o = \frac{1}{r_o} \equiv \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \approx \lambda \cdot I_D = \frac{I_D}{V_A}$$

$$i_d = g_m \cdot v_{gs} + g_o \cdot v_{ds} + g_{mb} \cdot v_{sb}$$



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

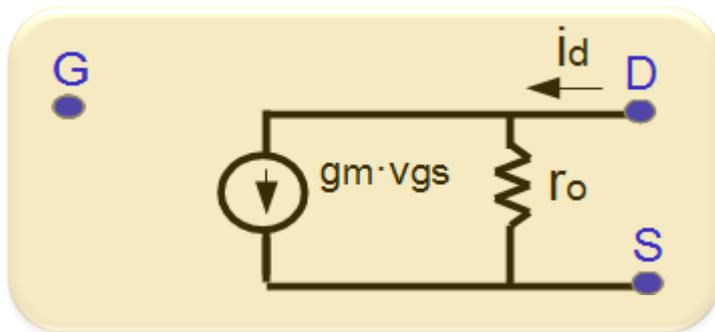
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

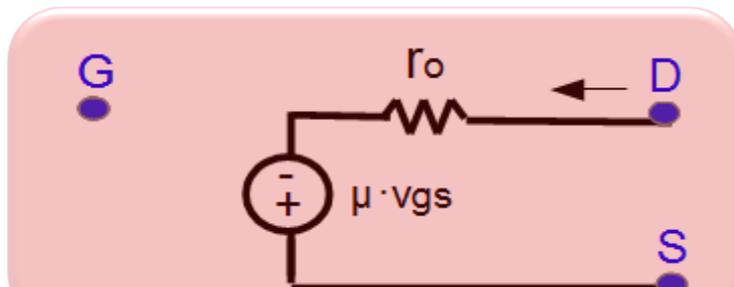
www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002, Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

8.7 Modelos de pequeña señal FET. Transistor MOS.

Generalmente $g_m \gg g_{mb}$ por lo que podemos simplificar el modelo:



Modelo de pequeña señal simplificado (NMOS o PMOS) (versión Norton)



Modelo de pequeña señal simplificado (NMOS o PMOS) (versión Thevenin)

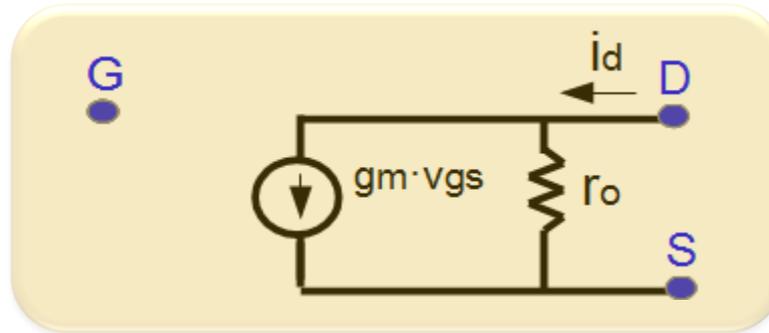
Cartagena99

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

8.7.2 Modelos de pequeña señal FET. Transistor JFET.

Los modelos de pequeña señal de un transistor JFET son idénticos a los de un transistor MOS ya que sus ecuaciones en zona de saturación son similares



Modelo de pequeña señal simplificado (nFET o pFET)

La única diferencia está en el valor de los parámetros:

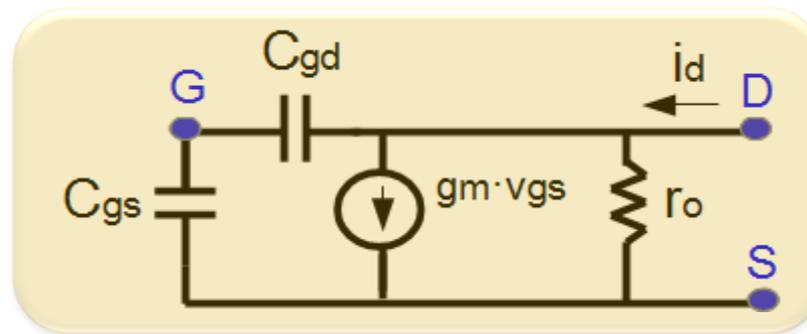
Cartagena99

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

8.7.3 Modelos de pequeña señal con efectos capacitivos de transistores MOS y JFET.

Para tener en cuenta los efectos de los condensadores en un transistor MOS o JFET, simplemente basta considerar los condensadores que aparecen en la estructura entre G - D, y entre G - S



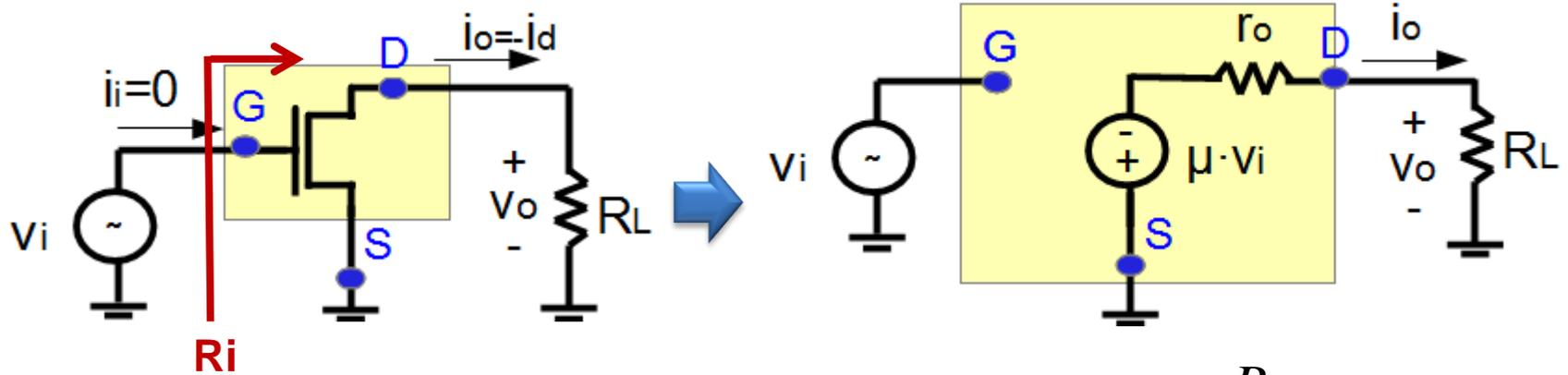
Cartagena99

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

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Configuración **SC**. A_i , A_v , R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \infty$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \infty$$

$$v_o = \frac{R_L}{r_o + R_L} (-\mu \cdot v_i)$$

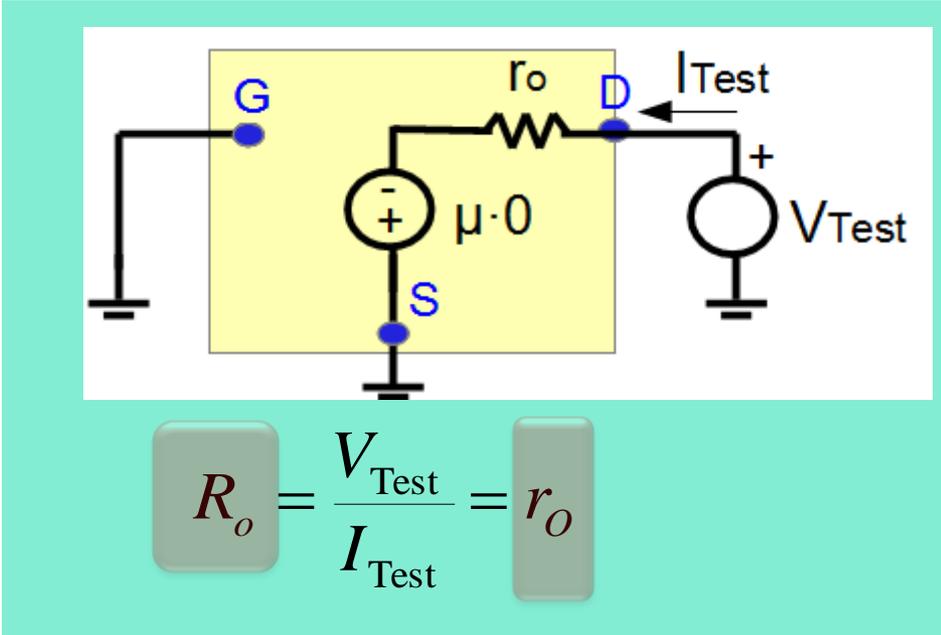
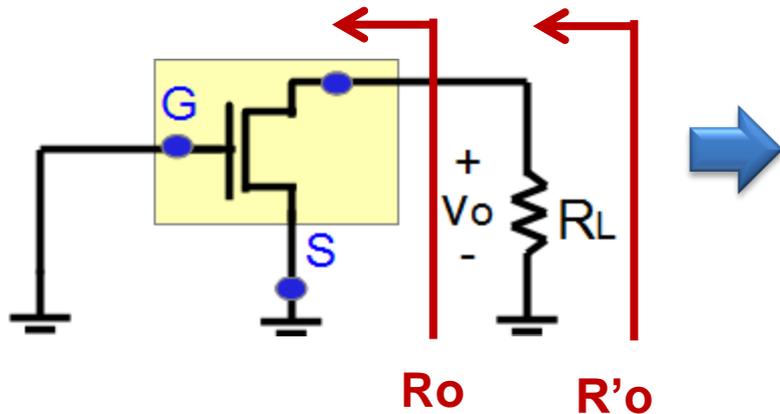
Cartagena99

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

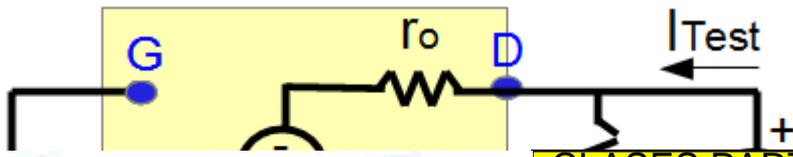
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Configuración **SC**. R_o , $R'o$



$$R_o = \frac{V_{Test}}{I_{Test}} = r_o$$



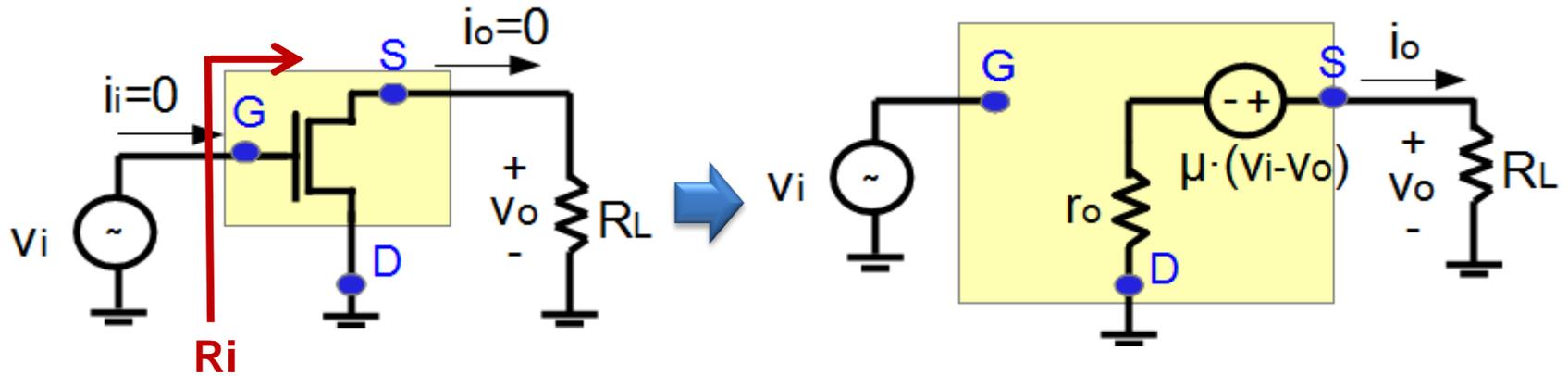
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

Cartagena99

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Configuración DC. A_i, A_v, R_i



$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \infty$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \infty$$

$$v_o = \frac{R_L}{r_o + R_L} \mu(v_i - v_o)$$

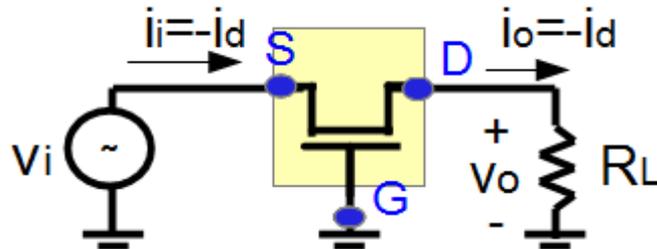
Cartagena99

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

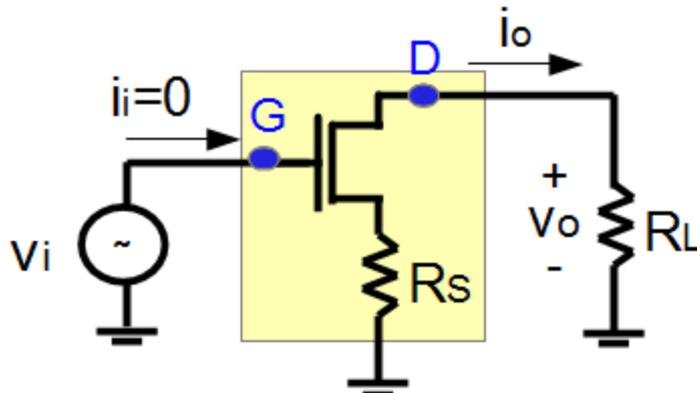
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Otras Configuraciones



Configuración GC



Configuración SC con Rs



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

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Tabla Resumen

	SC	SCRS	DC	DCRD	GC
AV	$\frac{-g_m \cdot (r_o \parallel R_L) = -\mu \cdot R_L}{r_o + R_L}$	$\frac{-\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_S + R_L + r_o}$	$\frac{\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_L + r_o}$	$\frac{\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_L + R_D + r_o}$	$\frac{g_m \cdot (r_o \parallel R_L) = \mu \cdot R_L}{r_o + R_L}$
Ro	r_o	$(1 + \mu)R_S + r_o$	$\frac{r_o}{(1 + \mu)}$	$\frac{r_o + R_D}{(1 + \mu)}$	$\frac{r_o + (1 + \mu)R_{O,prev}}{(1 + \mu)}$
R'o	$R_O \parallel R_L$				

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

8.8 Características de las configuraciones del transistor MOS

Tabla Resumen

	SC	SCRS	DC	DCRD	GC
AV	$-g_m \cdot \frac{(r_o \parallel R_L) = -\mu \cdot R_L}{r_o + R_L}$	$\frac{-\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_S + R_L + r_o}$	$\frac{\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_L + r_o}$	$\frac{\mu \cdot R_L}{(1 + \mu)R_L + R_D + r_o}$	$g_m \cdot \frac{(r_o \parallel R_L) = \mu \cdot R_L}{r_o + R_L}$
Ro	r_o	$(1 + \mu)R_S + r_o$	$\frac{r_o}{(1 + \mu)}$	$\frac{r_o + R_D}{(1 + \mu)}$	$r_o + (1 + \mu)R_{O,prev}$
R'o	$R_o \parallel R_L$				

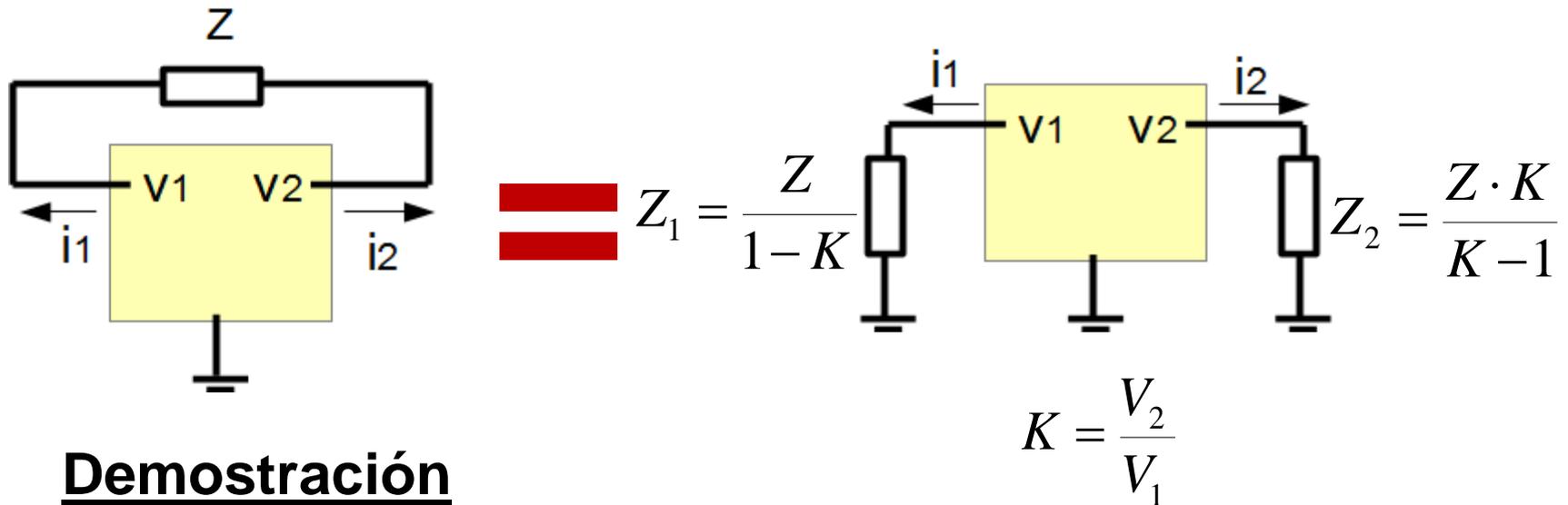
Cartagena99

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Teorema de Miller



Demostración

$$I_1 = \frac{V_1 - V_2}{Z} = \frac{V_1(1-K)}{Z} = \frac{V_1}{Z}$$

Cartagena99

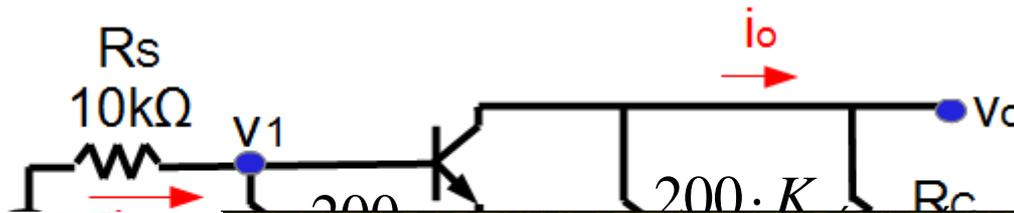
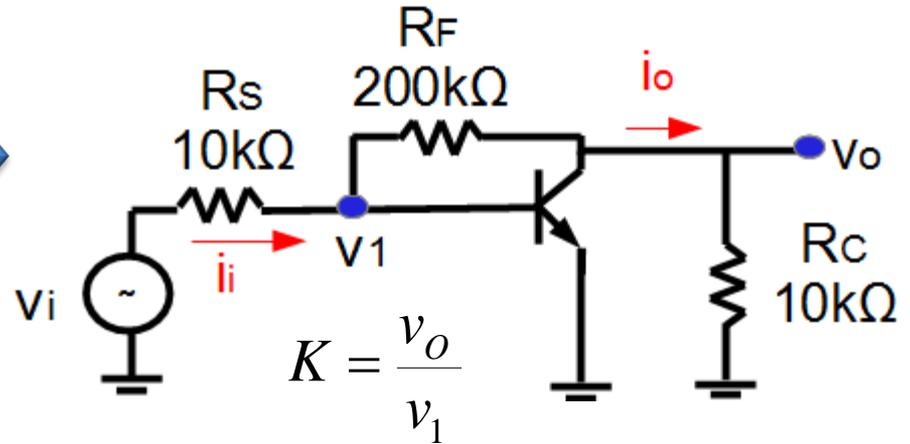
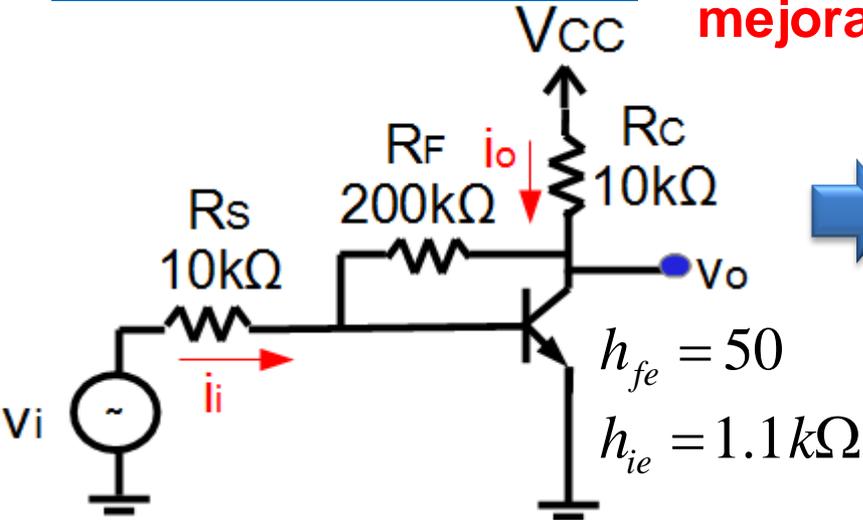
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Realimentación CB

• Entre otras cosas, mejora las estabildades del circuito



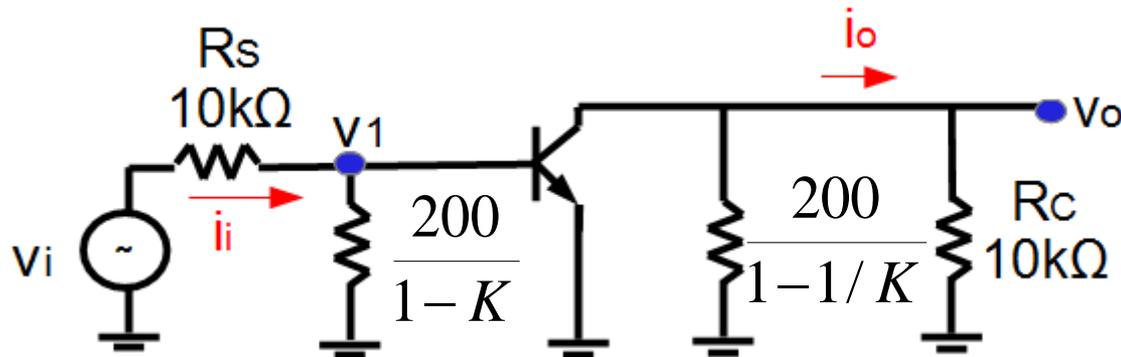
Cartagena99

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Realimentación CB



• Configuración EC entre v_o y v_1

$$K = -h_{fe} \frac{R_L}{h_{ie}} = -50 \frac{10 \parallel \frac{200}{1-1/K}}{1.1} \rightarrow K = v_o/v_1 = -432.85$$

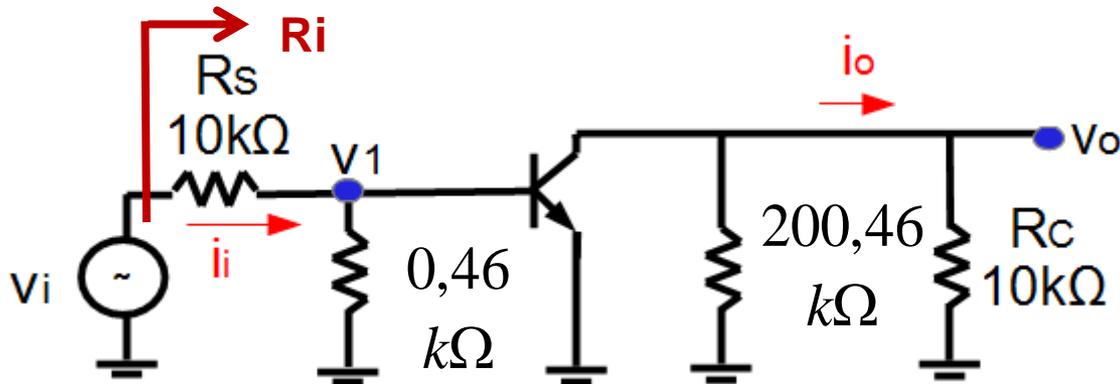
Cartagena99

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Realimentación CB



$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_1} \cdot \frac{v_1}{v_i} = -432,85 \cdot \frac{0,46 \parallel 1,1}{10 + 0,46 \parallel 1,1} = -13,6$$

$$R_i = 10 + 0,46 \parallel 1,1 = 10,32 \text{ k}\Omega$$

Cartagena99

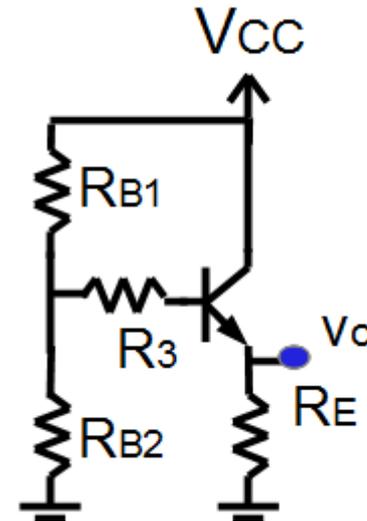
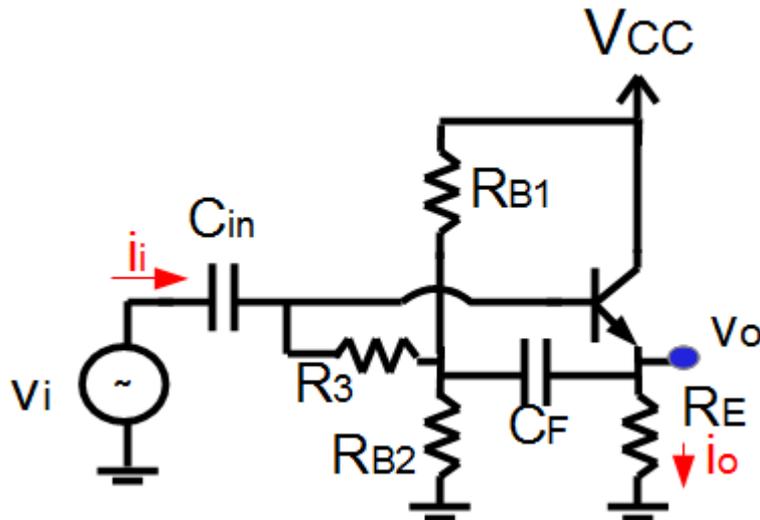
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Realimentación EB

- Evita la disminución en la R_i debida a la red de polarización



Circuito de Continua

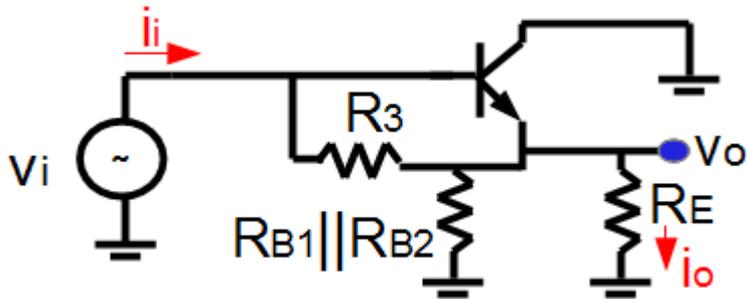


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

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

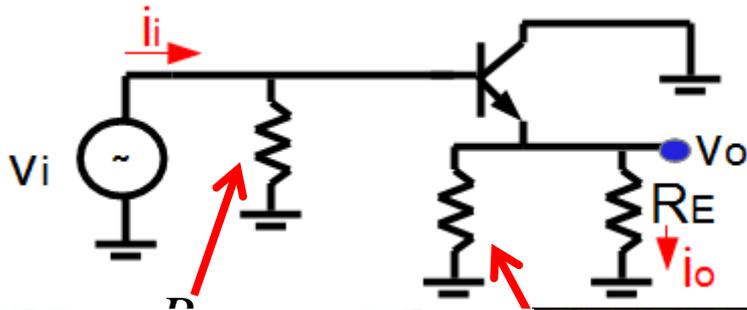
8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Realimentación EB



• Configuración CC entre v_o y v_1

$$A_v = K = \frac{v_o}{v_1}$$



$$K = \frac{R_L}{R_L + 1/(g_m + g_\pi)}$$

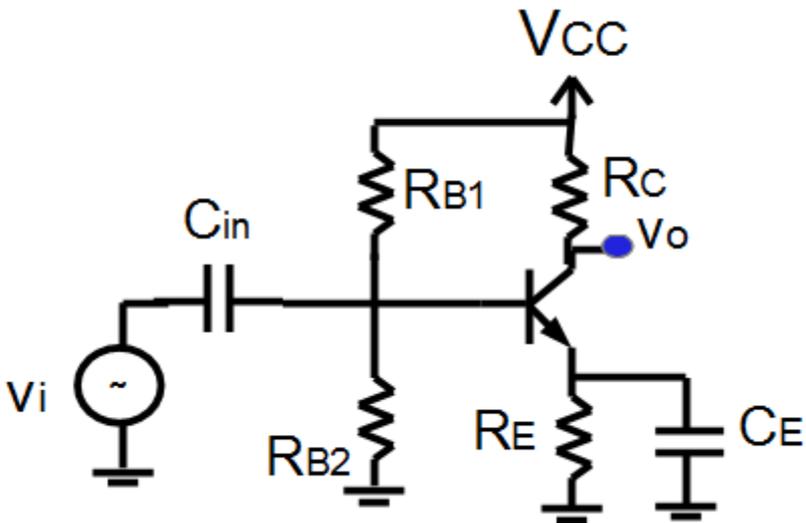
Cartagena99

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

8.9 Análisis de Amplificadores con Realimentación

Condensador de Emisor



- **RE Mejora las estabildades del circuito de polarización**
- **Disminuye la ganancia del Circuito**
- **Para mantener elevada la ganancia y las estabildades, introducimos 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