



# Tecnología Electrónica

---

---

## Capítulo 2: Transistores. Polarización. Estabilidad de Q.

---



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



# Polarización de transistores

## Índice



- ❑ Polarización de transistores
  - **Introducción**
  - **Análisis: determinación de la zona de trabajo**
  - Diseño: área de funcionamiento segura de los transistores
  - Sensibilidad
    - *Definición*
    - *Sensibilidad a varios parámetros*
    - *Ejemplo cálculo de sensibilidad*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con BJT*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con FET*
  - Circuitos de 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



# Polarización de Transistores

## Introducción



- ❑ Dependiendo de la aplicación, interesa usar el TRT en una o varias de sus zonas de trabajo útiles.
- ❑ Aplicaciones analógicas
  - Circuitos electrónicos lineales: amplificadores, filtros...
  - Los TRTs trabajan en su **zona activa** y las señales son variaciones continuas con el tiempo de tensiones y corrientes.
- ❑ Aplicaciones en conmutación (ctos. digitales, potencia)
  - Conmutador → TRTs en estado: **abierto** (OFF) ó **cerrado** (ON)
    - *En BJT's: OFF= **corte**, ON= **saturación***
    - *En FET's: OFF= **corte**, ON= **zona óhmica***

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



# Polarización de transistores

## Determinación de la zona de trabajo: punto Q



□ Análisis del punto Q: **hipótesis** → **verificación** → **solución**

**Hipótesis** de zona trabajo del TRT

**Modelo** del TRT en gran señal

**Resolución** del cto.: tensiones y corrientes

¿Hipótesis correcta?

No

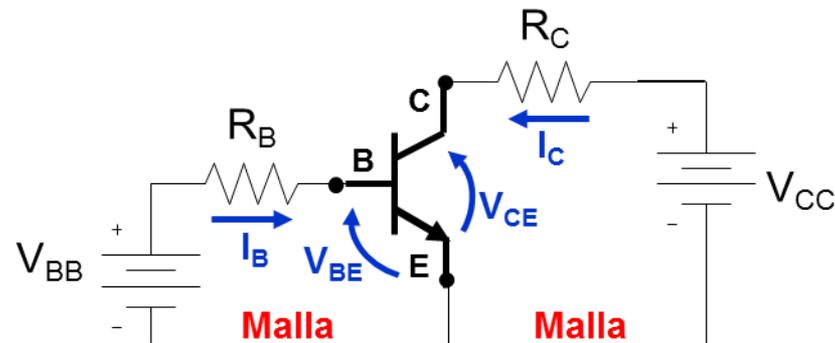
Cartagena99

### ■ Ejemplo con BJT

**Saturación:**  $V_{BE} \approx V_{\gamma}$  ;  $V_{CE} \approx V_{CEsat}$  ,,  $i_C \leq \beta_F \cdot i_B$

**Activa:**  $V_{BE} \approx V_{\gamma}$  ,,  $V_{CE} \geq V_{CEsat}$  ,,  $i_C = \beta_F \cdot i_B$

**Corte:**  $V_{BE} \leq V_{\gamma}$  ,,  $V_{BC} \leq V_{\gamma} - V_{CEsat}$  ,,  $i_C = i_B = 0$

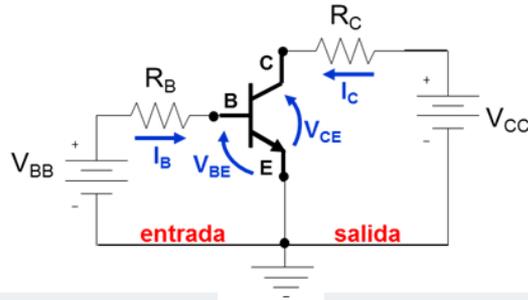


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

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

# Rectas de carga en el BJT

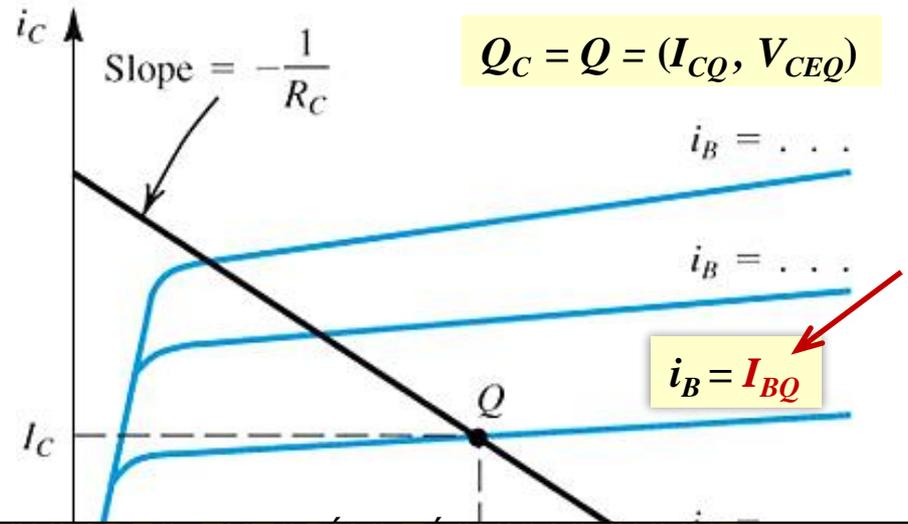
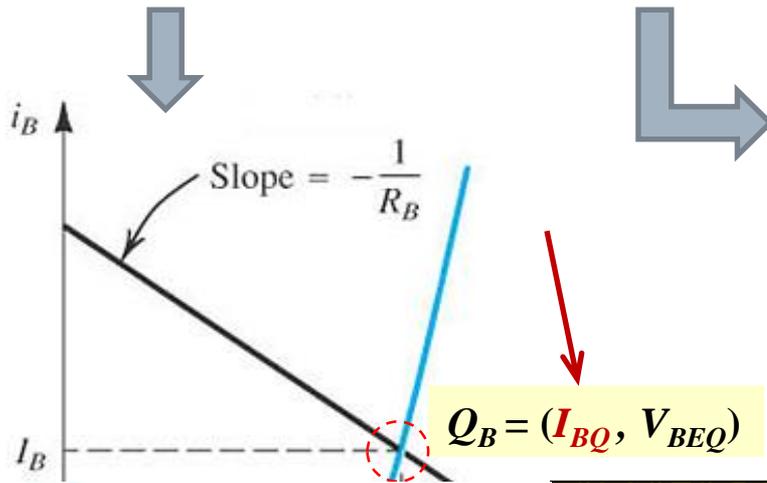


Los puntos de trabajo en **entrada** y **salida** del BJT están sobre las rectas de carga correspondientes.

En **activa**,  $I_B$  es la clave  $\rightarrow I_{CQ} = \beta \cdot I_{BQ}$

$$V_{BB} = i_B \cdot R_B + v_{BE}$$

$$V_{CC} = i_C \cdot R_C + v_{CE}$$



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

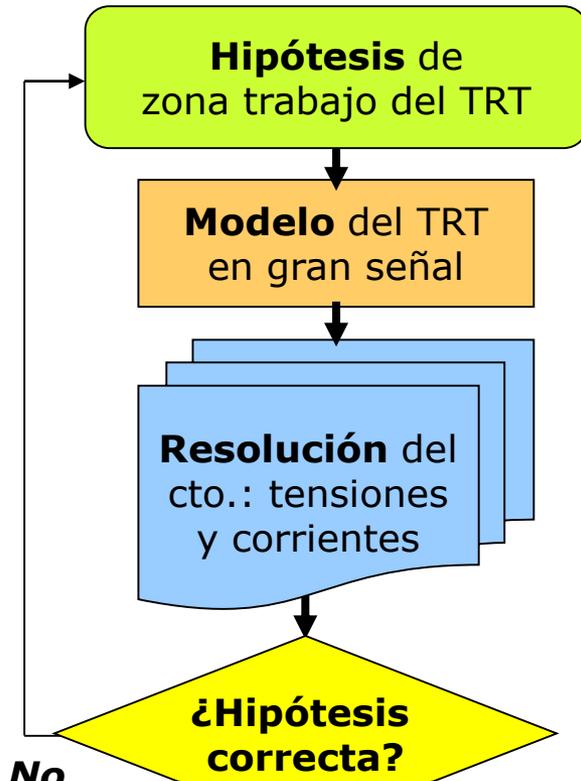


# Polarización de transistores

## Determinación de la zona de trabajo: punto Q



□ Análisis del punto Q: **hipótesis** → **verificación** → **solución**

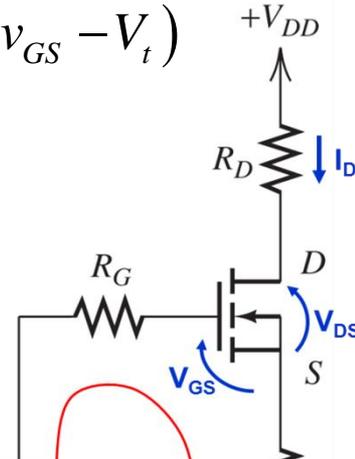


### ■ Ejemplo con FET

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Saturación: } i_{Dsat} = \frac{k}{2} (v_{GS} - V_t)^2 \\ \text{Óhmica: } i_D = \frac{v_{DS}}{R_{DSon}} \quad R_{DSon} \approx \frac{v_{DS1}}{i_{DS1}} = \frac{1}{k \cdot (v_{GS} - V_t)} \\ \text{Corte: } i_D = 0 \end{array} \right.$$

• Malla de salida:

$$V_{DD} = i_D \cdot (R_D + R_S) + v_{DS}$$



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



# Rectas de carga: trts. Unipolares (1)

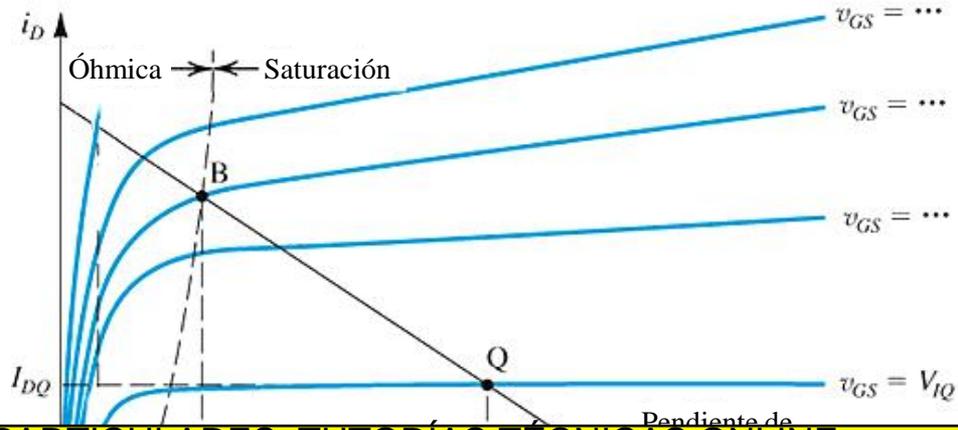
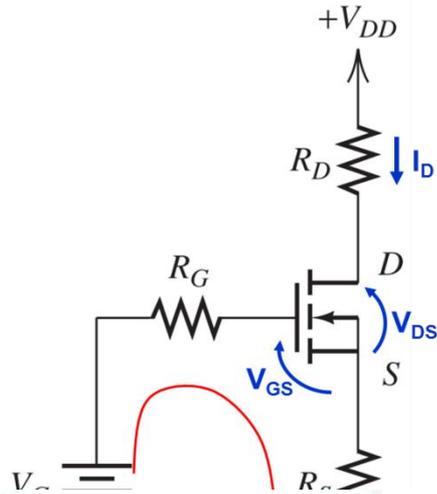
## ❑ Sobre las curvas de salida

- La *recta de carga de salida* nos permite visualizar cómodamente la zona de trabajo a partir de la ecuación de la **mallá de salida**:

$$V_{DD} = i_D \cdot (R_D + R_S) + v_{DS}$$



$$i_D = \frac{-1}{R_D + R_S} (v_{DS} - V_{DD})$$



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



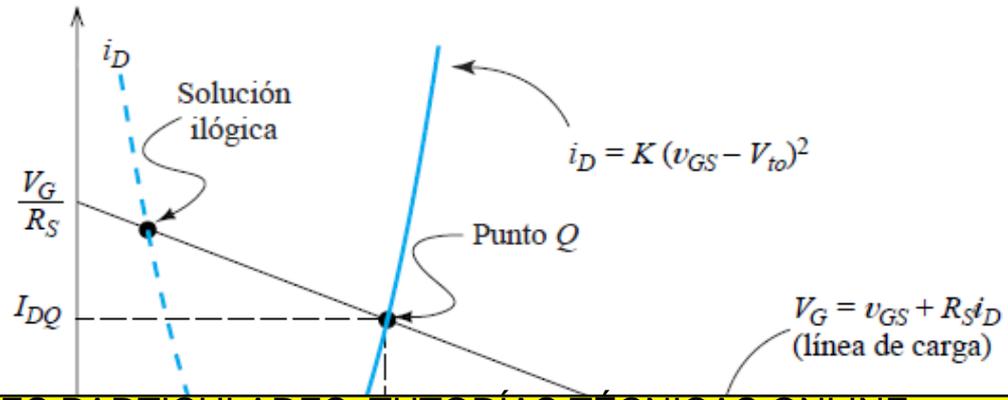
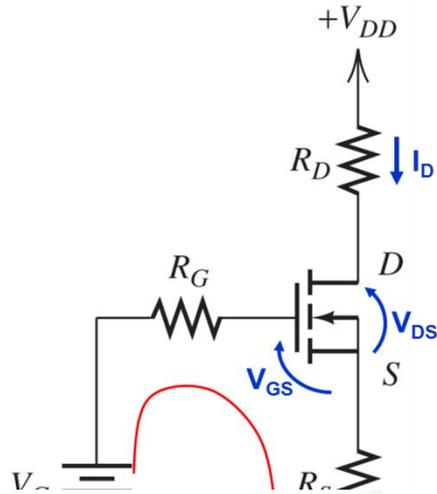
# Rectas de carga: trts. Unipolares (2)

- La ecuación de la *mall*a de entrada se proyecta sobre la **curva de transferencia**:  $i_D = f(v_{GS})$
- Esto es así porque en los Unipolares no hay corriente de entrada...

$$V_G = i_D \cdot R_S + v_{GS}$$



$$i_D = \frac{-1}{R_S} (v_{GS} - V_G)$$



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

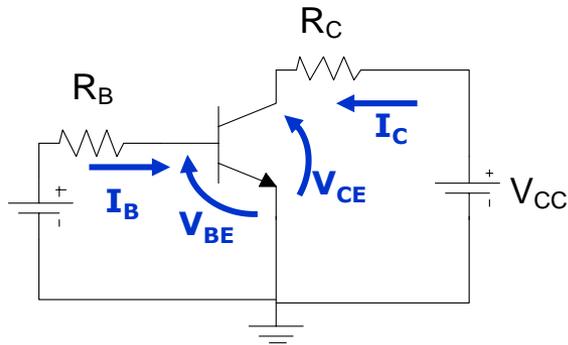


# Polarización de transistores

## Análisis del punto Q



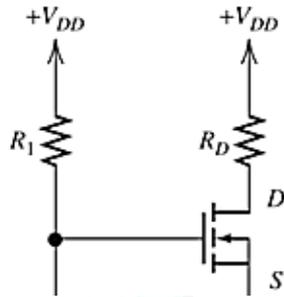
- ❑ Ejemplo 1: encontrar la zona de trabajo del BJT de la figura



$V_{BE\gamma} = 0,6 \text{ V}$ $V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$ $\beta_F = 200$ $V_{BB} = 5 \text{ V}$ $V_{CC} = 10 \text{ V}$ $R_B = 1 \text{ k}\Omega$ $R_C = 10 \text{ k}\Omega$	Datos
---	-------

Solución:  
Saturado, con  
 $I_B = 4,4 \text{ mA}$ ,  $I_C = 0,98 \text{ mA}$

- ❑ Ejemplo 2: determinar el punto Q del MOSFET de la figura



Datos:	
$R_1 = 3 \text{ M}\Omega$	$R_2 = 1 \text{ M}\Omega$
$R_D = 4,7 \text{ k}\Omega$	$R_S = 2,7 \text{ k}\Omega$
$V_{DD} = 20 \text{ V}$	$k = 2 \text{ mA/V}^2$

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



# Polarización de transistores

## BJT: análisis con aproximación de ( $\beta \gg$ )



### ❑ Problema a resolver:

- En circuitos con muchos TRTs el análisis exhaustivo del punto Q para cada dispositivo puede ser inabordable manualmente.
- La aproximación de ( $\beta \gg$ ) permite obtener rápidamente una cierta estimación del punto Q de cada BJT

### ❑ Justificación:

- En los BJT en activa, la corriente de base  $I_B$  de cada transistor es mucho más pequeña que su  $I_C$ .

### ❑ Procedimiento:

- Suponemos todos los BJTs en activa.
- Si ( $\beta \gg$ ) se tiene que  $I_B$  puede despreciarse en los análisis iniciales.
- Una vez hallados todos los puntos Q, verificamos que efectivamente

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



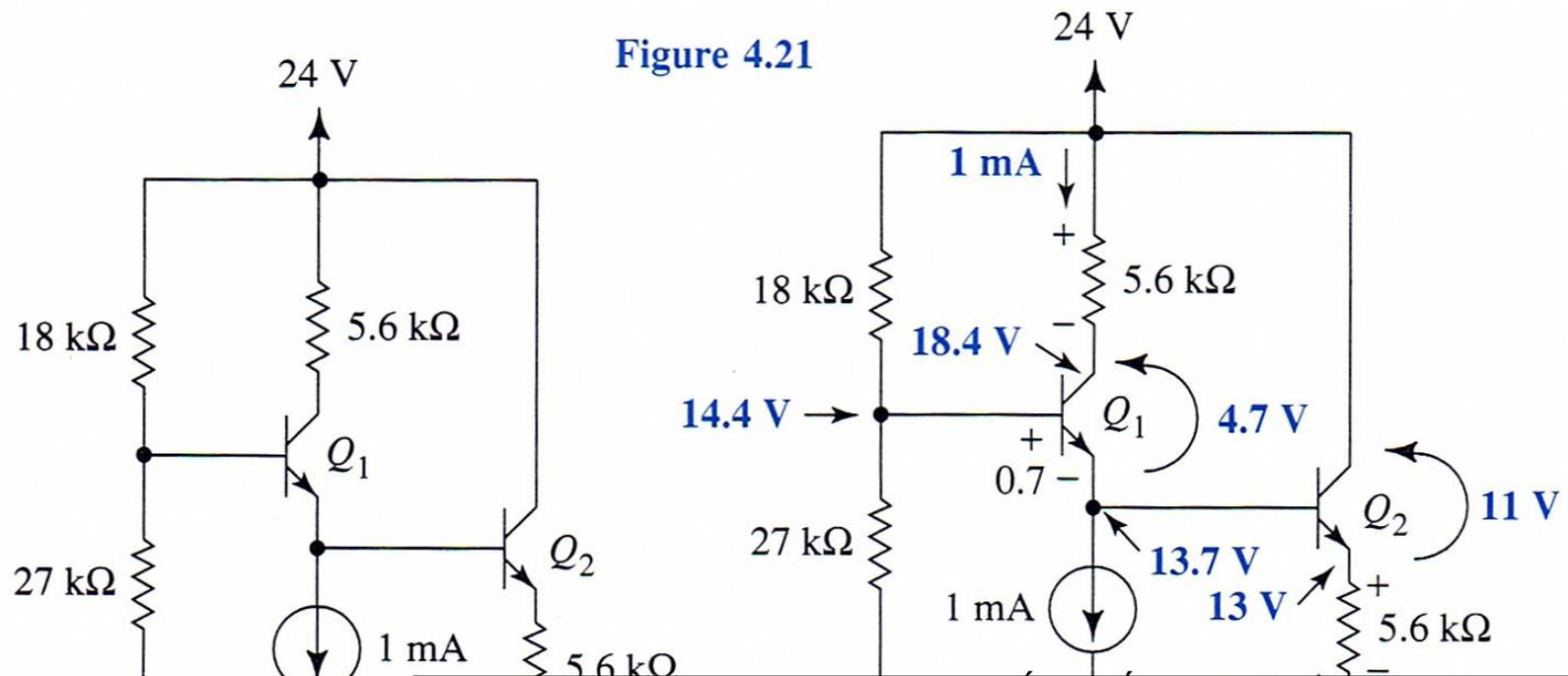
# Polarización de transistores

## BJT: análisis con aproximación de ( $\beta \gg$ )



### □ Ejemplo:

- Determinar el punto Q de los BJT del cto. de la figura (Malik, pág. 244)



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



# Polarización de transistores

## Índice



- ❑ Polarización de transistores
  - Introducción
  - Análisis: determinación de la zona de trabajo
  - **Diseño: área de funcionamiento segura de los transistores**
  - Sensibilidad
    - *Definición*
    - *Sensibilidad a varios parámetros*
    - *Ejemplo cálculo de sensibilidad*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con BJT*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con FET*
  - Circuitos de polarización

Cartagena99

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

- - -

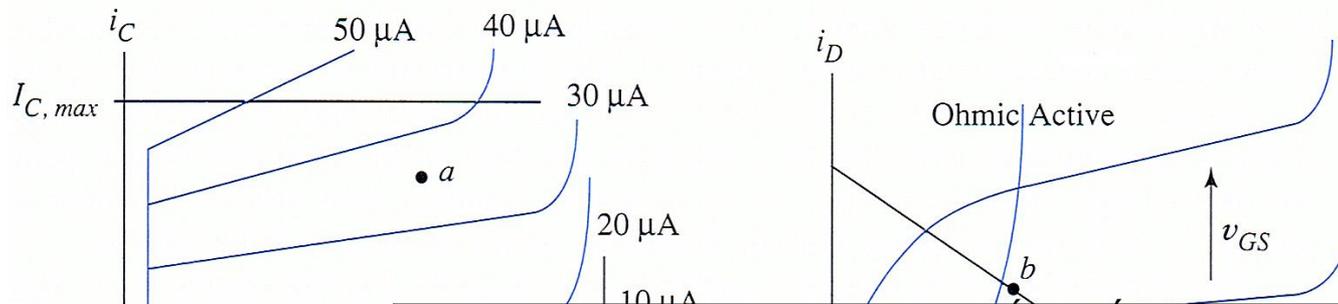
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



# Polarización de Transistores

## Criterios de diseño

- ❑ Desde el punto de vista del diseño, la polarización ha de establecer la ubicación idónea del punto de trabajo Q del TRT.
  - El punto Q idóneo es dependiente de la aplicación.
    - **En amplificación:** en zona activa, con márgenes de tensiones y corrientes definidos por el nivel de la señal, etc.
    - **En conmutación:** dos puntos (ON y OFF), importan la velocidad de conmutación entre ellos, las resistencias en ON, corrientes máximas, etc.
  - Estos criterios serán objeto de estudio en su momento



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

CEO

CEO



# Polarización de Transistores

## Área de funcionamiento segura (SOA)

- ❑ Un criterio fundamental es asegurar la **supervivencia** del TRT.
- ❑ El fabricante informa de los límites de funcionamiento de los transistores. Suelen estar marcados por:
  - Potencia máxima de funcionamiento:  $P_{MAX}$
  - Tensión de ruptura:
    - $V_{CE-MAX}$  para bipolares,  $V_{DS-MAX}$  para unipolares
  - Corriente máxima de salida
    - De colector para bipolares ( $I_{C-MAX}$ ), de drenador para unipolares ( $I_{D-MAX}$ )
- ❑ Sobrepasar los límites establecidos implica un **mal funcionamiento** del dispositivo, incluso su **destrucción**.

■ Estos límites deben ser conocidos y respetados.

Cartagena99

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

---

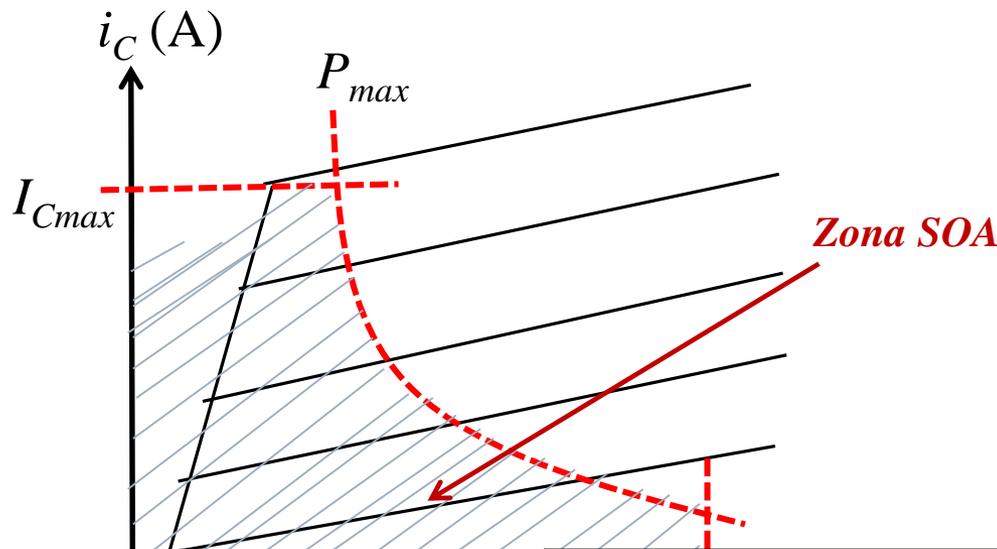
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



# Polarización de Transistores

## Área de funcionamiento segura: BJT

- El transistor debe funcionar dentro de la **zona segura** (espacio sombreado): **SOA** (*Safe Operating Area*)
  - La limitación en potencia está dada por la hipérbola  $P_{max}$
  - Otros límites: tensión y corriente máxima, y cuadrante (z. activa)



Potencia del transistor trabajando en activa:

$$P_D = i_C \cdot v_{CE} + i_B \cdot v_{BE} \approx i_C \cdot v_{CE}$$

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

CEmax

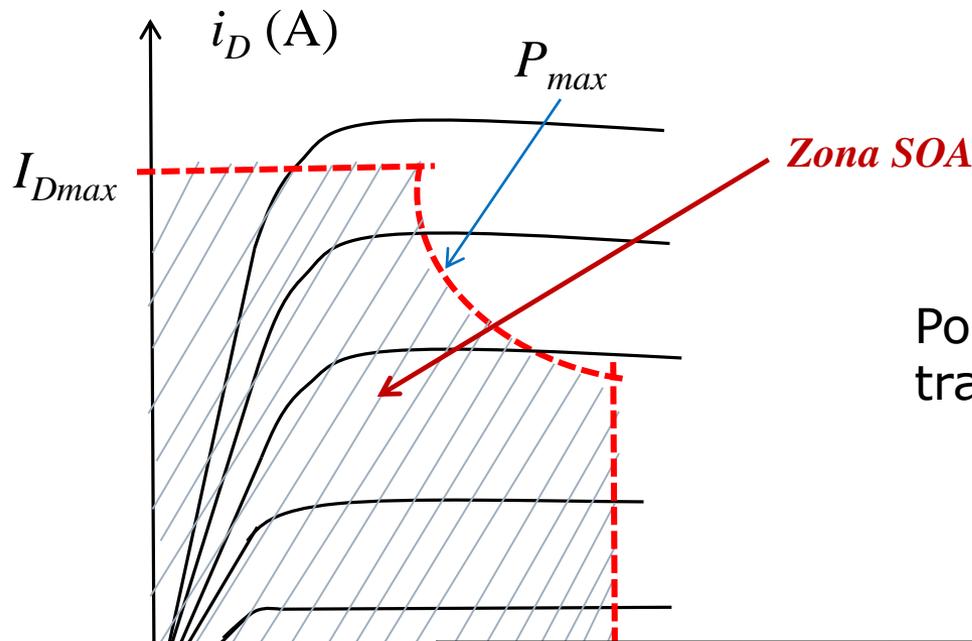


# Polarización de Transistores

## Área de funcionamiento segura: FET



- En los transistores unipolares las condiciones límite de la SOA son las mismas que en los bipolares



Potencia máxima del transistor unipolar:

$$P \approx i_D \cdot v_{DS}$$

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



# Polarización de transistores

## Índice



- ❑ Polarización de transistores
  - Introducción
  - Análisis: determinación de la zona de trabajo
  - Diseño: área de funcionamiento segura de los transistores
  - **Sensibilidad**
    - ***Definición***
    - ***Sensibilidad a varios parámetros***
    - ***Ejemplo cálculo de sensibilidad***
    - ***Circuito de polarización fija y estabilizada con BJT***
    - ***Circuito de polarización fija y estabilizada con FET***

- Circuitos de 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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad



- ❑ El punto de trabajo en continua ( $Q$ ) de un transistor puede variar dependiendo de las condiciones de funcionamiento:
  - Ambientales (temperatura,  $T$ ), variación de valores de resistencias, tolerancias, etc...
- ❑ Sin embargo es fundamental que  $Q$  se mantenga fijo:
  - El comportamiento del transistor, sobre todo en amplificación, depende de  $Q$ .
- ❑ El circuito de polarización debe cumplir los siguientes objetivos:
  - Ubicar el punto  $Q$  en el lugar adecuado de las curvas del dispositivo (principalmente, en salida).
  - Mantener constante los valores de tensión y corriente deseados, dentro de unas determinadas condiciones de funcionamiento.
  - Tratar de evitar la influencia sobre el punto  $Q$  de los cambios en  $T$

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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad: variaciones en los TRTs



□ Dependencias importantes en los TRTs:

□ Parámetros de los BJT que varían significativamente:

- $\beta \rightarrow$  varía **mucho**: con  $T$ , con  $I_C$ , e incluso entre dispositivos "iguales"
- $|V_{BE}| \rightarrow$  disminuye con la  $T$  del orden de  $-2 \text{ mV/C}$
- $I_{CO} \rightarrow$  duplica su valor cada  $10^\circ \text{ C}$

□ Igualmente, hablando de los FET:

- $T \rightarrow$  disminuye con la  $T$

NPN DEVICES  
2N5885 and 2N5886

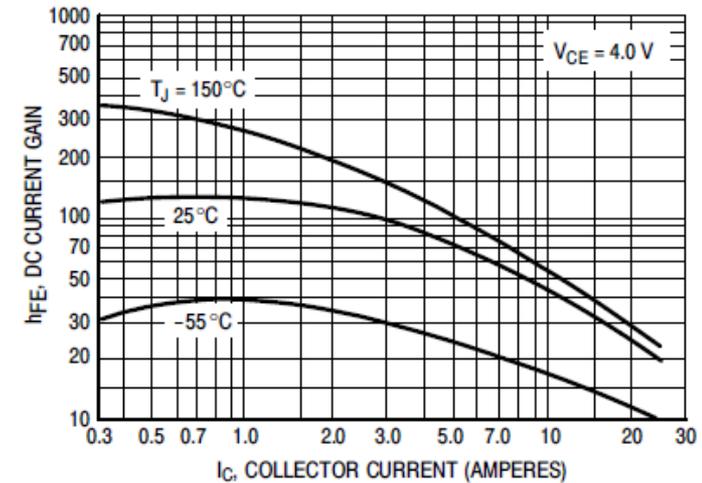


Figure 9. DC Current Gain

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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad: una valoración objetiva



- ❑ Otras causas de variación:
  - **Tolerancias:** tanto los elementos *activos* (transistores) como los *pasivos* (resistencias, etc.), están sujetos a ciertas *variaciones aleatorias* en sus parámetros durante los procesos de fabricación.
  - **Alimentaciones:** en funcionamiento, pueden variar por diversas razones (pilas en descarga, ruidos, transitorios,...)
  - **Degradaciones:** otras variaciones se deben a las *condiciones ambientales* y el *envejecimiento* de los componentes.
- ❑ Valoración objetiva → evaluación de la ***sensibilidad***
  - La función de "*sensibilidad*" es una herramienta de análisis que permite identificar los parámetros críticos de un problema dado y determinar si el resultado es satisfactorio.

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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad: formulación



**Sensibilidad:** la sensibilidad de una función  $X=f(P)$  respecto al parámetro  $P$  se define:



$$S_P^X = \frac{\frac{dX}{X}}{\frac{dP}{P}} = \frac{P}{X} \cdot \frac{dX}{dP}$$

Haciendo una aproximación incremental para la derivada, se tiene:

$$S_P^X = \frac{\Delta X}{X} \cdot \frac{P}{\Delta P} = \frac{\Delta X / X}{\Delta P / P} \leftarrow \left( \frac{\text{variación relativa de X}}{\text{variación relativa de P}} \right)$$

**Nota:** Para variaciones relativas mayores del 10% o el 20% se debería trabajar con el valor de la derivada, en lugar de con incrementos.

Interesa que  $S$  sea muy bajo para que la función varíe poco al variar sus

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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad



□ Sensibilidad a varios parámetros:  $X = X(p_1, p_2, \dots, p_n)$

- Si los parámetros no varían demasiado, el cambio total en  $\Delta X$  puede determinarse por la regla de la cadena:

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial p_1} \Delta p_1 + \dots + \frac{\partial X}{\partial p_n} \Delta p_n$$

- Dividiendo por  $X$  y multiplicando cada término por  $(p_i/p_i)$ , se puede escribir la ecuación en función de las sensibilidades particulares:

$$\frac{\Delta X}{X} = S_{p_1}^X \frac{\Delta p_1}{p_1} + \dots + S_{p_n}^X \frac{\Delta p_n}{p_n} = \sum_{i=1}^n S_{p_i}^X \frac{\Delta p_i}{p_i}$$

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

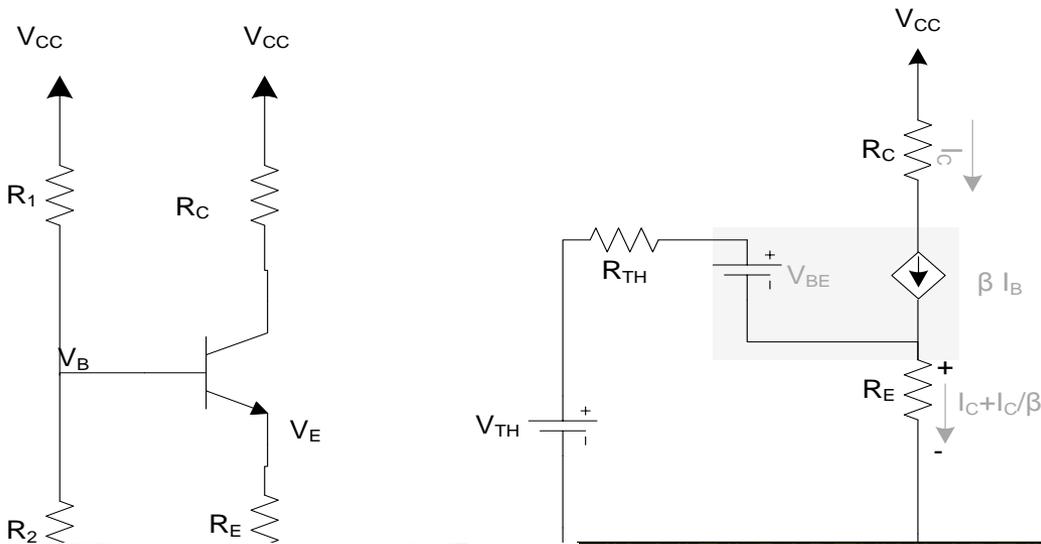


# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con BJT



- ❑ **Ejemplo de cálculo de sensibilidad:** Dado el circuito de la figura, suponiendo el BJT en activa, obténgase la variación relativa de  $I_C$  ( $\Delta I_C/I_C$ ) en función de las variaciones relativas de  $\beta$  ( $\Delta\beta/\beta$ ) y  $V_{BE}$  ( $\Delta V_{BE}/V_{BE}$ ). Las variaciones relativas se suelen dar en tanto por ciento.



1. Cálculo de  $I_C$ : del análisis del circuito se obtiene:

$$I_C = \frac{\beta(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E}$$

2. Se busca:

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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con BJT



### □ Ejemplo de cálculo de sensibilidad:

3. Los valores de las diferentes sensibilidades son:

■ Sensibilidad de  $I_C$  respecto a  $V_{BE}$ :

$$I_C = \frac{\beta(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E}$$

$$S_{V_{BE}}^{I_C} = \frac{V_{BE}}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \frac{V_{BE}}{\beta} \cdot \frac{R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E}{(V_{TH} - V_{BE})} \cdot \frac{\frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}}{(R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E)} = \frac{-V_{BE}}{V_{TH} - V_{BE}}$$

### Conclusiones:

□ *Interesa que el denominador se reduzca. No podemos poner  $V_{TH}$  de valores próximos a  $V_{BE} \rightarrow$  la sensibilidad aumenta mucho.*

**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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con BJT



### □ Ejemplo de cálculo de sensibilidad:

3. Los valores de las diferentes sensibilidades son:

$$I_C = \frac{\beta(V_{TH} - V_{BE})}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E}$$

■ Sensibilidad de  $I_C$  respecto  $\beta$  :

$$S_{\beta}^{I_C} = \frac{\beta}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial \beta} = \frac{\beta}{(V_{TH} - V_{BE})} \cdot \frac{(V_{TH} - V_{BE}) [R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E - \beta \cdot R_E]}{(R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E)^2} = \frac{[R_{TH} + R_E]}{(R_{TH} + (\beta + 1) \cdot R_E)}$$

### Conclusiones:

- $R_E$  tiene un efecto muy notable en la reducción de la sensibilidad al aparecer multiplicada por  $(\beta+1)$  en el denominador.
- Si no existiese  $R_E$ , la sensibilidad sería 1, lo que es muy perjudicial pues las variaciones porcentuales de  $\beta$  son muy grandes.

**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



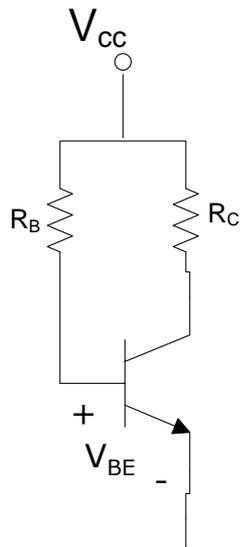
# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con BJT



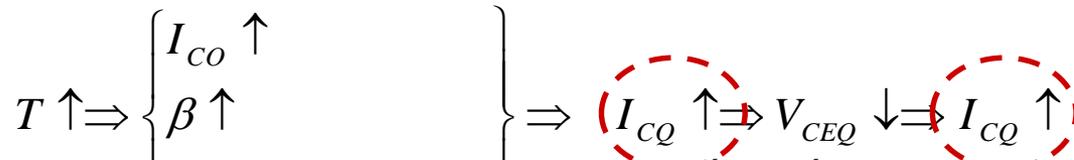
### □ Circuitos de polarización fija: BJT

- Se llaman de polarización fija pues  $V_{BE}$  no depende de  $I_C$ .
- El punto Q tiene una pobre estabilidad: pequeñas variaciones de  $\beta$  o de la temperatura cambian significativamente el punto de trabajo.



$$S_{\beta}^{I_C} = \frac{\beta}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial \beta} = 1$$

$$S_{V_{BE}}^{I_C} = \frac{V_{BE}}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \frac{-V_{BE}}{V_{CC} - V_{BE}}$$



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

Cartagena99



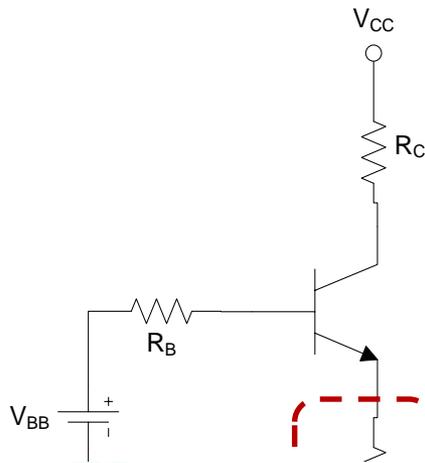
# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con BJT



### ❑ Circuitos de polarización estabilizada: BJT

- El aumento de la temperatura influye mucho menos en variar la corriente de colector → fenómeno de **compensación**.
- Con resistores de un orden similar ( $R_B \approx R_E$ ), si se cumple que:  $(\beta + 1)R_E \gg R_B \rightarrow$  entonces la  $I_{CQ}$  es casi independiente de  $\beta$  (ejercicio para el alumno: supuesto  $\beta \approx 100$  demostrar esto).



$$S_{I_C}^{\beta} = \frac{\beta}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial \beta} = \frac{[R_B + R_E]}{(R_B + (\beta + 1) \cdot R_E)}$$

$$S_{V_{BE}}^{I_C} = \frac{V_{BE}}{I_C} \cdot \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \frac{-V_{BE}}{V_{BB} - V_{BE}}$$

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

Cartagena99



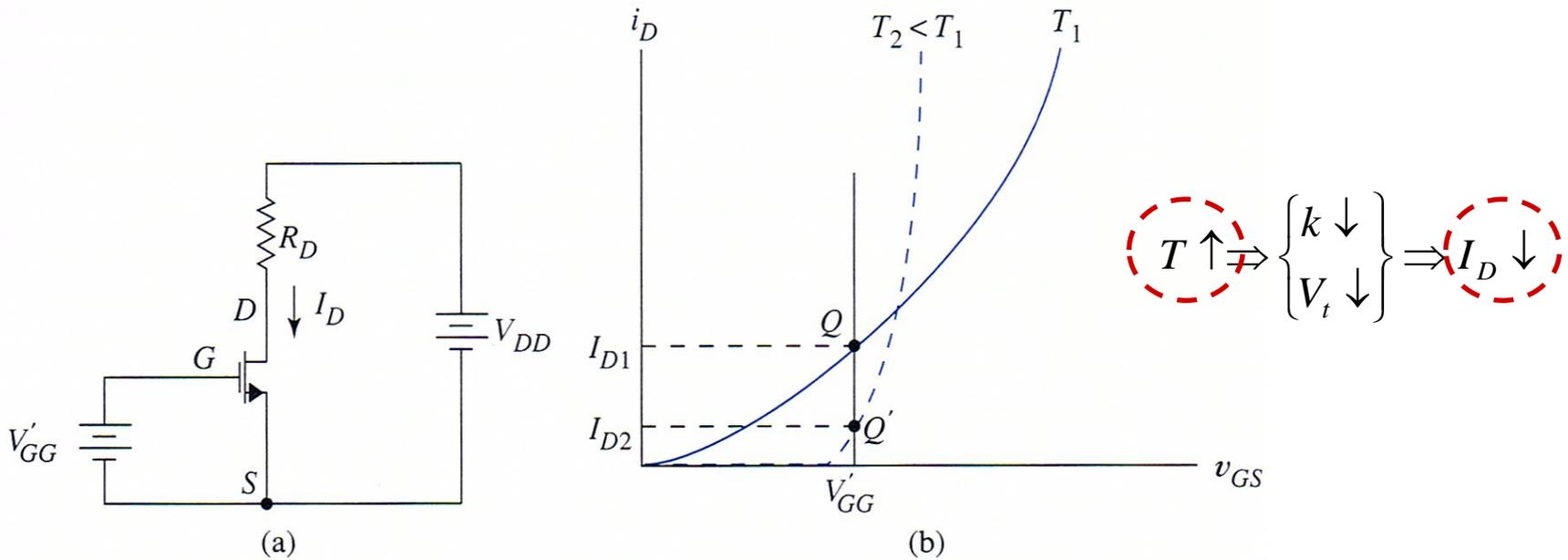
# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con FET



### □ Circuitos de polarización fija: FET

Suponiendo el MOS en activa (saturación) si variase la  $T^a$  se tiene:



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



# Polarización de transistores

## Sensibilidad en un circuito con FET



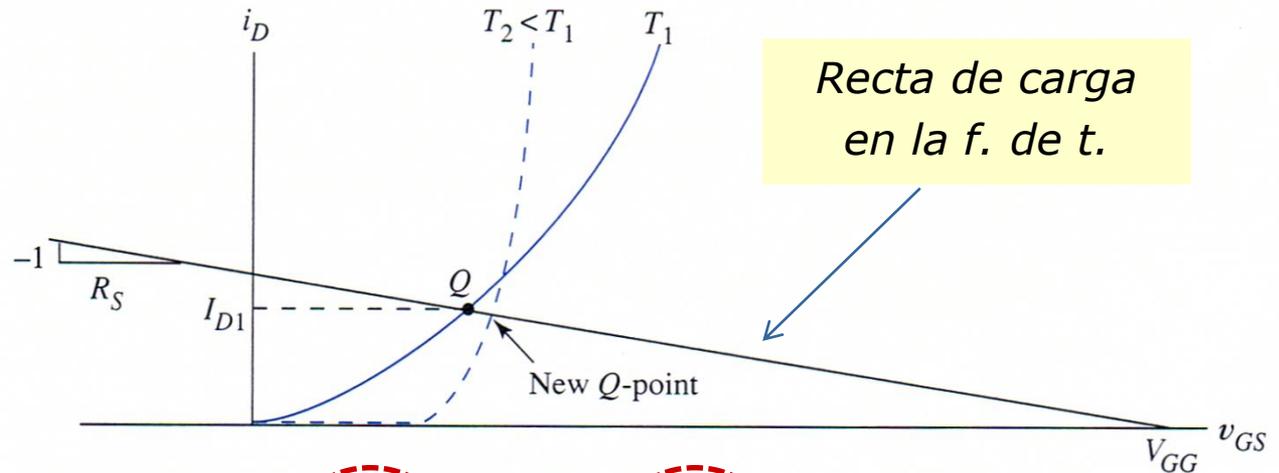
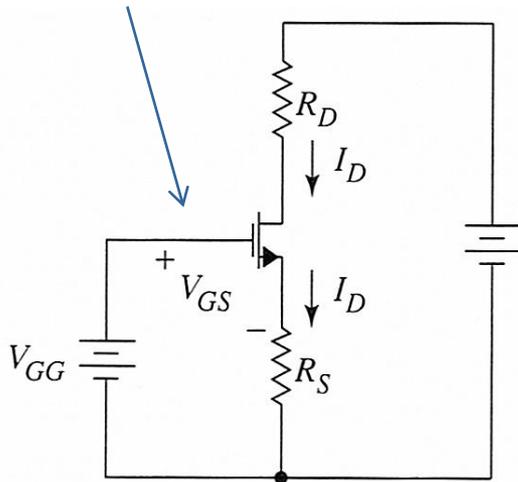
### ❑ Circuitos de polarización estabilizada: FET

- Este circuito incorpora una resistencia en *fuentes* que mejora la estabilidad de Q → *la  $V_{GS}$  de entrada depende de la  $I_D$  de salida!*

$$V_{GS} = V_G - V_S = V_{GG} - I_D \cdot R_S$$



$$i_D = \frac{1}{R_S} (V_{GG} - v_{GS})$$



Recta de carga  
en la f. de 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



# Polarización de transistores

## Índice



- ❑ Polarización de transistores
  - Introducción
  - Análisis: determinación de la zona de trabajo
  - Diseño: área de funcionamiento segura de los transistores
  - Sensibilidad
    - *Definición.*
    - *Sensibilidad a varios parámetros*
    - *Ejemplo cálculo de sensibilidad*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con BJT*
    - *Circuito de polarización fija y estabilizada con FET*
  - **Circuitos de 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



# Polarización de transistores

## Circuitos de polarización: con tensiones.

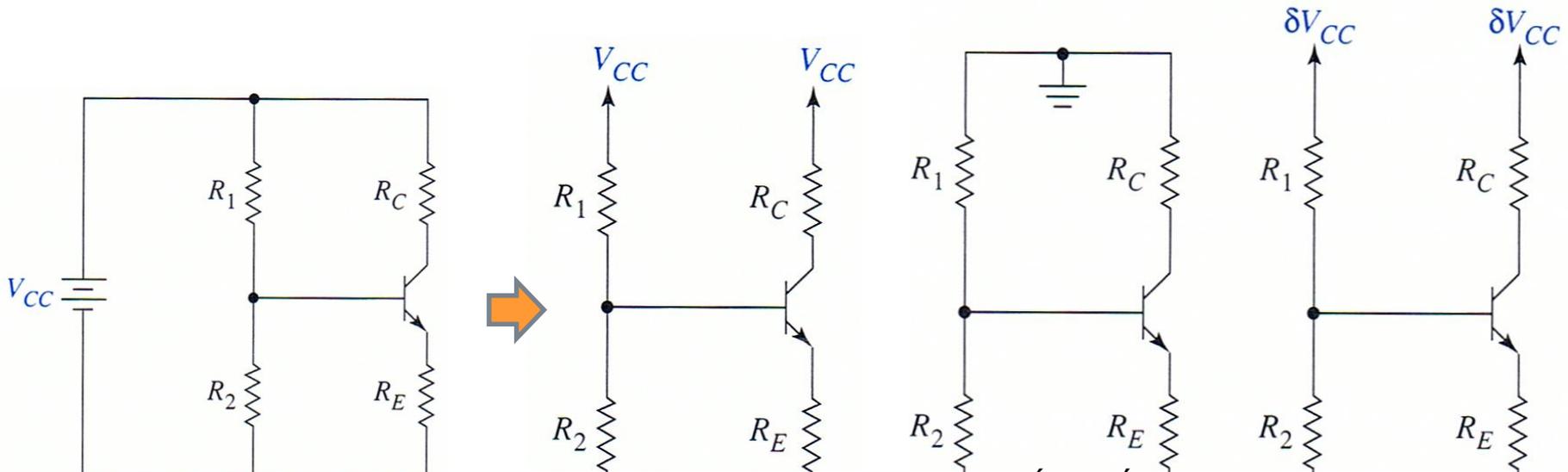


### □ Circuitos de polarización prácticos.

#### ■ Fuentes de tensión + resistores:

■ *La configuración más usada es **una** sola tensión y **cuatro** resistores*

#### ■ Observe la *aparente* diferencia de las tensiones de alimentación:



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

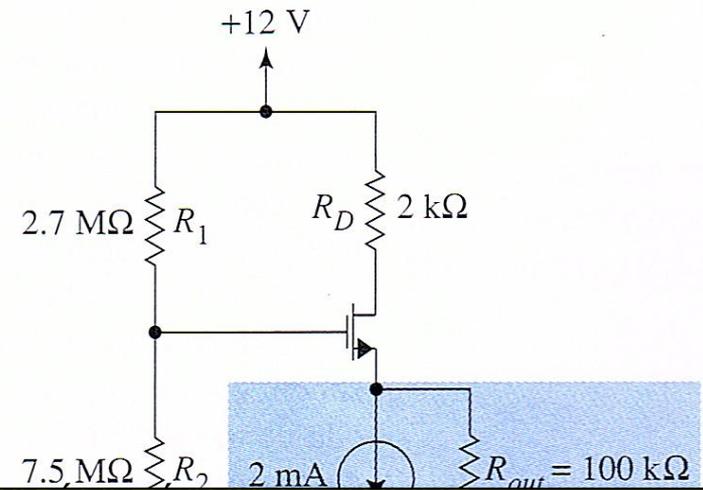
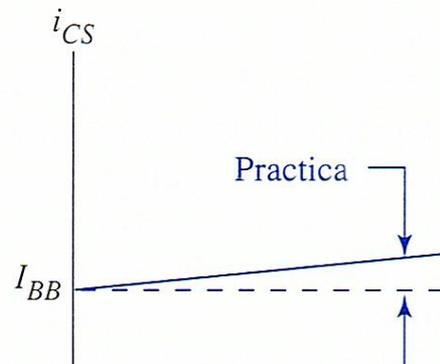
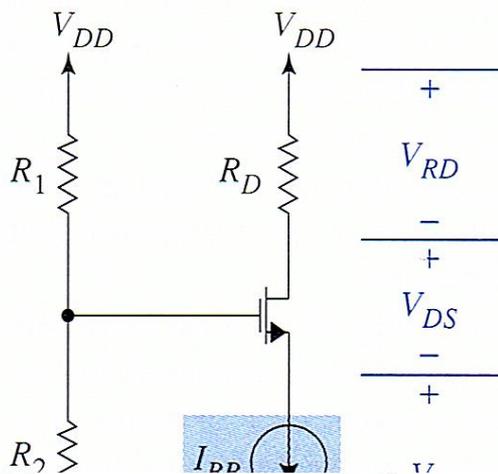


# Polarización de transistores

## Fuentes de corriente



- Una forma de polarización muy frecuente, sobre todo en CI's, es mediante **fuentes de corriente**
  - Inyectan la corriente deseada (definida por el punto de trabajo, Q) directamente al dispositivo a polarizar.
  - Se construyen**, a su vez, empleando circuitos activos con TRTs



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



# Polarización de transistores

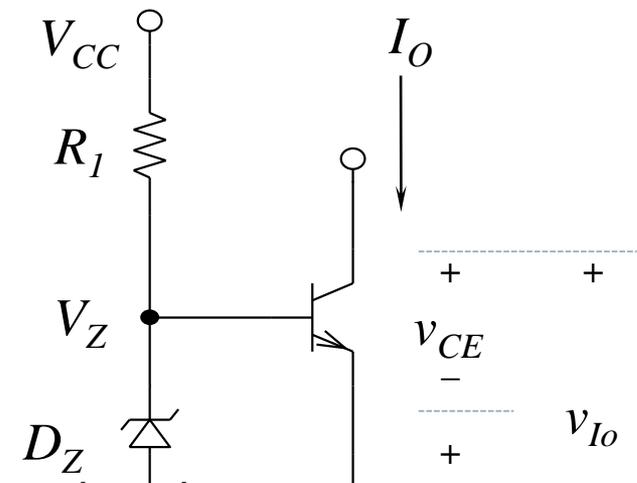
## Fuentes de corriente: construcción



- ❑ **Idea básica** para *construir* una fuente de corriente:
  - Un TRT con excitación de **entrada constante**, entrega una **corriente constante** en su salida... mientras esté en **activa** (!)
  - A diferencia de una fuente ideal, la construida (real) tiene dicho límite de funcionamiento: **la zona activa del dispositivo usado.**

- ❑ Caso discreto: TRT polarizado con una entrada constante.

- Un diodo zener mantiene la tensión de base en  $V_B = V_Z$
- La corriente de salida se ajusta mediante la  $R_E$
- La fuente deja de funcionar si el



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



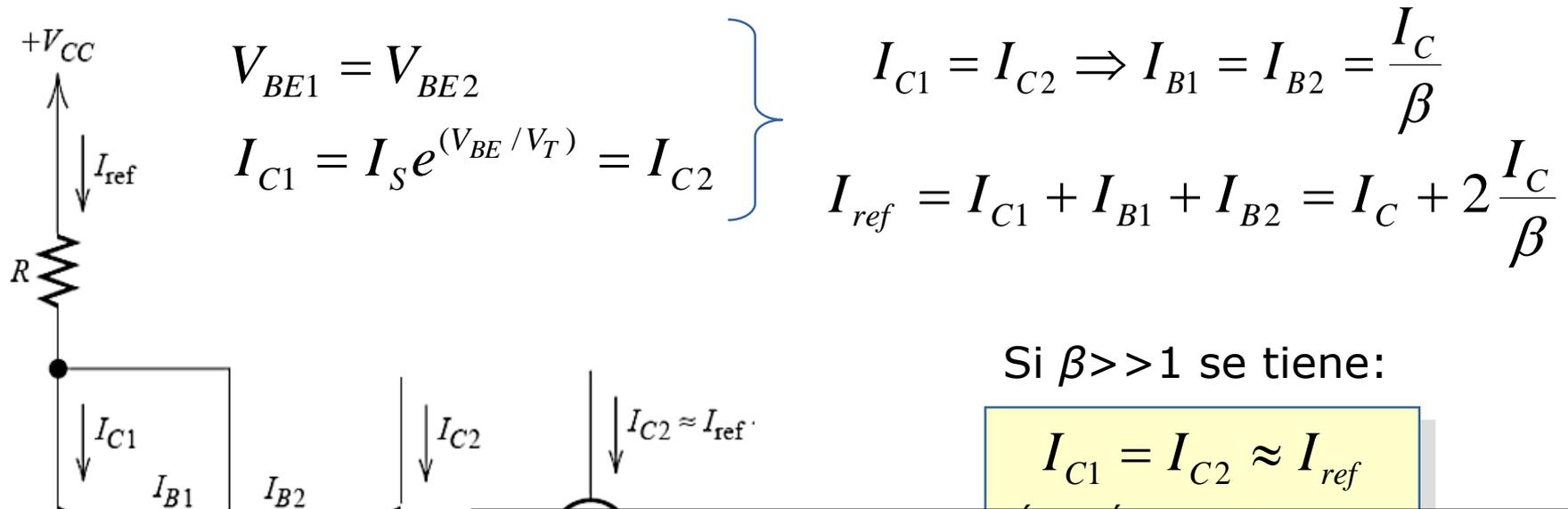
# Polarización de transistores

## Fuentes de corriente: espejo de corriente



- El **espejo de corriente** es la configuración preferida en CI's(\*)
  - El transistor de salida ( $Q_2$ ) **copia** la  $I_C$  del de referencia ( $Q_1$ )

(\*) En un CI:  $Q_1$  y  $Q_2$  son **idénticos** y están a la **misma temperatura  $T$**



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



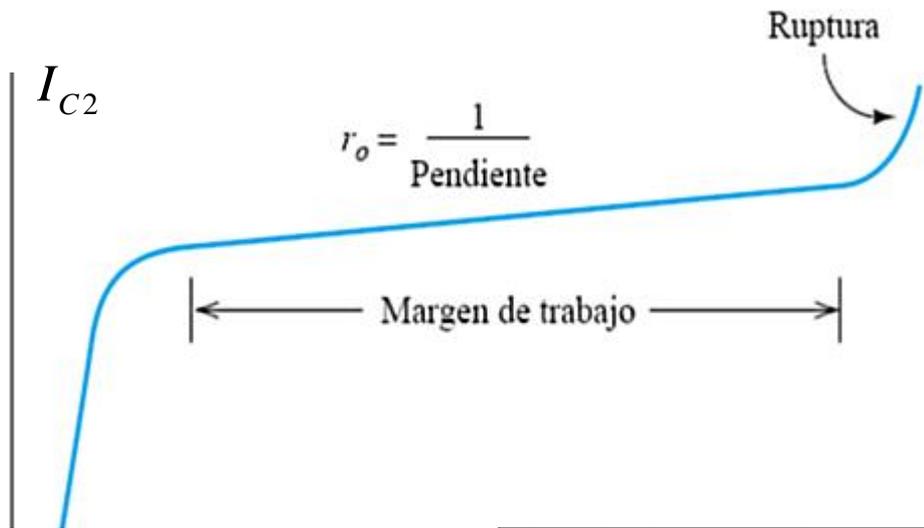
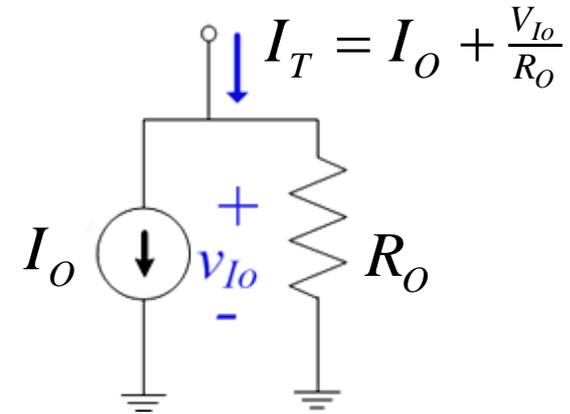
# Polarización de transistores

## Fuentes de corriente: espejo de corriente



### ❑ Márgenes de trabajo y modelo real de la fuente ( $I_O$ , $R_O$ )

- La salida  $v_{I_O}$  de esta fuente es  $v_{CE2}$
- El margen de trabajo de la fuente y su  $r_o$  interna vienen dadas por las curvas de  $Q_2$



Tensión mínima de trabajo:

$$v_{I_O} = v_{CE2} \geq V_{CEsat}$$

Resistencia interna de la fuente (entre C y E de  $Q_2$ ):

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



# Transistores

## Bibliografía



### □ Básica:

- Allan R. Hambley. Electrónica, 2º edición. Ed. Prentice Hall 2008 (Capítulos 4 y 5).
- Sedra-Smith. Circuitos Microelectrónicos. Capítulos 4 y 5.
- Norbert R. Malik. CIRCUITOS ELECTRÓNICOS: Análisis, simulación y diseño. Ed. Prentice Hall. 1996 (Capítulos 4 y 5).

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



# Control de revisiones



- 2017-01-26. Versión inicial.

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