

# Electrónica de Circuitos

3º Ingeniería de Telecomunicaciones — UPV/EHU

"Under-promise and over-deliver."

Javier de Martín – 2016/17

## Transistor BJT

### Parámetros

$h_{ix}(\Omega)$ : Impedancia de entrada

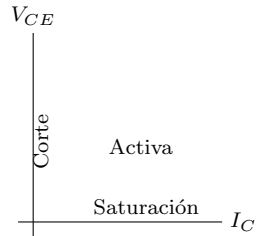
$h_{rx}$ : Reverse voltage ratio

$h_{fx}$ : Forward current transfer ratio

$h_{ox}(\Omega^{-1})$ : Admitancia de salida

Base Común	Emisor Común	Colector Común
$h_{ib} = \frac{v_{eb}}{i_e}$	$h_{ie} = \frac{v_{be}}{i_b}$	$h_{ic} = \frac{v_{bc}}{i_b}$
$h_{rb} = \frac{i_e}{v_{eb}}$	$h_{re} = \frac{i_b}{v_{be}}$	$h_{rc} = \frac{i_b}{v_{bc}}$
$h_{fb} = \frac{i_c}{i_e}$	$h_{fe} = \frac{i_c}{i_b}$	$h_{fc} = \frac{i_e}{i_b}$
$h_{ob} = \frac{i_c}{v_{cb}}$	$h_{oe} = \frac{i_c}{v_{ce}}$	$h_{oc} = \frac{i_e}{v_{ec}}$

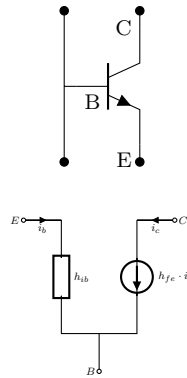
### Regiones Operativas



- **Región Activa:** La corriente de colector  $I_C$  depende directamente de la corriente de base  $I_B$ , de la ganancia de corriente  $\beta$  y de las resistencias conectadas al colector y emisor. En esta región se produce amplificación de la señal.
- **Región Inversa:**
- **Región de Saturación:** La corriente  $I_C = I_E = I_{max}$ . La corriente depende del voltaje de alimentación del circuito y de las resistencias conectadas al colector y emisor. Este modo aparece cuando la corriente de base es lo suficientemente grande como para inducir una corriente de colector  $\beta$  veces más grande.
- **Región de Corte:** La corriente  $I_C = I_E = 0$ . El voltaje  $V_{CE}$  es el de alimentación del circuito, al no haber corriente circulando no hay caída tensión. Este modo aparece, normalmente, cuando  $I_B = 0$ .

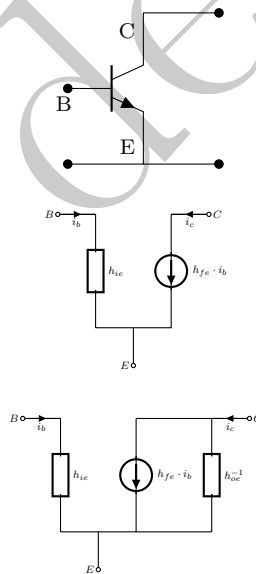
## Configuraciones de Montaje

### Base Común



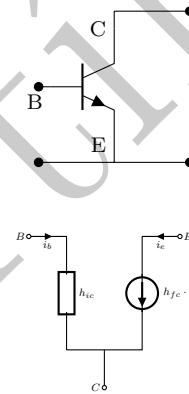
- Baja impedancia de entrada.
- Alta impedancia de salida
- Ganancia unidad, o menor, de corriente.
- Ganancia alta de tensión.

### Emisor Común



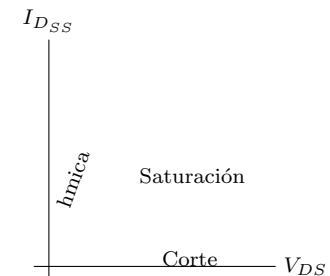
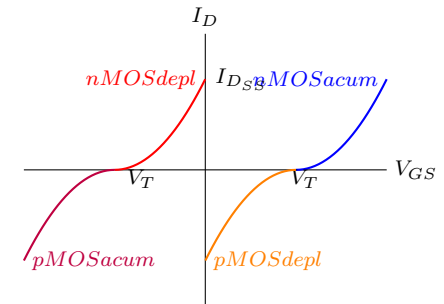
- Impedancia de entrada media.
- Impedancia de salida media.
- Alta ganancia de corriente.
- Alta ganancia de tensión.

### Colector Común



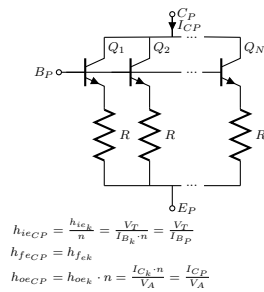
- Alta impedancia de entrada.
- Muy baja impedancia de salida.
- Alta ganancia de corriente.
- Unidad, o menor, ganancia de tensión.

## Transistor FET



# 1. Etapas de Dos Transistores

## Configuración en Paralelo

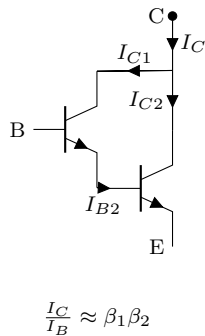


Se comporta como un **único transistor**, necesita una resistencia  $R$  (*ballast resistor*) para estabilizar el reparto de corriente entre los transistores. Permite trabajar en **altas corrientes**.

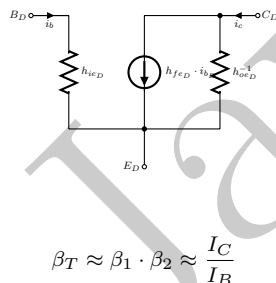
Las resistencias de emisor permiten estabilizar el circuito tensión.

$$I_{CN} = \frac{I_{CP}}{N} \quad V_{BE_N} + I_{C_N}$$

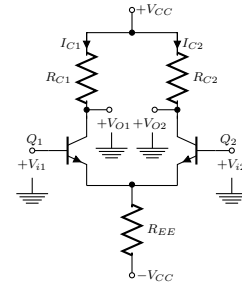
## Configuración Darlington



**Gran ganancia de corriente pero baja impedancia de salida.** Las fugas del primer transistor son amplificadas por el segundo, sólo es aconsejable en agrupaciones de 2 transistores.



## Amplificador Diferencial

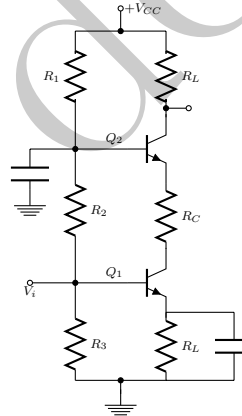


**Amplificador de continua**, simétrico con 2 entradas y 2 salidas. Amplifica exclusivamente la diferencia de sus entradas:  $V_O = k \cdot (V_{i1} - V_{i2})$ . Tiene los siguientes modos de funcionamiento:

- **Salida Diferencial:** La señal de salida se toma entre las salidas de cada semi-red ( $V_O = V_{O1} - V_{O2}$ ).
- **Salida Asimétrica:** La señal de salida se toma de la salida de una semi-red ( $V_O = V_{Ox}$ ). Para este modo es necesaria una  $R_{EE}$  elevada.

Tiene efectos parásitos como las **corrientes de polarización** que provocan caídas de tensión en las resistencias internas de las fuentes de señal a amplificar.

## Circuito Cascodo



Permite trabajar con **mayores tensiones de salida**. Buen comportamiento en **alta frecuencia**.

## Etapas CMOS

## 2.- Amplificadores Multietapa

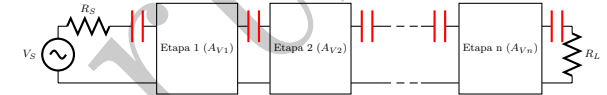
### Clasificación

De **alterna o de acoplo RC** Se agrupan en cascada de amplificadores monoetapa conectándose mediante condensadores de acoplo. De **continua o de acoplo directo**

No existen condensadores de paso y amplifican tensiones continuas.

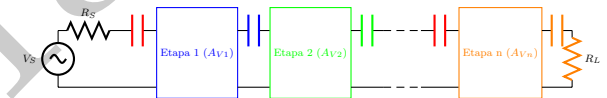
### Análisis en Continua

**Amplificadores RC:** Cada etapa puede analizarse independientemente. No existe dependencia entre los puntos de trabajo de las distintas etapas.



**Amplificadores de continua:** Todas las etapas están inter-relacionadas, es aconsejable seguir un orden para su análisis.

### Ganancia en Pequeña Señal



La **ganancia total** es el producto de las ganancias de cada etapa:

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_{o(n-1)}} \dots \frac{v_{o2}}{v_{o1}}$$

### Margen Dinámico a la Entrada

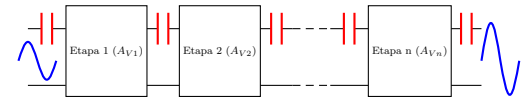
Máxima señal obtenible en la carga sin distorsión, se mide en  $V_P$  o en  $V_{PP}$ . Viene determinado por las situaciones de corte/saturación de los transistores.

**Margen dinámico debido a una etapa:** Si la etapa k-ésima tiene un margen dinámico a su salida permitirá a la salida del amplificador un margen dinámico.

**Margen dinámico del amplificador:** Menor de los márgenes dinámicos debidos a cada etapa.

### Margen dinámico a la salida

### Margen dinámico a la entrada



Máximo nivel de señal en la entrada para no tener distorsión a la salida.

$$M_{di} = \frac{M_{do}}{|A_v|}$$

## 3. Respuesta en Frecuencia

## 4. Fuentes de Corriente y Cargas Activas

Una **carga activa o carga dinámica** es un componente de circuito que se comporta como una resistencia no lineal estable contra corriente. Utilizado frecuentemente en la entrada de amplificadores operacionales para incrementar considerablemente la ganancia.

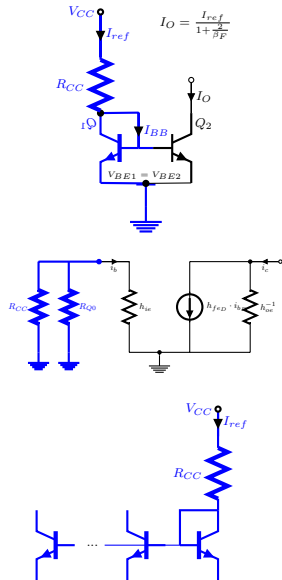
## Introducción y Figura de Mérito

La **figura de mérito** de un amplificador es el producto de la ganancia por el ancho de banda.

$$GB = |A_M|BW$$

## Configuraciones de Fuentes de Corriente

**Espejo de Corriente:** Permite obtener una corriente constante (fuente de corriente).

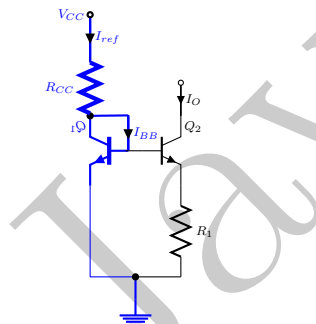


Si hay varias etapas se divide la corriente:

$$I_O = \frac{I_{ref}}{1 + \frac{N}{\beta_F}}$$

## Fuente Widlar

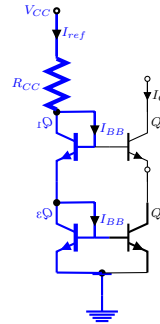
Variación del circuito anterior con una resistencia en el emisor del transistor de salida para obtener corrientes pequeñas constantes en la salida.



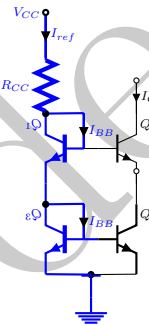
$$I_0^{(k+1)} = \frac{V_T}{R_E} \ln \left( \frac{I_{ref}}{I_0^{(k)}} \right)$$

## Fuente de Cascodo

Proporciona impedancia de salida alta, mucho mayor que en las otras fuentes.



## Fuente de Wilson



Permite obtener alta ganancia de corriente e impedancia de salida elevada.

## Cargas Activas

### FC y CA con Amplificadores Diferenciales

### Polarización Independiente de $V_{CC}$

### Desplazador de Nivel

## 5. Etapas de Potencia

### Clasificación

- Clase A:** El transistor conduce durante el **ciclo completo**.
- Clase B:** El transistor conduce durante **medio ciclo**.
- Clase AB:** El transistor conduce durante algo **más de medio ciclo**.
- Clase C:** El transistor conduce durante algo **menos de medio ciclo**.

## Definiciones

**Potencia Consumida:** Potencia suministrada por la fuente de alimentación de continua.

$$P_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} \cdot i_C(t) dt = V_{CC} \cdot \langle i_C(t) \rangle$$

**Potencia Entregada a la Carga:** Potencia de la señal amplificada en la carga de alterna.

$$P_O = V_{oeff} \cdot I_{oeff} = V_{Leff} \cdot I_{Leff} = P_L$$

**Potencia disipada por el transistor:** Consumida en el transistor, lo calienta.

$$P_D = P_{CC} - P_O - P_{resto}$$

**Rendimiento de la etapa:** Potencia entregada a la carga, respecto de la consumida de la fuente de alimentación.

$$\eta(\%) = \frac{P_O}{P_{CC}} \cdot 100\%$$

## Amplificadores Clase A

## Amplificadores Clase B y Clase AB

## Consideraciones Térmicas