



Unidad Didáctica  
El Transistor como Amplificador

*FONDO  FORMACION*

---

# Programa de Formación Abierta y Flexible

*Obra colectiva de FONDO FORMACION*

**Coordinación** *Servicio de Producción Didáctica de FONDO FORMACION  
(Dirección de Recursos)*

**Diseño y maquetación** *Servicio de Publicaciones de FONDO FORMACION*

**© FONDO FORMACION - FPE**

*No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otro método, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.*

**Depósito Legal** *AS -1953-2001*

# Unidad Didáctica El Transistor como Amplificador

*El avance de la física del estado sólido ha hecho que los dispositivos activos electrónicos de hoy estén basados en las propiedades físicas del transporte de electrones en semiconductores.*

*El transistor bipolar junto con el diodo de estado sólido iniciaron la revolución de los semiconductores, de tal manera que actualmente es uno de los semiconductores más empleados; y se encuentra presente en todos los sistemas electrónicos discretos e integrados que realicen cualquier tratamiento de señales.*

---

En esta unidad veremos los siguientes contenidos:

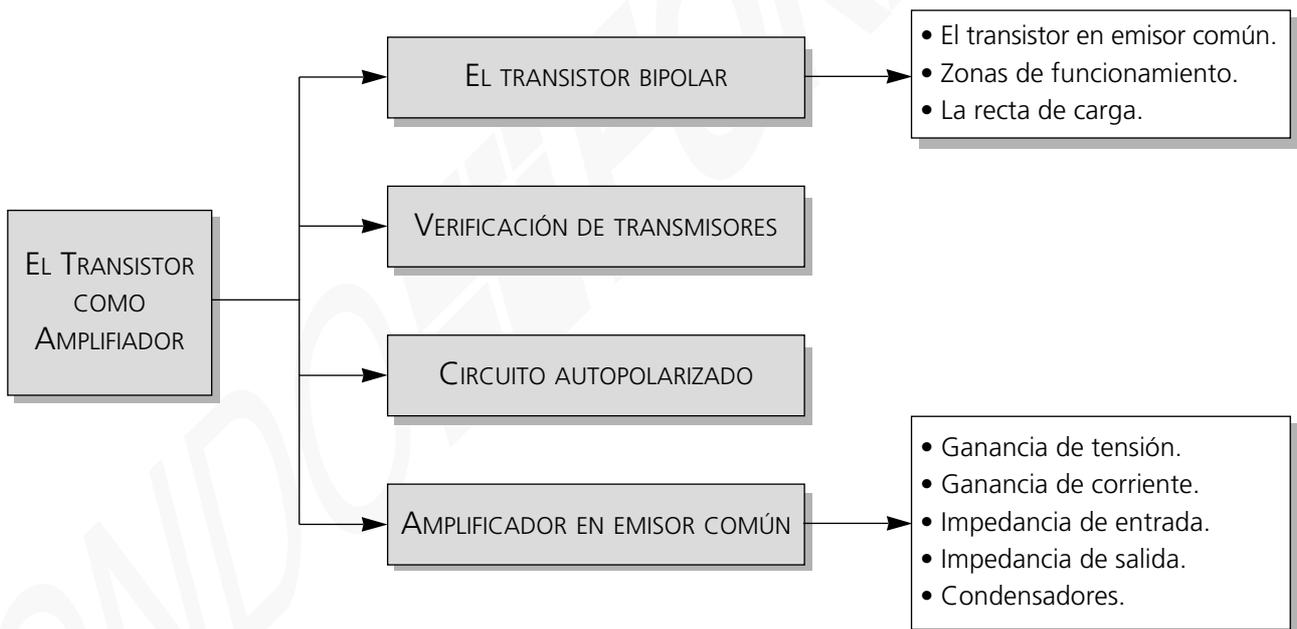
- El transistor bipolar.
- Verificación de transistores.
- Circuito autopolarizado.
- Amplificador en emisor común.

## Tus objetivos

Al finalizar esta unidad deberás ser capaz de:

- Distinguir los dos tipos de transistores bipolares.
- Comprender el funcionamiento del transistor bipolar.
- Trazar la recta de carga de un transistor.
- Comprobar el estado de un transistor.
- Distinguir el circuito de polarización y el de señal.
- Calcular los valores de los componentes de una etapa amplificadora.

## Consejos de estudio



## El transistor bipolar

Es un semiconductor formado básicamente por dos uniones P-N conectadas en oposición.

Hay dos tipos de transistores bipolares: el NPN y el PNP. En el NPN la corriente es mayoritariamente de electrones, y en el PNP la corriente es mayoritariamente de huecos, es decir, de falta de electrones.

En la figura 1 puedes ver la estructura y simbología de cada tipo.

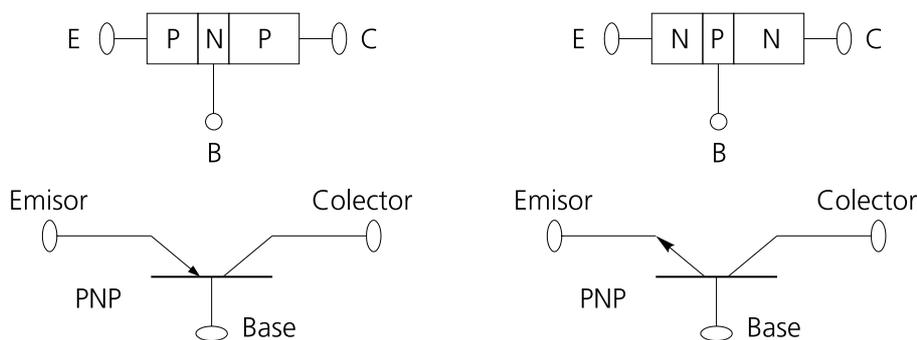


Fig. 1: Estructuras y símbolos del transistor bipolar.

Las dos uniones están muy cercanas, de tal modo que haya interacción entre ellas. Para conseguirlo, la zona del medio, denominada **base**, se hace muy fina (ha de ser más delgada que la distancia media de difusión de los portadores de carga) y se dopa ligeramente. Por el contrario, la zona de **emisor** está fuertemente dopada y se encarga de suministrar o inyectar los portadores de carga. La zona de **colector** está medianamente dopada y recoge los portadores de carga.

En la figura 2 puedes ver el aspecto físico de algunos transistores.

**Para realizar el estudio del transistor nos referiremos a los del tipo NPN, que podemos hacer extensivo a transistores PNP sin más que cambiar de sentido las corrientes y las polaridades de las tensiones.**

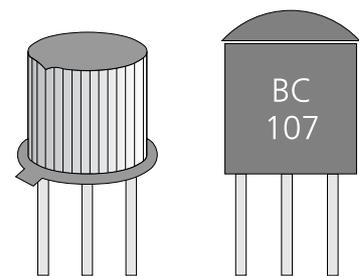


Fig. 2  
Aspecto físico.

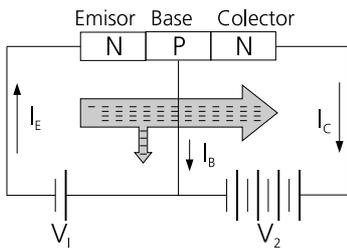


Fig. 3  
Flujos de corriente electrónica en el transistor NPN.

Fíjate en la figura 3. Si polarizamos directamente la unión base-emisor (una tensión mínima superior a la umbral es suficiente) e inversamente la unión base-colector (una tensión mucho mayor que la anterior), ocurre que la mayoría de electrones del emisor atraviesan la primera unión al ser atraídos por los potenciales positivos de la base y del colector.

Dado que la base se satura rápidamente circulará por ella una pequeña corriente; además, el potencial positivo del colector es mucho mayor que el de la base, con lo cual la mayor parte de los electrones irán por extracción hacia el colector y circularán por el circuito exterior.

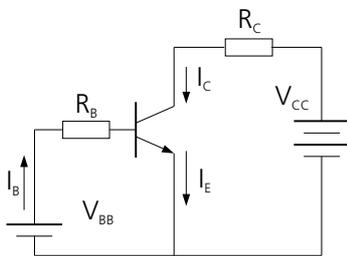


Fig. 4: Transistor polarizado.

En la figura 4 puedes ver el transistor polarizado con las corrientes en el sentido convencional. Esa pequeña corriente de base es muy importante, ya que si no existiese no habría corriente de colector. Vemos que con una pequeña corriente de base podemos gobernar una gran corriente de colector.

El transistor, por ser un dispositivo de tres terminales, presenta seis variables que están relacionadas entre sí. En la figura 5 vemos las diferentes corrientes y tensiones existentes.

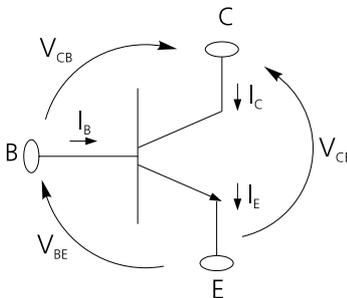


Fig. 5  
Tensiones y corrientes en un transistor NPN.

Entre estas variables que influyen sobre el funcionamiento del transistor, hay relaciones importantes:

- Relación de corrientes:  $I_E = I_C + I_B$
- Relación de tensiones:  $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$
- El parámetro *beta* también denominado  $H_{FE}$ :  $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

La **ganancia de intensidad** de un transistor es la relación entre la corriente de **colector** y la de **base**.

## 1. El transistor en emisor común

Una de las principales aplicaciones del transistor es la amplificación\*. Los amplificadores se pueden clasificar de distintas maneras:

- **Atendiendo a la frecuencia;** tenemos amplificadores de alta frecuencia y de baja frecuencia.
- **Atendiendo a la variable;** los hay de tensión y de corriente.
- **Atendiendo a su configuración\*;** tenemos amplificadores en emisor común en base común, y en colector común.

En la figura 6, donde  $R_B$  y  $R_C$  limitan las corrientes máximas que pueden circular por el transistor, si variamos  $V_{BB}$  conseguiremos distintos valores de  $I_{B'}$ , pero si mantenemos constante esta corriente a un valor determinado y variamos  $V_{CC}$  variaremos a su vez  $V_{CE}$  lo cual implica una variación de  $I_C$ .

Manteniendo la corriente de base constante, podemos construir una gráfica de  $I_C$  en función de  $V_{CE}$ .

Si ajustamos nuevos valores de la corriente de base y repetimos el proceso, obtendremos otras curvas. A la familia de curvas así obtenidas se le llama **curvas características de colector**. En la figura 7 puedes verlas.

Si se aumenta exageradamente  $V_{CE}$  podemos destruir el transistor por efecto avalancha. Los fabricantes indican un valor máximo que no ha de ser sobrepasado bajo ninguna circunstancia.

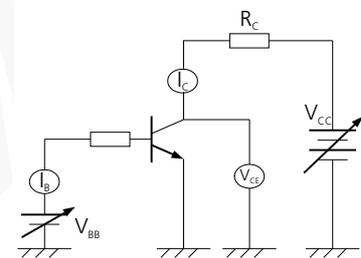


Fig. 6  
Disposición para obtener las características de colector.

## 2. Zonas de funcionamiento

Si te fijas en la figura 7, verás que hay tres zonas de trabajo:

### A. Saturación

El transistor se comporta como un interruptor cerrado entre emisor y colector. La corriente que circula por el circuito de colector ha de ser limitada por el circuito exterior.

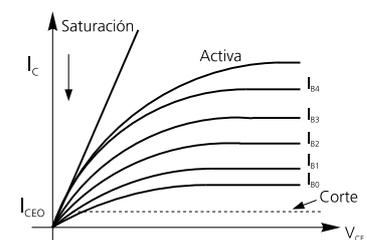


Fig. 7.  
Curvas características de colector.

## B. Activa o lineal

El transistor se comporta como una fuente de corriente, determinada por la corriente de base. Para hacer trabajar al transistor en esta zona, la unión base-emisor ha de estar polarizada en directo, y la unión base-colector en inverso.

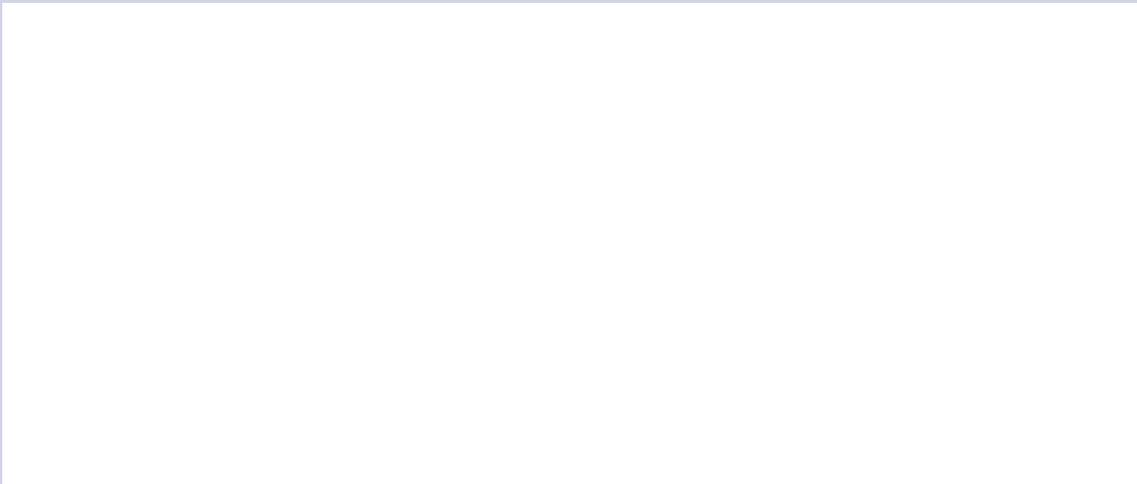
## C. Corte

La unión base-emisor ha de estar polarizada en inverso y la unión base-colector en inverso también. La corriente de colector es prácticamente nula. En esta zona, el transistor se comporta como un interruptor abierto.

### ACTIVIDAD 1

Dibuja el símbolo de:

- Un transistor bipolar NPN.
- Un transistor bipolar PNP.



### 3. La recta de carga

En la figura 8 puedes observar un circuito de polarización estática de un transistor NPN.

Vamos a trazar la recta de carga sobre la familia de curvas de colector.

Analizando la malla de colector vamos a sacar dos puntos de intersección con los ejes que, al unirlos, nos darán la recta de carga.

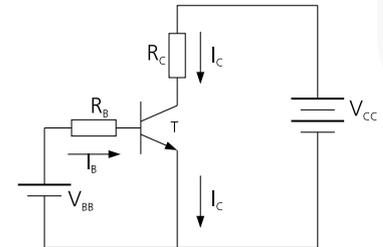


Fig. 8  
Circuito de polarización estática de un transistor NPN.

La ecuación de la malla de colector es:  $V_{CC} = V_{RC} + V_{CE}$

- Con el transistor en corte sabemos que  $I_C = 0$ , por tanto  $V_{CC} = V_{CE}$
- Con el transistor en saturación tenemos  $V_{CE} = 0$ ,  $V_{CC} = V_{RC} = I_C \cdot R_C$   
de donde  $I_C = \frac{V_{RC}}{R_C}$

Si unimos esos dos puntos ya tenemos la recta de carga.

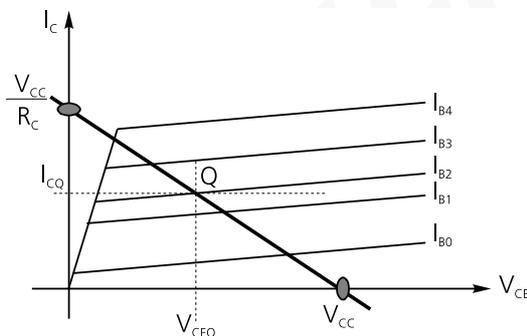


Fig. 9: Recta de carga del circuito de la figura 8.

Cualquier variación de la corriente de base provocará variaciones

de  $I_C$  entre 0 y  $\frac{V_{RC}}{R_C}$  y de  $V_{CE}$  entre 0 y  $V_{CC}$

Para ver las condiciones de trabajo del transistor fíjate en las curvas de colector de la figura 9.

Para un valor concreto de  $I_B$ , la proyección de ese punto sobre ambos ejes determina los valores de  $I_{CQ}$  y de  $V_{CEQ}$ . Este punto se llama **punto de trabajo** y es el que determina las condiciones de trabajo estáticas del transistor.

## Verificación de transistores

Podemos comprobar el estado de un transistor haciendo unas mediciones de resistencia, en ambos sentidos, entre la base y los demás terminales. En un sentido la resistencia medida ha de ser pequeña, y, en otro, grande. También se puede emplear un transistorómetro que es un instrumento creado para ello.

### ACTIVIDAD 2

Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- Un transistor en saturación funciona como un interruptor abierto.
- Un transistor en corte funciona como un interruptor cerrado.
- Un transistor en saturación funciona como un interruptor cerrado.

| V                        | F                        |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

### Circuito autopolarizado

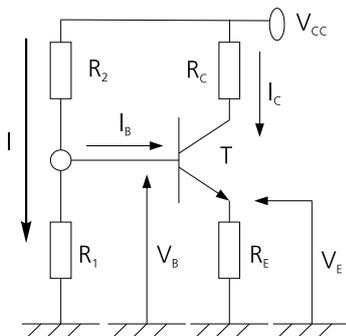


Fig. 10  
Transistor autopolarizado.

Podemos observar por las curvas que, a medida que la corriente de base se va haciendo mayor, la pendiente aumenta; esto quiere decir que  $\beta$  no es constante. Además  $\beta$  varía con la temperatura. Por otra parte, la temperatura también influye sobre  $V_{BE}$  que varía aproximadamente  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Para evitar este deslizamiento del punto de trabajo sobre la recta de carga, el transistor se polariza de la forma más adecuada, que es la que ves en la figura 10. Se dice que el transistor está autopolarizado o con polarización universal. Esta es la forma de polarización más adecuada para hacer trabajar al transistor en la zona lineal.

Observa la figura 10, si manteniendo  $V_B$  constante se produce un aumento de  $I_C$  provocará un aumento de  $V_E$  con lo cual disminuye  $V_{BE}$  y también la corriente de base. Esta disminución de  $I_B$  conlleva la corrección de la desviación de  $I_C$ . Por esto se dice que es **autopolarizado**.

Para calcular los valores de los componentes se suele fijar la tensión de colector en el punto medio de la alimentación y el valor de la corriente de colector que deseamos.

Calculamos:

$$R_C = \frac{V_{CC} - \frac{V_{CC}}{2}}{I_C}$$

El valor de  $R_E$  se suele hacer  $R_E \leq \frac{R_C}{10}$ ,

dado que  $I_E \approx I_C$

$$V_E = I_C \cdot R_E$$

siendo

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

Fijamos  $I = 10 \cdot I_B$  para poder despreciar la intensidad de base con respecto a la que pasa por  $R_1$  y  $R_2$ , y calculamos las dos resistencias.

$$R_1 = \frac{V_B}{10 \cdot I_B}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_B}{10 \cdot I_B}$$

Date cuenta de que los cálculos los hemos realizado con aproximaciones, con lo cual las condiciones en las que va a trabajar el circuito presentará desviaciones con respecto a las previstas inicialmente.

## Amplificador en emisor común

Vamos a ver un amplificador de baja frecuencia, con lo cual podemos despreciar las capacidades parásitas internas del propio transistor. Se trata de que, aplicando una pequeña señal de alterna en la entrada, ésta aparezca en la salida aumentada de valor pero sin distorsión\*.

Generalmente un circuito amplificador incluye condensadores para que dejen pasar la componente alterna e impidan el paso de la componente continua. Observa el circuito de la figura 11. Representa un amplificador en emisor común y te habrás dado cuenta de que es autopolarizado.

La señal de entrada se aplica en la base y la salida se toma en el colector.

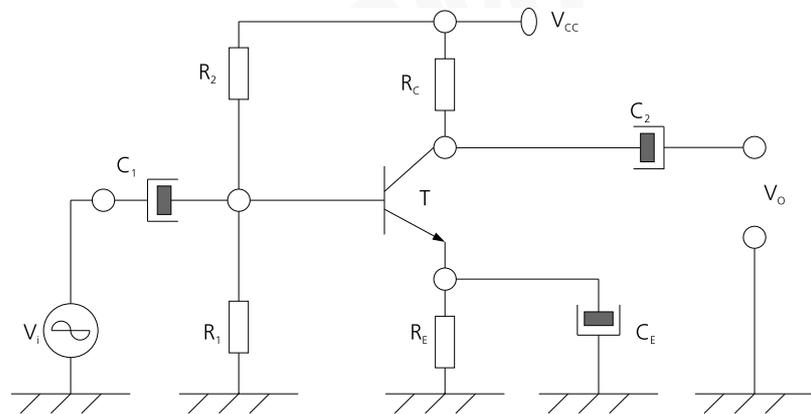


Fig. 11: Amplificador en emisor común autopolarizado.

Para el análisis de amplificadores se suele considerar el circuito como dos independientes, uno para alterna y otro para continua.

Luego se aplica el teorema de superposición que consiste básicamente en sumar las respuestas de cualquier magnitud en cualquier punto en el mismo instante.

El circuito equivalente para **alterna** lo tienes en la figura 12. Para obtenerlo solamente tienes que mirar el circuito original, cortocircuitar la alimentación y **considerar los condensadores como cortocircuitos**.

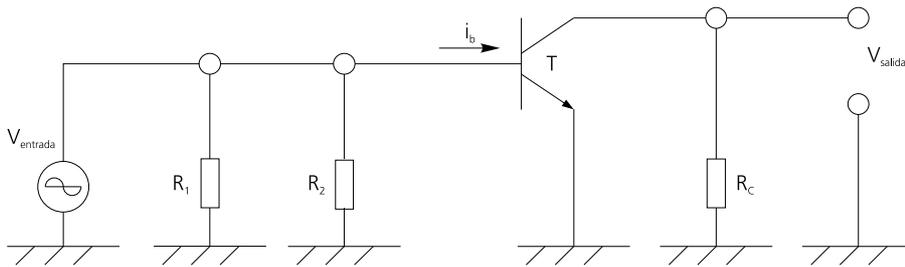


Fig. 12: Circuito equivalente para señal alterna.

El circuito equivalente de **continua** lo tienes en la figura 13. Para obtenerlo se ha cortocircuitado el generador de señal y **se han considerado los condensadores como circuitos abiertos**.

Las características de cualquier amplificador vienen dadas por unos parámetros, como son:

- Ganancia de tensión  $Z_i$
- Ganancia de corriente  $Z_o$
- Impedancia de entrada  $A_v$
- Impedancia de salida  $A_i$

En la figura 14 tienes el circuito equivalente del transistor para señal alterna.

El valor de esa resistencia denominada **dinámica** es:

$$r_e = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E} = \frac{V_{be}}{i_e}$$

y aunque no es constante se suele tomar

$$r_e = \frac{25 \text{ mV}}{I_E}$$

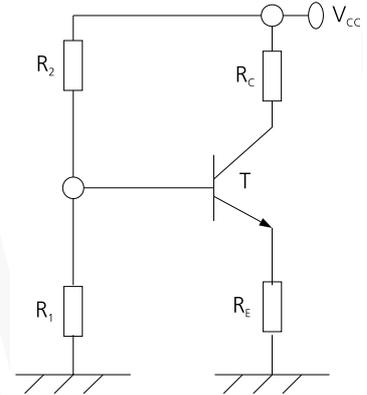


Fig. 13  
Circuito equivalente para continua.

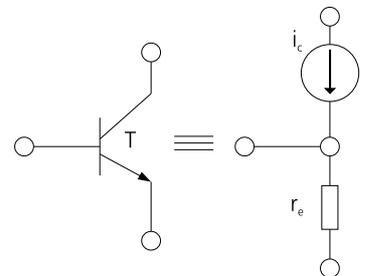


Fig. 14  
Circuito equivalente del transistor para señal.

## 1. Ganancia de tensión

Relaciona la tensión de salida con la tensión de entrada.

$$A_V = \frac{V_o}{V_i}$$

Sustituyendo el circuito equivalente del transistor para pequeña señal en el circuito de alterna, obtenemos:

$$v_o = R_C \cdot i_c$$

$$v = r_e \cdot i_e$$

pero como  $i_c = i_e$

$$A_V = \frac{R_C}{r_e}$$

El signo negativo indica un **desfase** entre la señal de entrada y la de salida de 180°.

Si no hubiera condensador de emisor la ganancia de tensión sería:

$$A_V \approx -\frac{R_C}{R_e + r_e}$$

## 2. Ganancia de corriente

La ganancia de corriente relaciona la corriente de salida con la de entrada.

La ganancia de corriente para señal del transistor viene en tablas como  $h_{fe}$ . Para el circuito, la ganancia de corriente será:

$$A_i = \frac{I_o}{i_i}, \quad i_o = \frac{V_o}{Z_o}, \quad i_i = \frac{V_i}{Z_i}$$

por tanto,

$$A_i = \frac{v_o \cdot Z_i}{v_i \cdot Z_o}$$

### 3. Impedancia de entrada

Es la resistencia que "ve" el generador al conectarlo a la entrada del circuito.

La resistencia de entrada del transistor para señal será:

$$Z_1 = \frac{V_{be}}{i_b}$$

$$i_e \approx h_{fe} \cdot i_b$$

$$Z_i = h_{fe} \frac{V_{be}}{i_e} = h_{fe} \cdot r_e$$

y para el circuito será:

$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{fe} \cdot r_e$$

En la figura 15 puedes ver un circuito práctico para hallar la impedancia de entrada.

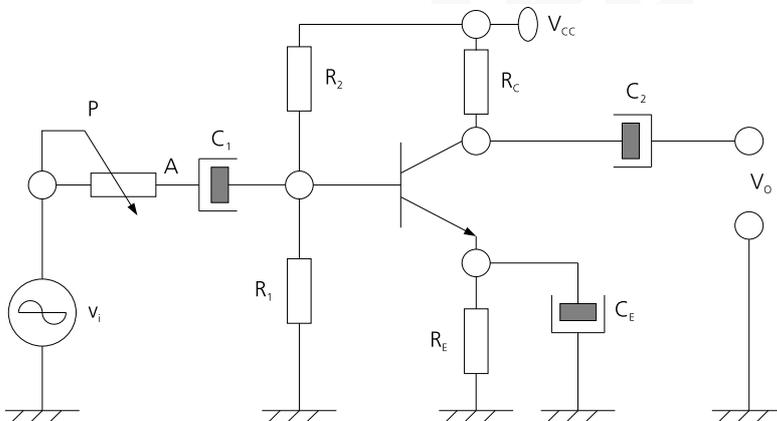


Fig. 15: Montaje para ver la impedancia de entrada.

El proceso es el siguiente:

Primero mides con el osciloscopio en el punto A la señal del circuito de la figura 11, es decir, sin conectar el potenciómetro P. Seguidamente, intercalas el potenciómetro P tal como está en la figura 15 y vas variando el cursor hasta que el nivel de señal que observes sea la mitad del anterior.

Cuando así ocurra, quitas el potenciómetro P y mides la resistencia que presenta. Esa es la impedancia de entrada del circuito.

## 4. Impedancia de salida

Es la resistencia que se "ve" desde la salida hacia la entrada.

Para el transistor será:

$$Z_{OT} = \frac{V_{ce}}{i_c}$$

y para el circuito:

$$Z_o = Z_{OT} \parallel R_C$$

En la práctica suele ser:

$$Z_o = R_C$$

En la figura 16 puedes ver un circuito práctico para hallar la impedancia de entrada:

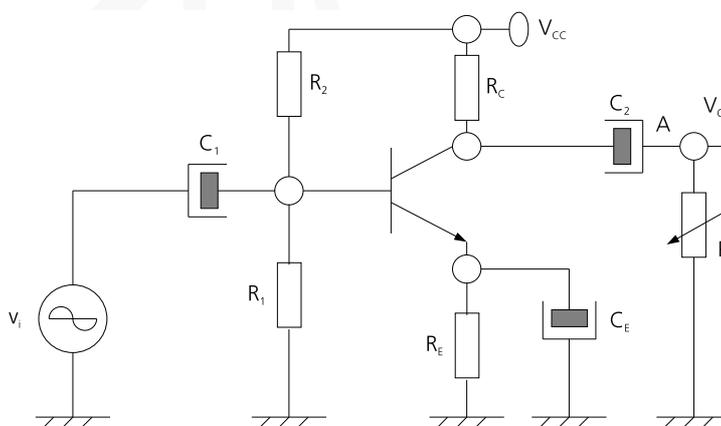


Fig. 16. Montaje para ver la impedancia de salida.

El procedimiento es el siguiente:

Primero mides con el osciloscopio en el punto A la señal del circuito de la figura 11, es decir, sin conectar el potenciómetro P. Seguidamente, intercalas el potenciómetro P tal como está en la figura 16 y vas variando el cursor hasta que el nivel de señal que observes sea la mitad del anterior.

Cuando así ocurra quitas el potenciómetro P y mides la resistencia que presenta. Esa es la impedancia de entrada del circuito.

## 5. Condensadores

Para hallar el valor de los condensadores se fija la frecuencia mínima de amplificación y se hace lo siguiente:

Para el **condensador de entrada** se toma:

$$Z_o \geq 10 \cdot X_{C_1}$$

$$X_{C_1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{min} \cdot C_1}$$

con lo cual,

$$C_1 \geq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{min} \cdot \frac{Z_i}{10}}$$

Para el **condensador de salida** se toma:

$$Z_o \geq 10 \cdot X_{C_2}$$

$$X_{C_2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{min} \cdot C_2}$$

por tanto,

$$C_2 \geq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{min} \cdot \frac{Z_o}{10}}$$

Para hallar el valor del **condensador de emisor** se toma

$$R_E \geq 10 \cdot X_{C_E}$$

y se hace lo mismo que antes para la frecuencia mínima.

Gracias a este condensador la ganancia va a ser muy elevada y pueden producirse inestabilidades o distorsiones, pero para evitarlo podemos poner una resistencia adecuada en serie con el mismo.

---

Si consideras que has concluido el estudio de esta unidad, intenta responder a las siguientes cuestiones de autoevaluación.

## Cuestiones de autoevaluación

1

Clasifica los amplificadores por el tipo de configuración.

2

Cita tres zonas de funcionamiento del transistor bipolar.

3

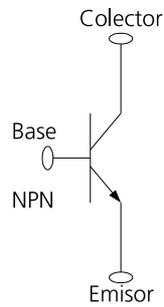
¿Para qué sirve la recta de carga?

## Respuestas a las actividades

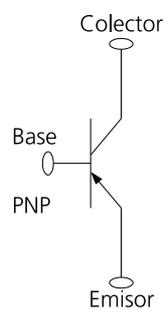
**R**

### ACTIVIDAD 1

a.



b.

**R**

### ACTIVIDAD 2

- Falso:** en saturación el transistor es como un interruptor cerrado.
- Falso:** en corte el transistor es como un interruptor abierto.
- Verdadero.**

---

## Respuestas a las cuestiones de autoevaluación

1 Según el tipo de configuración, los amplificadores se pueden clasificar en:

- Emisor común.
- Base común.
- Colector común.

2 Entre las zonas de funcionamiento del transistor bipolar, pueden citarse las siguientes:

- Zona activa.
- Zona de corte.
- Zona de saturación.

3 La recta de carga nos permite obtener el **punto de trabajo Q** del transistor.

# Resumen de Unidad

**Transistor bipolar** El transistor bipolar está constituido por dos uniones PN y los hay de dos tipos: NPN y PNP. Poseen tres terminales denominados: **base, emisor y colector.**

La ganancia de corriente nos la proporciona el parámetro  $\beta$ , que relaciona la corriente de base con la de colector:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

**Zonas de funcionamiento** Según como estén polarizadas las uniones, se distinguen tres zonas de funcionamiento:

- **Saturación:** El transistor se comporta como un interruptor cerrado entre emisor y colector.
- **Activa o lineal:** El transistor convierte las pequeñas variaciones de la corriente de base en grandes corrientes de colector.
- **Corte:** La corriente de colector es prácticamente nula y el transistor se comporta como un interruptor abierto entre colector-emisor.

**Punto de trabajo** La recta de carga nos permite visualizar el punto de trabajo Q del transistor.

Para comprobar el estado de un transistor podemos efectuar medidas de resistencia o bien emplear un **transistómetro.**

**Polarización** El transistor debe polarizarse de tal manera que mantenga estable el punto de trabajo. El circuito de polarización más adecuado cuando el transistor trabaja en la zona activa, es el autopolarizado también denominado **universal.**

**Amplificación** Para analizar un amplificador se suele hacer por partes, separando la parte de continua y la de alterna, para luego aplicar el teorema de superposición. En un amplificador hay parámetros importantes como son las impedancias de entrada y salida, y las ganancias de corriente y tensión. En el diseño de una etapa amplificadora han de tenerse presentes las aproximaciones efectuadas para un buen funcionamiento.

---

## Notas



## Notas



## Vocabulario

**Amplificación:** cuando aplicamos una señal a la entrada de un circuito y en salida obtenemos esa misma señal ampliada.

**Configuración:** es la disposición que presentan los terminales del transistor frente a la señal de entrada y a la de salida, dependiendo su nombre del terminal común a ambas.

**Distorsión:** cuando a la entrada de un amplificador aplicamos una señal y la ganancia es excesiva la señal de salida aparece recortada en los extremos.



*FONDO  FORMACION*