

# EL42A - Circuitos Electrónicos

## Clase No. 7: Transistores Bipolares

Patricio Parada

pparada@ing.uchile.cl

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Chile

25 de Agosto de 2009

# Contenidos

## Transistores

Algo de historia . . .

Características del Dispositivo

Operación

- ▶ Diodos puede alterar la forma de una onda pero no pueden amplificar el valor de la señal.
- ▶ El transistor es el elemento encargado de cumplir esta labor.
- ▶ El primer transistor fue inventado en Bell Labs en 1947, por Walter Brattain y John Bardeen, bajo la supervisión de William Shockley.

## Introducción II

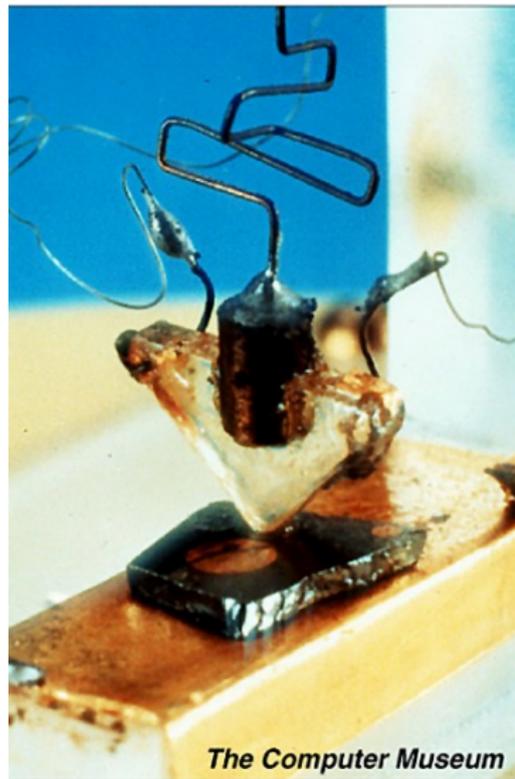
- ▶ El objetivo del trabajo era reemplazar los amplificadores de tubo que se utilizaban en la red telefónica de AT&T (American Telegraph and Telephone) por dispositivos más baratos y robustos.
- ▶ El transistor es un dispositivo semiconductor de al menos 3 terminales utilizado para amplificación y conmutación principalmente.



- ▶ El transistor inventado por Brattain, Bardeen y Shockley se conoce como **transistor de juntura bipolar** o BJT.
- ▶ Existe una segunda familia, igualmente importante, que estudiaremos dentro de poco, llamada **transistores de efecto de campo** o FET.

## El primer transistor I

- ▶ El primer transistor consistió de triángulo plástico envuelto con papel de oro (gold foil) con una pequeña ranura (hecha con una hoja de afeitar) en la punta) para generar dos contactos (Emisor y Colector) muy cercanos. El dispositivo descansaba sobre una placa de Germanio (base).
- ▶ Shockley, Brattain y Bardeen ganaron el Nobel de Física en 1956 por esta invención.
- ▶ Bardeen ganó en 1972 nuevamente el Nobel de Física en 1972 por su Teoría de la Superconductividad.
- ▶ A la fecha, la única persona en recibir dos Nóbeles de Física.

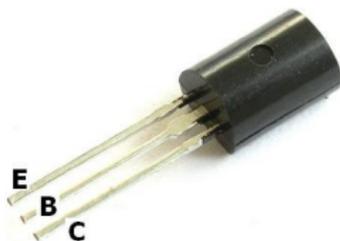


# Plan de Trabajo

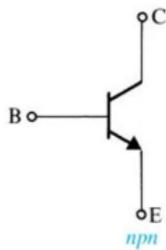
- ▶ Revisión a la estructura física del dispositivo.
- ▶ Característica de corriente y análisis DC.
- ▶ Uso de métodos aproximados DC
- ▶ Modelo de pequeña señal.

## Transistores de Juntura Bipolar

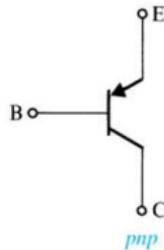
- ▶ Usualmente conocidos como BJT por *bipolar junction transistor*.
- ▶ Es un dispositivo de 3 terminales denominados: base (B), emisor (E) y colector (C).



- ▶ El símbolo del transistor es

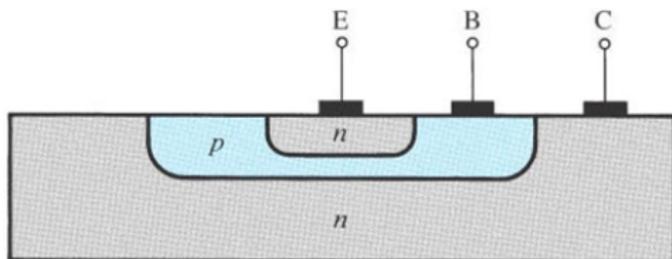


(a)



(b)

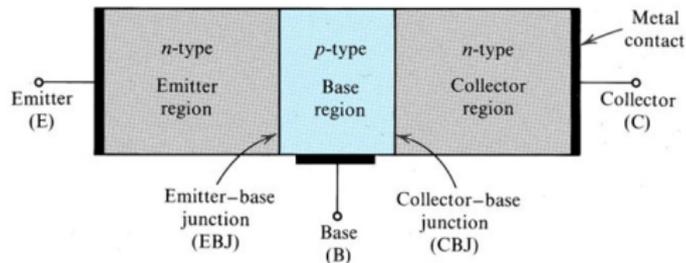
## Estructura Interna I



- ▶ El BJT es un dispositivo con tres regiones dopadas y dos junturas  $pn$ .
- ▶ Una juntura  $pn$  tiene dos modos de operación: directa e inversa.
- ▶ El BJT tiene 4 posibles modos de operación, dependiendo del tipo de polarización aplicado a cada juntura.

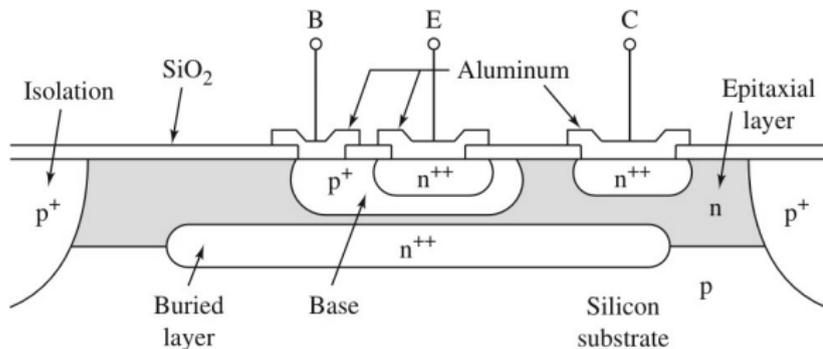
- ▶ Principio Básico de Operación: **la diferencia de voltaje entre dos terminales controla la corriente en el tercer terminal.**
- ▶ La corriente en el transistor se debe a la circulación de electrones y huecos, lo cual origina el nombre bipolar.
- ▶ Existen dos tipos de BJT: de tipo *nnp*, como el de la figura, y de tipo *pnp*.
- ▶ La operación depende de cuan delgada sea la región central. Usualmente es del orden  $10^{-6}$  m.

## Estructura Interna III



- ▶ Aunque uno puede “tentarse” a ver el dispositivo como un par de diodos conectados back-to-back, la operación es distinta por la corta distancia que usualmente separa las tres regiones.
- ▶ La estructura interna real de un BJT es usualmente más compleja, como lo indica la vista en corte presentada en la siguiente figura.

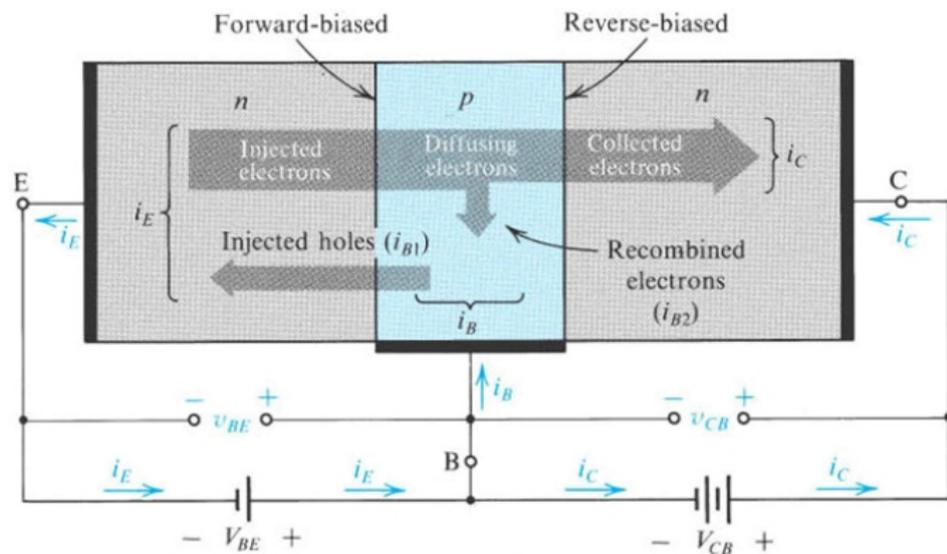
## Estructura Interna IV



- ▶ La asimetría geométrica del dispositivo compensa la diferencia entre las concentraciones de dopado en las tres regiones (en el orden)
  - ▶ emisor:  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$ .

- ▶ base:  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ .
  - ▶ colector:  $10^{15} \text{ cm}^{-3}$ .
- ▶ Este dispositivo se comporta en forma diferente si uno intercambia la circulación de corriente entre emisor y colector.

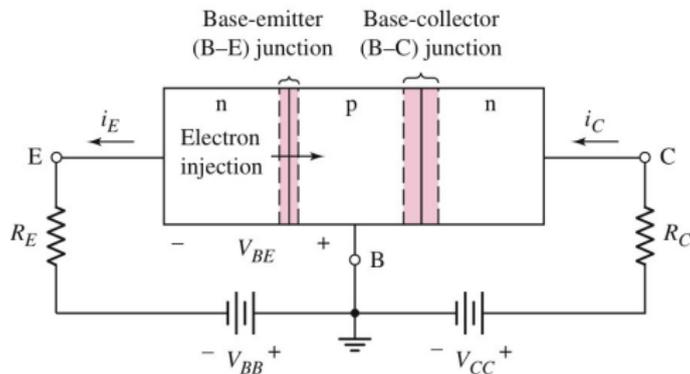
# Operación I



## Operación II

Juntura BE(EB)	Juntura BC(CB)	
inversa	inversa	corte
directa	inversa	activa
inversa	directa	activo en inversa
directa	directa	saturación

# Transistor *npn*: Operación Activa I

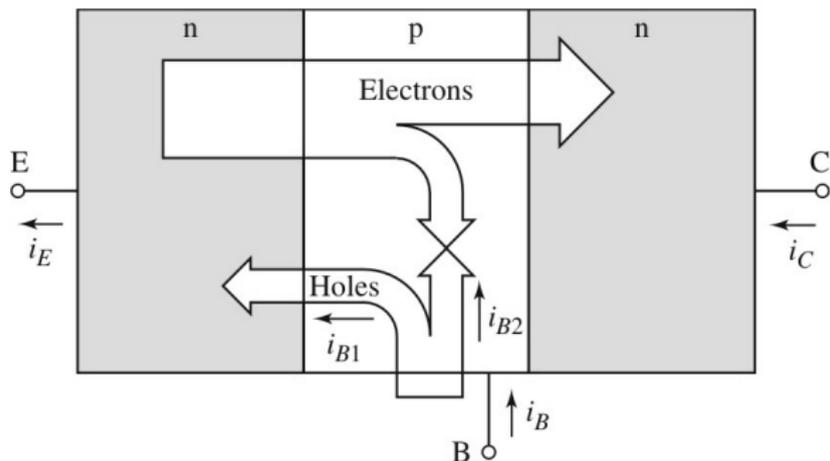


Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc.  
Permission is required for reproduction or display.

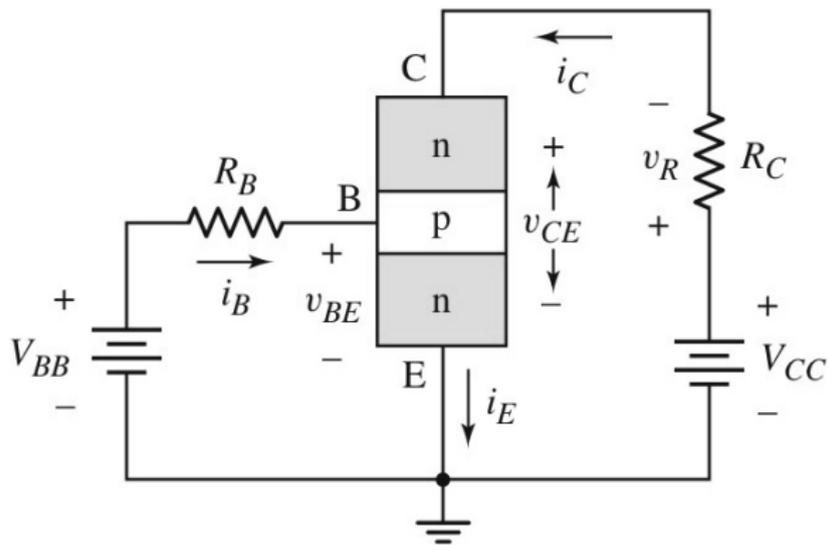
## Transistor *npn*: Operación Activa II

- ▶ La figura muestra un transistor idealizado funcionando en el modo activo.
- ▶ La juntura BE se encuentra polarizada en directa  $\Rightarrow$  electrones fluyen desde la juntura hacia la base, lo que crea un exceso de portadores minoritarios en la región.
- ▶ La juntura BC está polarizada en forma inversa, por lo que la concentración de electrones es casi nula en la interfaz de la juntura.
- ▶ Se busca que el efecto de recombinación de electrones y huecos en la base sea el menor posible, y ello se logra reduciendo la longitud de la región neutral de la base.

## Transistor *n**p**n*: Operación Activa III



## Transistor *npn*: Operación Activa IV



- ▶ Corriente de Emisor: La juntura BE se encuentra polarizada en forma directa, por lo tanto,

$$i_E = I_S[e^{v_{BE}/V_T} - 1] \approx I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad (1)$$

- ▶ Corriente de Colector: es similar a la del emisor si la corriente de difusión en la base es pequeña.

$$i_C = \alpha_F i_E = \alpha_F I_S e^{v_{BE}/V_T} \quad (2)$$

- ▶  $\alpha_F$  se conoce como **Ganancia de Corriente de Base Común**.
- ▶ Corriente en la Base: debido a dos fuentes

## Corrientes del Transistor II

- ▶ circulación de electrones debido a la polarización en directa de la juntura BE. Por lo tanto

$$i_{B1} \propto e^{v_{BE}/V_T} \quad (3)$$

- ▶ recombinación de electrones inyectados desde el emisor, que también es función de la forma

$$i_{B2} \propto e^{v_{BE}/V_T} \quad (4)$$

- ▶ En total

$$i_B \propto e^{v_{BE}/V_T} \quad (5)$$

- ▶ El cociente

$$\frac{i_C}{i_B} \doteq \beta_F \quad (6)$$

que recibe el nombre de **Ganancia de Corriente de Emisor Común**.

## Relaciones de Corriente en el npn en Modo Activo

$$i_E = i_C + i_B$$

$$i_C = \beta_F i_B$$

$$i_E = (1 + \beta_F) i_B = \frac{(1 + \beta_F)}{\beta_F} i_C.$$

$$\alpha_F = \frac{\beta_F}{1 + \beta_F}$$

$$\beta_F = \frac{\alpha_F}{1 + \alpha_F}$$