

## TEMA 3. TRANSISTOR BIPOLAR DE POTENCIA

### 3.1. INTRODUCCIÓN

### 3.2. CONSTITUCIÓN DEL BJT

### 3.3. FUNCIONAMIENTO DEL BJT

#### 3.3.1. Zona Activa

#### 3.3.2. Zona de Cuasi-Saturación

#### 3.3.3. Zona de Saturación

#### 3.3.4. Ganancia

### 3.4. TRANSISTOR DARLINGTON

### 3.5. EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN

### 3.6. EXCITACIÓN DEL BJT

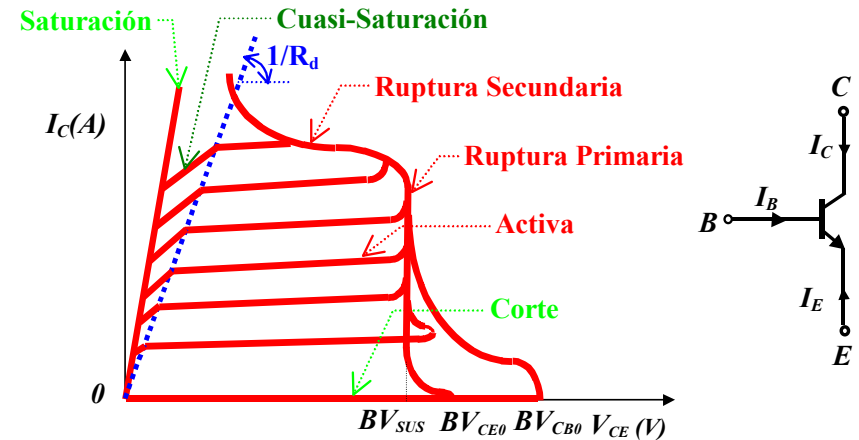
### 3.7. CONSIDERACIONES TÉRMICAS

### 3.8. AVALANCHA SECUNDARIA

### 3.9. ZONA DE OPERACIÓN SEGURA (SOA)

## INTRODUCCIÓN. Características Generales del BJT

El interés actual del Transistor Bipolar de Potencia (BJT) es muy limitado, ya que existen dispositivos de potencia con características muy superiores. Le dedicamos un tema porque es necesario conocer sus limitaciones para poder comprender el funcionamiento y limitaciones de otros dispositivos de gran importancia en la actualidad.



Característica de salida ( $I_C$  frente a  $V_{CE}$ ) del transistor NPN de potencia, para distintas corrientes de base,  $I_{B5} > I_{B4} > \dots > I_{B1}$  y Esquema del BJT de tipo NPN.

Valores máximos de  $V_{CE}$ :

$BV_{CB0} > BV_{CE0} > BV_{SUS}$   
 $BV_{SUS}$ : Continua.  
 $BV_{CE0}$ : Para  $I_B = 0$   
 $BV_{CB0}$ : Para  $I_E = 0$

Definición de Corte:

de  $I_C = -\alpha I_E + I_{C0}$ ;  $-I_E = I_C + I_B$ ;

se deduce:  $I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} \cdot I_B + \frac{1}{1-\alpha} \cdot I_{C0}$

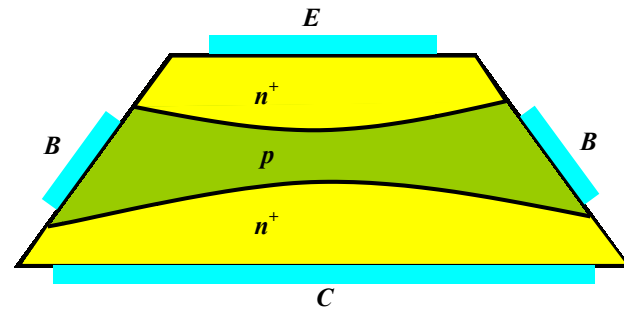
Posibles definiciones de corte:

a)  $I_B = 0 \Rightarrow I_C = \frac{1}{1-\alpha} \cdot I_{C0} \approx 10 \cdot I_{C0}$

b)  $I_E = 0 \Rightarrow I_C = I_{C0}$

Por tanto se considera el transistor cortado cuando se aplica una tensión  $V_{BE}$  ligeramente negativa  $\Rightarrow I_B = -I_C = -I_{C0}$

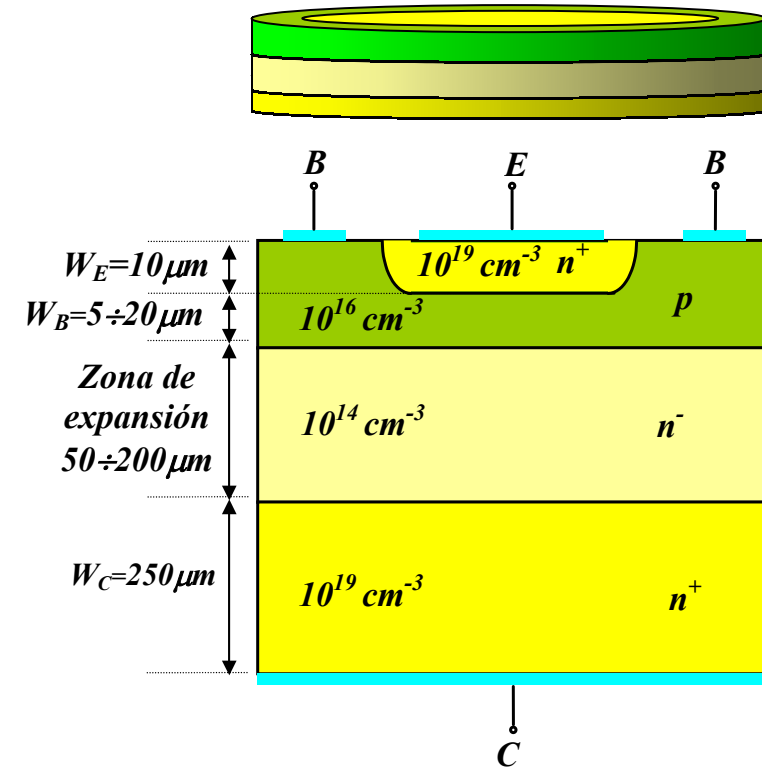
## CONSTITUCIÓN DEL BJT



Transistor Tipo Meseta (en desuso)

- La anchura de la base y su dopado serán lo menores posibles para conseguir una **ganancia** lo mayor posible (baja recombinación de los electrones que atraviesan la base).
- Para conseguir **BV elevada**, se necesita una anchura de base grande y un dopado pequeño.
  - El problema surge cuando el dopado es pequeño, pues para alojar la zona de depleción la base debe ser muy ancha, bajando la ganancia. Es por tanto necesario encontrar unos valores intermedios de compromiso.
  - Este compromiso implica que **los BJT de potencia tienen una ganancia típica de corriente entre 5 y 10**. (muy baja).

## CONSTITUCIÓN DEL BJT



Sección Vertical de un Transistor Bipolar de Potencia Típico

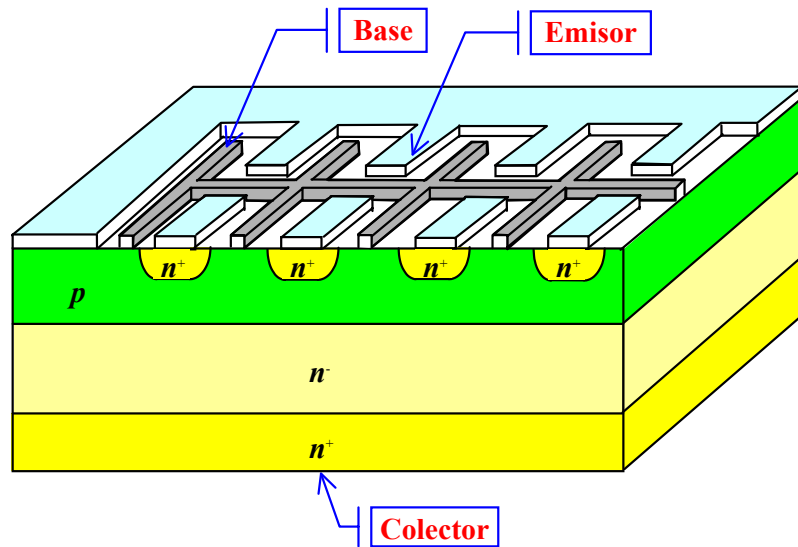
### Ventajas de la estructura vertical:

- Maximiza el área atravesada por la corriente:
  - Minimiza resistividad de las capas
  - Minimiza pérdidas en conducción
- Minimiza la resistencia térmica.

En la práctica, los transistores bipolares de potencia no se construyen como se ve en esta figura, sino que se construyen en forma de pequeñas celdillas como la representada, conectadas en paralelo.

Los dispositivos de potencia que estudiaremos en este curso se construyen empleando una estructura vertical y en forma de pequeñas celdillas en paralelo.

### CONSTITUCIÓN DEL BJT

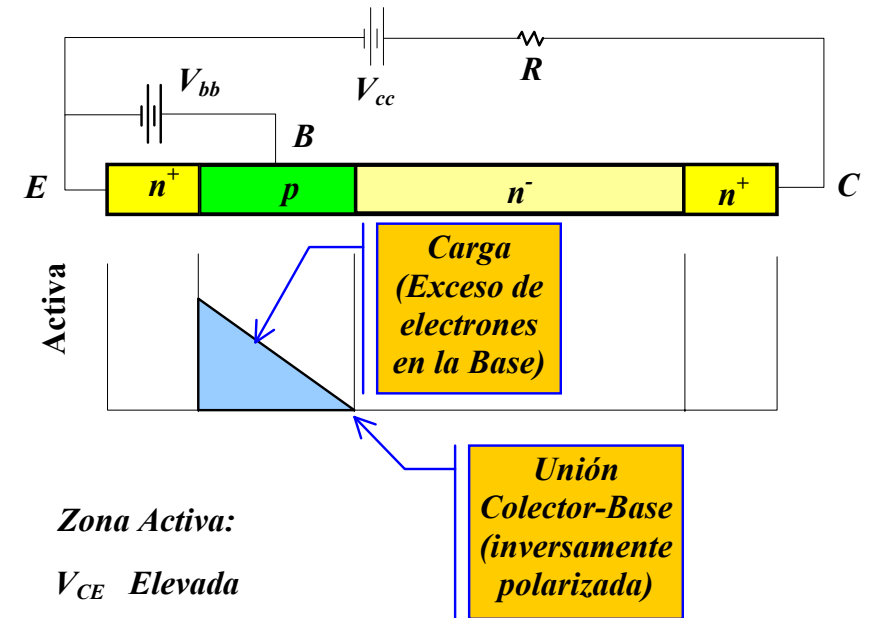


Sección Vertical de un Transistor Bipolar de Potencia Multiemisor de Tipo NPN

#### Ventajas de la estructura multiemisor:

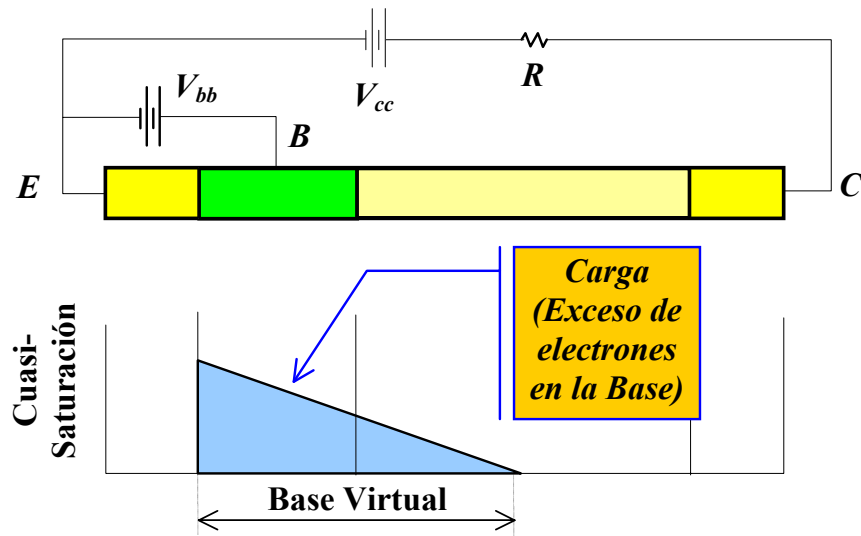
- Reduce la focalización de la corriente debida al potencial de la base causante de la avalancha secundaria.
- Reduce el valor de  $R_B$  (disminuye pérdidas y aumenta la frecuencia  $f_T$ ).

### FUNCIONAMIENTO DEL BJT. Zona Activa



Distribución de la carga almacenada en la base de un transistor bipolar de potencia típico en activa.

### FUNCIONAMIENTO DEL BJT. Zona de Cuasi-Saturación



Distribución de la carga almacenada en la base de un transistor bipolar de potencia típico, en Cuasi-Saturación.

#### Cuasi-Saturación:

En activa al subir  $I_B, I_C \uparrow \Rightarrow V_{CE} \downarrow (=V_{CC} - I_C R)$ .

Simultáneamente:  $V_{jCB} \downarrow (=V_{CE} - I_C R_d)$ . Donde  $R_d$  es la resistencia de la capa de expansión.

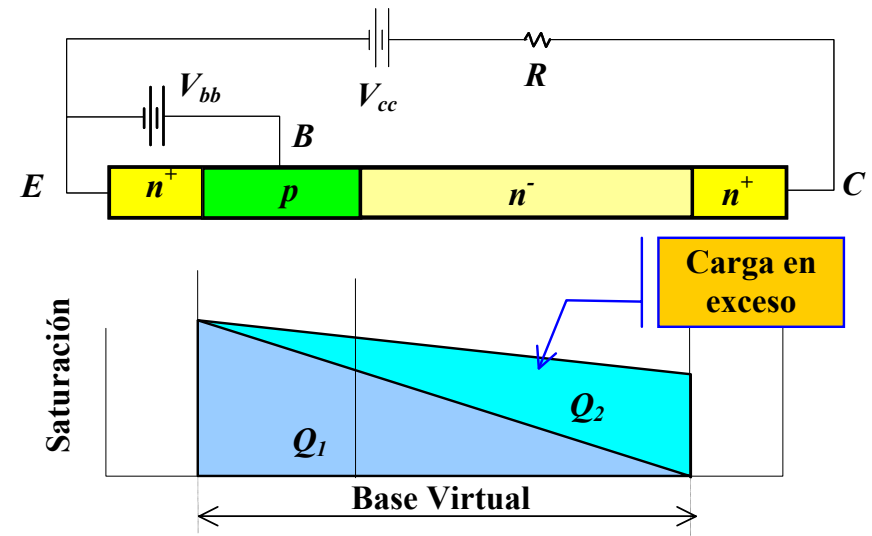
El límite de la zona activa se alcanza cuando:  $V_{jCB}=0$  ( $V_{CE} = I_C R_d$ ).

Si  $V_{jCB} > 0$  (Unión directamente polarizada):

Habrà inyección de huecos desde  $p$  a  $n^-$  (Recombinación con electrones procedentes del emisor en  $n^-$ )  $\Rightarrow$  Desplaz. a la derecha de la unión efectiva:

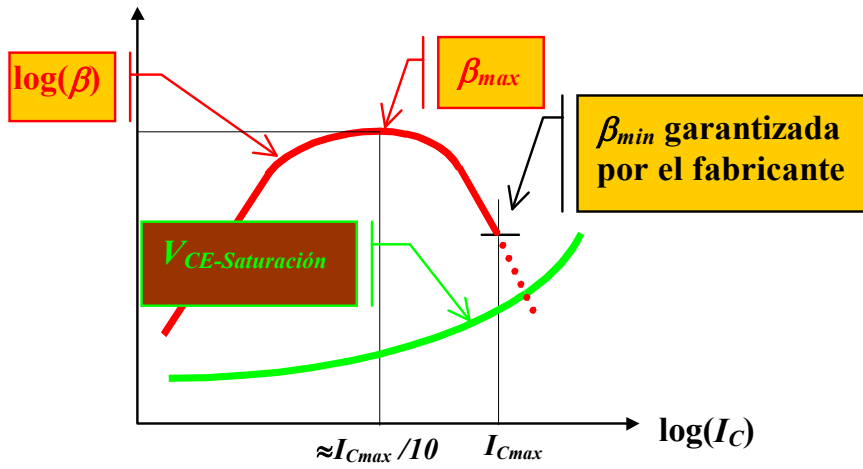
- $R_d$  Disminuye
- Aumento del ancho efectivo de la base.
- $\beta$  Disminuye

### FUNCIONAMIENTO DEL BJT. Zona de Saturación



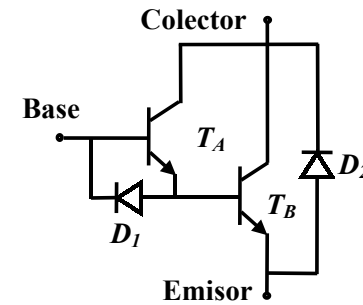
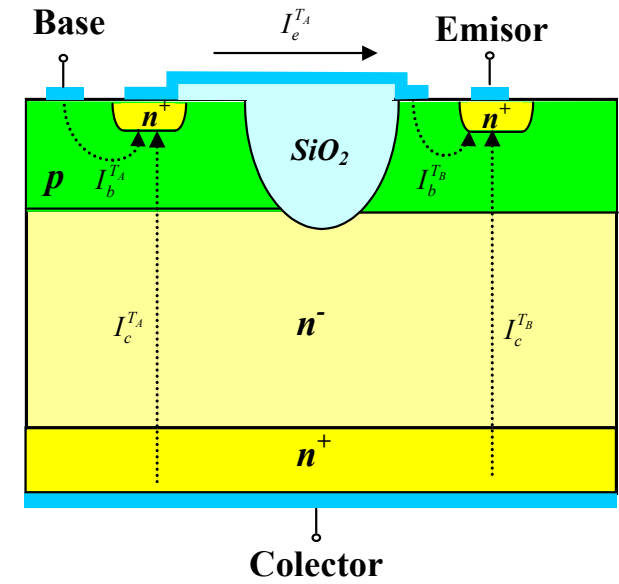
Distribución de la carga almacenada en la base de un transistor bipolar de potencia típico, en saturación.

### FUNCIONAMIENTO DEL BJT. Ganancia



Variación de  $\beta$  en Función de  $I_C$

### TRANSISTOR DARLINGTON

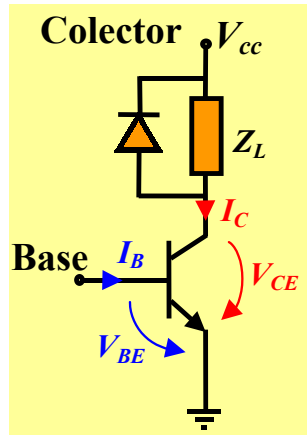


$$\beta = \beta_B \beta_A + \beta_B + \beta_A$$

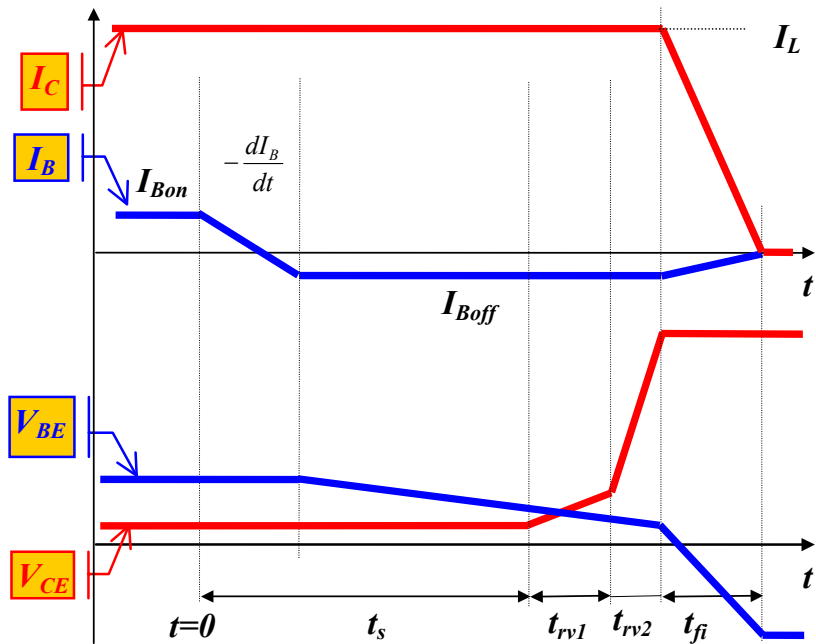
Estructura de un Par Darlington Monolítico

Montaje Darlington para Grandes Corrientes.

## EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN

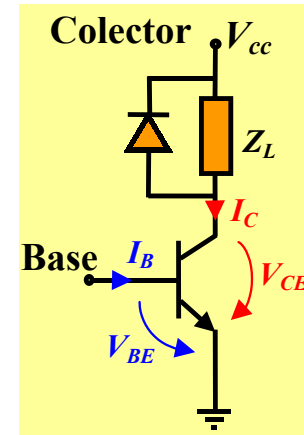


Interrupor BJT conmutando una Carga Inductiva

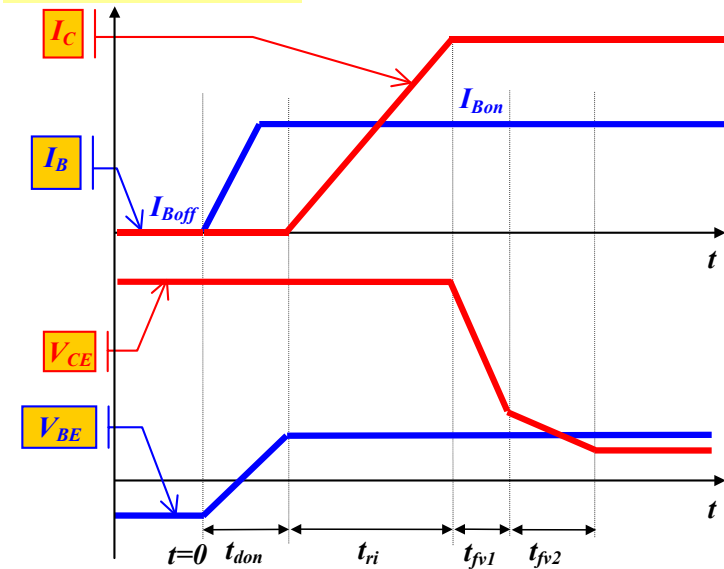


Proceso de conmutación: Corte

## EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN

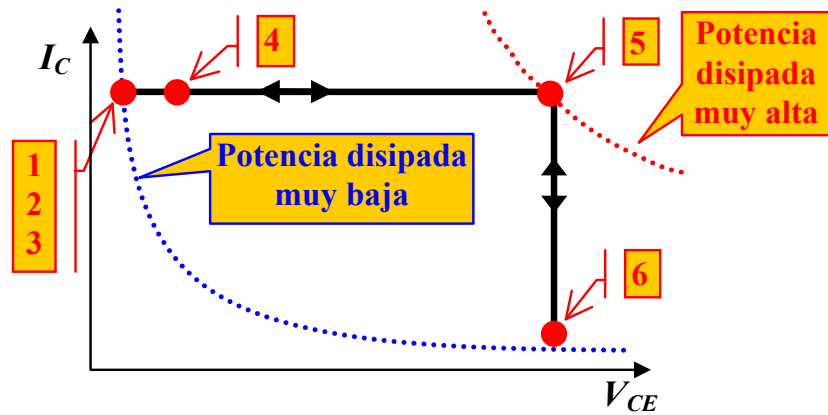


Interrupor BJT conmutando una Carga Inductiva

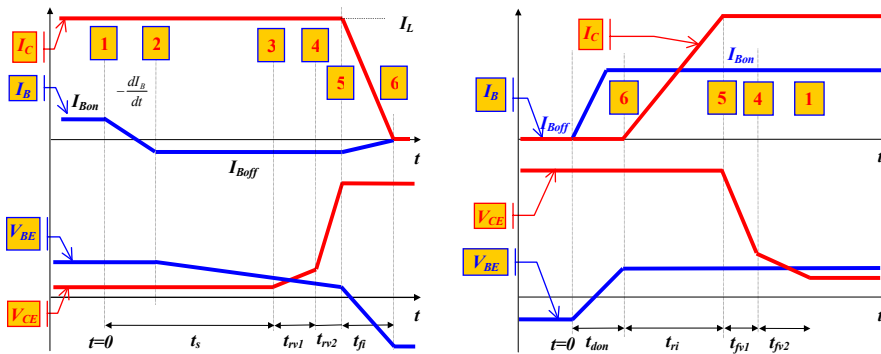


Proceso de conmutación: Saturación

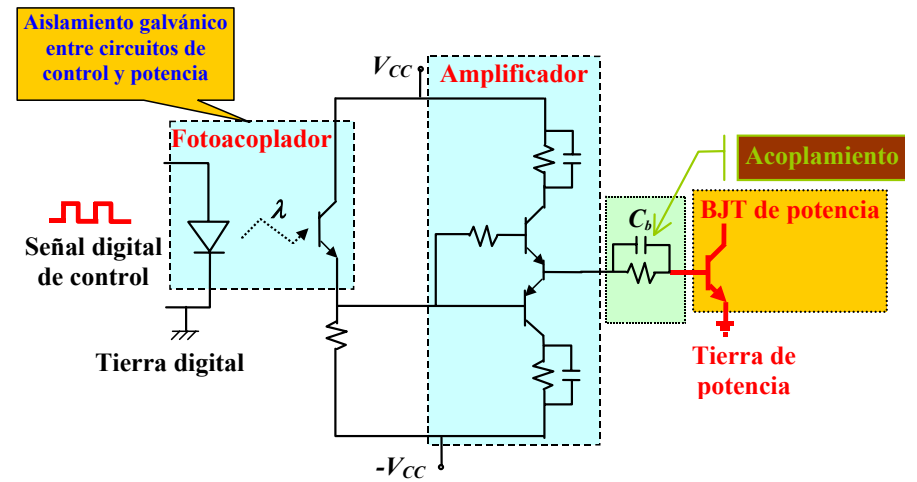
## EL TRANSISTOR EN CONMUTACIÓN



1, 2, 3, 4, 5 y 6: instantes de tiempo  
Trayectorias en el plano  $I_C$ - $V_{CE}$  durante la conmutación

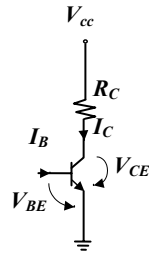
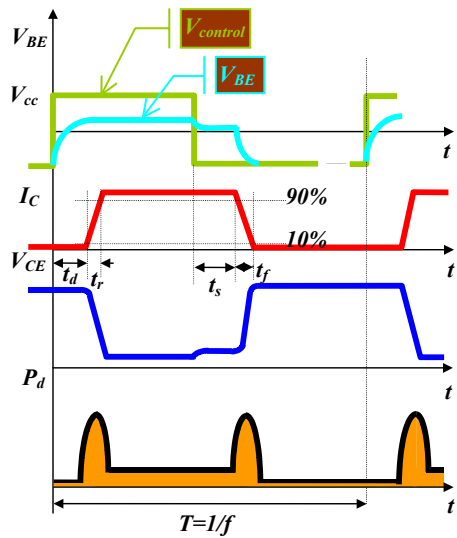


## EXCITACIÓN DEL BJT



Circuito Típico de Excitación de Base para *BJTs* de Potencia

## CONSIDERACIONES TÉRMICAS



Las **pérdidas en corte** suelen despreciarse al ser la corriente muy baja.

Las **pérdidas en conducción** pueden ser aproximadas por:

$$P_{on} = I_c \cdot V_{CEsat} \cdot \frac{T_{ON}}{T}$$

Las **pérdidas en conmutación** pueden estimarse suponiendo que la corriente y la tensión siguen una línea recta durante la conmutación:

$$dW_r = V_{CE} \cdot I_c \cdot dt + V_{BE} \cdot I_B \cdot dt \cong V_{CE} \cdot I_c \cdot dt = (V_{cc} - R_c \cdot I_{cmax} \cdot \frac{t}{t_r}) \cdot I_{cmax} \cdot \frac{t}{t_r} \cdot dt$$

$$R_c \cdot I_{cmax} = V_{cc} - V_{CEsat} \cong V_{cc} \quad (V_{CEsat} \cong 0) \Rightarrow dW_r = V_{cc} \cdot I_{cmax} \cdot (1 - \frac{t}{t_r}) \cdot \frac{t}{t_r} \cdot dt$$

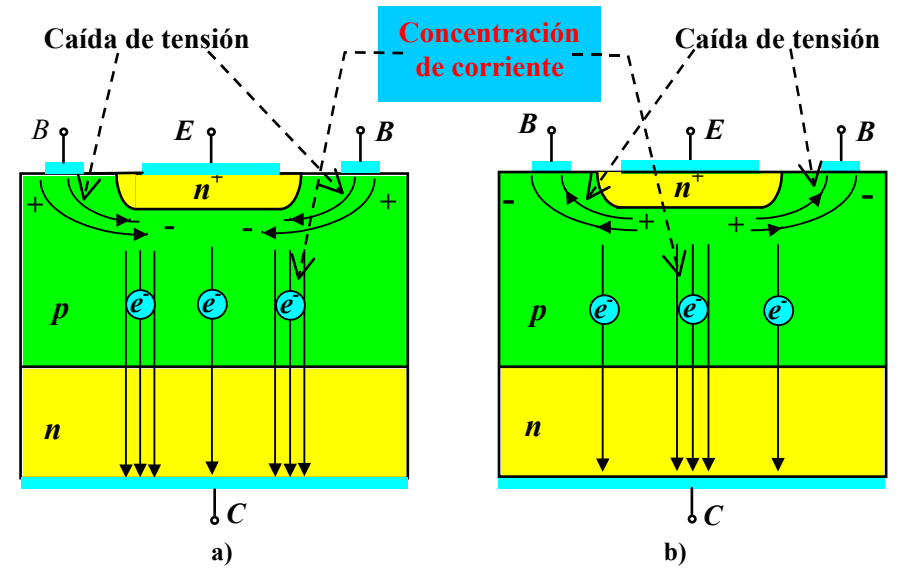
$$W_r = \int_0^{t_r} V_{cc} \cdot I_{cmax} \cdot (1 - \frac{t}{t_r}) \cdot \frac{t}{t_r} \cdot dt = \frac{1}{6} \cdot V_{cc} \cdot I_{cmax} \cdot t_r;$$

análogamente se hace para  $W_f$ :  $W_{com} = W_r + W_f = \frac{1}{6} \cdot V_{cc} \cdot I_{cmax} \cdot (t_r + t_f)$ ;

La potencia media disipada en el período  $T$  será por tanto:

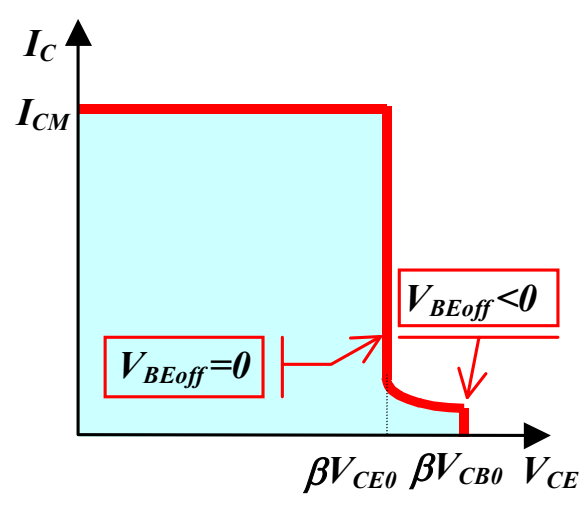
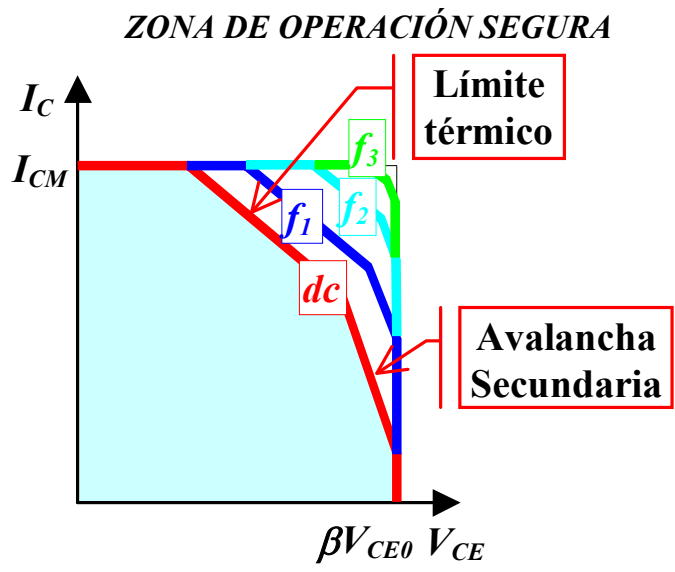
$$P_{com} = \frac{W_{com}}{T} = \frac{1}{6} \cdot V_{cc} \cdot I_{cmax} \cdot f \cdot (t_r + t_f)$$

## AVALANCHA SECUNDARIA



Concentración o Focalización de Corriente en un BJT. a) En la Conmutación a Saturación ( $I_B > 0$ ) y b) en la Conmutación a Corte ( $I_B < 0$ )





**Zonas de Operación Segura del Transistor Bipolar**