

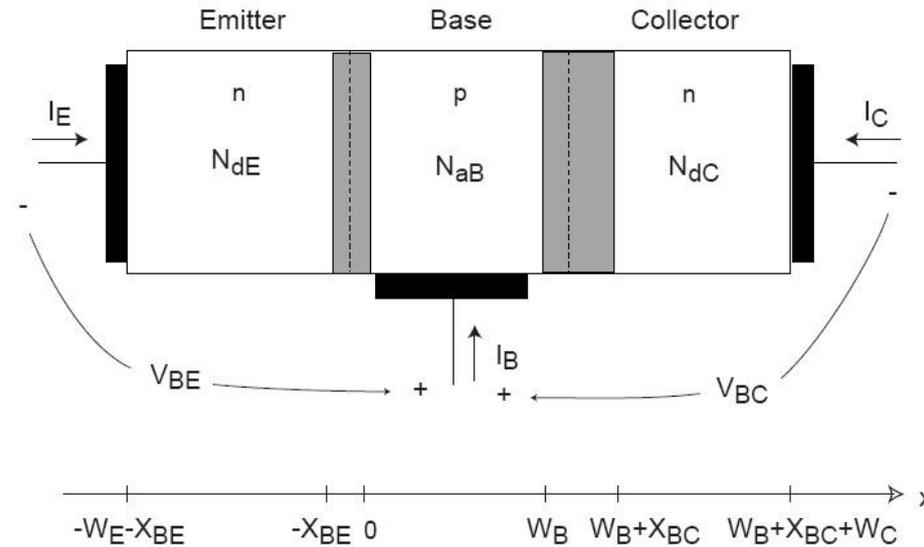
[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

# Transistor TBJ

**Transistor TBJ: Cálculo de Beta**

Dado un TBJ cuyos parámetros de fabricación son  $N_{DE} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ;  $N_{AB} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ;  $N_{DC} = 8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ;  $W_B = 200 \text{ nm}$ ;  $W_E = 300 \text{ nm}$ ;  $W_C = 1.5 \text{ }\mu\text{m}$ . El error en la determinación de los dopajes es del 50% y la resolución en las profundidades ( $W$ ) es  $\pm 20 \text{ nm}$ . Debido a las características del proceso de fabricación, se tiene que cuando  $W_B$  es máximo, entonces  $W_E$  es mínimo, y viceversa.

- Hallar el máximo y mínimo valor de  $\beta_F (h_{FE})$  para un transistor construido con este proceso.



## Hoja de datos de un TBJ NPN

$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 2 \text{ mA}; V_{CE} = 5 \text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4				
	BC546A; BC547A; BC548A		110	180	220	
	BC546B; BC547B; BC548B		200	290	450	
	BC547C; BC548C		420	520	800	
	BC547; BC548		110	–	800	
	BC546		110	–	450	
$V_{CE(sat)}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10 \text{ mA}; I_E = 0.5 \text{ mA}$	–	90	250	mV

## ¿Qué tipo de transistor es el del problema?

Emisor  $\rightarrow N_D = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \rightarrow \text{N}$

Base  $\rightarrow N_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3} \rightarrow \text{P}$

Colector  $\rightarrow N_D = 8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3} \rightarrow \text{N}$

## ¿Cómo me puedo acordar la fórmula de $\beta$ ?

Es la corriente de difusión de minoritarios en la base (electrones)

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{D_{n,B}}{N_{A,B} W_B}$$

(proporcional a  $D$ )

(inverso al dopaje)

(el gradiente es inverso al ancho)

¿Cómo me puedo acordar la fórmula de  $\beta$ ?

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{N_{D,E} W_E}{D_{p,E}}$$

(proporcional a  $D$ )

(inverso al dopaje)

(el gradiente es inverso al ancho)

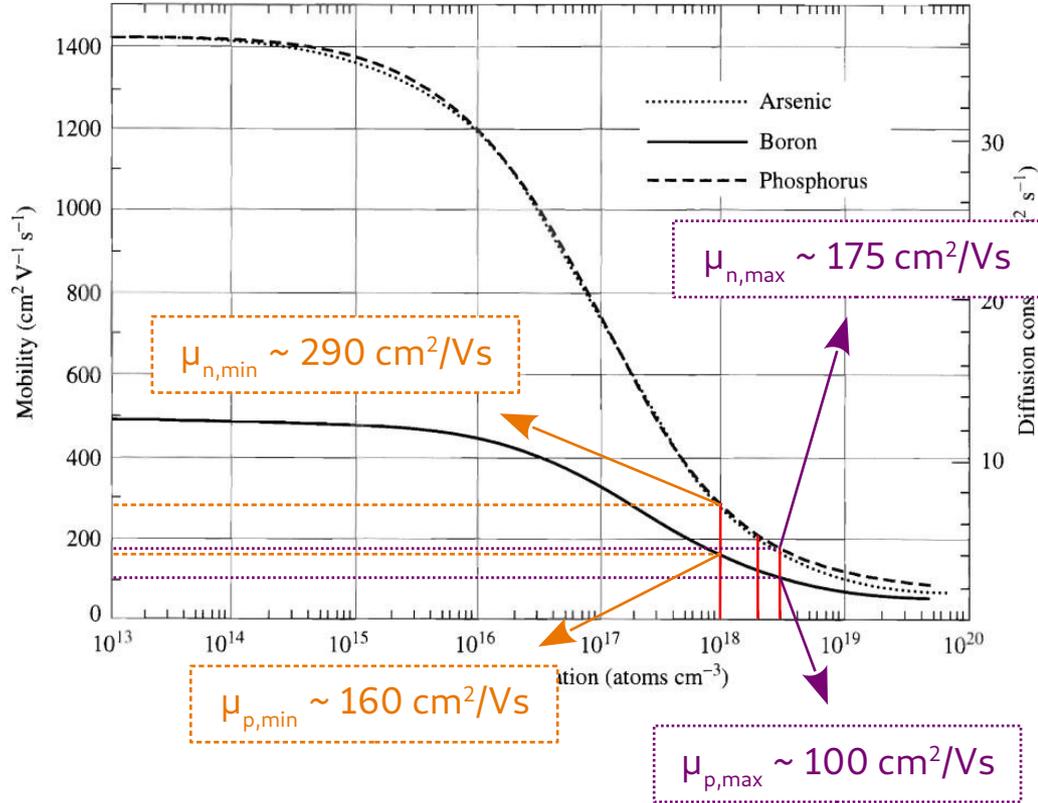
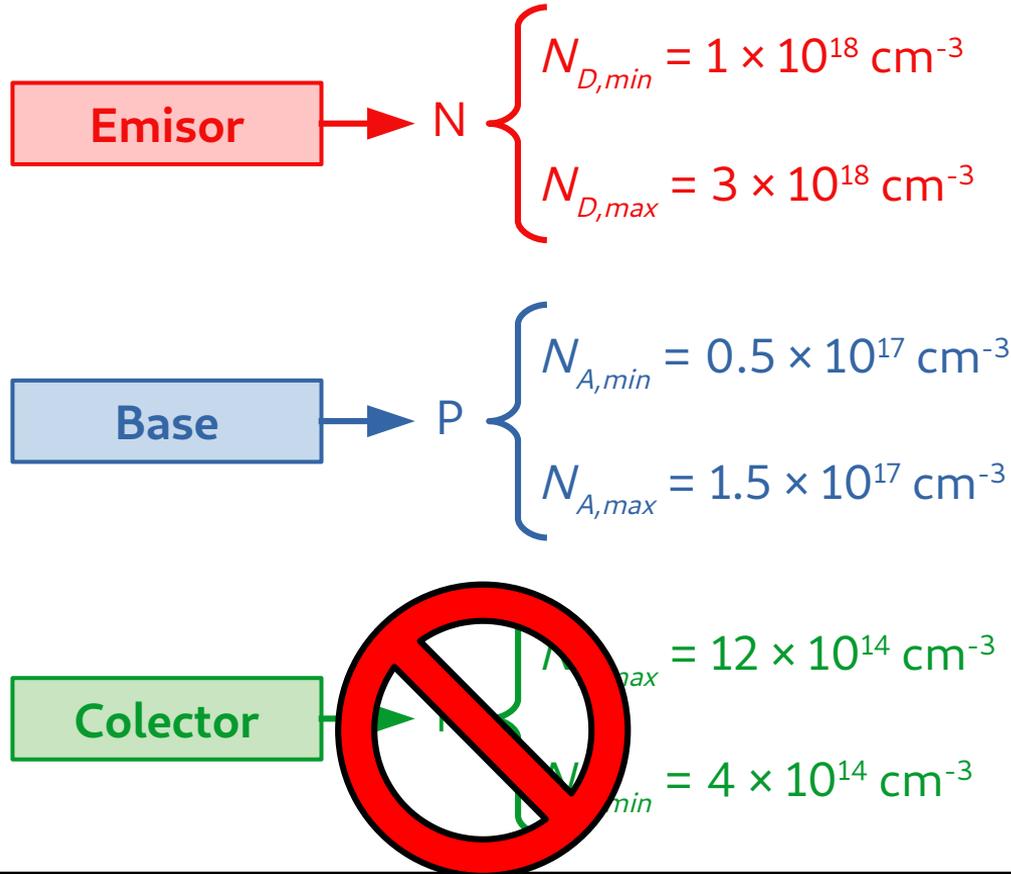
Es la corriente de difusión de minoritarios en la emisor (huecos)

¿Cómo me puedo acordar la fórmula de  $\beta$ ?

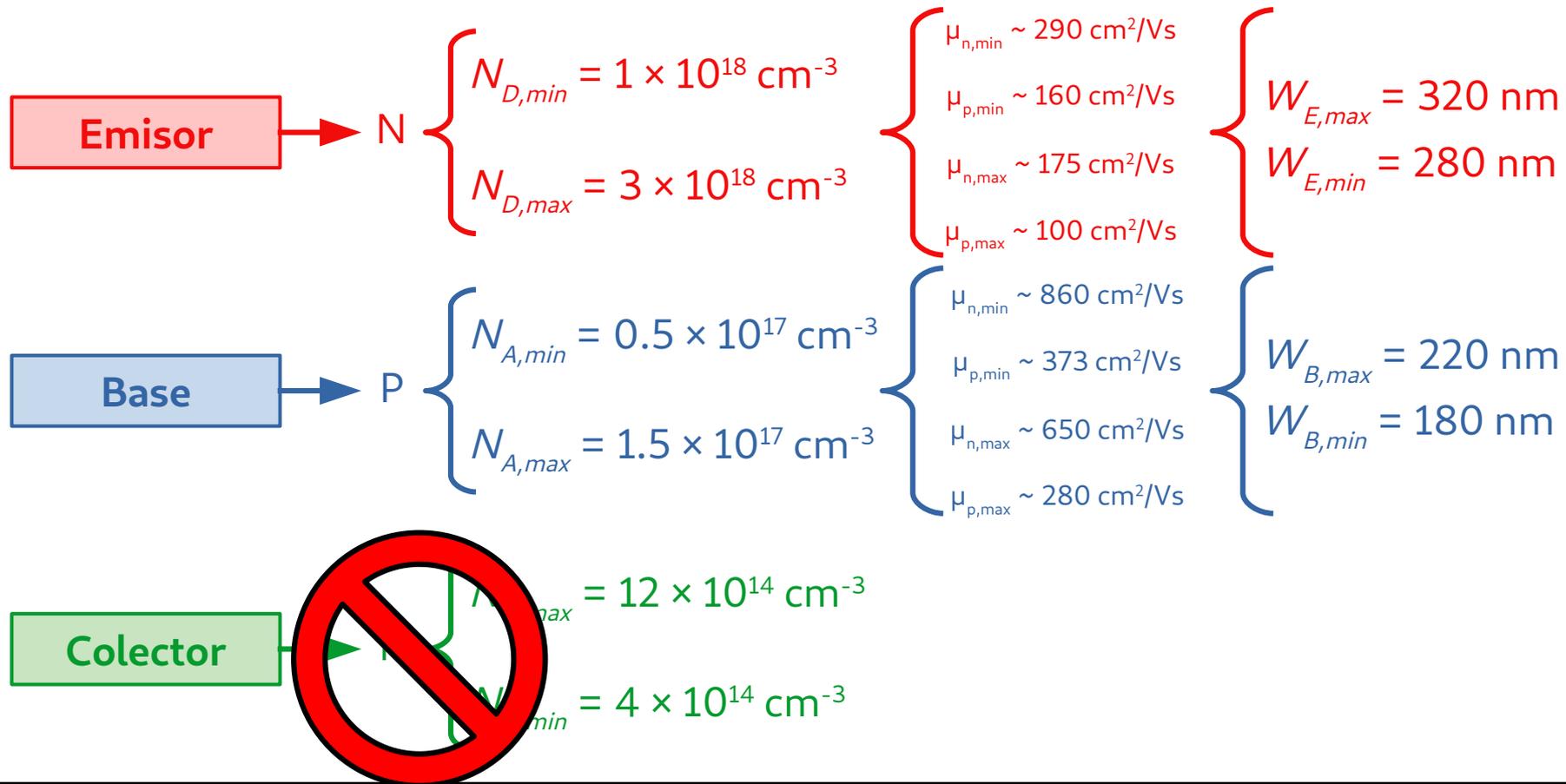
$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{D_{n,B} N_{D,E} W_E}{D_{p,E} N_{A,B} W_B} = \frac{\mu_{n,B} N_{D,E} W_E}{\mu_{p,E} N_{A,B} W_B}$$


Por la relación  
de Einstein

# ¿Cómo obtengo los datos para resolver?



# ¿Cómo obtengo los datos para resolver?



## ¿Cuándo $\beta$ es máximo?

$$\beta_F = \frac{\mu_{n,B} N_{D,E} W_E}{\mu_{p,E} N_{A,B} W_B}$$

**Máximos**

$$N_{D,max} = 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

$$\rightarrow \mu_{p,max} \sim 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$W_{E,max} = 320 \text{ nm}$$

**Mínimos**

$$N_{A,min} = 0.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

$$\rightarrow \mu_{n,min} \sim 860 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$W_{B,min} = 180 \text{ nm}$$

$$\beta_{F,max} = \frac{860 \times 30 \times 320}{100 \times 0.5 \times 180} = 917.33$$

## ¿Cuándo $\beta$ es mínimo?

$$\beta_F = \frac{\mu_{n,B} N_{D,E} W_E}{\mu_{p,E} N_{A,B} W_B}$$

→ **Mínimos**

$$N_{D,min} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$



$$\mu_{p,min} \sim 160 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$W_{E,min} = 280 \text{ nm}$$

→ **Máximos**

$$N_{A,max} = 1.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$



$$\mu_{n,max} \sim 650 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$W_{B,max} = 220 \text{ nm}$$

$$\beta_{F,min} = \frac{650 \times 10 \times 280}{160 \times 1.5 \times 220} = 34.5$$

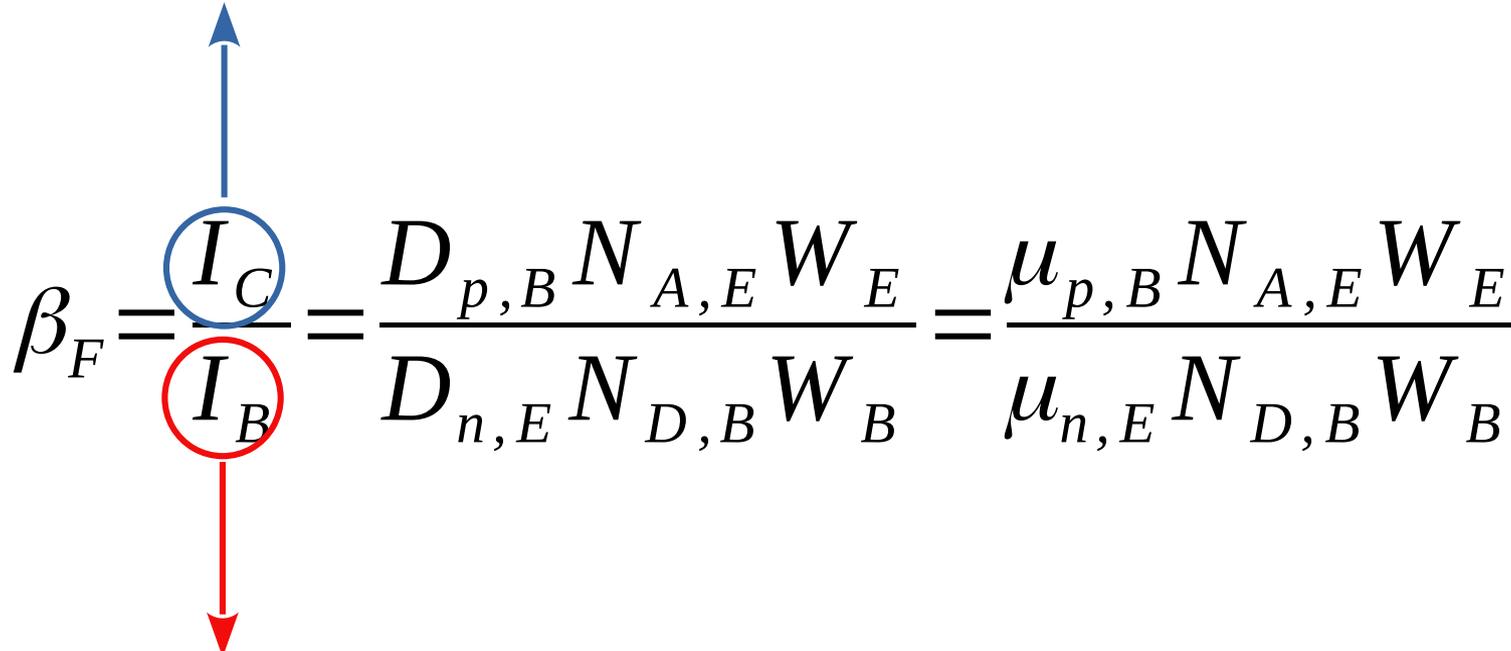
## Resumen

$h_{FE}$	DC current gain BC546A; BC547A; BC548A BC546B; BC547B; BC548B BC547C; BC548C BC547; BC548 BC546	$I_C = 2 \text{ mA}; V_{CE} = 5 \text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	110 200 420 110 110	180 290 520 – –	220 450 800 800 450	
$V_{CE(sat)}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10 \text{ mA}; I_B = 0.5 \text{ mA}$	–	90	250	mV
	Calculado en el ejercicio		34.5	?	917	

¿Se animan a calcular el valor típico?

## Bonus Track: ¿Cómo calculo el $\beta$ de un PNP?

Es la corriente de difusión de minoritarios en la base (huecos)

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = \frac{D_{p,B} N_{A,E} W_E}{D_{n,E} N_{D,B} W_B} = \frac{\mu_{p,B} N_{A,E} W_E}{\mu_{n,E} N_{D,B} W_B}$$


Es la corriente de difusión de minoritarios en la emisor (electrones)