

Universidad Rey Juan Carlos

**Grado en Ingeniería de Software:
Fundamentos físicos de la informática**

Práctica 3:

■ Circuitos con transistores

Stefano Tomasini Hoefner

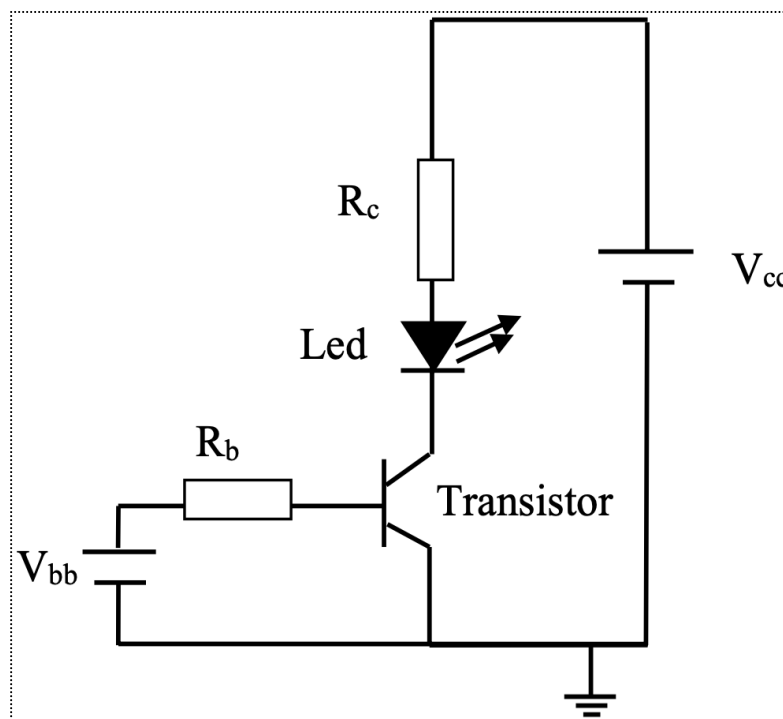
1. OBJETIVOS

El objeto de la práctica es familiarizarse con los transistores bipolares, unos elementos que están constituidos internamente como dos uniones PN contrapuestas. Debido a sus tres modos típicos de funcionamiento, son de uso en aplicaciones de amplificación de señal e implementaciones lógicas.

2. MATERIAL USADO

- Placa de inserción (también llamada placa de prueba o protoboard)
- Cables
- Polímetro
- Resistencias de 1k Ω , 2 k Ω , 2,2 k Ω , 10 k Ω , y 1 M Ω .
- Una pila de petaca, y una fuente de voltaje variable.
- Un diodo LED rojo de 1,7 V.
- Un transistor bipolar NPN, BC-547B ($\beta=324$).

3. Introducción al manejo del transistor BJT



Fotografías de las conexiones del circuito genérico (las columnas - están interconectadas, así la tierra es común entre estas)

El montaje es el del circuito 3.2, pero las conexiones entre los componentes son las mismas entre todos los modos de funcionamiento del transistor. Lo único que cambia entre los distintos montajes son los componentes de la base.

3.1 Transistor en corte

Mediciones de los componentes:

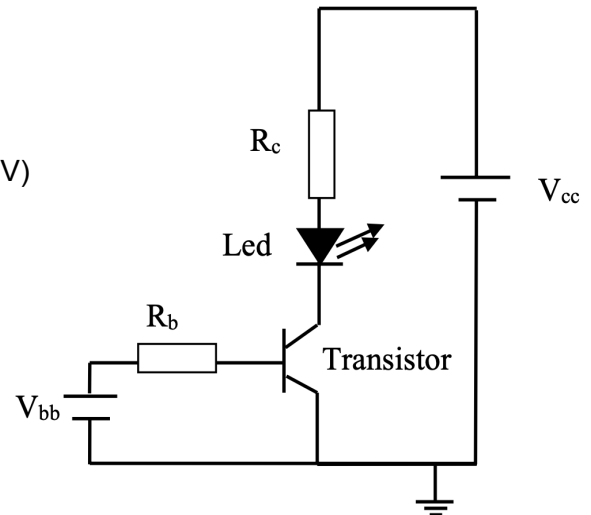
- $V_{bb} = 0,190\text{ V}$ (división de tensión de una pila de 2V)
- $R_b = 0,992\text{ M}\Omega$
- $V_{cc} = 8,97\text{ V}$ (fuente de voltaje)
- $R_c = 1,946\text{ k}\Omega$
- $V_{LED} = 1,736\text{ V}$

Valores teóricos:

- $I_b = 0\text{ mA}$
- $I_c = 0\text{ mA}$
- $V_{ce} = V_{cc} - V_{LED} = 8,97\text{ V} - 1,736\text{ V} = 7,23\text{ V}$

Valores medidos:

- $I_b = 0,000\text{ mA}$
- $I_c = 0,000\text{ mA}$
- $V_{ce} = 7,48\text{ V}$



Fotografías del montaje del circuito en corte:

La protoboard de la izquierda contiene un divisor de tensión. Este divisor de tensión consiste de una resistencia de $10\text{ k}\Omega$ (R1, azul), y otra resistencia de $1\text{ k}\Omega$ (R2, marrón) conectada a tierra.

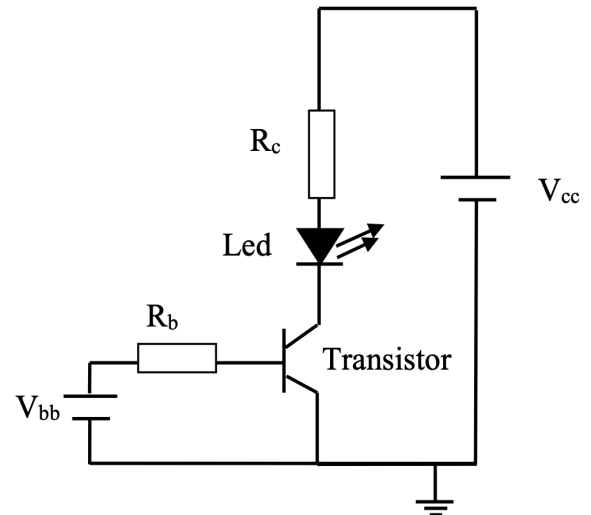
En orden:

- Medida del voltaje base creado por el divisor de tensión (cable naranja y tierra).
- Medida de la intensidad de base (cable blanco y azul).
- Medida de la intensidad del colector (cable violeta y amarillo).
- Medida del voltaje colector-emisor (cable amarillo y naranja).

3.2 Transistor en activa

Mediciones de los componentes:

- $V_{bb} = 2\text{ V}$ (pila gastada)
- $R_b = 0,992\text{ M}\Omega$
- $V_{cc} = 8,97\text{ V}$ (fuente de voltaje)
- $R_c = 1,946\text{ k}\Omega$
- $V_{LED} = 1,736\text{ V}$
- $\beta_{ex} = 324$ (medición directa)



Valores teóricos:

- $I_b = \frac{V_{Rb}}{R_b} = \frac{V_{bb} - 0,7\text{ V}}{R_b} = \frac{2\text{ V} - 0,7\text{ V}}{0,992\text{ M}\Omega} = 1,31\text{ }\mu\text{A}$
- $I_c = I_b \cdot \beta = 1,31\text{ }\mu\text{A} \cdot 324 = 0,42\text{ mA}$
- $V_{ce} = V_{cc} - V_{Rc} - V_{LED} = 8,97\text{ V} - (I_c \cdot R_c) - 1,736\text{ V} = 6,41\text{ V}$

Valores medidos:

- $I_b = 0,001\text{ mA}$
- $I_c = 0,318\text{ mA}$
- $V_{ce} = 6,63\text{ V}$

Determina el valor de β .

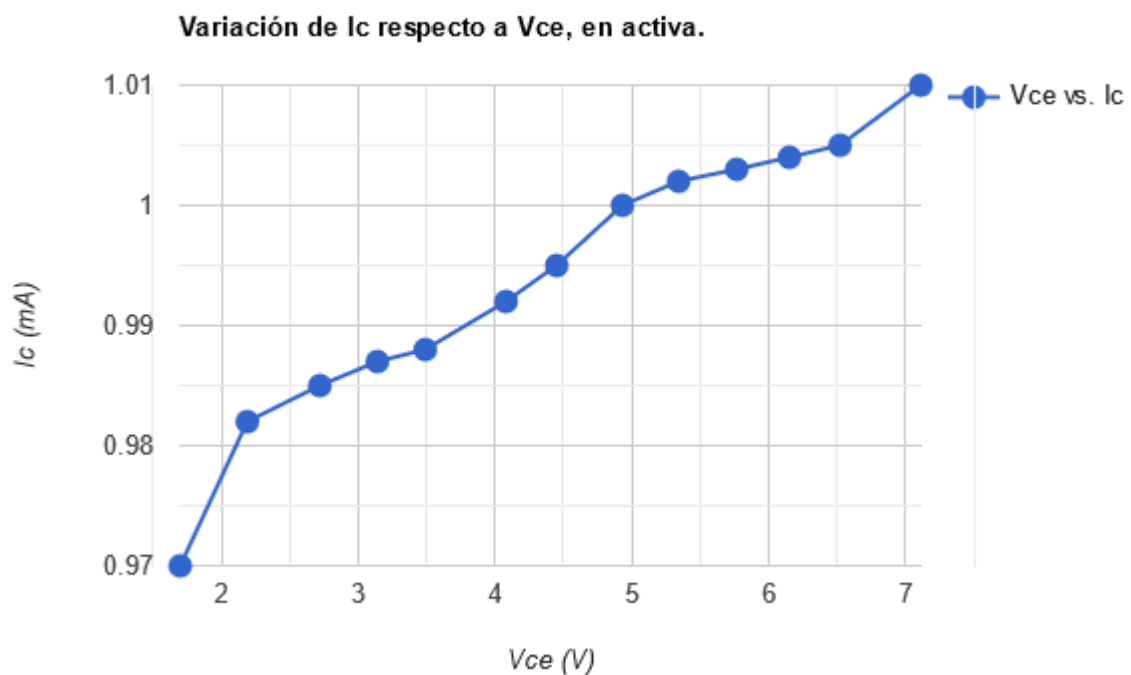
- $I_c = I_b \cdot \beta \rightarrow \beta = \frac{I_c}{I_b} = \frac{0,318\text{ mA}}{0,001\text{ mA}} = 318 \approx \beta_{ex} = 324$ (medición directa)

Rellenar la tabla, y graficar I_c respecto a V_{ce} .

Se cambió $V_{bb} = 2\text{ V}$ por $V_{bb} = 4\text{ V}$ (la pila anterior se gastó demasiado), y R_c es ahora un potenciómetro. Mediciones:

R_c	V_{ce}	I_c
5,56 k Ω	1,7 V	0,97 mA
5,02 k Ω	2,19 V	0,982 mA
4,47 k Ω	2,72 V	0,985 mA

4,04 k Ω	3,14 V	0,987 mA
3,68 k Ω	3,49 V	0,988 mA
3,08 k Ω	4,08 V	0,992 mA
2,70 k Ω	4,45 V	0,995 mA
2,20 k Ω	4,93 V	1,000 mA
1,80 k Ω	5,340 V	1,002 mA
1,38 k Ω	5,765 V	1,003 mA
0,987 k Ω	6,15 V	1,004 mA
0,650 k Ω	6,52 V	1,005 mA
0,340 k Ω	7,11 V	1,010 mA



Fotografías del montaje del circuito en activa:

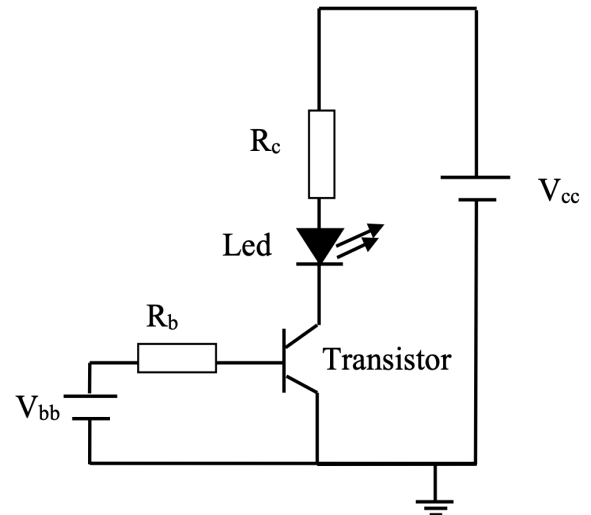
En orden:

- Medida de la intensidad de base (cable verde y violeta).
- Medida de la intensidad del colector (cable azul y amarillo).
- Medida del voltaje colector-emisor (cable amarillo y marrón).
- Última medida del circuito con potenciómetro.

3.3 Transistor en saturación

Mediciones de los componentes:

- $V_{bb} = 2\text{ V}$ (pila gastada)
- $R_b = 2,15\text{ k}\Omega$
- $V_{cc} = 8,97\text{ V}$
- $R_c = 1,946\text{ k}\Omega$
- $V_{LED} = 1,736\text{ V}$
- $\beta_{ex} = 324$ (medición directa)



Valores teóricos:

- $I_b = \frac{V_{Rb}}{R_b} = \frac{V_{bb} - 0,7\text{ V}}{R_b} = \frac{2\text{ V} - 0,7\text{ V}}{2,15\text{ k}\Omega} = 0,6\text{ mA}$
- $I_c = \frac{V_{Rc}}{R_c} = \frac{V_{cc} - V_{LED} - V_{ce}}{R_c} = \frac{8,97\text{ V} - 1,736\text{ V} - 0,2\text{ V}}{1,946\text{ k}\Omega} = 3,61\text{ mA}$
- $V_{ce} = 0,2\text{ V}$

Valores medidos:

- $I_b = 0,579\text{ mA}$
- $I_c = 3,57\text{ mA}$
- $V_{ce} = 58,4\text{ mV}$

¿Qué relación existe ahora entre la I_b e I_c ? ¿Es mayor, igual o menor que β_{ex} ?

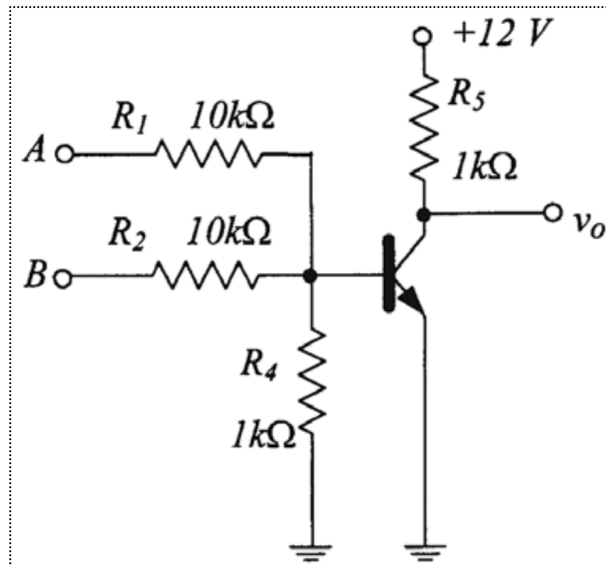
- $\frac{I_c}{I_b} = \frac{3,57\text{ mA}}{0,579\text{ mA}} = 6,17 < 324 = \beta_{ex}$
- Se confirma que está saturado el transistor.

Fotografías del montaje del circuito en saturación:

En orden:

- Medida de la intensidad de base (cable verde y violeta).
- Medida de la intensidad del colector (cable azul y amarillo).
- Medida del voltaje colector-emisor (cable amarillo y naranja), en milivoltios.

4. Puerta lógica NOR con transistor bipolar y resistencias



Input A		Input B		V_{out}	Output _{log}
Nivel	Lógico	Nivel	Lógico		
HIGH	1	HIGH	1	0,050 V	0
HIGH	1	LOW	0	0,088 V	0
LOW	0	HIGH	1	0,088 V	0
LOW	0	LOW	0	11,94 V	1

Explica brevemente el comportamiento del dispositivo, centrándote en el papel del transistor.

Aplicando 12 voltios de tensión en alguna de las ramas de input (en A o B, o, en A y B), se produce una intensidad de corriente relativamente grande para la base del transistor. Esta intensidad de corriente en su base satura al transistor, produciendo el V_{ce} característico de un transistor saturado, con un valor de $\sim 0 V$.

Cuando hay (0,1) o (1,0) o (1,1) de input lógico, y ya que el emisor del transistor está directamente conectado a tierra, se deduce que:

- $V_{out} = V_{ce} = \sim 0 V$ (0)

Cuando la entrada lógica es (0,0), no hay corriente en la base. Esto hace que el transistor esté en corte; lo que produce que no haya corriente tanto en el colector como en el emisor, y también que V_{ce} iguale al voltaje de la fuente. Entonces:

- $V_{out} = V_{ce} = 12 V$ (1)

Sin embargo, si se conecta otra puerta lógica a V_{out} , es muy probable que el voltaje en V_{out} sea menor a 12 V. Ya que, si hay una intensidad de corriente dirigida a este nuevo circuito, entonces R_5 producirá una caída de tensión que haga que el voltaje en V_{out} sea algo más bajo que los 12 V aportados originalmente.

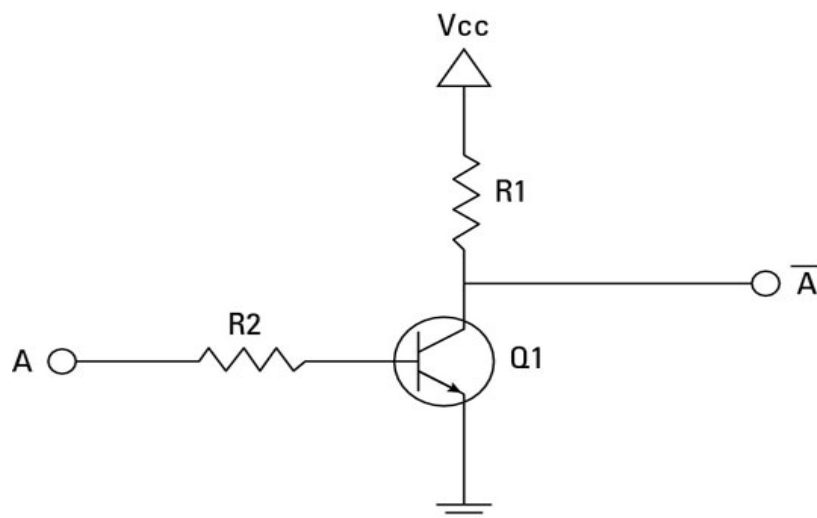
¿Cómo construirías un inversor?

Con una única entrada, A, para la base del transistor.

Cuando se le aplique tensión a esta entrada, habrá una intensidad de corriente en la base (1,2 mA), que es suficientemente grande para saturar el transistor. Consecuentemente, estarán los ~ 0 V característicos de un transistor bipolar saturado en V_{out} , \bar{A} . Con

$$I_c = 11.8 \text{ mA}.$$

Cuando no se aplica tensión en A, no hay corriente en la base. Entonces, el transistor está en corte, y ya que no circula corriente, V_{out} es igual a V_{ce} , el cual es igual a $V_{cc} = 12$ V. Por ende, cuando $A = 0$; $\bar{A} = 1$, y viceversa.



$$V_{cc} = 12 \text{ V}, R1 = 1 \text{ k}\Omega, R2 = 10 \text{ k}\Omega, \beta = 300$$

Fotografías del montaje de la puerta NOR:

En orden:

- Seis fotografías del montaje del circuito lógico.
- Medición de V_{out} cuando hay (1,1) de entrada lógica.
- Medición de V_{out} cuando hay (1,0) de entrada lógica.
- Medición de V_{out} cuando hay (0,1) de entrada lógica.
- Medición de V_{out} cuando hay (0,0) de entrada lógica.

Nota: en todas las mediciones de V_{out} , se mide el voltaje entre el cable amarillo (voltaje del colector) y el cable naranja de la esquina del protoboard, conectado a tierra.