



Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Laboratorio de Instrumentación  
Simulación 2  
Cindy Gatica, 201709692  
Shannon Cap, 201314117

## 1. Circuito 1

### 1.1. Simulación

Se realizó la simulación de un circuito para determinar las curvas características de un diodo. En las figuras 1 y 2, se muestran las curvas características de un diodo y un diodo 1N4734, respectivamente, en un intervalo de voltaje de  $[-5, 5]$ V. Debido al rango tan amplio de voltaje utilizado en las gráficas, es difícil apreciar de manera clara el punto de corte; sin embargo para el diodo de la figura 1 el punto de corte se encuentra aproximadamente en un valor de 0.8V; mientras que para el diodo 1N4734 (figura 2) se encuentra aproximadamente en 0.9V, encontrándose el valor de corte del primer diodo en un voltaje menor al que se encuentra para el diodo 1N4734.

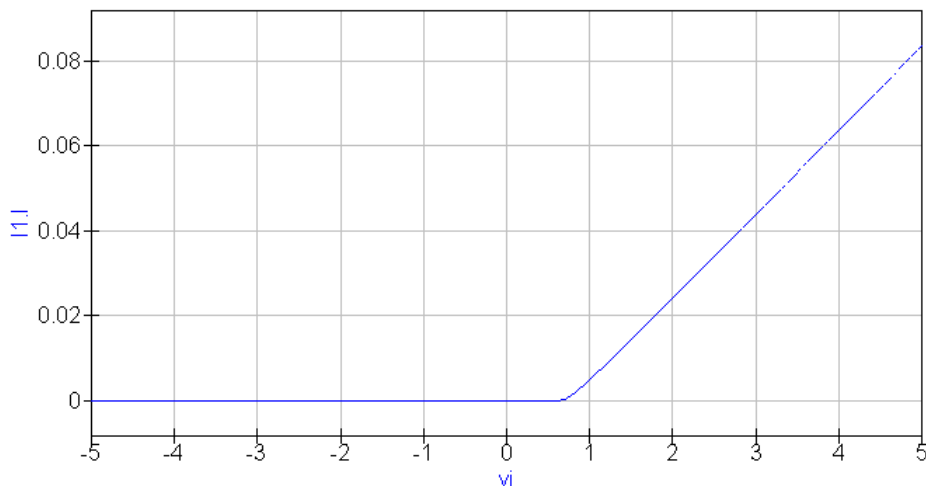


Figura 1: Circuito 1, Curva característica de un diodo en un intervalo de voltaje  $[-5, 5]$ V

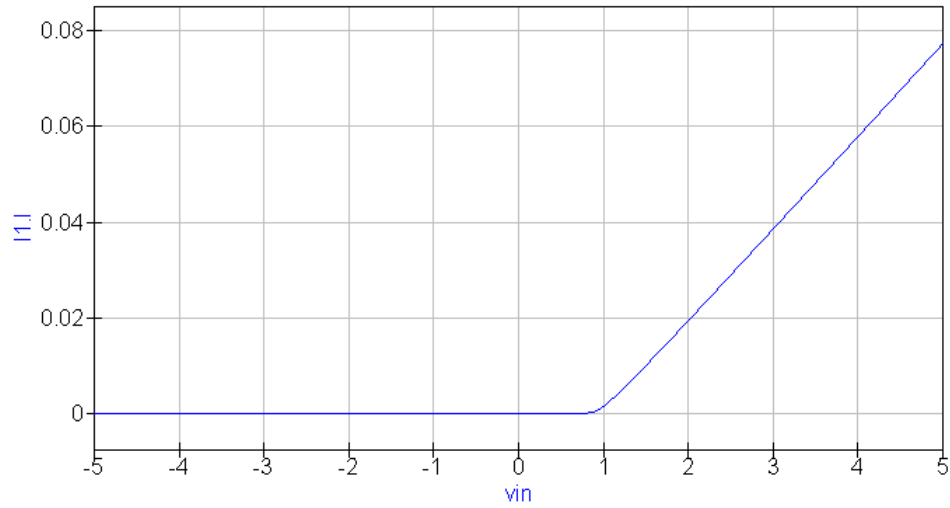


Figura 2: Circuito 1, Curva característica del diodo 1N4734 en un intervalo de voltaje  $[-5, 5]$ V

Por otro lado, al cambiar el rango del voltaje de las curvas características de ambos diodos a  $[0, 3]$ V, se obtuvo curvas características donde es apreciable de mejor forma el punto de corte en ambos diodos, como se muestra en las graficas de las figuras 3 y 4. En ellas puede observarse que para el primer diodo, el punto de corte se encuentra aproximadamente en 0.7V; mientras que para el diodo 1N, el valor de corte esta aproximadamente en 0.85V. Si se empleara un rango de voltaje menor, podria apreciarse de manera más exacta el valor de corte en ambos diodos.

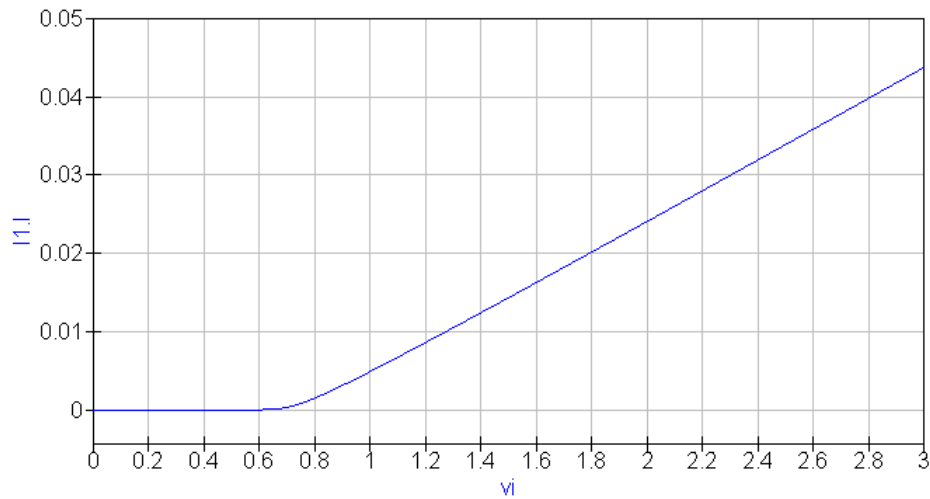


Figura 3: Circuito 1, Curva característica de un diodo en un intervalo de voltaje  $[0, 3]$ V

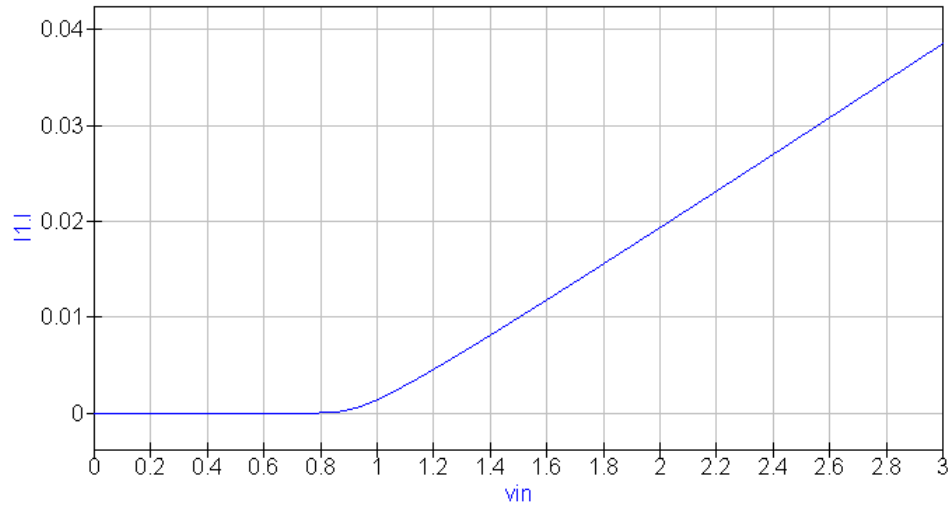


Figura 4: Circuito 1, Curva característica de un diodo 1N4734 en un intervalo de voltaje  $[0, 3]$ V

Debido a que el diodo 1N4734 es un diodo zener, al realizar la curva característica en un rango de voltaje de  $[-7, 2]$ V, se puede observar la región zener del mismo; siendo el voltaje zener de un valor aproximado de 5.55V, como se muestra en la figura 5. Al comparar este valor con el que se encuentra en las hojas de datos (<https://www.futurlec.com/Diodes/1N4734.shtml>, s.f.), el voltaje nominal zener es de 5.6V, por lo que el comportamiento del diodo en el circuito coincide con el esperado.

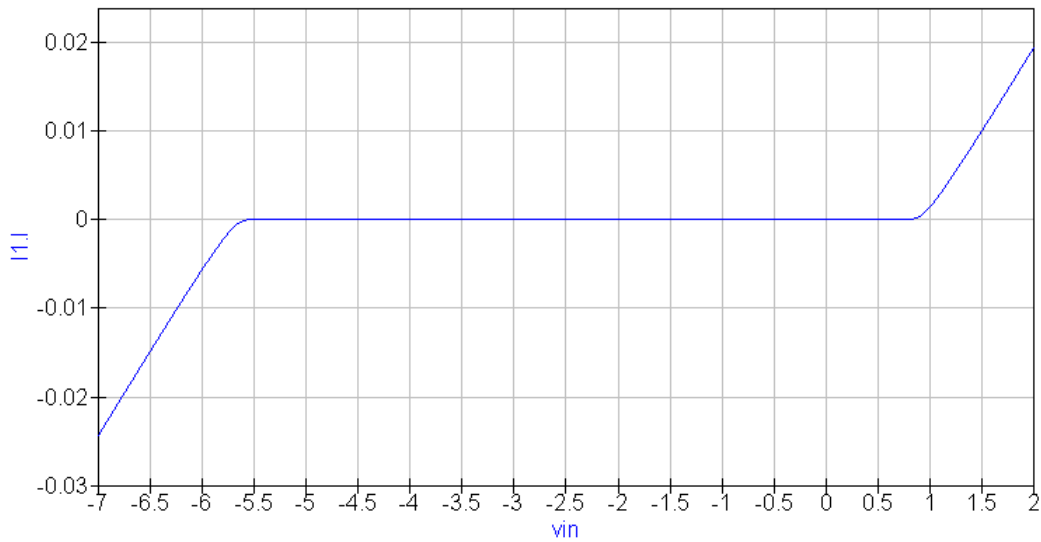


Figura 5: Circuito 1, Curva característica del diodo 1N4734 en un intervalo de voltaje  $[-7, 2]$ V, mostrando la región zener.

## 2. Ejercicio 2

Para todos los ejercicios, se realizaron modificaciones al circuito original, ya que las curvas obtenidas para la corriente del colector no eran las esperadas por la teoría. Como se puede observar en [20] y [20], las gráficas varían con respecto a las gráficas teóricas [6], [9] y [12].

### 2.0.1. Primera modificación/ modificación a $I_c$ :

De la figura [21], se puede observar que para cada barrida de la resistencia y corriente, el valor de la corriente varía también. Por lo tanto, se varió la resistencia de la base por una generador de corriente  $I_C$ , todo esto con el fin de lograr graficar  $I_c$  vs  $V_{in}$ , como lo define la teoría.

### 2.1. Primer Circuito

#### 2.1.1. Segunda modificación:

Para entender la siguiente simplificación es necesario recordar la siguiente relación para un transistor en polarización en directa de la unión base-emisor

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c R_c \quad (1)$$

Nótese que el voltaje colector-emisor depende de  $V_{cc}$ , así como de  $R_c$ . Sin embargo,  $R_c$  actúa como una caída de potencial, cuya caída de potencial será máxima cuando llegue a *corte y saturación*. De la ecuación [1], se observa que *en corte*,  $R_c$  se comporta como un circuito abierto, siendo  $V_{ce}=V_{cc}$  y  $R_c=0\Omega$ , mientras que en saturación,  $V_{ce}=0$  y  $R_c=v_{cc}$ , por lo que la caída de potencial es máxima. Por tanto, el valor de  $R_c$  es indiferente ya que este siempre llegará a saturación y corte, por lo que los extremos de  $V_{ce}$  siempre serán los mismo que  $V_{cc}$ . Eso implica que la resistencia  $R_b$  se puede eliminar del circuito y suponer que  $V_{cc}=V_{ce}$ .

#### 2.1.2. Cálculo de corriente de la base

Como es típico para simulaciones de transistores, se realizaron dos barridos, uno para el voltaje de la fuente y otro para la corriente de la base. De tal forma que el esquema esperado es una curva de la forma

$$I_c = f(I_b, V_{in})$$

Al utilizar el barrido para dos funciones, el programa realizará una iteración para el voltaje, seguido de todas las iteraciones posibles para la corriente, hasta llegar al punto final especificado. Posteriormente, este vuelve a realizar otra iteración para el voltaje, seguido nuevamente de todas las iteraciones de la corriente, así sucesivamente hasta llegar al valor final del voltaje especificado.

En este circuito, la corriente posee un valor inicial de 0V y un valor final de 12V. Para el cálculo de la corriente

$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b} = I_b = \frac{12V - 0.7V}{200 * 10^3 \Omega} = 56.5 \mu A$$

Entonces, el rango de la corriente es de 0A-56.5μA.

### 2.1.3. Curva ideal del transistor de polarización fija.

La curva ideal del transistor para la configuración de polarización fija es

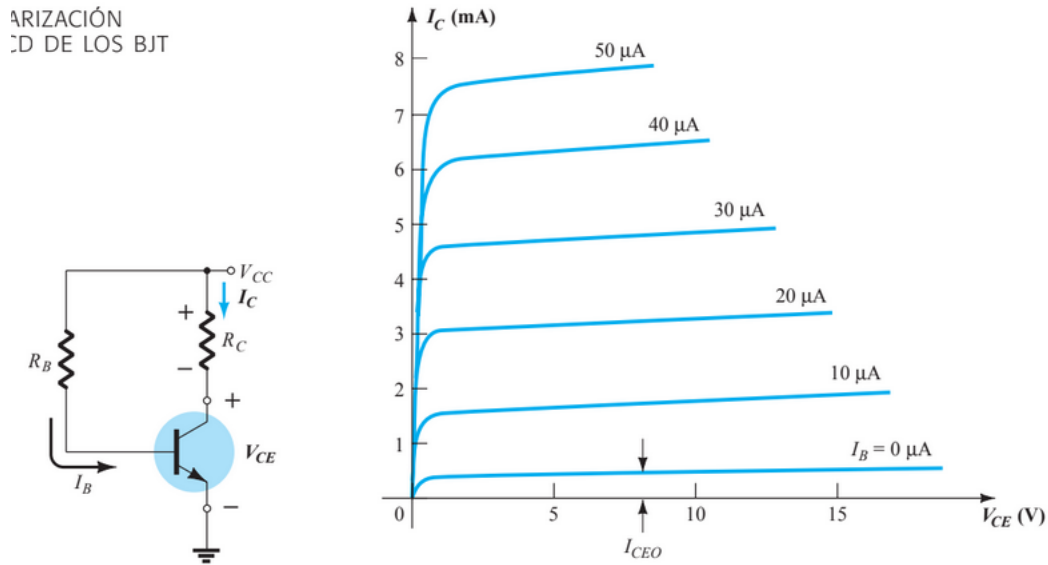


Figura 6: Circuito 1, corriente teórica del colector en función del voltaje de entrada

A continuación se presenta el circuito obtenido para un transistor de polarización fija tras la simulación en Qucs para 10 curvas y 5 curvas, respectivamente.

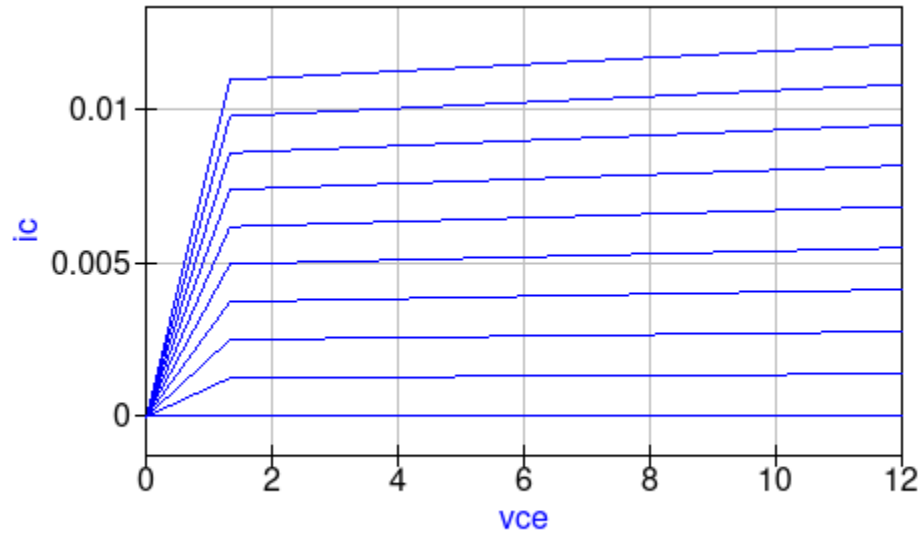


Figura 7: Circuito 1, corriente del colector en función del voltaje de entrada con 10 curvas

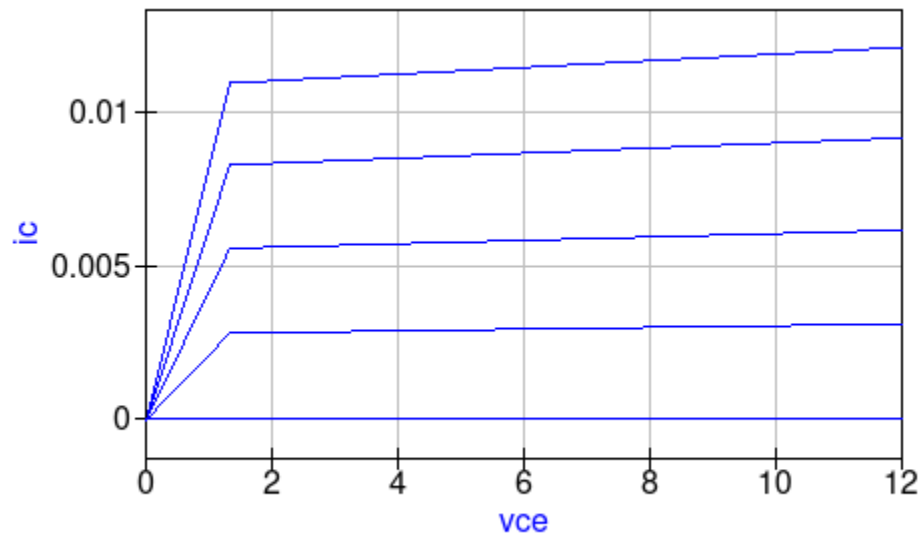


Figura 8: Circuito 1, corriente del colector en función del voltaje de entrada con 5 curvas

Las figuras previas concuerdan con lo esperado por la teoría, es decir [7] y [8] concuerdan con [6].

## 2.2. Segundo Circuito

### 2.2.1. Segunda modificación

Para este caso, también es necesario analizar el circuito en saturación y corte. Nótese que en corte no circula corriente por sus terminales, por lo que  $I_c = I_b$ , lo cual implica que  $V_{cc} = V_{ce}$ . Por lo tanto, el extremo superior de  $V_{ce} = 12V$ .

Para el extremo inferior, el circuito se encuentra en saturación. En esta región, la unión base-emisor como la base-colector se encuentran en directa, es decir en corto circuito. En este caso  $R_c$  y  $R_e$  producen una caída de potencial.

$$V_{ce} = V_{cc} - I_c(R_c + R_e) \quad (2)$$

Si asumimos saturación, y de acuerdo con la ecuación anterior

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c + R_e} \quad (3)$$

Al multiplicar por  $R_e$ , se obtiene

$$V_{ce} = \frac{V_{cc}R_e}{R_e + R_c} = \frac{12V(1 * 10^3\Omega)}{3 * 10^3\Omega} = 4V \quad (4)$$

Por lo tanto, el rango de  $V_{ce}$  irá desde 4V hasta 12V.

### 2.2.2. Cálculo de corriente de la base

Al igual que el circuito anterior, se espera obtener una curva de la forma

$$I_c = f(I_b, V_{in})$$

En este circuito, la corriente posee un valor inicial de 4V y un valor final de 12V. Para el cálculo de la corriente

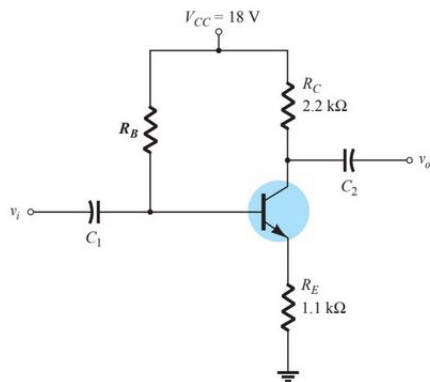
$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b + (\beta + 1)R_e} = \frac{12V - 0.7V}{200 * 10^3 + (50 + 1)(1 * 10^3)\Omega} = 45.02\mu A$$

$$I_b = \frac{4V - 0.7V}{200 * 10^3 + (50 + 1)(1 * 10^3)\Omega} = 13.15\mu A$$

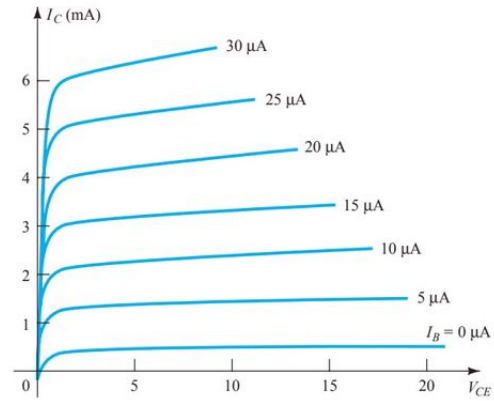
Asumiendo  $\beta = 50$ , el cual es el valor generalmente usado. Entonces, el rango de la corriente es de 13.15 $\mu A$  hasta 45.02 $\mu A$ .

### 2.2.3. Curva ideal de un transistor con resistor en el emisor

La curva teórica de un circuito de polarización de un BJT con resistor de emisor  $V_{ce} = 0$



**FIG. 4.26a**  
Red para el ejemplo 4.7.



**FIG. 4.26b**  
Ejemplo 4.7.

Figura 9: Circuito 2, corriente teórica de una configuración de polarización de un BJT con resistor de emisor con  $V_{ce} = 0$ .

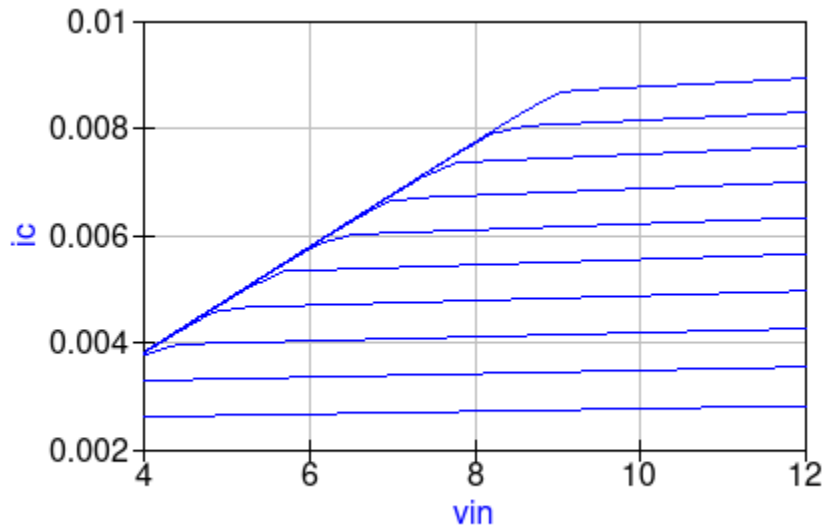


Figura 10: Circuito 2, Curva corriente colector en función del voltaje entrada, con 10 curvas



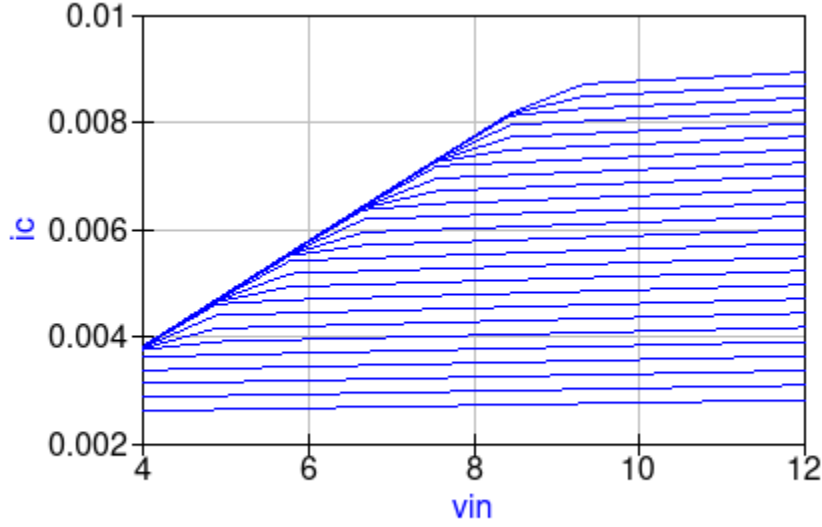


Figura 11: Circuito 2, Curva corriente colector en función del voltaje entrada, con 25 curvas

## 2.3. Tercer Circuito

### 2.3.1. Segunda modificación:

Así como el circuito anterior, este posee una resistencia en el emisor, por lo que es necesario analizar los casos cuando se tiene saturación y corte.

En este tipo de configuración, la ecuación que describe  $V_{ce}$  es la misma [3], por lo que  $V_{ce}$  en saturación es

$$V_{ce} = \frac{V_{cc}R_e}{R_e + R_c} = \frac{12v(1 * 10^3\Omega)}{11x10^3\Omega} = 1.091V$$

Entonces el rango de  $V_{ce}$  será desde 1.091V hasta 12V.

### 2.3.2. Tercera modificación

Se observa que existen dos resistencias que van hacia el la base del transistor, por tanto, se transforma el arreglo a una red equivalente de Thévenin. La cual tiene una configuración del tipo [23].

Todo esto con el fin de encontrar la variación de la corriente en la base, la cual está definida como:

$$I_b = \frac{E_{th} - V_{be}}{R_{th} + (\beta + 1)R_e} \quad (5)$$

Donde:

$$E_{th} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{12v(4\Omega)}{44\Omega} = 1.091V$$

$$E_{th} = \frac{V_{CC}R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1.091v(4\Omega)}{44\Omega} = 0.1V$$

Por otro lado, la Resistencia de thevenin es

$$R_{th} = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} = \frac{40(4)x10^3}{44} = 3.64k\Omega$$

Por lo tanto, los valores de la corriente en la base es (asumiendo  $\beta=50$ )

$$I_b = \frac{1.091V - 0.7}{3.64k + (51)(1x10^3)} = 7.16\mu A \quad (6)$$

$$I_b = \frac{0.1V - 0.7}{3.64k + (51)(1x10^3)} = -10.9\mu A \quad (7)$$

### 2.3.3. Curva ideal de un transistor de polarización por medio del divisor de voltaje

La curva teórica de una configuración de polarización por medio del divisor de voltaje.

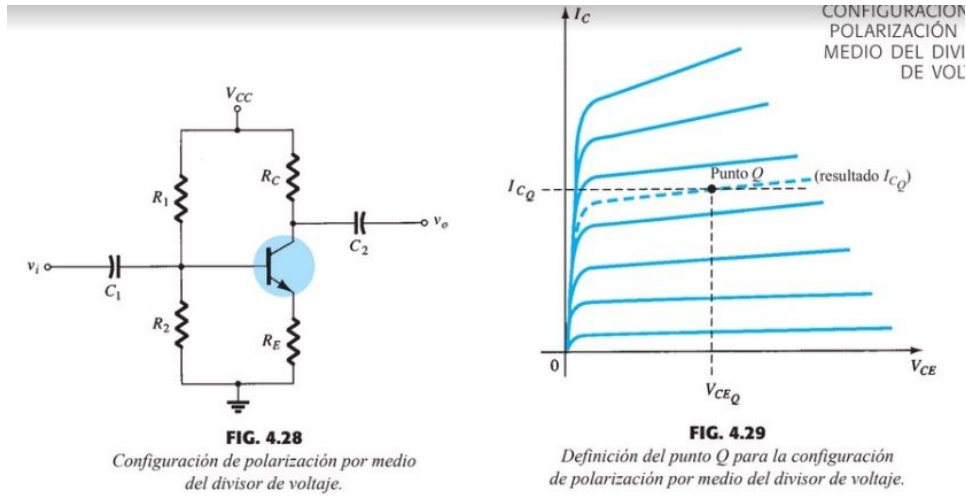


Figura 12: Circuito 3, corriente teórica del colector en función del voltaje de entrada cuando  $V_{ce}=0$  inicialmente

A continuación se presenta el circuito obtenido para un transistor de polarización por medio del divisor de voltaje tras la simulación en Qucs

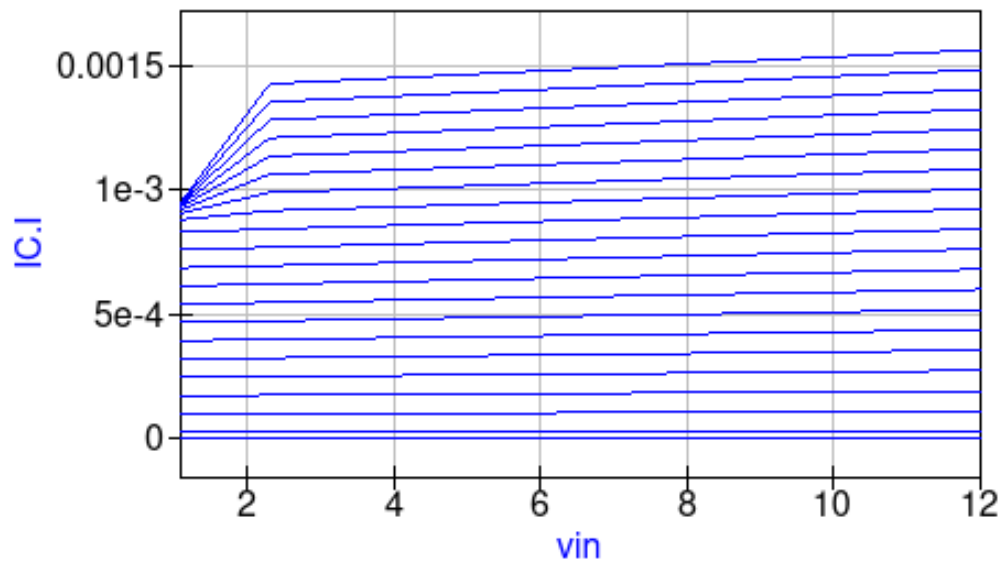


Figura 13: Circuito 3, Curva corriente colector en función del voltaje entrada

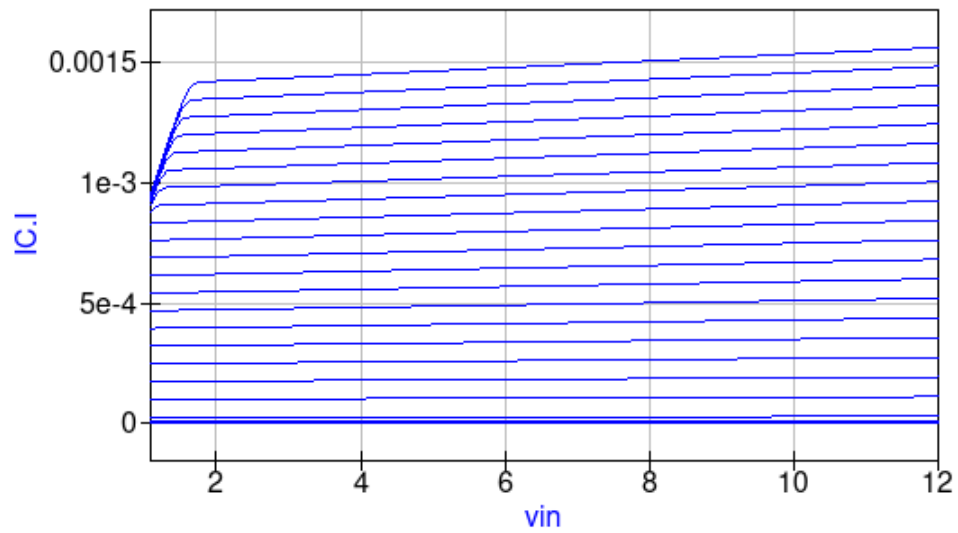


Figura 14: Circuito 3, Curva corriente colector en función del voltaje entrada con mayor puntos en  $v_{in}$

Se puede observar similitud entre la gráfica esperada y la obtenida, por lo cual se concluye que el circuito es congruente con lo esperado teóricamente.

### 3. Apéndice

#### 3.0.1. Circuito con diodo 1N4734

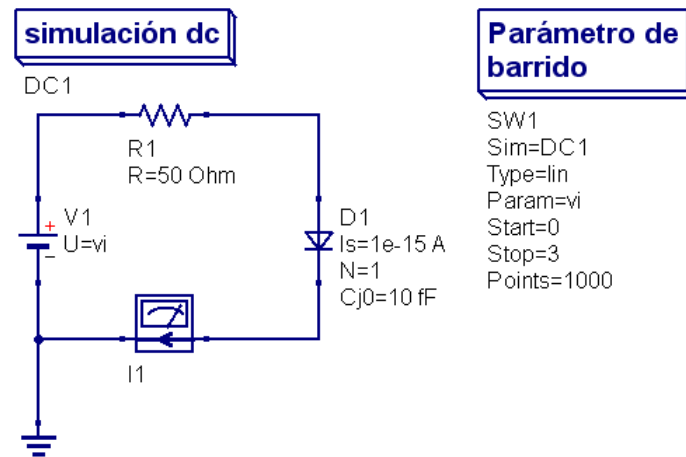


Figura 15: Diagrama circuito 1

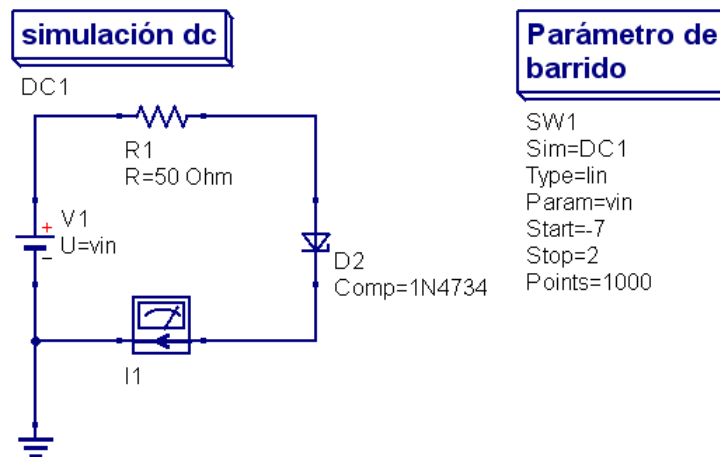


Figura 16: Diagrama circuito 1 con diodo 1N4734

### 3.1. Ejercicio 2

### 3.2. Circuito 1

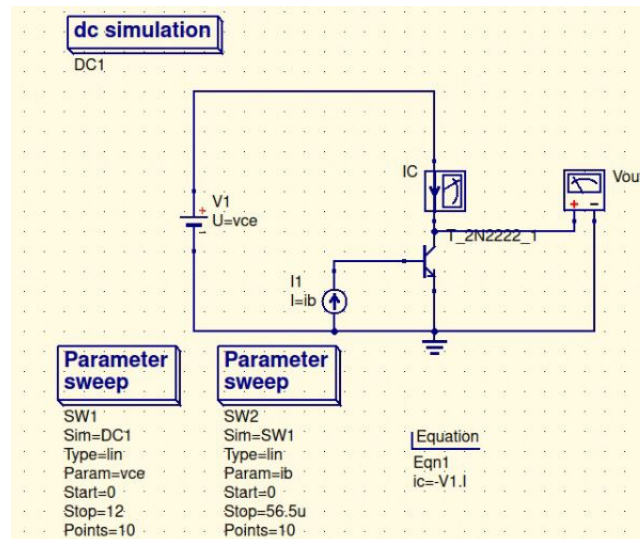


Figura 17: Diagrama circuito 1 con transistor en polarización fija.

### 3.3. circuito 2

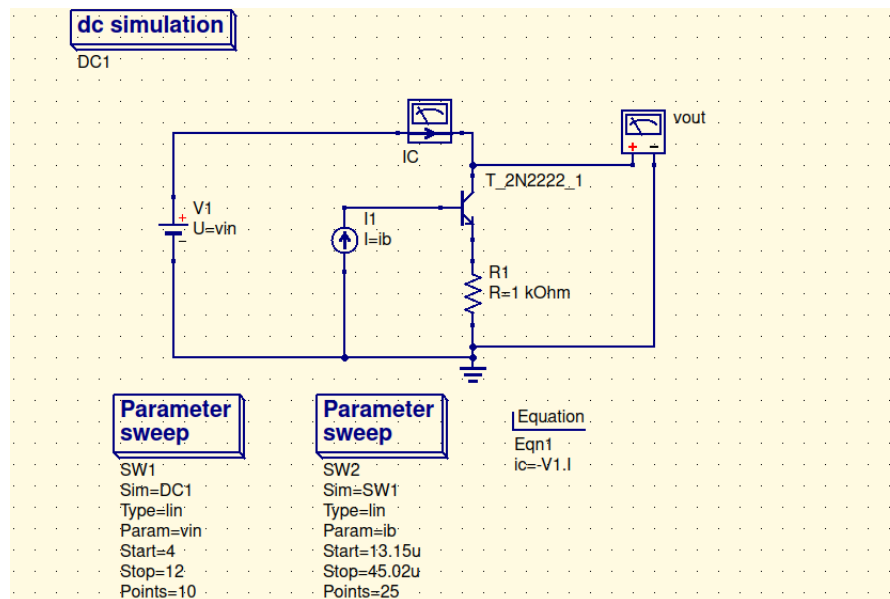


Figura 18: Diagrama del circuito de polarización de un BJT con resistor de emisor.

### 3.4. circuito 3

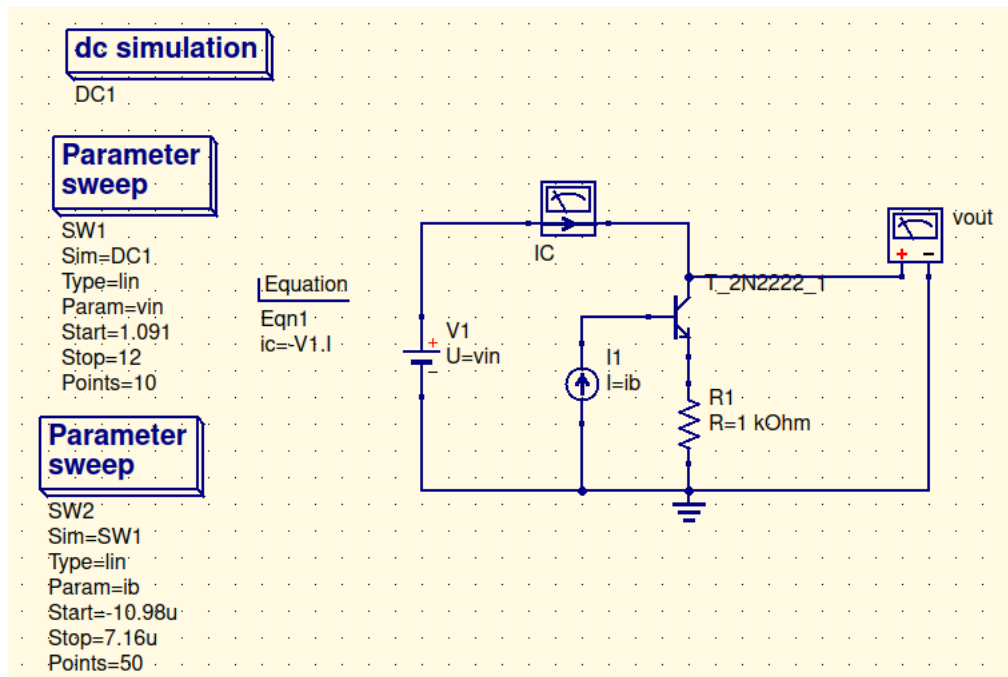


Figura 19: Diagrama de la configuración de polarización por medio del divisor de voltaje.

### 3.5. Gráficas obtenidas con el circuito original

### 3.6. Circuito 1

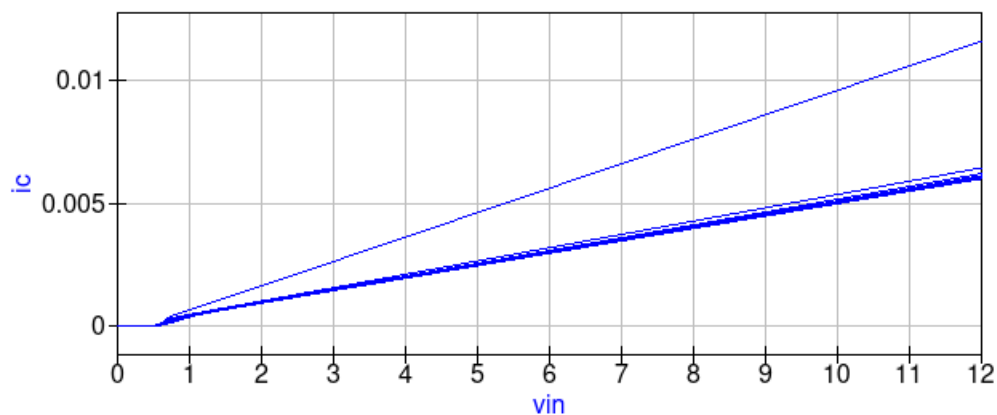


Figura 20: Circuito 1, corriente del colector en función del voltaje de entrada

rb	vin	ic
2e3	0	0
	1.33	0.000985
	2.67	0.0023
	4	0.00362
	5.33	0.00495
	6.67	0.00627
	8	0.0076
	9.33	0.00892
	10.7	0.0102
	12	0.0116
2.4e4	0	0
	1.33	0.000664
	2.67	0.00139
	4	0.00211
	5.33	0.00283
	6.67	0.00355
	8	0.00427
	9.33	0.00499
	10.7	0.00571
	12	0.00643
4.6e4	0	0
	1.33	0.000642
	2.67	0.00134
	4	0.00204
	5.33	0.00273
	6.67	0.00343
	8	0.00412
	9.33	0.00481

Figura 21: Circuito 1, corriente del colector en función del voltaje de entrada

### 3.7. Circuito 2

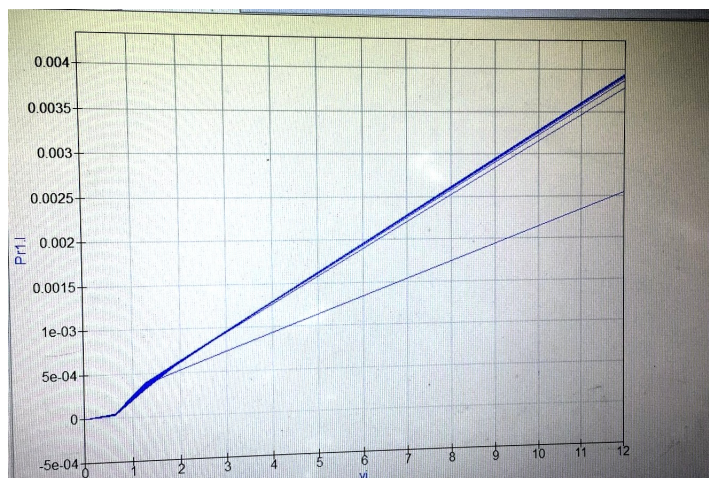


Figura 22: Circuito 2, corriente del colector en función del voltaje de entrada

### 3.7.1. Red de Thevenin

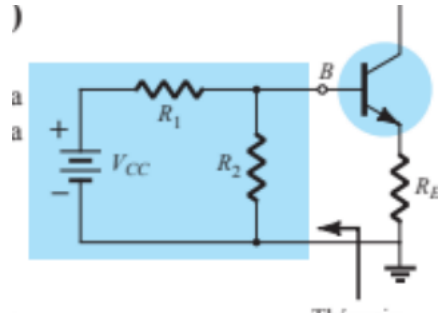


Figura 23: Configuración equivalente de Thevenin

## Referencias

(s.f.). Recuperado de <https://www.futurlec.com/Diodes/1N4734.shtml>