

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Trabajo Practico N°3: BJT

Dispositivos Electronicos I
3R2

Documentador y operador: Angelo Prieto 401012
Coordinador: Gaston Grasso 401892

Fecha de entrega: 24-06-2025

Índice

1	Introduccion	5
2	Identificación de las zonas de trabajo del transistor	7
2.1	Zona de corte	7
2.1.1	Actividad de simulación	7
2.2	Polarizacion de la juntura Base-Emisor	7
2.2.1	Actividad de simulación	7
2.2.2	Actividad de laboratorio	11
3	Curvas características	15
3.1	Actividad de simulación	15
3.2	Actividad de laboratorio	16
4	Caracteristicas de transferencia de corriente	19
4.1	Actividad de laboratorio	19
5	Interpretacion de las especificaciones del fabricante	21
5.1	Significado de cada parametro del datasheet	21
5.2	Relevamiento para distintos transistores	22
5.2.1	BC548	22
5.2.2	BC557	22
5.2.3	2N2222	23
5.2.4	BU208	23
5.2.5	MPS6514	24
5.2.6	TIP36	24
6	Conclusiones	27

Introduccion

El transistor bipolar de unión (BJT) es un dispositivo semiconductor fundamental en la electrónica analógica, ampliamente utilizado en aplicaciones de amplificación y conmutación. El presente trabajo práctico tiene como finalidad estudiar el comportamiento del transistor NPN bajo diferentes configuraciones y condiciones de polarización, con el objetivo de comprender su funcionamiento interno y su respuesta en cada zona de operación (zona activa, de saturación y de corte).

La metodología empleada combina el análisis teórico del circuito, simulaciones por software y la posterior implementación en laboratorio. Este enfoque permite analizar el comportamiento del transistor en función de sus condiciones de operación, validar los modelos teóricos mediante simulación y contrastar los resultados con mediciones reales. Este trabajo se centrará en el estudio del transistor NPN, mientras que el análisis del transistor PNP será complementado en aula según los objetivos establecidos en las consignas.

A través de este trabajo se busca fortalecer la comprensión de los mecanismos de conducción en dispositivos semiconductores, y sentar las bases para el diseño y análisis de circuitos electrónicos más complejos.

Identificación de las zonas de trabajo del transistor

En esta sección se analiza el comportamiento del transistor NPN en sus distintas regiones de operación: corte, activa y saturación. Para ello, se polarizan los circuitos de diferentes maneras, observando las relaciones entre tensiones y corrientes que caracterizan cada zona de trabajo.

Previo a la implementación práctica en el laboratorio, se realizaron simulaciones que permitieron anticipar el comportamiento esperado del transistor bajo cada condición de polarización. Esto facilitó la identificación de los parámetros clave a medir y la interpretación de los resultados obtenidos.

Zona de corte

Actividad de simulación

Polarizacion de la juntura Base-Emisor

Con esta actividad se busca caracterizar el comportamiento de la juntura base-emisor del transistor. Esto es fundamental ya que en cualquier aplicación del transistor, sea como amplificador o dispositivo de conmutación, se requiere una correcta polarización de la juntura en cuestión.

Actividad de simulación

Se comenzó simulando el circuito de la figura 2.1 en la aplicación de simulación *LTSpice*. Se puede observar que para esta simulación, se mantiene la fuente $V_2(V_{CC})$ constante, y la curva obtenida es la corriente de base I_B en función de la tensión $V_1(V_{BB})$, la cual se hace variar, o se hace un barrido, de 0V a 10V. Luego, se plantean dos simulaciones más para el mismo circuito, pero esta vez haciendo variar $V_2(V_{CC})$ (simulación 2.3) y haciendo variar la temperatura (simulación 2.5).

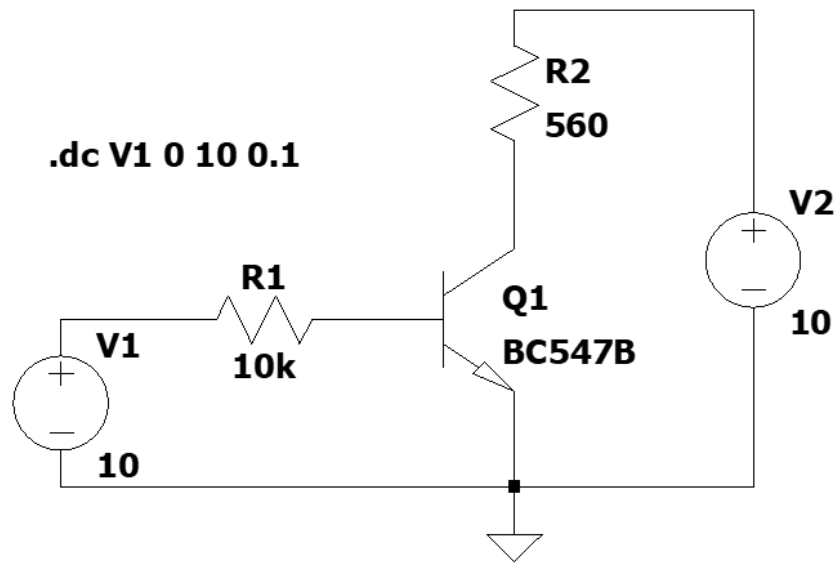


Figura 2.1: Circuito polarización de juntura BE para $V_{CC} = 10V$ simulado en LTSpice

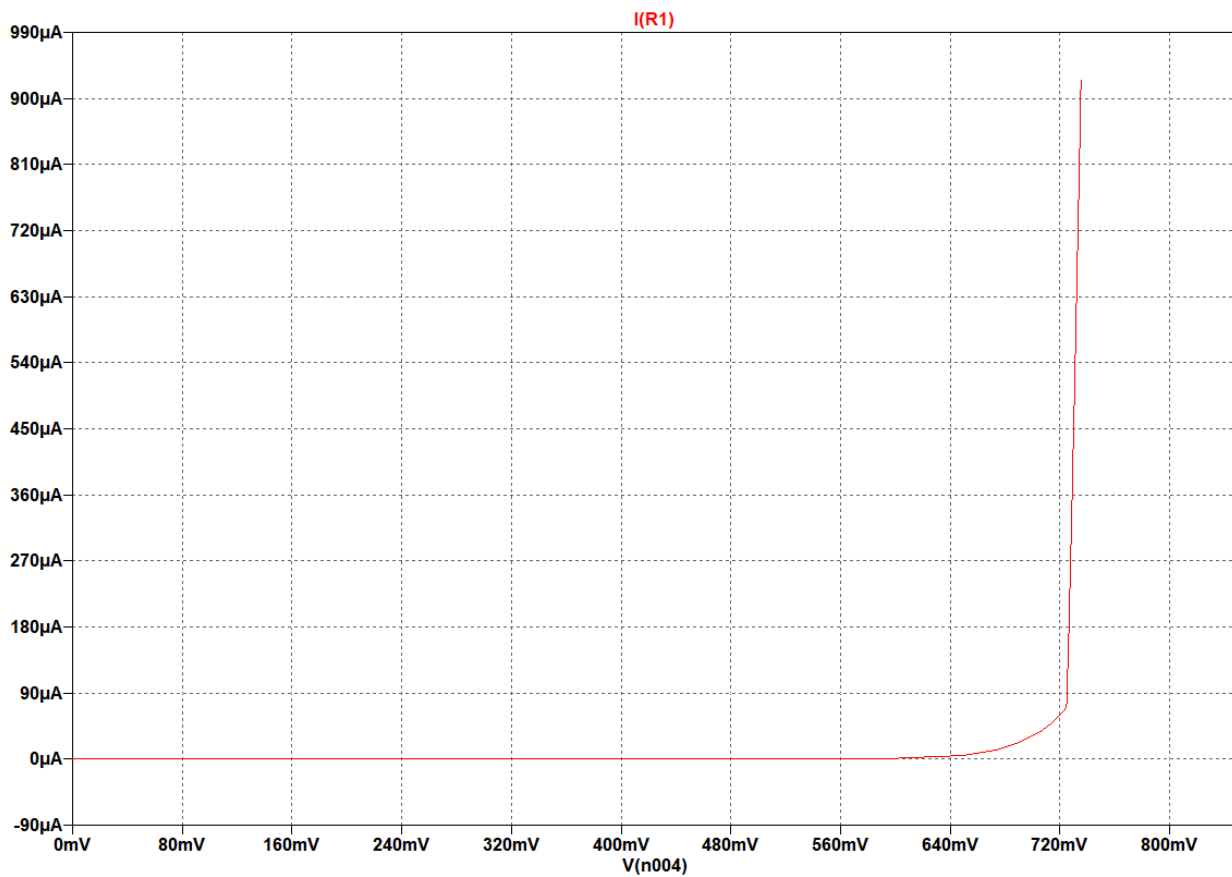


Figura 2.2: I_B en función de V_{BE} resultado de simulación 2.1

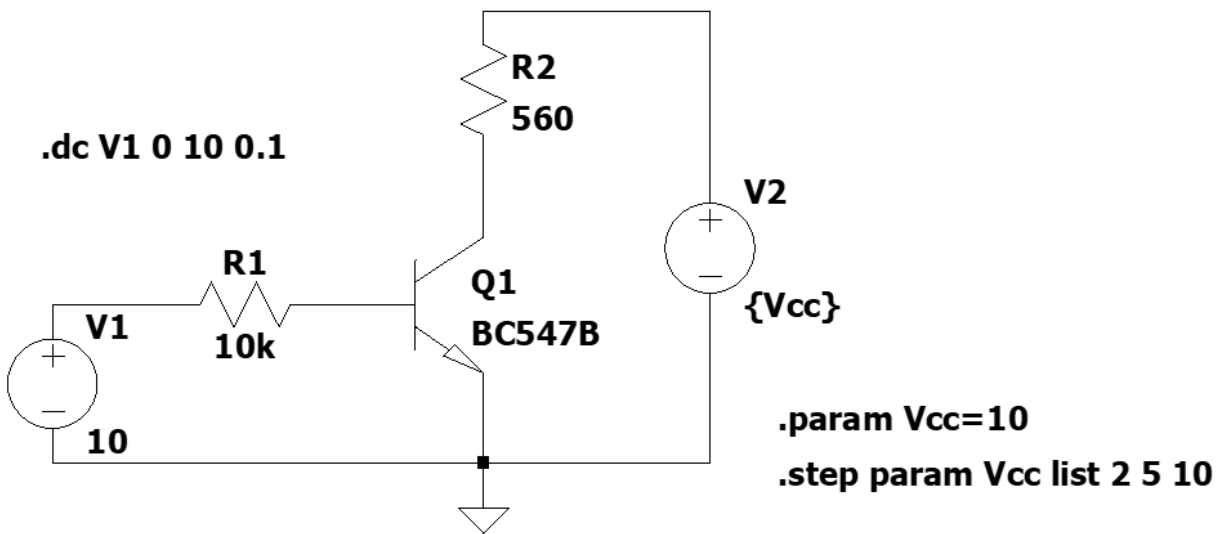


Figura 2.3: Circuito polarización de juntura BE variando V_{CC} simulado en LTSpice

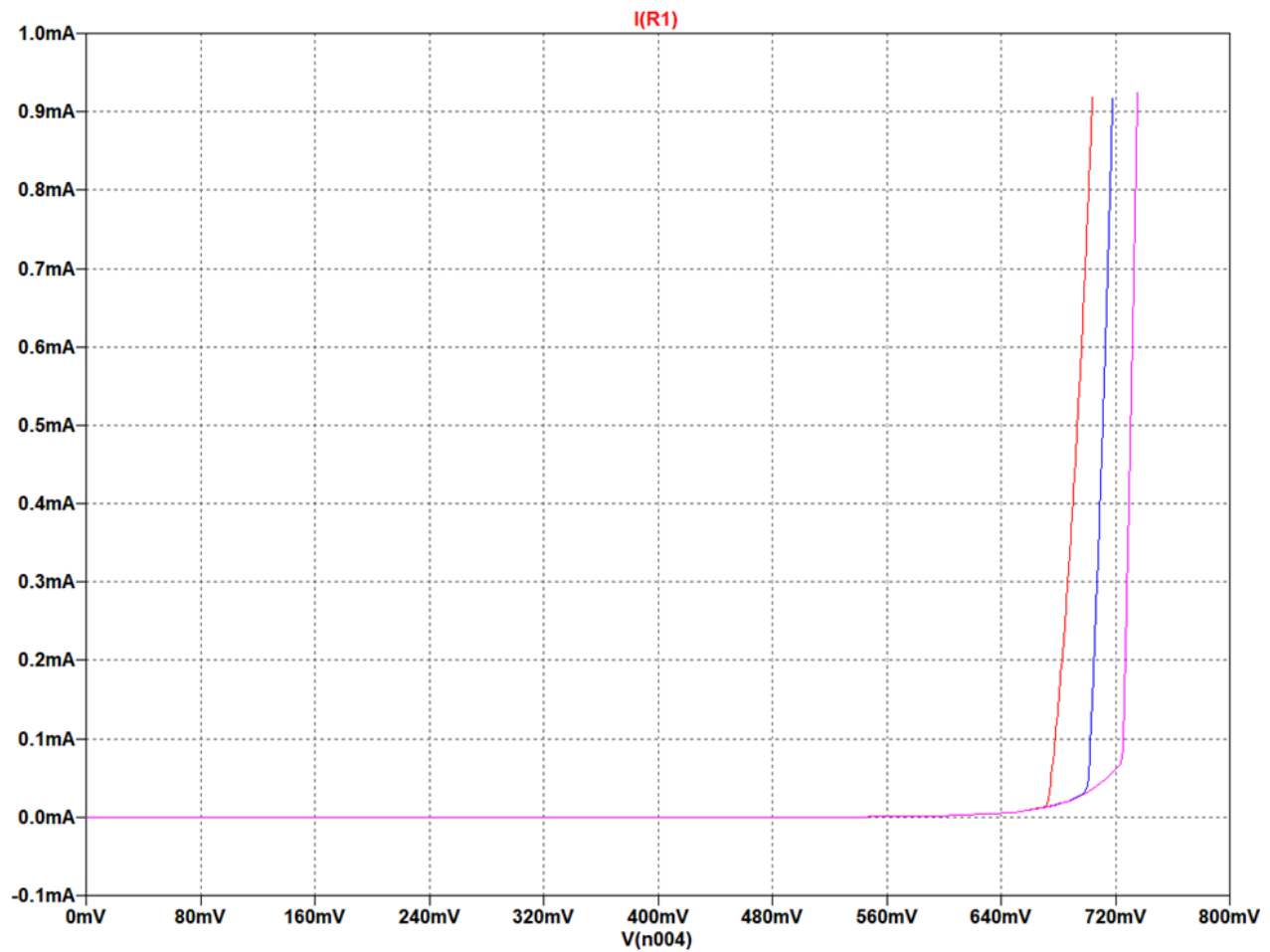


Figura 2.4: I_B en función de V_{BE} resultado de simulación 2.3

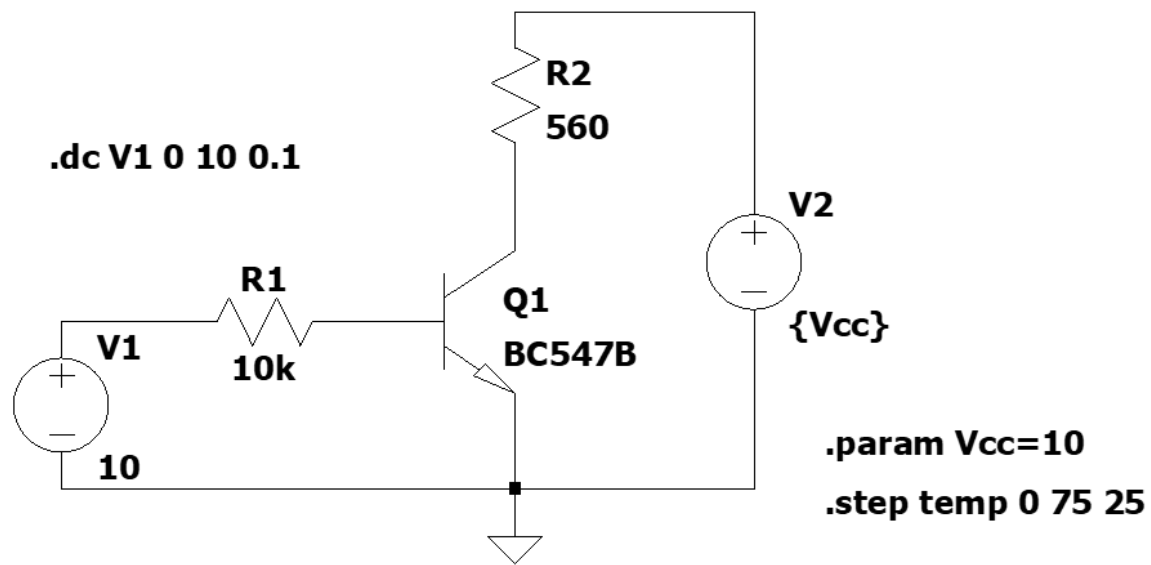


Figura 2.5: Circuito polarización de juntura BE variando la temperatura simulado en LTSpice

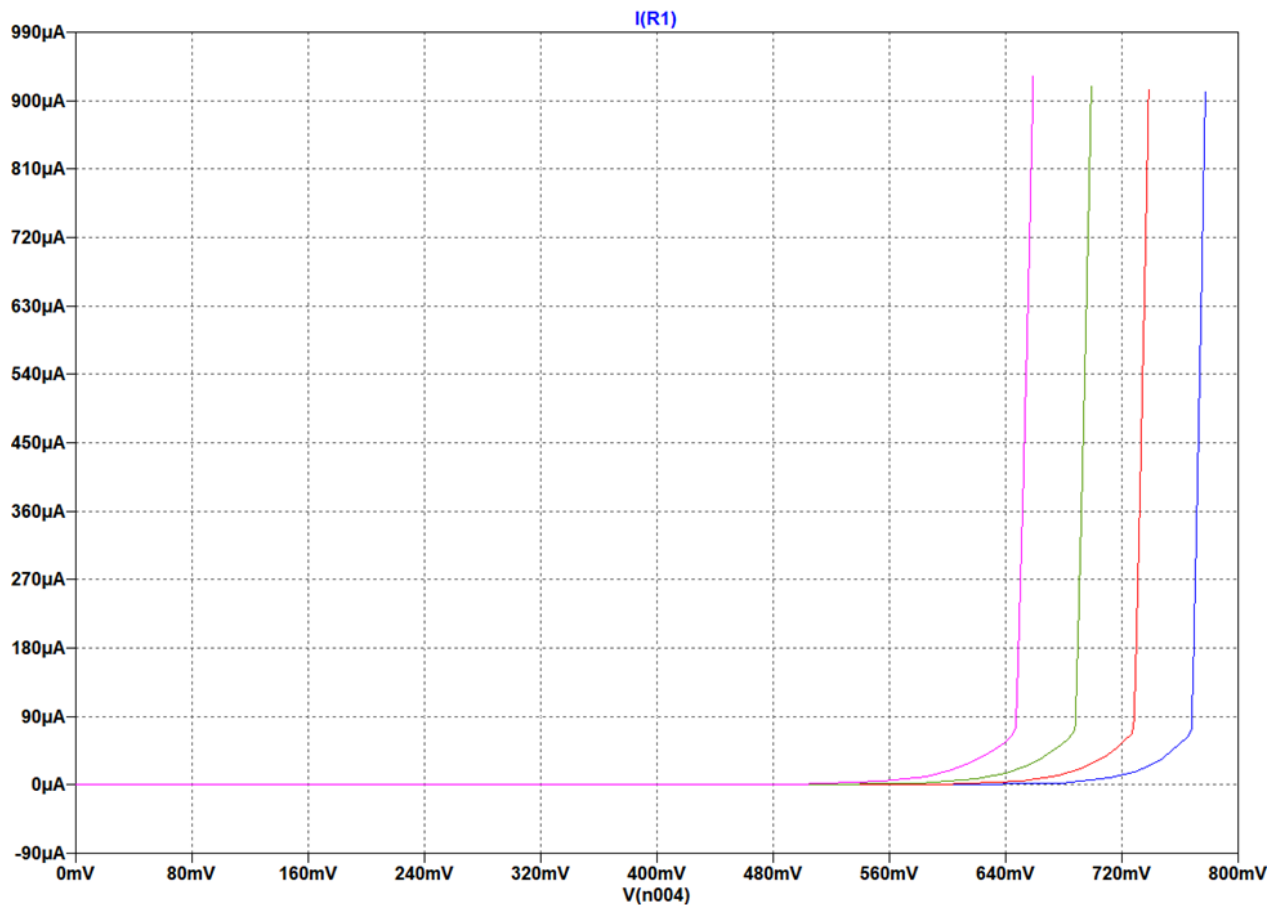


Figura 2.6: I_B en función de V_{BE} resultado de simulación 2.5

Actividad de laboratorio

Luego de realizar las simulaciones y entendiendo el comportamiento del transistor al polarizar la juntura base-emisor, se procedió a ensayar el modelo *BC547B* en el laboratorio central de la facultad. Para ello, se armó el mismo circuito simulado en una placa de pruebas, con los mismos valores de resistores utilizados en la simulación ($R_B = 10k\Omega$ y $R_C = 560\Omega$). Se utilizó también dos fuentes de alimentación, una fija ($V_{CC} = 10V$) y una que se hizo variar de 0V a 10V (V_{BB}). De este modo, se registró los distintos valores de corriente de base I_B y tensión base-emisor V_{BE} obtenidos, los cuales se registró en la siguiente tabla y obteniendo la respectiva curva:

V_{BB}	0	0.284V	0.393V	0.5V	0.596V	0.7V	0.8V	1.06V	3V	7V	10V
I_B	0 A	29 nA	43 nA	91 nA	0.78 uA	4.99 uA	12.46 uA	35.84 uA	226.3 uA	625 uA	929 uA
V_{BE}	0 V	0.27 V	0.38 V	0.48 V	0.57 V	0.63 V	0.66 V	0.68 V	0.73 V	0.75 V	0.75 V

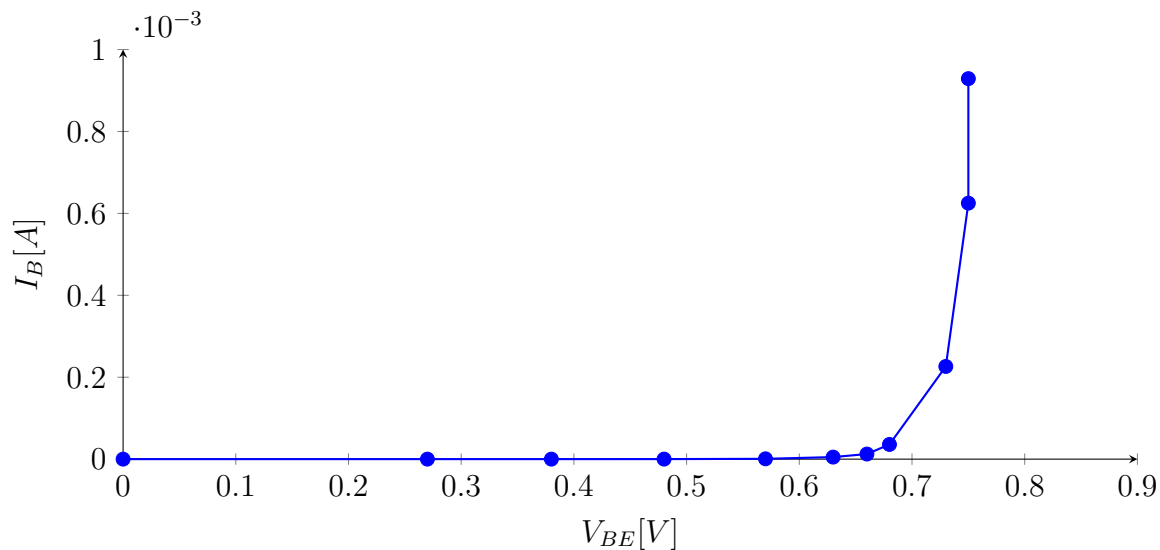


Figura 2.7: I_B en función de V_{BE} a partir de mediciones en laboratorio

Fotografías

A continuación se presentan fotografías de los distintos instrumentos de medición y energización, y la disposición del cicuito ensayado:

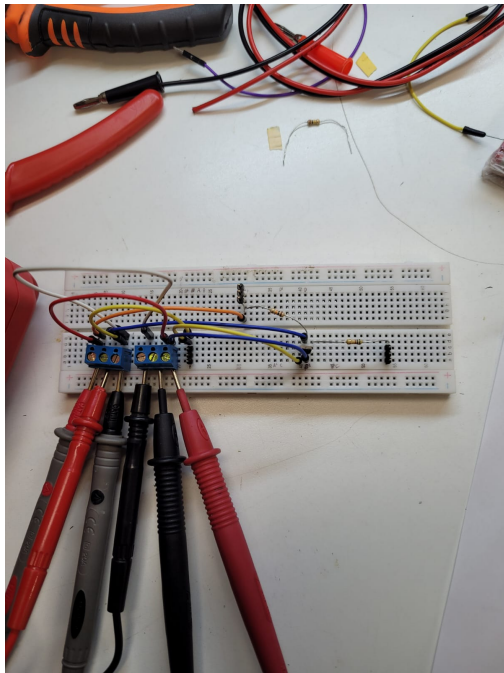


Figura 2.8: Circuito implementado en placa de pruebas.

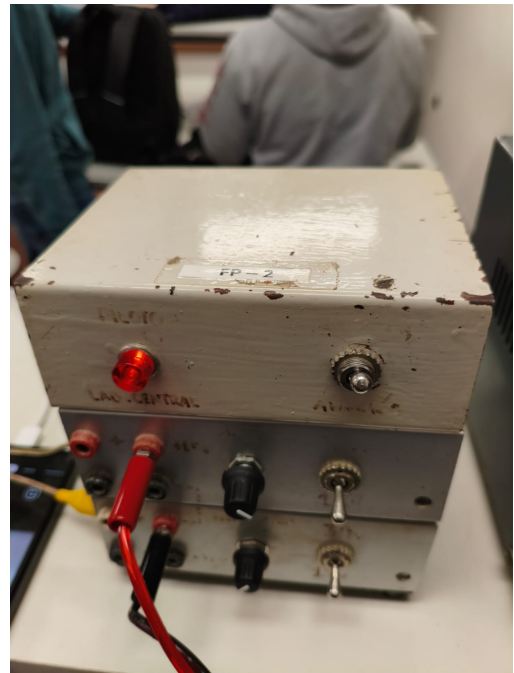


Figura 2.9: Fuente 1 fija ($V_{CC} = 10V$).



Figura 2.10: Fuente 2 variable ($0 < V_{BB} < 10V$).

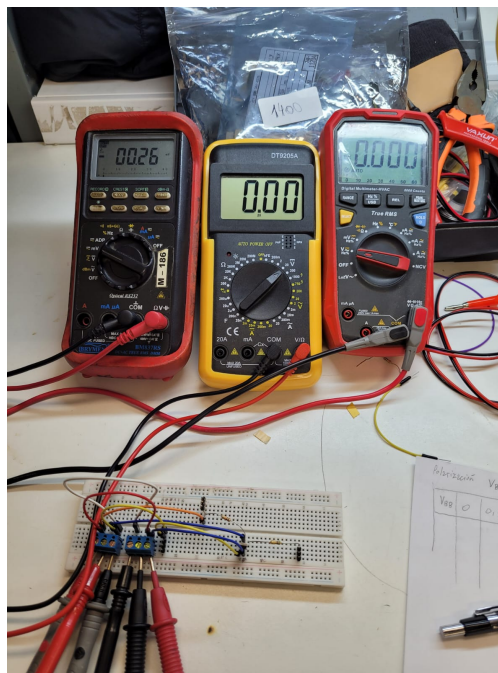


Figura 2.11: Multímetros utilizados.

Conclusión

Se puede observar en la simulación que cuando no se le inyecta corriente a la base la unica corriente que persiste en el dispositivo es la de fuga, que esta en el orden de los pico-amperes. Por otro lado se puede observar como la juntura BE, al ser polarizada, se comporta como un diodo (por que al final es eso), tanto en la curva de corriente como en la variacion de la misma por efectos de la temperatura del dispositivo.

Curvas características

El objetivo de esta actividad es analizar las curvas características de salida del transistor, es decir, la corriente de colector I_C en función de la tensión colector-emisor V_{CE} .

Actividad de simulación

Primeramente se procede a simular el circuito de la figura 3.1, la cual se puede observar

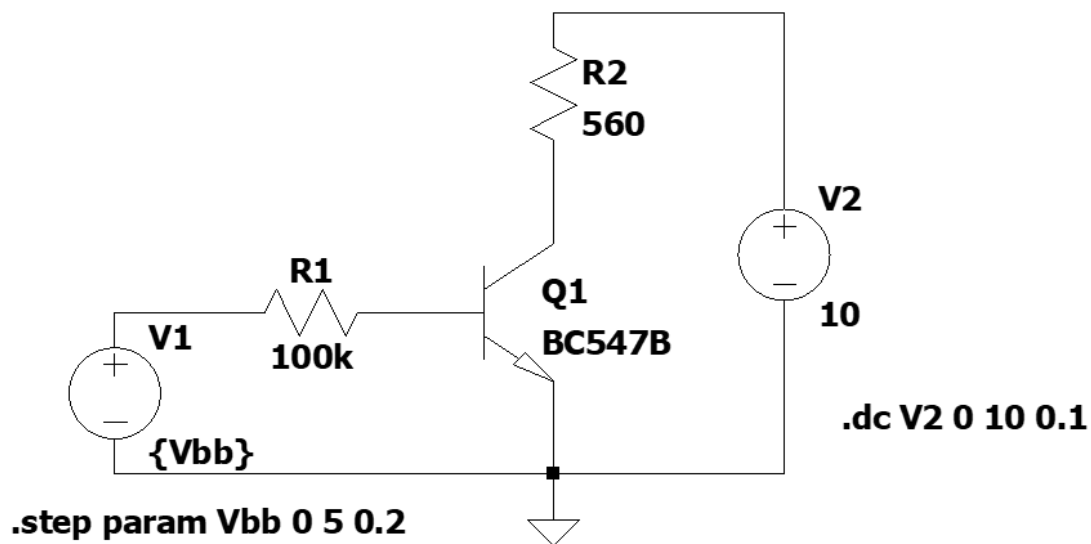


Figura 3.1: Circuito emisor-común con fuentes variables para observar curva característica del transistor simulado en LTSpice

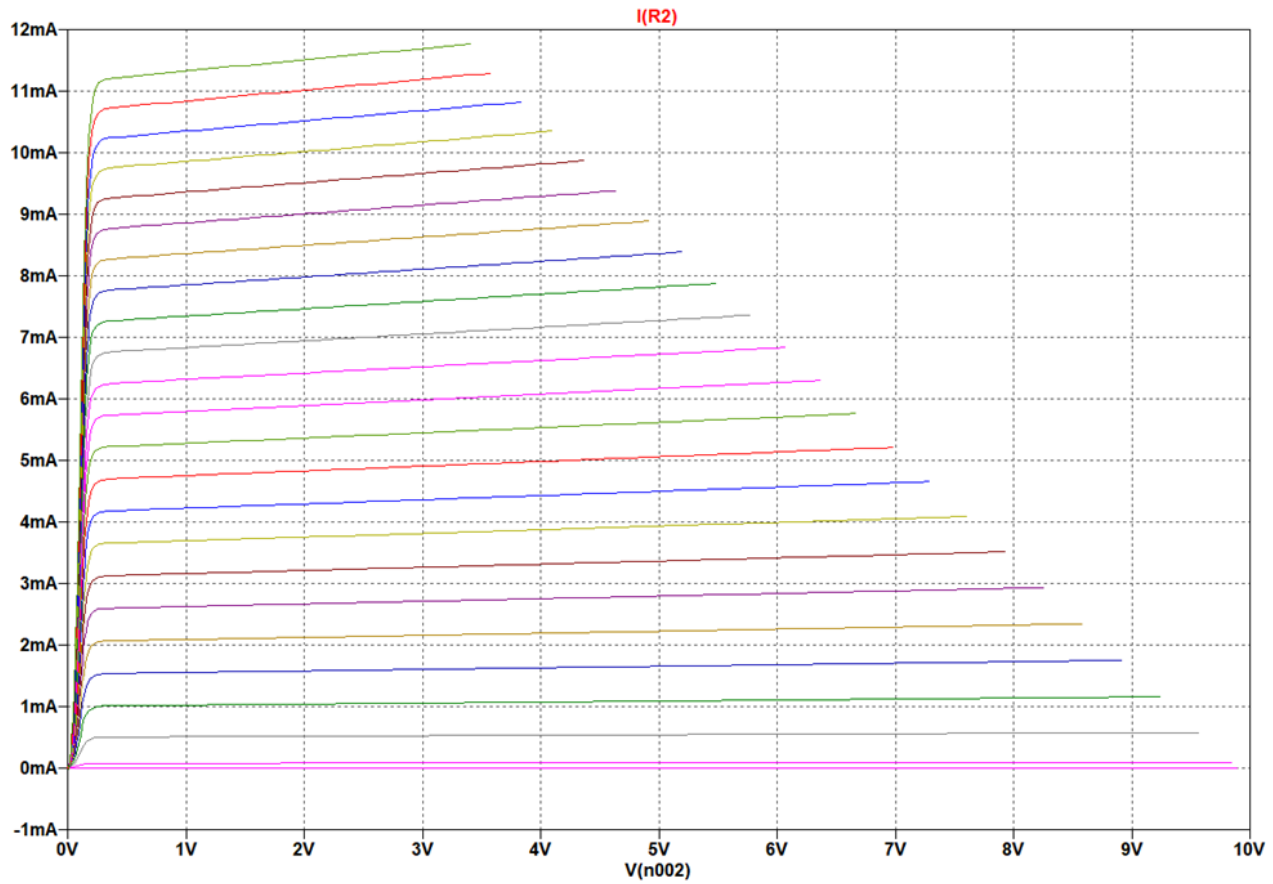


Figura 3.2: I_C en función de V_{CE} resultado de simulación 3.1

Actividad de laboratorio

V_{CC} [V]	$I_B = 0 \text{ A}$		$I_B = 10 \mu\text{A}$		$I_B = 15 \mu\text{A}$		$I_B = 20 \mu\text{A}$		$I_B = 25 \mu\text{A}$	
	I_C	V_{CE}	I_C	V_{CE}	I_C	V_{CE}	I_C	V_{CE}	I_C	V_{CE}
0	0 A	0 V	0 A	0 V	0 A	0 V	0 A	0 V	0 A	0 V
0.25	0 A	0.24 V	312.5 μA	0.06 V	325 μA	0.05 V	332 μA	0.05 V	333 μA	0.04 V
0.5	0 A	0.48 V	701.7 μA	0.09 V	737 μA	0.08 V	725 μA	0.07 V	764 μA	0.06 V
1	0 A	0.99 V	1.564 mA	0.12 V	1.58 mA	0.11 V	1.64 mA	0.1 V	1.7 mA	0.09 V
2	0 A	2 V	3.125 mA	0.21 V	3.32 mA	0.15 V	3.36 mA	0.13 V	3.37 mA	0.12 V
5	0 A	5 V	2.84 mA	3.41 V	4.04 mA	2.67 V	5.49 mA	1.96 V	7.9 mA	0.51 V
10	0 A	9.97 V	2.97 mA	8.32 V	4.37 mA	7.53 V	5.85 mA	6.58 V	8.43 mA	5.23 V

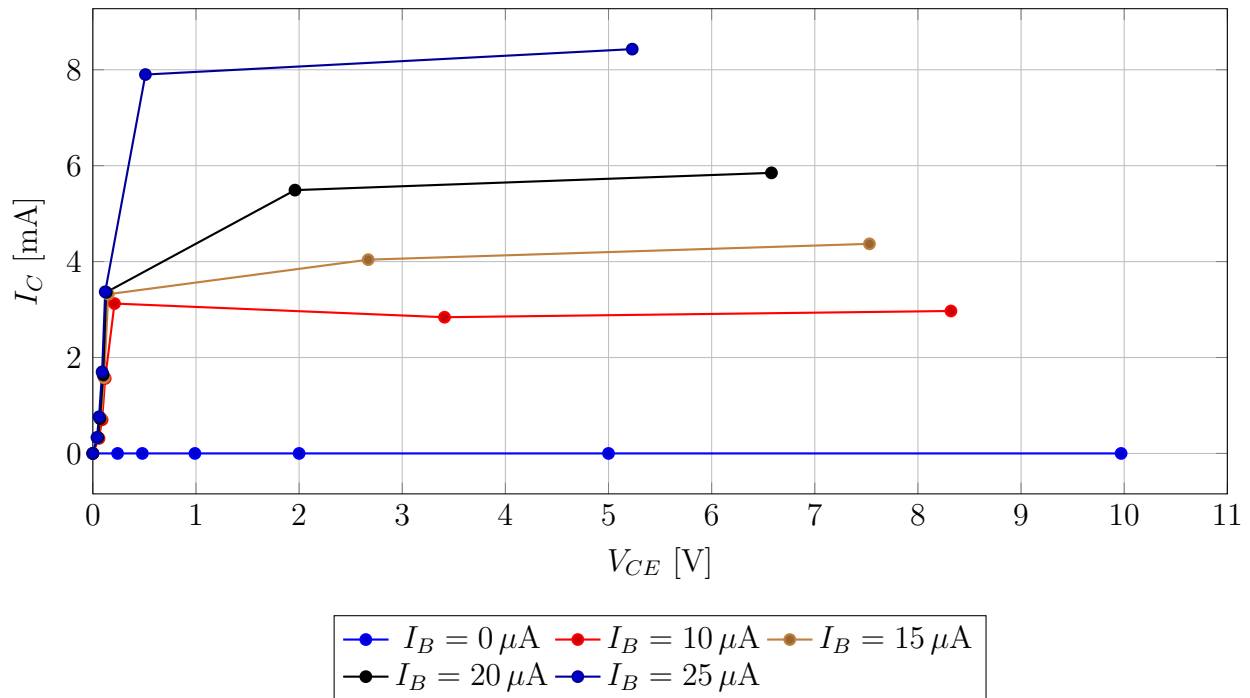


Figura 3.3: Curvas de salida del *BC547B* para distintas I_B

Conclusión

Se observó que un aumento en la corriente de base (I_B) produce un incremento proporcional en la corriente de colector (I_C), evidenciando el comportamiento típico del transistor en la región activa, donde $I_C \approx h_{FE} \cdot I_B$. Por lo tanto, la base actúa como un control de paso para la corriente de colector, funcionando de forma análoga a una llave controlada por corriente.

Características de transferencia de corriente

Actividad de laboratorio

I_B [μA]	I_C (@ $V_{CE(\text{inicial})} = 2\text{ V}$)	I_C (@ $V_{CE(\text{inicial})} = 5\text{ V}$)	I_C (@ $V_{CE(\text{inicial})} = 8\text{ V}$)
5	1.66 mA	1.85 mA	2.46 mA
7	2.17 mA	2.44 mA	2.5 mA
10	3.14 mA	3.5 mA	3.6 mA
20	6.53 mA	6.98 mA	7.4 mA

Cuadro 4.1: Ejemplo de la tabla a confeccionar

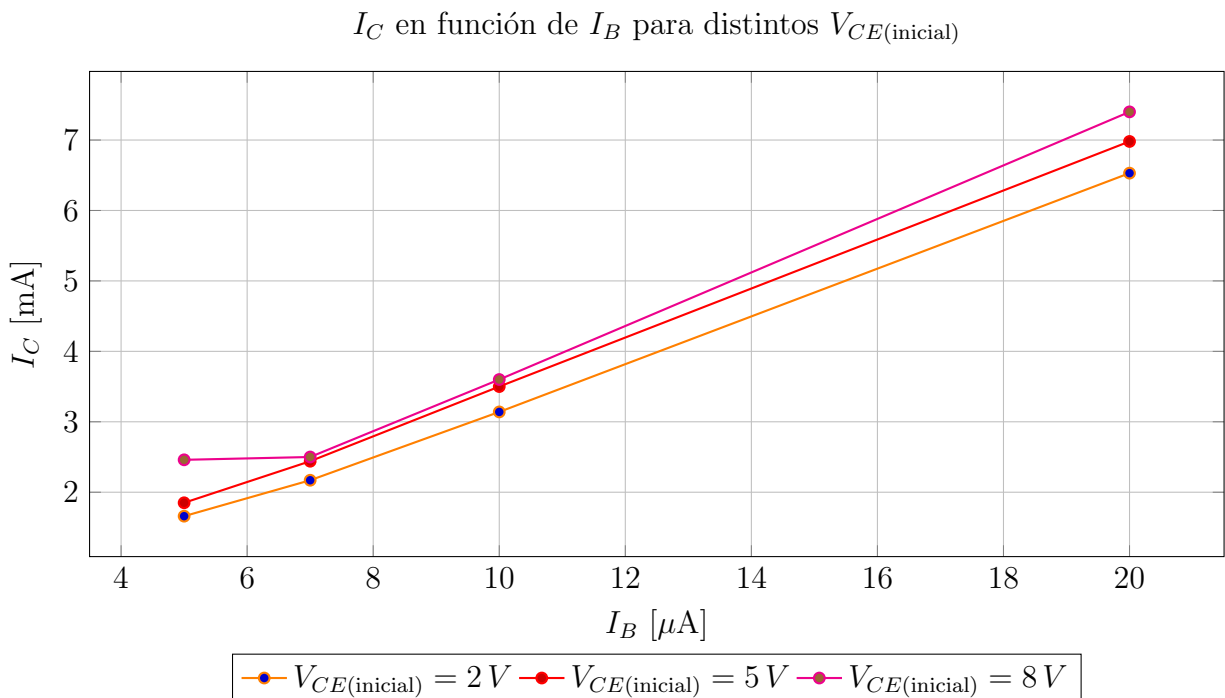


Figura 4.1: Curvas I_C en función de I_B para distintos $V_{CE(\text{inicial})}$

$V_{CE(\text{inicial})}$	β @ $I_B = 5 \mu\text{A}$	$I_B = 7 \mu\text{A}$	$I_B = 10 \mu\text{A}$	$I_B = 20 \mu\text{A}$
2 V	332	310	314	326.5
5 V	370	348.6	350	349
8 V	492	357.1	360	370

Cuadro 4.2: Valores de $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ para distintos $V_{CE(\text{inicial})}$

Conclusión

En este ejercicio nos dimos cuenta de que cometimos el error de ajustar la tensión colector-emisor a su valor inicial en cada medición, en lugar de dejar que variara naturalmente. Esto provocó que obtuviéramos una curva lineal, en lugar de la curva característica del transistor observada en la simulación. Gracias a esta herramienta, pudimos identificar nuestro error y comprender la importancia de contar con simulaciones para verificar el comportamiento de los circuitos, especialmente cuando los resultados experimentales no coinciden con lo esperado.

Por otro lado, la simulación también nos permitió visualizar cómo la corriente de colector depende directamente tanto de la corriente inyectada a la base como de la tensión colector-emisor, reafirmando el funcionamiento típico del transistor en sus distintas regiones de operación.

Interpretacion de las especificaciones del fabricante

Significado de cada parametro del datasheet

Características eléctricas a 25°C

$V_{(BR)CEO}$: Tensión de ruptura colector-emisor con base abierta. Es el voltaje máximo que puede haber entre colector y emisor cuando la base está abierta, sin que el transistor se dañe.

I_{CEO} : Corriente de fuga colector-emisor con base abierta. Es una corriente no deseada que circula aunque no se esté polarizando el transistor.

I_{CES} : Corriente de fuga colector-emisor con base en corto a emisor. También es una corriente de fuga, pero ahora con la base conectada a emisor.

I_C : Corriente máxima de colector. Es la corriente máxima que el transistor puede manejar por el colector sin dañarse.

I_{EBO} : Corriente de fuga emisor-base con colector abierto. Otra corriente de fuga, esta vez desde emisor hacia base.

h_{FE} : Ganancia de corriente en continua. También conocido como β , es la relación entre la corriente de colector y la de base (I_C/I_B).

h_{fe} : Igual que h_{FE} pero en pequeña señal.

V_{BE} : Tensión base-emisor directa. Es el voltaje que hay que aplicar entre base y emisor para que el transistor conduzca (usualmente $\sim 0.6-0.7V$ en BJT de silicio).

$V_{CE(sat)}$: Tensión de saturación colector-emisor. Es el voltaje que queda entre colector y emisor cuando el transistor está completamente saturado.

P_d : Potencia disipada máxima. Es la cantidad de potencia que el transistor puede disipar en forma de calor sin dañarse.

Características térmicas

θ_{jc} : Resistencia térmica unión-colector. Cuánto se eleva la temperatura de la unión por cada watt que se disipa hacia el colector. ($^{\circ}C/W$)

θ_{ja} : Resistencia térmica unión-ambiente. Qué tan eficiente es el transistor para disipar calor al aire sin disipador. ($^{\circ}C/W$)

Características de conmutación a 25°C

t_{on} : Tiempo de encendido. Es el tiempo que tarda el transistor en pasar de apagado a encendido (conducción).

Relevamiento para distintos transistores**BC548****Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = 30 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \text{min } 110, \text{ max } 800$$

$$I_{CEO} = \text{No esta en el DS}$$

$$h_{fe} = \text{min } 125, \text{ max } 900$$

$$I_{CES} = 0.2 \text{ nA}$$

$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$I_C = 500 \text{ mA}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = 0.25 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = \text{No esta en el DS}$$

$$P_d = 625 \text{ mW}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = 83.3 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$\theta_{ja} = 200 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = \text{No esta en el DS}$$

BC557**Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = -45 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \text{min } 125, \text{ max } 800$$

$$I_{CEO} = \text{No esta en el DS}$$

$$h_{fe} = \text{min } 125, \text{ max } 900$$

$$I_{CES} = -2 \text{ nA}$$

$$V_{BE} = -0.750 \text{ V}$$

$$I_C = -200 \text{ mA}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = -0.06 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = -100 \text{ nA}$$

$$P_d = 500 \text{ mW}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = 83.3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\theta_{ja} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = \text{No esta en el DS}$$

2N2222**Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = 30 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \text{min } 100, \text{ max } 300$$

$$I_{CEO} = \text{No esta en el DS}$$

$$h_{fe} = \text{min } 125, \text{ max } 900$$

$$I_{CES} = \text{No esta en el DS}$$

$$V_{BE} = 1.3 \text{ V}$$

$$I_C = 800 \text{ mA}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = 0.4 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = 10 \text{ nA}$$

$$P_d = 500 \text{ mW}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = 146 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$$

$$\theta_{ja} = 350 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = 35 \text{ nS}$$

BU208**Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = 700 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \geq 2.25$$

$$I_{CEO} = \text{No esta en el DS}$$

$$h_{fe} = \text{No esta en el DS}$$

$$I_{CES} = < 1 \text{ mA}$$

$$V_{BE} = < 1.5 \text{ V}$$

$$I_C = 5 \text{ A}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = < 5 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = \text{No esta en el DS}$$

$$P_d = 12.5 \text{ W}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = < 1.6 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$$

$$\theta_{ja} = \text{No esta en el datassheet}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = 10 \text{ uS}$$

MPS6514**Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = 25 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \text{min } 150, \text{ max } 300$$

$$I_{CEO} = \text{No esta en el DS}$$

$$h_{fe} = \text{No esta en el DS}$$

$$I_{CES} = \text{No esta en el DS}$$

$$V_{BE} = \text{No esta en el DS}$$

$$I_C = 200 \text{ mA}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = 0.5 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = \text{No esta en el DS}$$

$$P_d = 625 \text{ mW}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = 83.3 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\theta_{ja} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = \text{No esta en el DS}$$

TIP36**Características eléctricas a 25°C**

$$V_{(BR)CEO} = -40 \text{ V}$$

$$h_{FE} = \text{min } 25, \text{ max } 50$$

$$I_{CEO} = -1 \text{ mA}$$

$$h_{fe} = \text{min } 25$$

$$I_{CES} = -0.7 \text{ mA}$$

$$V_{BE} = -2 \text{ V}$$

$$I_C = -25 \text{ A}$$

$$V_{CE(\text{sat})} = -1.8 \text{ V}$$

$$I_{EBO} = \text{No esta en el DS}$$

$$P_d = 3.5 \text{ W}$$

Características térmicas

$$\theta_{jc} = 1 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

$$\theta_{ja} = 35.7 \text{ }^{\circ}\text{C/W}$$

Características de conmutación a 25°C

$$t_{on} = 1.1 \text{ }\mu\text{S}$$

Conclusiones

Durante la realización de este trabajo práctico se presentaron distintos desafíos, tanto a nivel experimental como conceptual. Uno de los principales inconvenientes fue la metodología utilizada en las mediciones: cometimos el error de mantener constante la tensión colector-emisor (V_{CE}) en cada punto, en lugar de permitir su variación natural. Esto resultó en la obtención de una curva lineal que no reflejaba adecuadamente el comportamiento característico del transistor bipolar. Fue gracias a la comparación con la simulación que pudimos detectar este desvío y corregir nuestra interpretación.

Por otro lado, la simulación fue una herramienta fundamental para comprender con mayor profundidad el funcionamiento interno del transistor. Nos permitió observar, por ejemplo, que cuando no se inyecta corriente a la base, la única corriente presente es la de fuga, la cual se encuentra en el orden de los picoamperes. Asimismo, confirmamos que la juntura base-emisor (BE), al ser polarizada directamente, se comporta como un diodo, lo cual es coherente con la teoría, ya que esta unión PN es precisamente eso. Además, pudimos notar cómo esta corriente se ve afectada por la temperatura, tal como se anticipa desde el modelo físico del diodo.

A través de las distintas mediciones y simulaciones, también corroboramos que existe una relación directa entre la corriente de base (I_B) y la corriente de colector (I_C), cumpliéndose la ecuación $I_C \approx h_{FE} \cdot I_B$ en la región activa del transistor. Esta observación valida el modelo de amplificación por corriente y nos permitió interpretar la base como una suerte de llave de control, capaz de regular el paso de corriente entre colector y emisor.

En cuanto a los criterios de medición, se utilizó instrumental básico de laboratorio (fuente, multímetro, y resistencias limitadoras) asegurando que los valores no excedieran las máximas especificaciones del transistor utilizado. Se realizaron cálculos previos para definir los valores de las resistencias de polarización, considerando los parámetros típicos de un BJT como el V_{BE} y el h_{FE} estimado.

Finalmente, los gráficos obtenidos (tanto experimentales como simulados) fueron analizados y comparados. En las simulaciones se logró visualizar claramente la curva característica I_C vs V_{CE} , que refleja las distintas regiones de operación del transistor (corte, activa y saturación), mientras que en la experiencia de laboratorio, los errores cometidos inicialmente impidieron reproducir dicha curva con fidelidad. Esta diferencia destacó el valor didáctico de la simulación y la importancia de aplicar correctamente los criterios de medición.

Se adjuntan fotografías de las conexiones realizadas, los instrumentos utilizados y capturas de pantalla de las simulaciones más representativas.