

OBJETIVOS

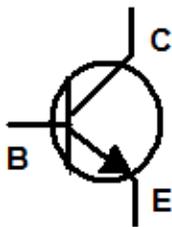
- Reconocer como funciona el transistor bipolar.
- Reconocer las zonas de operación como amplificador, en corte y saturación.

1. Conceptos Preliminares

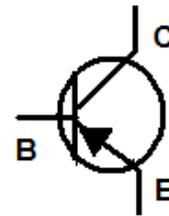
El transistor como elemento activo, puede ser utilizado según las modalidades base común, colector común y emisor común. Los transistores bipolares pueden ser NPN o PNP

Para comprender su funcionamiento, se requiere realizar un ensayo en laboratorio, con instrumentos adecuados de precisión que permita medir valores y obtener resultados que luego de ser interpretados resultan de gran significado para comprender como opera un transistor.

Transistor NPN



Transistor PNP



Polarización de Transistores

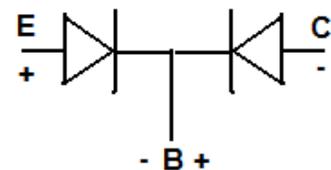
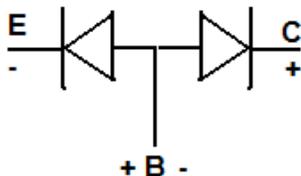


Figura 1: Representación gráfica de un transistor

El transistor NPN polariza la juntura C-B en forma inversa, la juntura E-B de forma directa.

El transistor PNP polariza la juntura C-B en forma inversa, la juntura E-B de forma directa.

Regla: La polarización E-B en forma directa. La polarización C-B en forma inversa.
El transistor NPN polariza el colector a positivo. El PNP polariza el colector a negativo.

La indicación “+ B -” que se observa en las gráficas significa que la Base puede estar con polaridad cambiante, tal como sucede con una señal variable en el tiempo.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

Curva de transferencia y Curva de Salida

Tal como se explica en la teoría, las ecuaciones a considerar en el circuito son

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{cc} = I_C \cdot R_c + V_{ce}$$

$$\beta = I_C / I_B$$

Donde:

I_E = Corriente del emisor

I_C = Corriente del Colector

I_B = Corriente de Base

V_{cc} = Polarización entre Colector y Emisor

V_{be} = Polarización entre Base y Emisor

R_c = Resistencia de carga

$\beta = (H_{fe})$ Ganancia de Corriente ($\gg 1$. Generalmente entre 40 a 600)

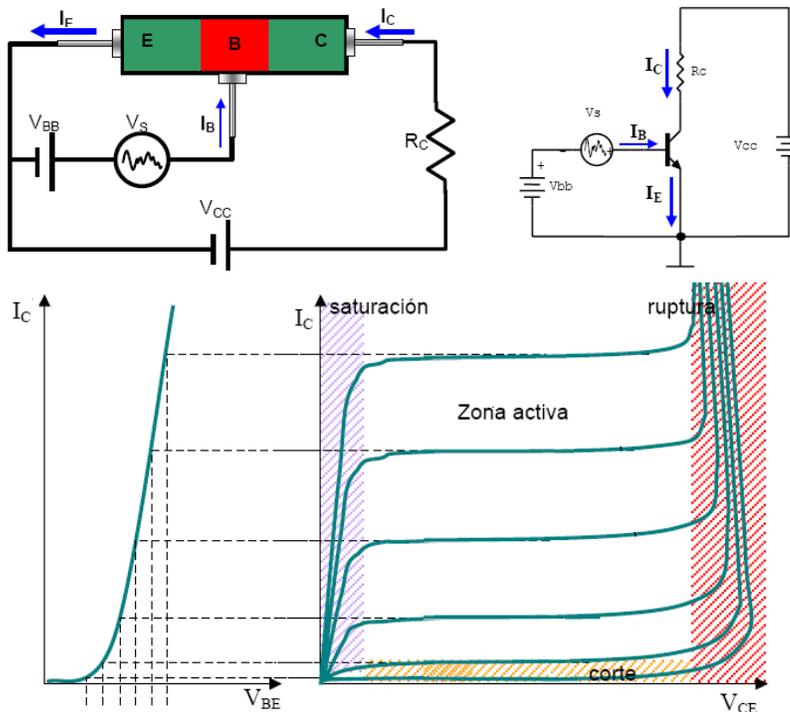


Figura 2: Esquema y gráfica de las curvas de transferencia y de salida (apunte de Teoría)

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

2. Desarrollo. Experiencia práctica

Para determinar y trazar la curva característica de salida (I_c vs V_{ce}) se analiza el circuito de la figura 3. En el circuito se indican los instrumentos de medición, esto es, amperímetros y voltímetros correspondientes a I_B , I_C , V_{CE} , V_{BE} .

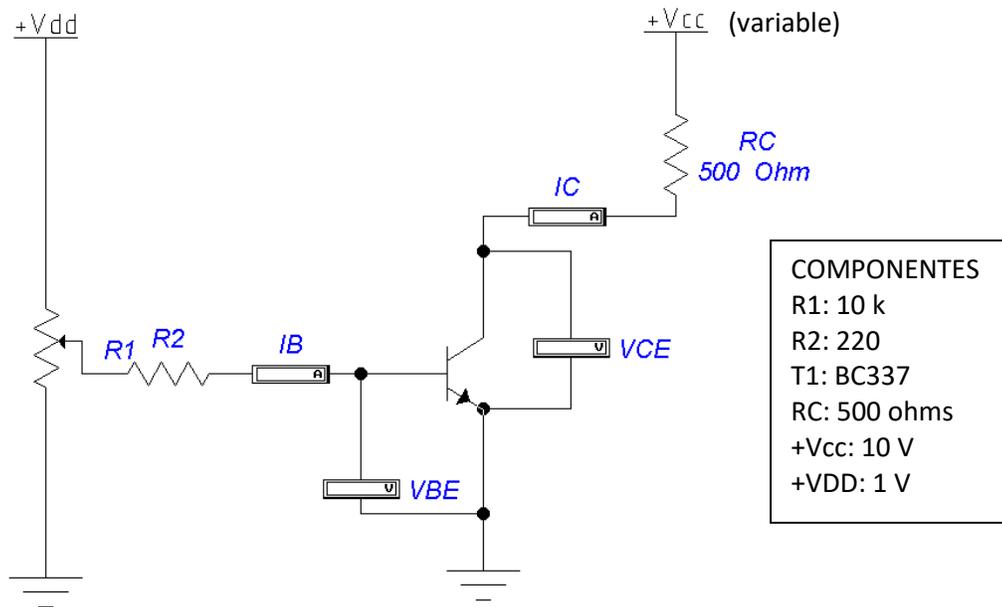


Figura 3: Circuito de ensayo experimental. Vdd fuente de valor fijo. Vcc fuente de valor variable entre 0 a 10Volt.

Método de trabajo:

- 1_En el circuito de la figura 3, con $V_{dd}=1V$ se ajusta $R1$ de tal modo que se fije un valor de I_B , el cual no variará durante los procedimientos indicados en los puntos 2, 3 y 4.
- 2_ Con este valor de I_B cte. (corriente de base constante) se procede a ajustar el Valor de V_{CE} en 1 volt utilizando una fuente variable indicada como $+V_{cc}$. Se procede a medir el valor de la corriente de colector (I_C).
- 3_ Para realizar otra medición se ajusta otra vez V_{CE} en 2 Volt modificando la fuente variable $+V_{cc}$. Se mide ahora un nuevo valor de la corriente de colector (I_C).
- 4_ Se repite el procedimiento indicado en el punto 3 para diferentes V_{CE} entre 3 y 10volt. Todos los valores de V_{CE} e I_C se corresponden para el Valor de I_B ajustado en el punto 1.
- 5_ Se procede a repetir la experiencia para otro valor de I_B mayor (isolínea de base), tal como se indica en el punto 1. Se repiten los procedimientos indicados en los puntos 2,3 y 4.

Los resultados se ordenan según una tabla.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

Tabla de Resultados de la experiencia

La experiencia realizada con un transistor BC337 comercial se observa en la tabla 1
 Los valores se corresponden para Corrientes de Base de $I_B = 10 \mu A$, $40 \mu A$, 80 y $100 \mu A$.

$I_B = 10 \mu A$

$I_B = 40 \mu A$

VCE (V)	IC (mA)	Hfe		VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	1,9	190		0,1	7	175
1	2,25	225		1	9,1	227,5
2	2,33	233		2	9,35	233,75
3	2,35	235		3	9,52	238
4	2,37	237		4	9,54	238,5
5	2,43	243		5	9,6	240
6	2,49	249		6	9,93	248,25
7	2,53	253		7	10,1	252,5
8	2,59	259		8	10,2	255
9	2,64	264		9	10,33	258,25
10	2,72	272		10	10,45	261,25
Promedio		242		Promedio		239

$I_B = 80 \mu A$

$I_B = 100 \mu A$

VCE (V)	IC (mA)	Hfe		VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	12,8	160		0,1	16,02	160,2
1	18,2	227,5		1	23,05	230,5
2	19,18	239,75		2	24,4	244
3	19,6	245		3	25,03	250,3
4	19,97	249,625		4	25,55	255,5
5	20,5	256,25		5	26,22	262,2
6	21	262,5		6	26,76	267,6
7	21,49	268,625		7	27,65	276,5
8	22,05	275,625		8	28,7	287
9	22,33	279,125		9	29,24	292,4
10	22,8	285		10	30,02	300,2
Promedio		250		Promedio		257

Tabla 1: Valores experimentales obtenidos del ensayo del circuito Figura 3.

TRABAJO PRÁCTICO A DESARROLLAR

Punto A. Con los valores de la tabla 1 realice el gráfico de la curva característica o curva de salida (I_C vs V_{CE}) para el transistor NPN BC337 utilizado en el circuito de la figura 3. Presente los valores y gráfico utilizando software Planilla de Cálculo. Indique en los ejes los valores (título, unidades y magnitudes) para cada curva de I_B constantes. El resultado debería ser similar al indicado en la figura 4.

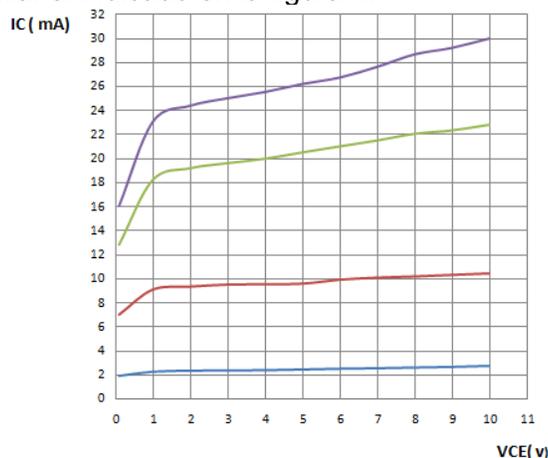


Figura 4: Curva característica de salida (I_C vs V_{CE}). Transistor BC337

Punto B. Indique las características observadas de la experiencia y las características que se obtienen de los datos que entrega el fabricante del transistor BC337 (ver al final las especificaciones técnicas)

Responda la Pregunta:

¿La ganancia de corriente calculada se corresponde con la hoja de datos técnicos del fabricante?

Nota: La hoja de datos técnicos del transistor BC337 se obtiene fácilmente descargándola de cualquier sitio web. El práctico incluye como anexo parte de la hoja de datos del BC337.

Punto C. Con los valores de la Tabla1 calcule la Recta de Carga considerando las ecuaciones:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} \quad \beta = I_C / I_B$$

Utilizando una Planilla de Cálculo (software) realice las ecuaciones y presente los valores de V_{CC} , V_{CE} , R_C e I_C . Considere que $V_{CC}=10$ Volt y $R_C= 500$ ohm no cambian de valor en las ecuaciones. Realice un gráfico que muestre el trazado de la recta de carga sobre la gráfica obtenida en el punto A.

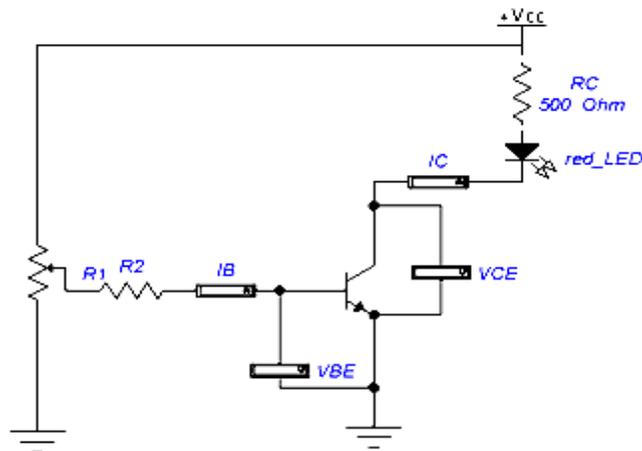
Punto D. Experimentalmente se determinaron los valores correspondientes al circuito de la Figura 3. Fijando un valor de V_{CE} , se intercepta la isolínea de I_B constante y se mide el valor de I_C sobre la ordenada. Se indican los valores en la Tabla 2. Los valores de I_B se corresponden con los adoptados para el trazado de la curva característica (10, 40, 80 y 100 μA) Realice el gráfico correspondiente y compárelo con el obtenido en el punto C.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

	RECTA DE CARGA EXPERIMENTAL	
IB (uA)	VCE (V)	IC (mA)
100	0,13	19,9
80	0,85	18,5
40	5,3	9,62
10	8,94	2,42
	10	0
	0	20

Tabla 2: Valores experimentales del circuito de la figura 3

Punto E. Realice el circuito de la Figura 5. Variando el valor de la resistencia R1 o R2 se podrá observar cómo cambia la intensidad lumínica del diodo “Led” en serie con la Resistencia de Carga (RC). Esto prueba que la corriente IC varía en función del valor de IB que cambia con el valor de las resistencias.



COMPONENTES
de REFERENCIA
R1: 10 k ohm
R2: 22 ohms
T1: BC337
RC: 500 ohm

Figura 5: Circuito de ensayo. (Nota: Los valores de los componentes pueden variar)

Año 2021.

Modalidad Virtual. Desarrollar El Circuito con el Simulador Proteus Profesional V8.8 sp1

- Armar el circuito eléctrico de la figura 5. (Simulación)
- Ensayar el circuito según las indicaciones del punto E.
- Observar resultados y anotarlos (de la Simulación)
- AGREGAR IMAGEN DE LA SIMULACIÓN en el Informe.
- Adjuntar archivo electrónico de la Simulación. (Solo si es posible)

Nota. Recordar que los componentes pueden adoptar valores diferentes al mostrado en el circuito El objetivo es lograr el funcionamiento descrito en el punto E.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

Punto F. Realice el circuito de la figura 6. Observe que ubicando la llave en una posición u otra el Led indicado como “red LED” se enciende o se apaga.

Responda a las preguntas:

1. ¿Cuál es la condición del “led” (encendido o apagado) que se corresponde al Estado de Corte y cuál al Estado de Saturación? Explique y fundamente.
2. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se reemplaza el Transistor NPN (BC337) por otro Transistor PNP (BC327). Nota. Los códigos de los Transistores son a modo ilustrativo. Explique.

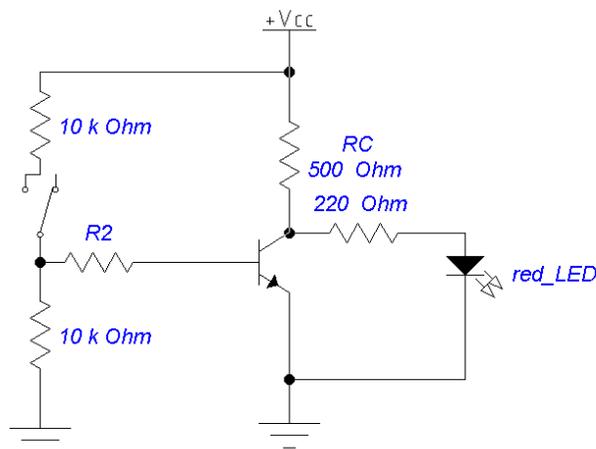


Figura 6: Circuito de ensayo. Corte y saturación. R2: utilice resistencia pequeña (ej. 220 ohm).
Nota: Los valores de los componentes pueden variar)

Año 2021.

Modalidad Virtual. Desarrollar El Circuito con el Simulador Proteus Profesional V8.8 sp1

- Armar el circuito eléctrico de la figura 6. (Simulación)
- Ensayar el circuito según las indicaciones del punto F.
- Observar resultados y anotarlos (de la Simulación)
- AGREGAR IMAGEN DE LA SIMULACIÓN en el Informe.
- Adjuntar Archivo electrónico de la Simulación. (Solo si es posible)

Nota. Recordar que los componentes pueden adoptar valores diferentes al mostrado en el circuito El objetivo es lograr el funcionamiento descrito en el punto F.

RESUMEN DE LA ACTIVIDAD

Realice todos los ejercicios indicados en los Puntos A a F.

- _ Presente un informe grupal con los resultados. (Use el Modelo de Presentación)
- _ Indique en cada hoja del informe el mismo encabezado que el utilizado en este Trabajo. En el pie de página indique los nombres completos, legajo y carrera del grupo de trabajo.
- _ Adjuntar los circuitos de simulación y enviar junto al archivo electrónico del Tpráctico. (Solo si es posible)

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

EJERCICIOS PROPUESTOS (NO SON OBLIGATORIOS. NO SE ENTREGAN)

Ejercicio 1.

Dado el circuito de la Figura 5, responda las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se reemplaza el diodo led por un diodo común (ej. 1N4007) con la misma polarización del circuito? Explique.
2. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se reemplaza pin a pin el Transistor NPN (BC337) por otro Transistor PNP (BC327). Nota. Los códigos de los Transistores son a modo ilustrativo. Explique lo que sucede. Nota: pin a pin significa que se reemplaza en forma directa el transistor, colector con colector y lo mismo con la base y emisor. Tenga en cuenta la polarización de los transistores.

Ejercicio 2.

Dado el circuito de la Figura 6, responda las siguientes preguntas.

1. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se reemplaza el diodo led por un diodo común (ej. 1N4007) con la misma polarización del circuito? Explique.
2. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se reemplaza el diodo led por un diodo común (ej. 1N4007) polarizado en forma inversa? Nota. Se conecta el ánodo del diodo a masa. Explique.
3. ¿Cuál es el comportamiento del circuito si se conecta el led en forma inversa? Nota. Se conecta el ánodo del led a masa. Explique.

Ejercicio 3.

Dado el circuito de la figura 3, y los valores de la Tabla 2, determine

- a). La Ganancia de Corriente para $I_B = 40 \mu\text{A}$.
- b). La Ganancia de Corriente para $I_B = 100 \mu\text{A}$.

Ejercicio 4.

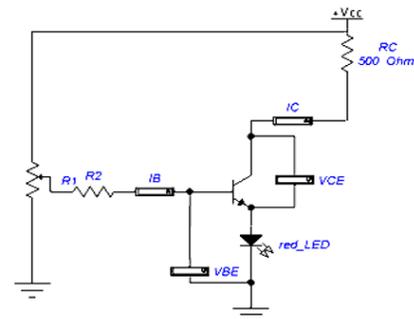
Dado el circuito de la figura 5. Responda

- a). Si disminuye el valor de R_C ($R_C = 10 \text{ ohms}$), Explique el funcionamiento del Led
- b). Con $R_C = 470 \text{ ohms}$. Calcule la Ganancia en Corriente para $I_B = 40 \mu\text{A}$.
Use los datos de la Tabla 2.

Ejercicio 5.

Dado el circuito,

- a) Explique el funcionamiento del led cuando se modifica la corriente de Base (aumento o disminución de I_B)



ANEXO. Transistor BC337 (No es Obligatorio presentar estas páginas)

BC817; BC817W; BC337

45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors

Rev. 06 — 17 November 2009

Product data sheet

1. Product profile

1.1 General description

NPN general-purpose transistors.

Table 1. Product overview

Type number	Package		PNP complement
	NXP	JEITA	
BC817	SOT23	-	BC807
BC817W	SOT323	SC-70	BC807W
BC337 ^[1]	SOT54 (TO-92)	SC-43A	BC327

[1] Also available in SOT54A and SOT54 variant packages (see [Section 2](#)).

1.2 Features

- High current
- Low voltage

1.3 Applications

- General-purpose switching and amplification

1.4 Quick reference data

Table 2. Quick reference data

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base; $I_C = 10 \text{ mA}$	-	-	45	V
I_C	collector current (DC)		-	-	500	mA
I_{CM}	peak collector current		-	-	1	A
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100 \text{ mA};$ $V_{CE} = 1 \text{ V}$	[1]	-	-	
	BC817; BC817W; BC337		100	-	600	
	BC817-16; BC817-16W; BC337-16		100	-	250	
	BC817-25; BC817-25W; BC337-25		160	-	400	
	BC817-40; BC817-40W; BC337-40		250	-	600	

[1] Pulse test: $t_p \leq 300 \mu\text{s}$; $\delta \leq 0.02$.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

NXP Semiconductors

BC817; BC817W; BC337

45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors

5. Limiting values

Table 6. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
V_{CB0}	collector-base voltage	open emitter	-	50	V
V_{CE0}	collector-emitter voltage	open base; $I_C = 10$ mA	-	45	V
V_{EB0}	emitter-base voltage	open collector	-	5	V
I_C	collector current (DC)		-	500	mA
I_{CM}	peak collector current		-	1	A
I_{EM}	peak base current		-	200	mA
P_{tot}	total power dissipation				
	BC817	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	250	mW
	BC817W	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	200	mW
	BC337	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	625	mW
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	°C
T_J	junction temperature		-	150	°C
T_{amb}	ambient temperature		-65	+150	°C

[1] Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board, single-sided copper, tin-plated and standard footprint.

[2] Valid for all available selection groups.

6. Thermal characteristics

Table 7. Thermal characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$R_{th(j-a)}$	thermal resistance from junction to ambient					
	BC817	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	-	500	K/W
	BC817W	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	-	625	K/W
	BC337	$T_{amb} \leq 25$ °C	[1][2]	-	200	K/W

[1] Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board, single-sided copper, tin-plated and standard footprint.

[2] Valid for all available selection groups.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

NXP Semiconductors

BC817; BC817W; BC337

45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors

7. Characteristics

Table 8. Characteristics

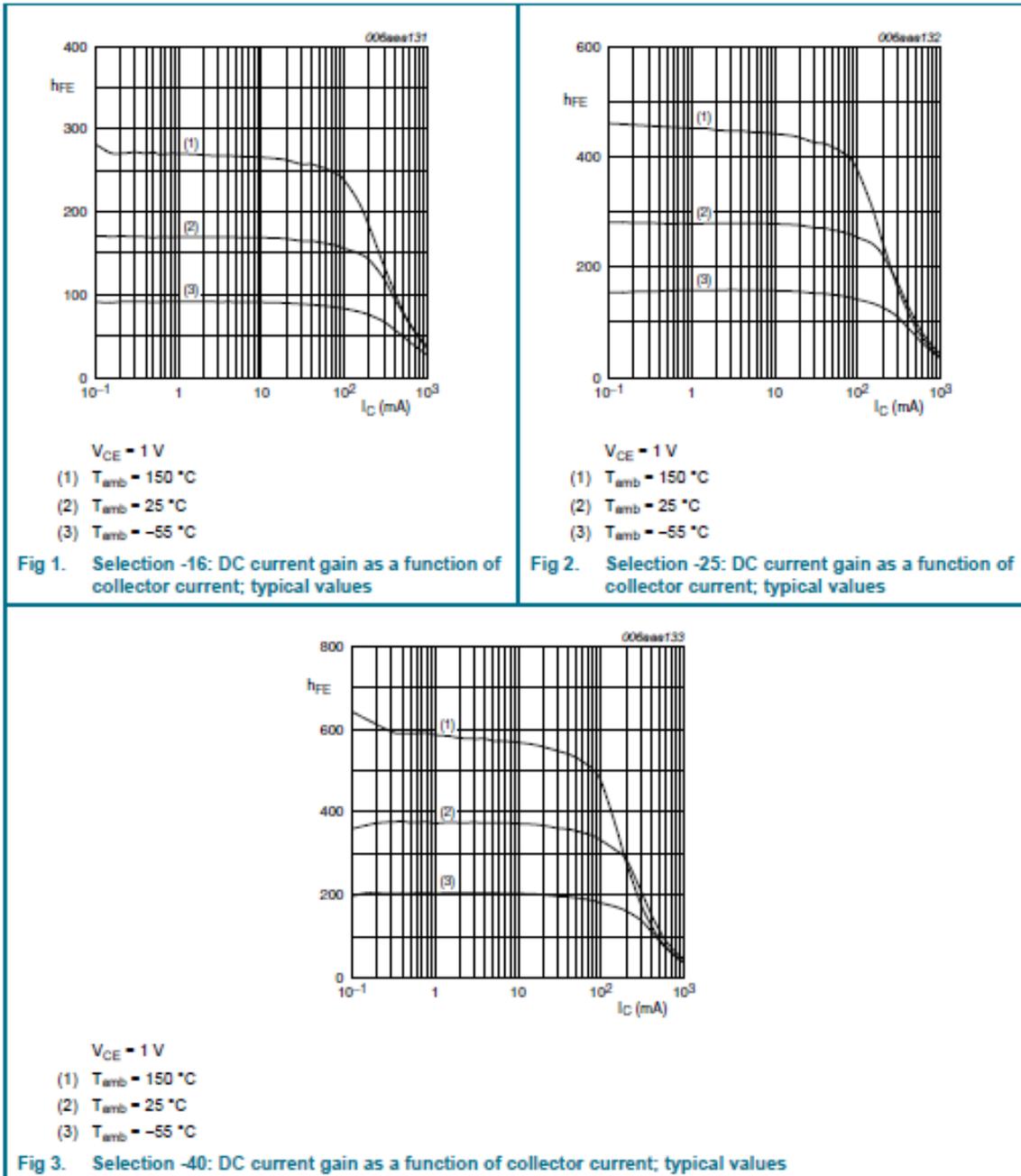
$T_{amb} = 25\text{ °C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_{CBO}	collector-base cut-off current	$I_E = 0\text{ A}; V_{CB} = 20\text{ V}$	-	-	100	nA
		$I_E = 0\text{ A}; V_{CB} = 20\text{ V};$ $T_J = 150\text{ °C}$	-	-	5	μA
I_{EBO}	emitter-base cut-off current	$I_C = 0\text{ A}; V_{EB} = 5\text{ V}$	-	-	100	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 100\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[1]			
			BC817; BC817W; BC337	100	-	600
			BC817-16; BC817-16W; BC337-16	100	-	250
			BC817-25; BC817-25W; BC337-25	160	-	400
	BC817-40; BC817-40W; BC337-40	250	-	600		
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[1] 40	-	-	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 500\text{ mA}; I_E = 50\text{ mA}$	[2] -	-	700	mV
V_{BE}	base-emitter voltage	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}$	[2] -	-	1.2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_B = 0\text{ A}; V_{CB} = 10\text{ V};$ $f = 1\text{ MHz}$	-	3	-	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $f = 100\text{ MHz}$	100	-	-	MHz

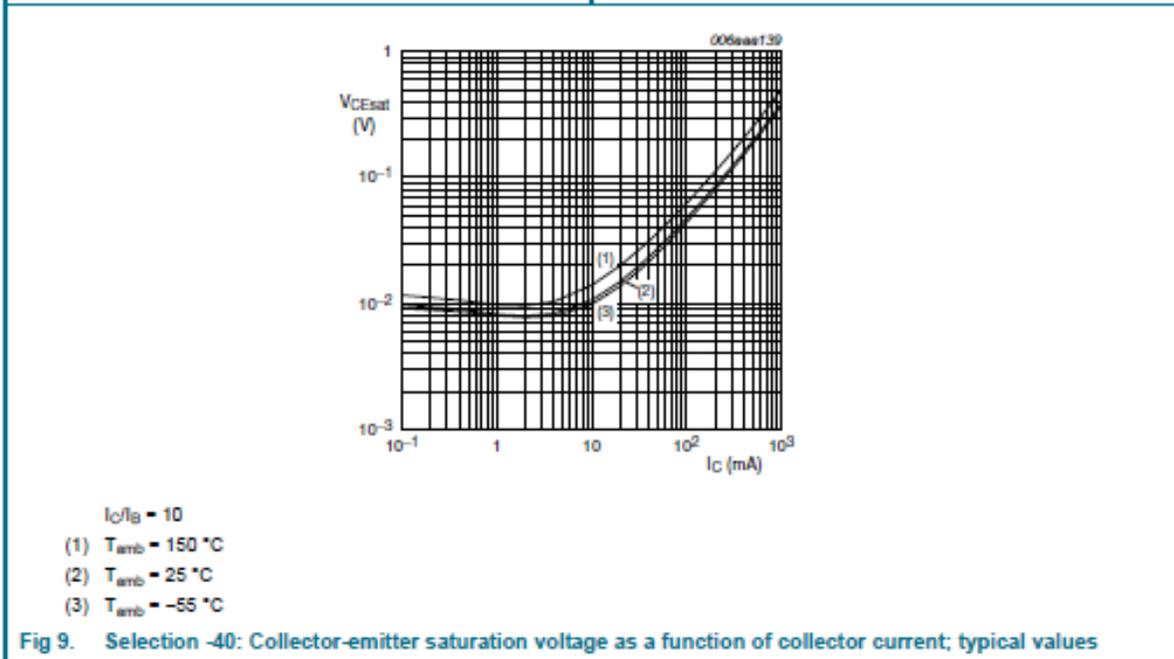
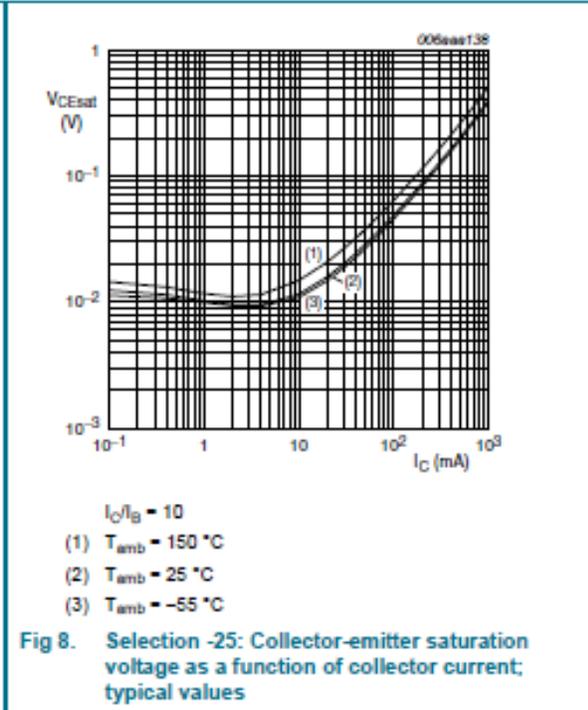
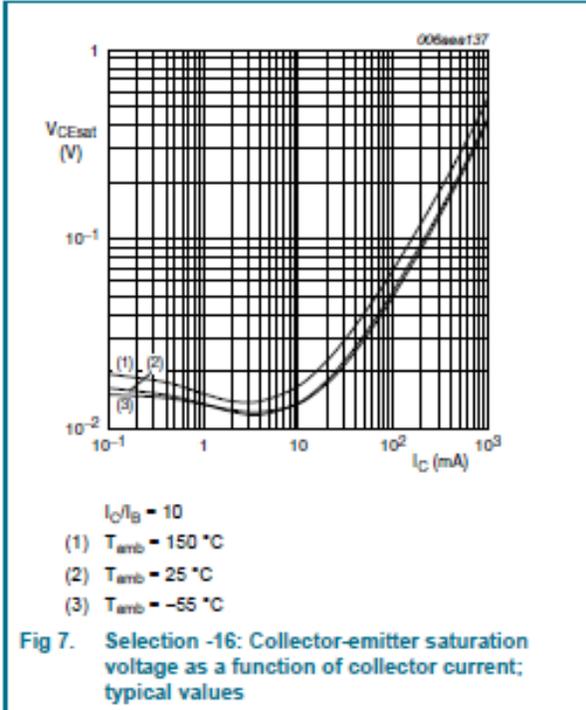
[1] Pulse test: $t_p \leq 300\text{ }\mu\text{s}; \delta \leq 0.02$.

[2] V_{BE} decreases by approximately 2 mV/K with increasing temperature.

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación



FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación



FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2024-TP N°3
El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación

NXP Semiconductors

BC817; BC817W; BC337

45 V, 500 mA NPN general-purpose transistors

