

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS
2022-TP N°3.

El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación.
Corte y Saturación



OBJETIVOS

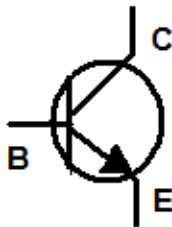
- Reconocer como funciona el transistor bipolar.
- Reconocer las zonas de operación como amplificador, en corte y saturación.

1. Conceptos Preliminares

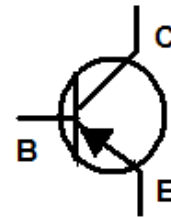
El transistor como elemento activo, puede ser utilizado según las modalidades base común, colector común y emisor común. Los transistores bipolares pueden ser NPN o PNP

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

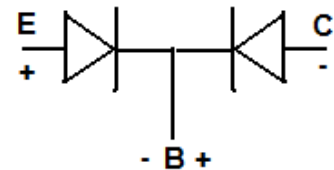
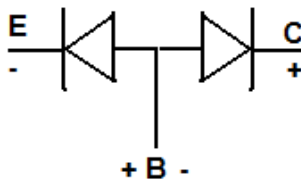


Figura 1: Representación gráfica de un transistor

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
2022-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

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$\beta = I_C / I_B$$

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)

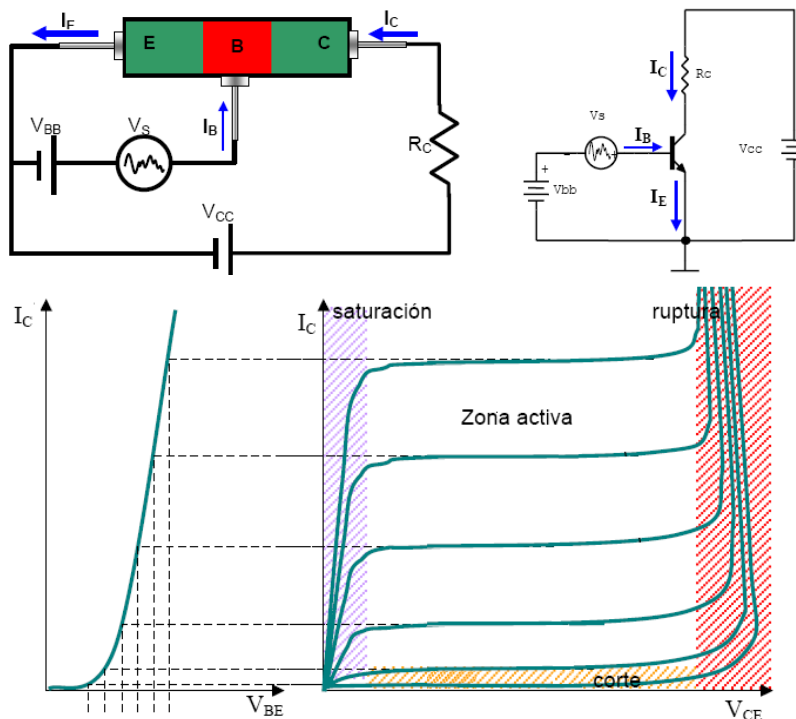


Figura 2: Esquema y gráfica de las curvas de transferencia y de salida

FACULTAD DE INGENIERIA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
ELECTRONICA GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL - INGENIERIA MECATRONICA
CARPETA TRABAJOS PRACTICOS

2022-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 o curva de salida 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} .

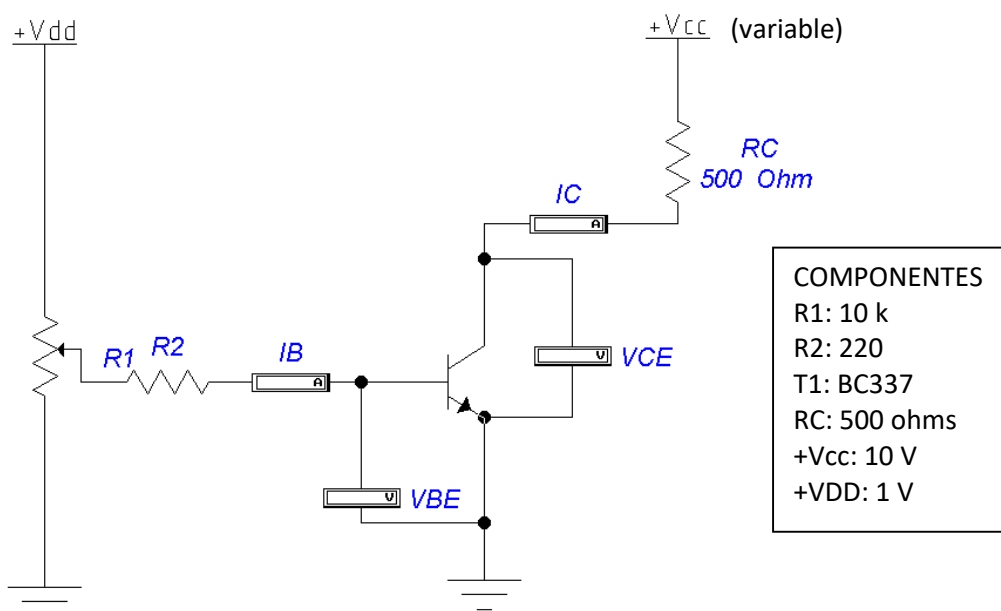


Figura 3: Circuito de ensayo experimental. Vdd fuente de valor fijo. Vcc fuente de valor variable entre 0 a 10Volt.

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.

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 gráficos utilizando el 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.

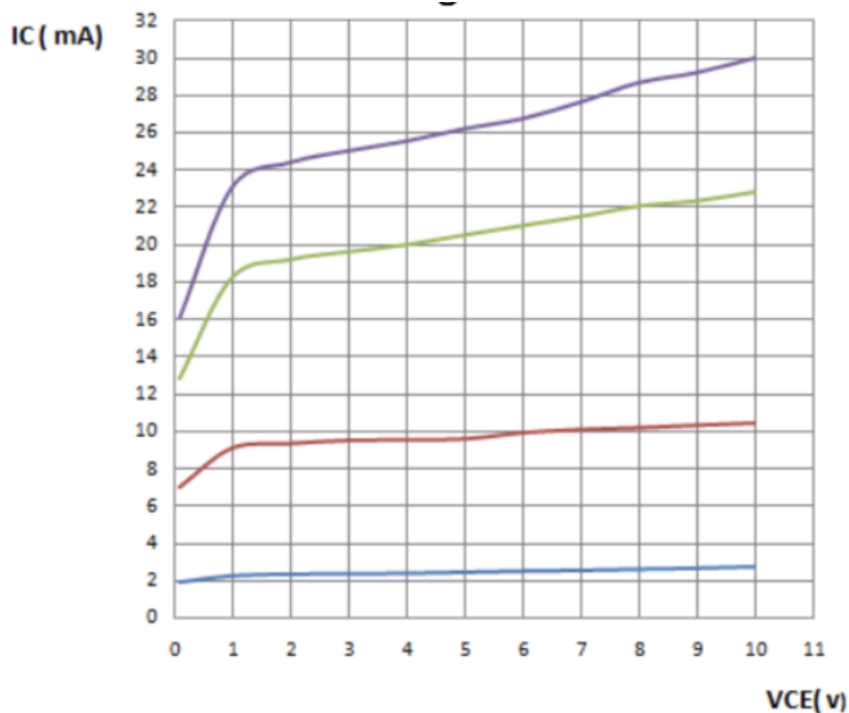


Figura 4

Desarrollo del Punto A.

1 | Avalos, Jose Agustin (13291 - MEC); Borquez Perez, Juan Manuel (13567- MEC);
Cazabán, Martín Gabriel (12381- MEC); Dalessandro, Francisco (13318 - MEC);
Escobar, Matías Leonel (13328 - MEC); Martín Duci, Ignacio (13560 - MEC)

FACULTAD DE INGENIERÍA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO ELECTRÓNICA
GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL – INGENIERIA EN MECATRONICA CARPETA
TRABAJOS PRÁCTICOS
2022 - TP N° 3

El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación. Corte y Saturación

IB (uA) = 10

VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	1,9	190
1	2,25	225
2	2,33	233
3	2,35	235
4	2,37	237
5	2,43	243
6	2,49	249
7	2,53	253
8	2,59	259
9	2,64	264
10	2,72	272

Promedio 242

IB (uA) = 40

VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	7	175
1	9,1	227,5
2	9,35	233,75
3	9,52	238
4	9,54	238,5
5	9,6	240
6	9,93	248,25
7	10,1	252,5
8	10,2	255
9	10,33	258,25
10	10,45	261,25

Promedio 239

IB (uA) = 80

VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	12,8	160
1	18,2	227,5
2	19,18	239,75
3	19,6	245
4	19,97	249,625
5	20,5	256,25
6	21	262,5
7	21,49	268,625
8	22,05	275,625
9	22,33	279,125
10	22,8	285

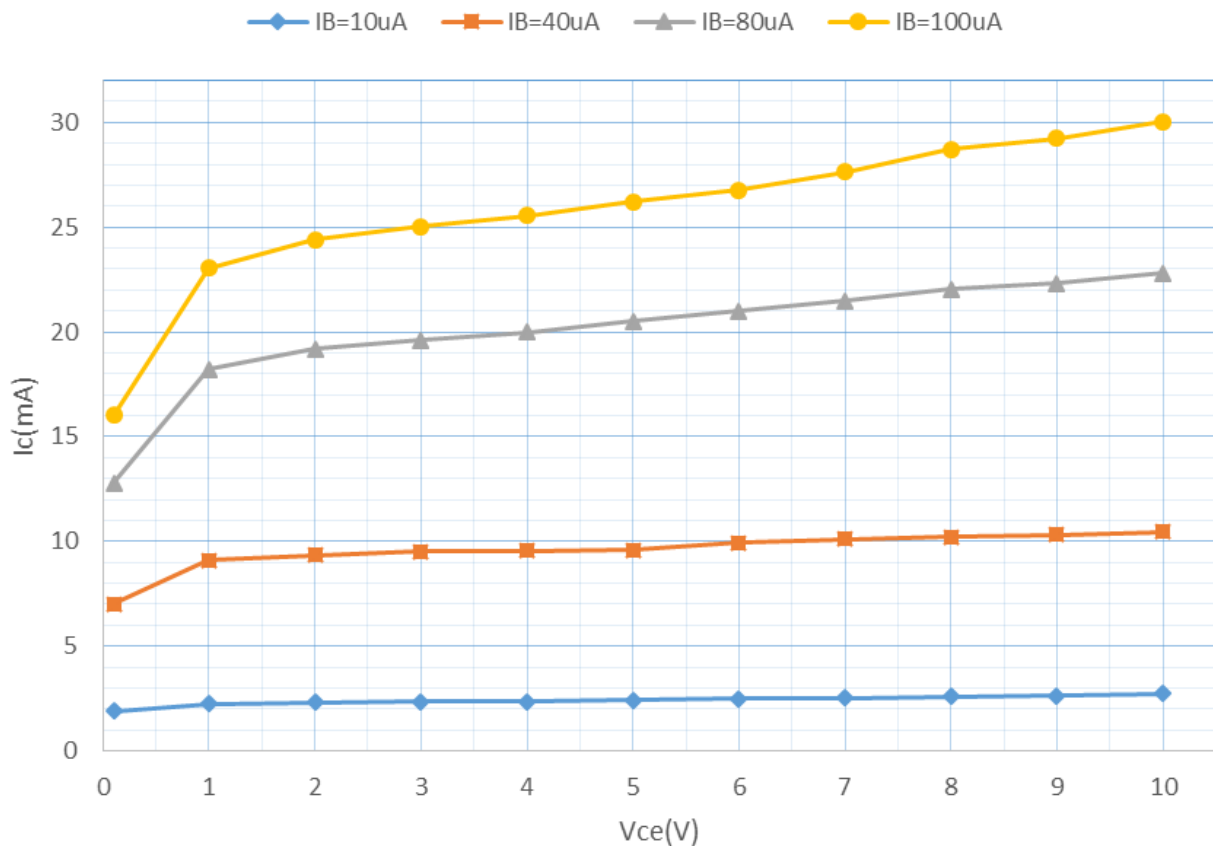
Promedio 250

IB (uA) = 100

VCE (V)	IC (mA)	Hfe
0,1	16,02	160,2
1	23,05	230,5
2	24,4	244
3	25,03	250,3
4	25,55	255,5
5	26,22	262,2
6	26,76	267,6
7	27,65	276,5
8	28,7	287
9	29,24	292,4
10	30,02	300,2

Promedio 257

CURVA CARACERÍSTICA O DE SALIDA PARA TRANSISTOR NPN 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?

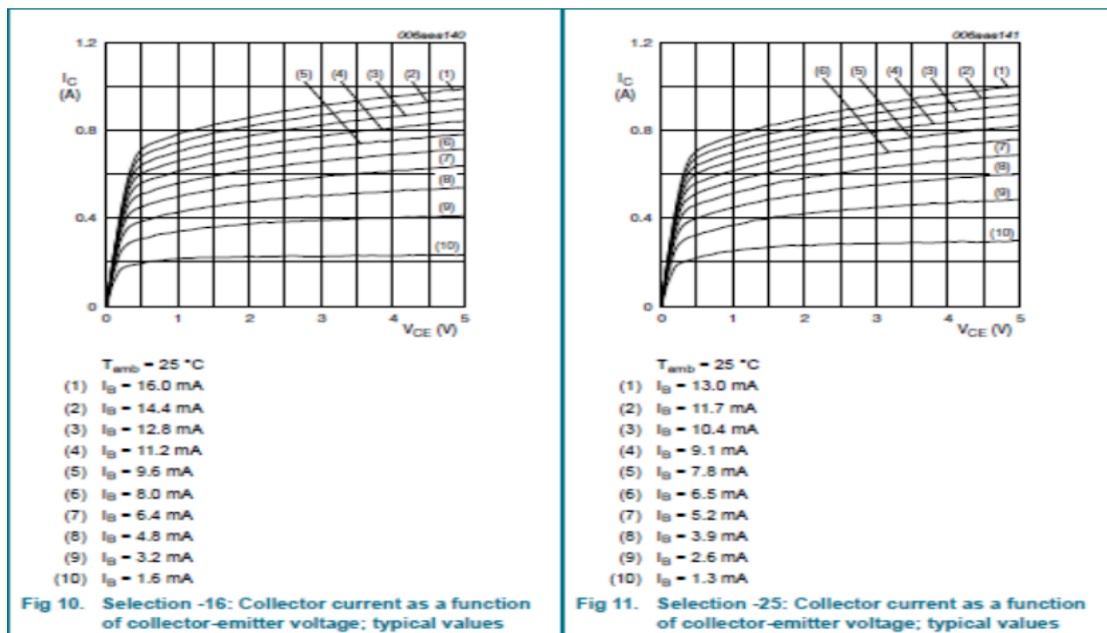
Nota: La hoja de datos técnicos del transistor BC337 se obtiene fácilmente descargándola de cualquier sitio web. El práctico incluye como anexo parte de la hoja de datos del BC337.

Desarrollo del Punto B.

Realizando el ensayo anterior para diferentes valores de I_B , se pueden construir diferentes isolíneas que se muestran en el gráfico. Observar que para una corriente de base I_B constante no se producen grandes cambios en la corriente del colector I_C al aumentar V_{ce} , lo cual concuerda con lo visto en teoría. De todos modos se puede notar que al tomar valores más elevados de I_B , las isolíneas comienzan a tener una tendencia a alejarse de la horizontal, tienen una pendiente. Si se quisiera regular la corriente I_C , una mejor opción sería modificar la tensión V_{be} (tensión base-emisor).

Además vemos que si mantenemos constante algún valor de tensión V_{ce} a la vez que aumentamos la corriente I_B , se obtienen valores de I_C más elevados, gráficamente lo podemos ver como una línea vertical que intercepta las distintas isolíneas. Por ejemplo: para los valores $V_{ce}=5\text{V}$ y $I_B=40\text{ uA}$ se tiene una corriente $I_C=10\text{ mA}$ (aproximadamente), mientras que para los valores $V_{ce}=5\text{V}$ y $I_B=100\text{ uA}$ se tiene $I_C=26\text{ mA}$.

Otra característica a resaltar es que cuando la tensión V_{ce} tiende a cero entramos en la zona de saturación y la corriente I_C tiende a disminuir.



En la imagen anterior se ven las curvas características del transistor BC337 entregadas por el fabricante. Se observan varias isolíneas correspondientes a diferentes valores de I_B y en general podemos resaltar las mismas características que ya se mencionaron anteriormente.

En los datos técnicos entregados por el fabricante se muestra que la ganancia de corriente está entre 100 y 600, y en nuestro ensayo los promedios están entre 242 y 257, es decir, que si se corresponden ya que están entre el valor máximo y mínimo.

Punto C

Con los valores de la Tabla 1 calcule la Recta de Carga considerando las ecuaciones:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

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.

Desarrollo del Punto C

La expresión de la Recta de Carga es la siguiente:

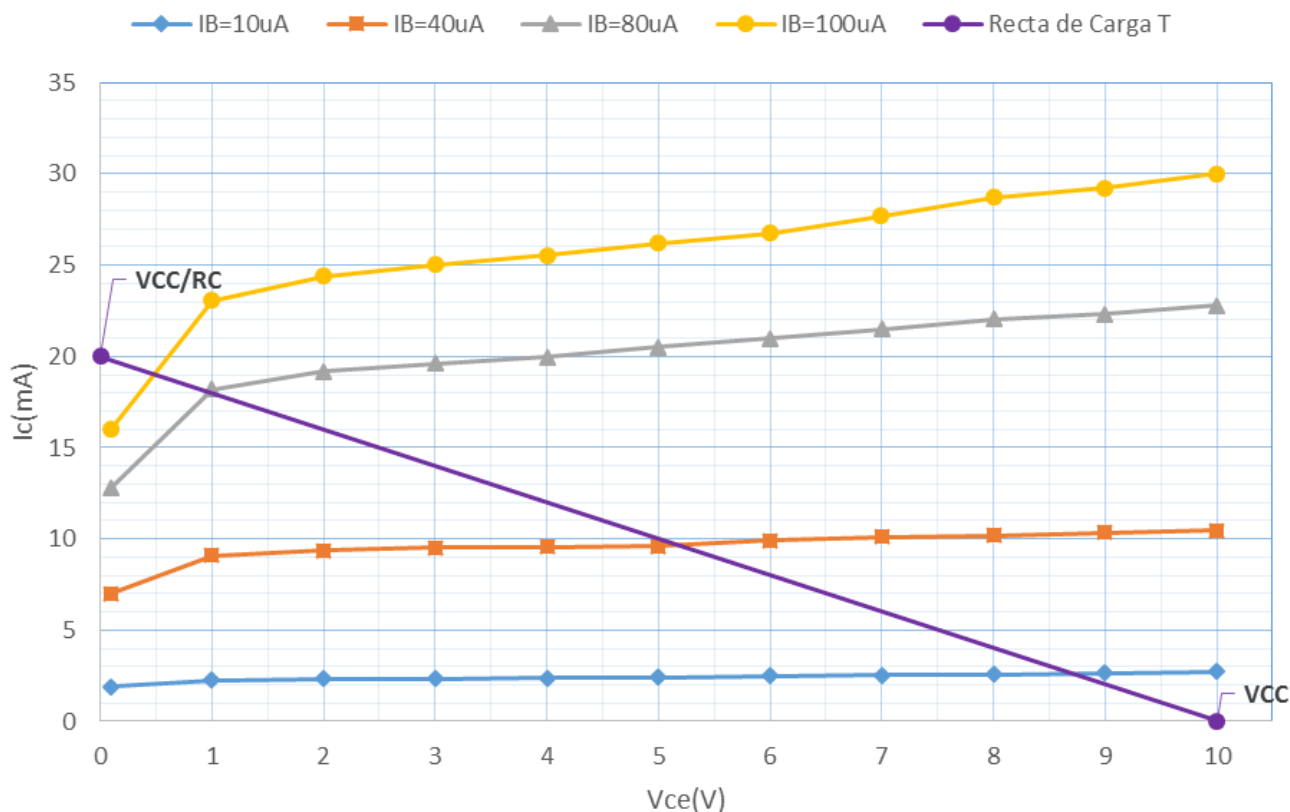
$$V_{CC} = V_{CE} + I_C * R_C$$

La ecuación relaciona V_{CE} con los correspondientes valores de I_C para unos valores dados de R_C y de V_{CC} en la malla de la carga. Si tomamos constantes los valores de R_C y de V_{CC} la anterior es la ecuación de una recta que podemos determinar conociendo dos puntos de la misma de la siguiente manera:

$$I_C = 0 \rightarrow V_{CC} = V_{CE} = 10 V$$

$$V_{CE} = 0 \rightarrow I_{CC} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10V}{0,5 K\Omega} = 20 mA$$

**CURVA CARACTERÍSTICA O DE SALIDA PARA TRANSISTOR NPN
BC337
MÁS RECTA DE CARGA TEÓRICA**



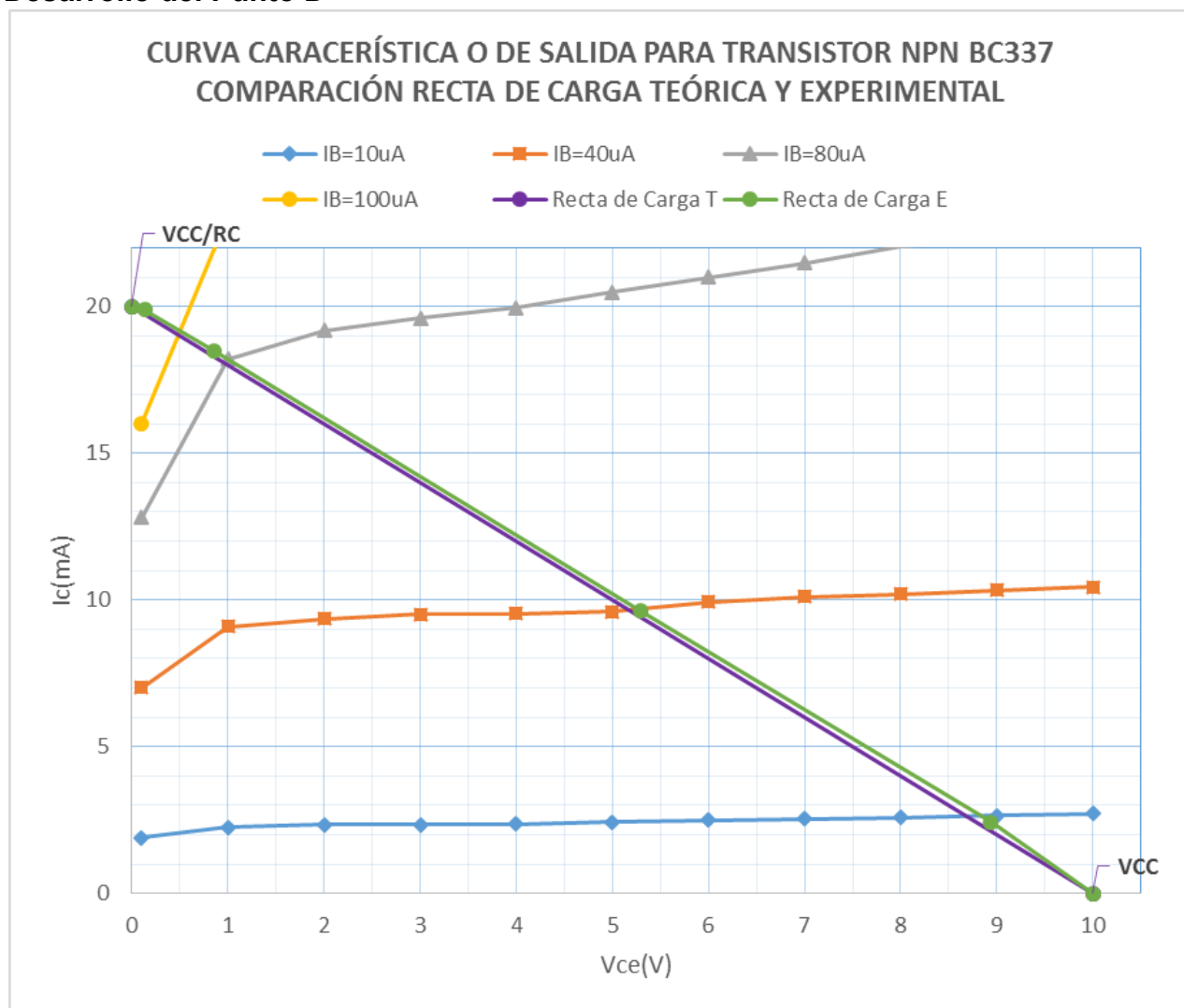
Punto D

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.

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

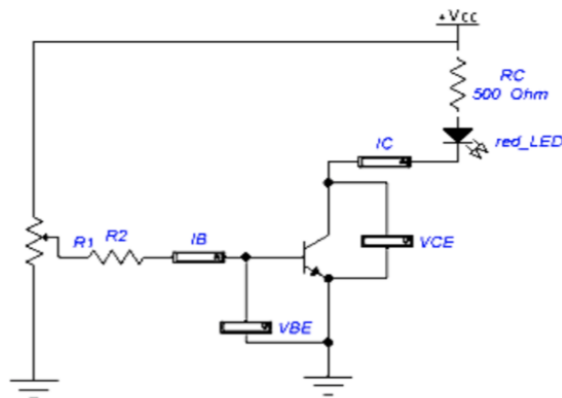
Desarrollo del Punto D



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.



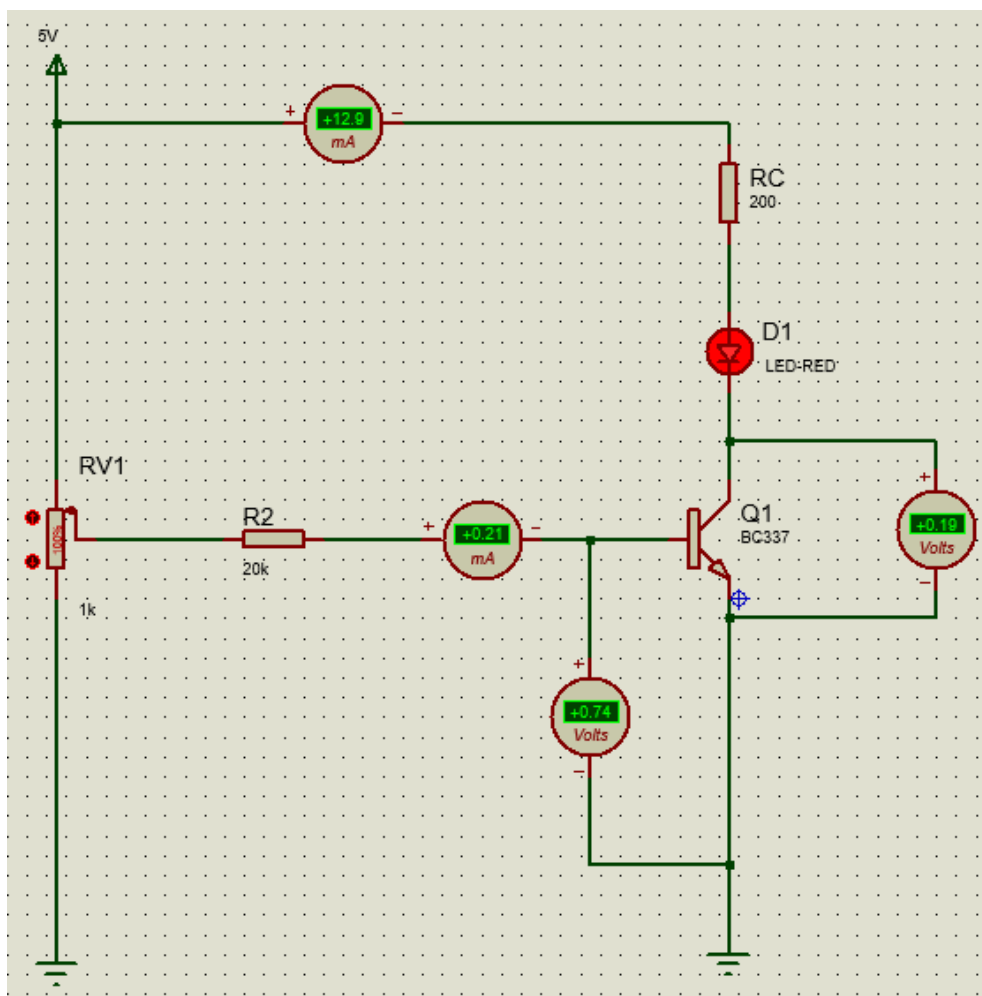
COMPONENTES
de REFERENCIA
R1: 10 k ohm
R2: 22 ohms
T1: BC337
RC: 500 ohm

Desarrollo del Punto E

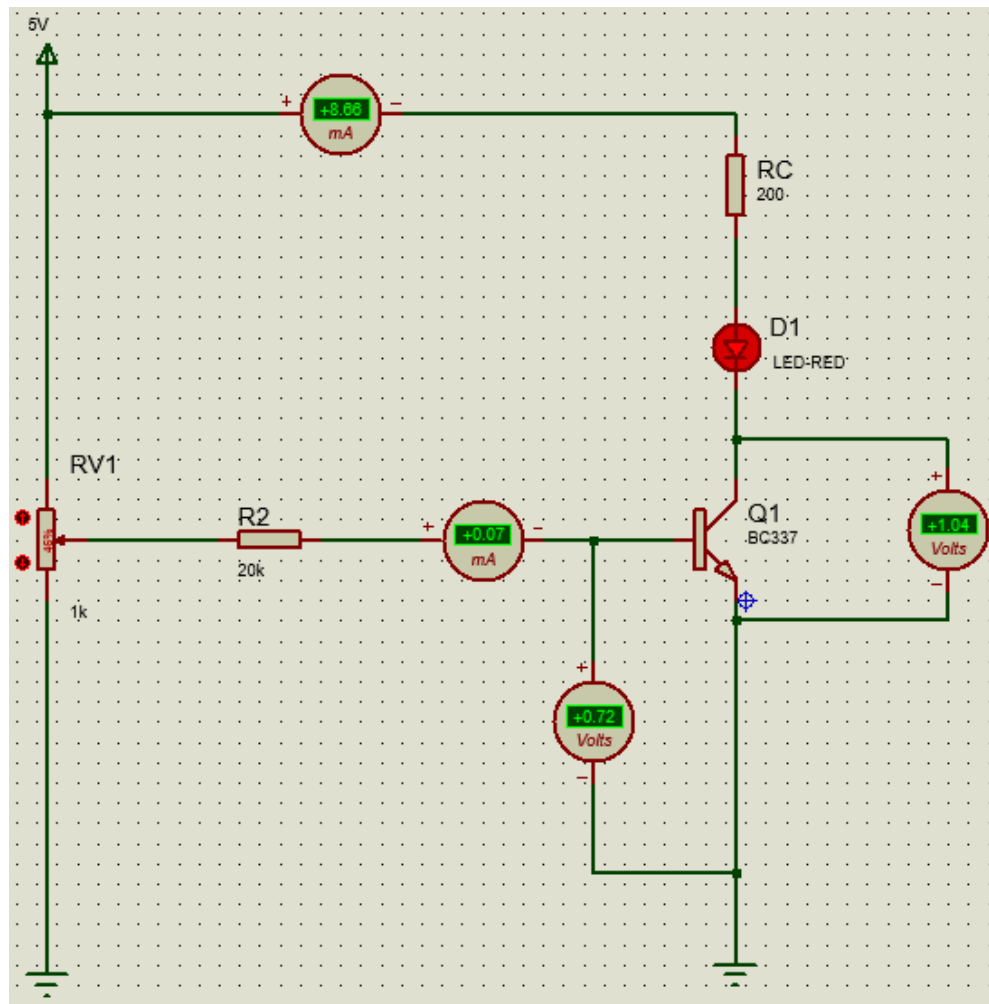
Se simuló el circuito con los siguientes componentes

- Potenciómetro RV1 de 1K lineal
- Resistor R2 de 20 KΩ
- Resistor RC de 200 Ω
- LED Rojo D1
- Alimentación del circuito con 5V

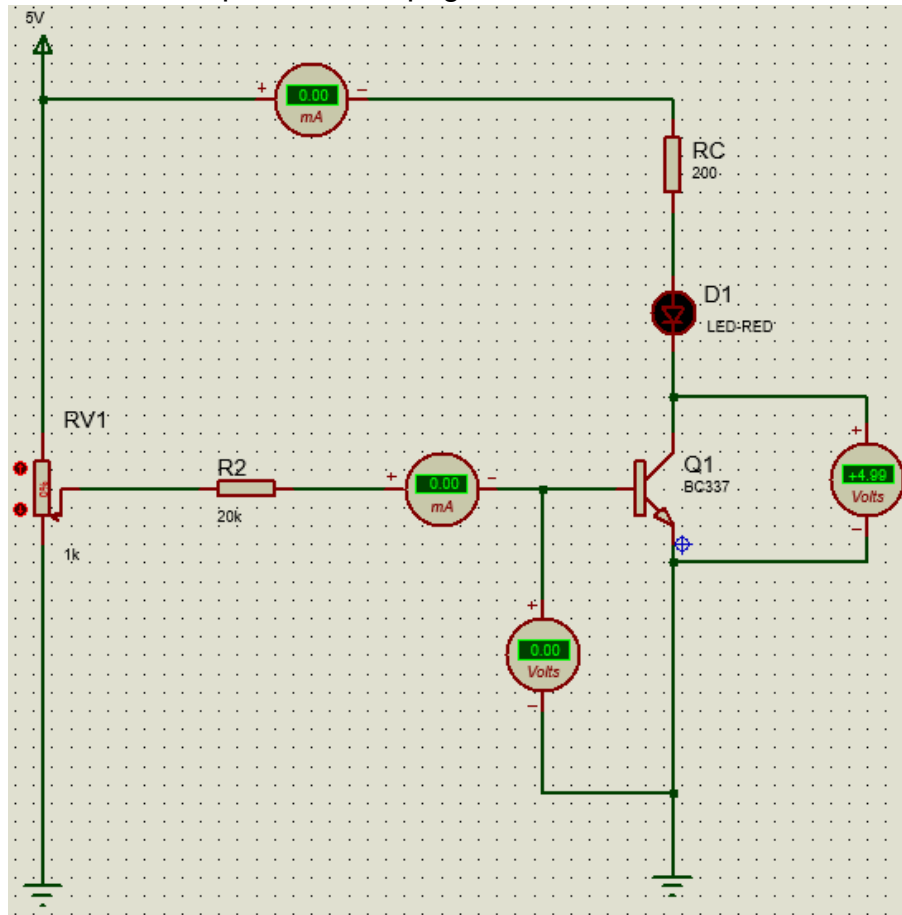
Con RV1 al 100% se tiene la máxima luminosidad del LED



Con RV1 al 46% se tiene una luminosidad más tenue del LED:



Con RV1 al 0% el LED está completamente apagado



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.

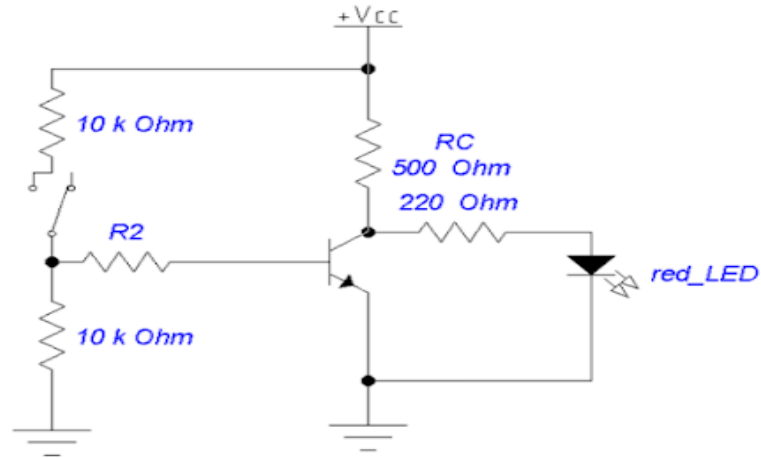


Figura 6: Circuito de ensayo. Corte y saturación. R2: utilice resistencia pequeña (ej. 220 ohm).

Nota: Los valores de los componentes pueden variar)

Desarrollo del Punto F

FACULTAD DE INGENIERÍA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO ELECTRÓNICA
GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL – INGENIERIA EN MECATRONICA CARPETA
TRABAJOS PRÁCTICOS

2022 - TP N° 3

El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación. Corte y Saturación

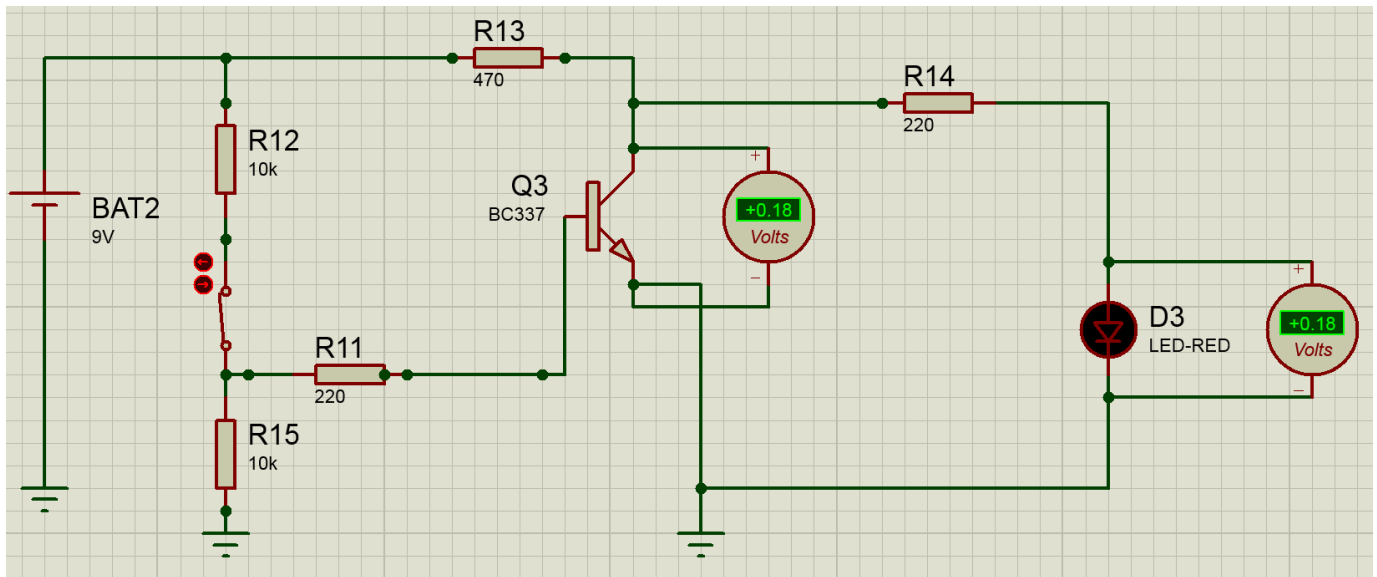


Diagrama hecho en Proteus para el switch cerrado (BC337)

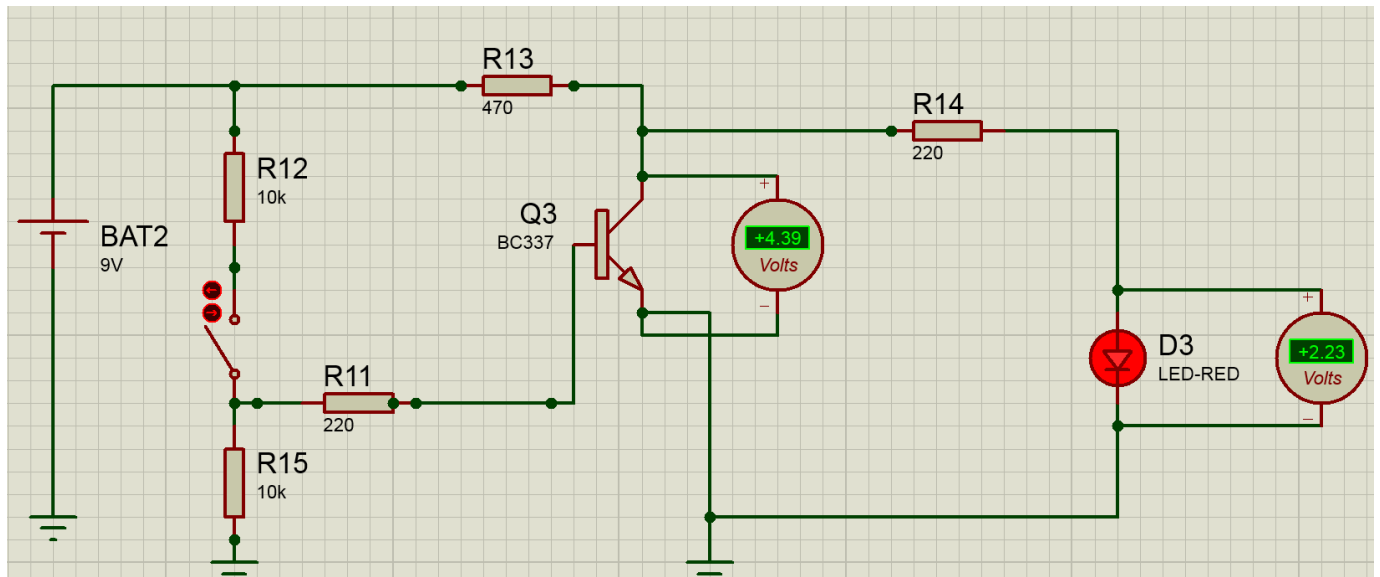


Diagrama hecho en Proteus para el switch abierto (BC337)

1- Cómo se puede observar en las imágenes anteriores, el estado de corte corresponde a cuando el LED se encuentra encendido, ya que el estado de corte se da cuando I_C es 0 A, como consecuencia de que I_B es igual a 0, lo cual sucede cuando se abre la llave. Se comporta

FACULTAD DE INGENIERÍA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO ELECTRÓNICA
GENERAL Y APLICADA
CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL – INGENIERIA EN MECATRONICA CARPETA
TRABAJOS PRÁCTICOS

2022 - TP N° 3

El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación. Corte y Saturación

como una llave abierta y por lo tanto toda la corriente fluye por el LED. El estado de saturación corresponde al LED apagado, ya que VCE es muy pequeño e IB muy grande, comienza a fluir la corriente de saturación del colector y la mayor parte de la corriente fluye a través del transistor. El LED recibe corriente también, pero muy poca, por lo que no llega a encenderse.

2-

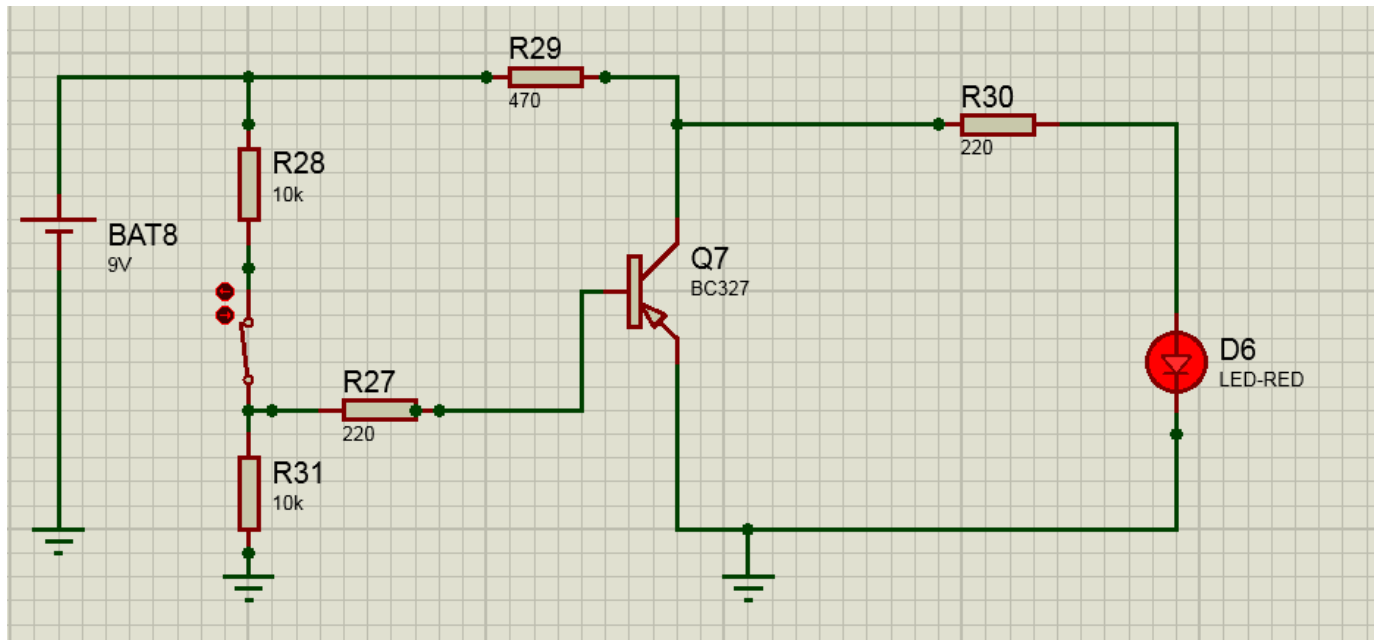


Diagrama hecho en Proteus para el switch cerrado (BC327)

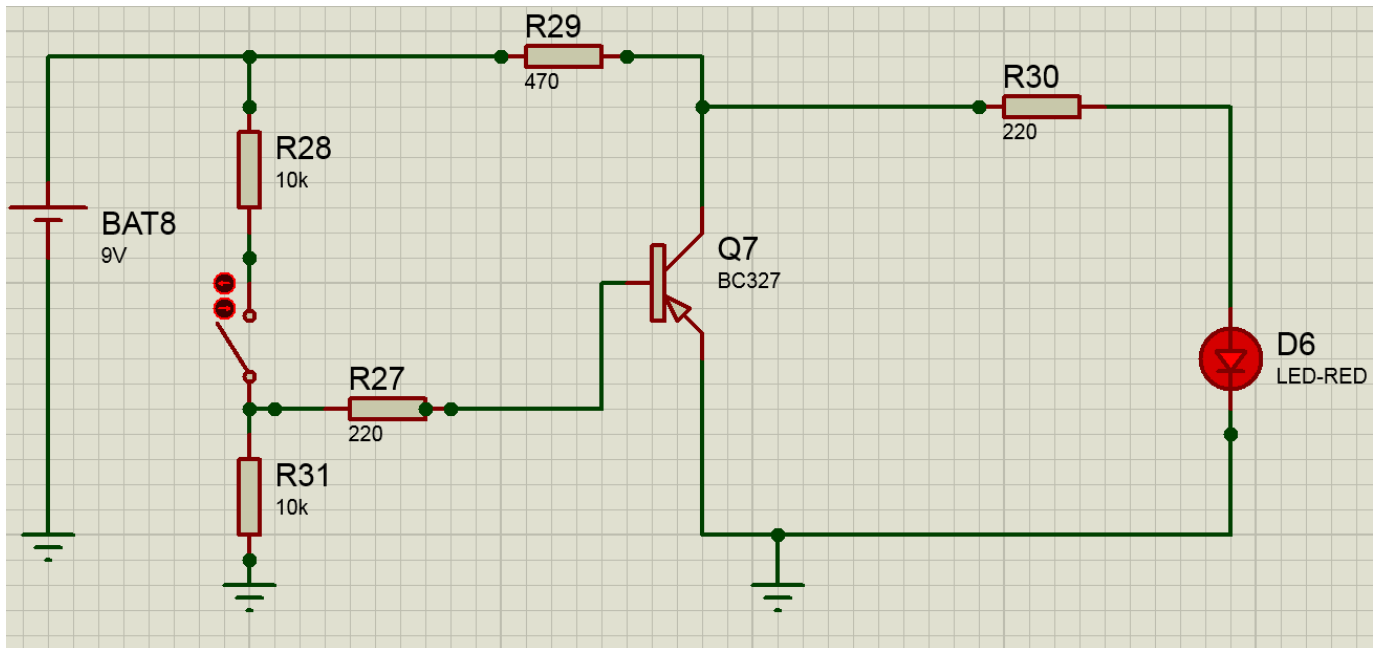


Diagrama hecho en Proteus para el switch abierto (BC327)

El LED se mantiene encendido en ambos casos, debido a la polarización que tiene el transistor (inversa), actúa como llave abierta en ambos casos (aunque cuando el switch está abierto, el LED está un poco más tenue debido a que hay una mínima corriente fluyendo por el transistor, por lo que no es una llave abierta perfecta). Si se quieren lograr los mismos efectos que en el circuito con BC337, hay que invertir la polaridad de la batería de 9V y del LED, de esta manera quedaría en polarización directa y por lo tanto conduciría.

**FACULTAD DE INGENIERÍA –UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO ELECTRÓNICA
GENERAL Y APLICADA**

**CARRERA: INGENIERIA INDUSTRIAL – INGENIERIA EN MECATRONICA CARPETA
TRABAJOS PRÁCTICOS**

2022 - TP N° 3

El transistor. Curvas características. Recta de carga. Amplificación. Corte y Saturación

GRUPO N° 2

Martín Duci, Ignacio	13560	Ing. Mecatrónica
Borquez Perez, Juan Manuel	13567	Ing. Mecatrónica
Escobar, Matías Leonel	13328	Ing. Mecatrónica
Avalos, Jose Agustin	13291	Ing. Mecatrónica
Dallessandro Figueroa, Francisco Andrés	13318	Ing. Mecatrónica
Cazabán, Martín Gabriel	12381	Ing. Mecatrónica