

# Un informe con Makefile

Cindy Padilla

April 1, 2022

## 1 Introducción

Durante la Segunda Guerra Mundial, el Germanio y el Silicio, que son semiconductores intrínsecos, fueron elementos de especial interés y estudio, puesto que eran usados para la fabricación de radares. Así pues, en los años de la post guerra permitieron la creación de diodos y, posteriormente, gracias a Bardeen, Brattain y Shockley, se descubrió el efecto transistor, y fue posible la creación del transistor de unión bipolar (BJT, por sus siglas en inglés).[1]

El transistor se puede entender como la unión de tres semiconductores dopados, ya sean del tipo NPN o PNP, donde, la primera región se conoce como *emisor*, en el centro se encuentra la *base*, y la última región es el *colector*. Un ejemplo de configuración NPN se muestra en la figura, el ancho de la base es mucho menor comparado con las otras dos regiones.

Las dos junturas que se forman entre las regiones de los extremos y la base se conocen como *juntura de emisor* y *juntura de colector*. Los transistores se caracterizan por tener tres (3) terminales y se pueden representar en un circuito como se muestra en la figura. A pesar de que distintas configuraciones son posibles, para que funcione, el transistor debe polarizarse de manera directa en la juntura base-emisor y de manera inversa en la juntura base-colector. En un transistor se consideran tres diferencias de potencial que son las que existen entre sus electrodos: Emisor-Colector  $V_{EC}$ , Colector-Base  $V_{CB}$ , Base-Emisor  $V_{BE}$  tal que se cumple:

$$V_{EC} + V_{CB} + V_{BE} = 0. \quad (1)$$

Así mismo se consideran tres corrientes: base ( $I_B$ ), emisor ( $I_E$ ) y colector ( $I_C$ ); que cumplen:

$$I_E + I_B + I_C = 0 \quad (2)$$

Una representación de lo anterior se muestra en la figura para ambos tipos de transistor.

Como ejemplo para entender el efecto transistor se tomará un transistor NPN, similar al de la figura. Lo que ocurre cuando se conecta de manera directa la juntura base-emisor y de manera inversa base-colector ocurre lo siguiente:

- Los portadores mayoritarios del material emisor son electrones.
- Al estar polarizada de manera directa la juntura emisor-base los electrones pasan a la región de la base.
- Al ser la región de la base tan delgada, hay una recombinación por la presencia de los huecos pero la mayoría de electrones siguen libres.
- La juntura base-colector esta polarizada de manera inversa, así que los electrones que pasaron a la base son atraídos por la diferencia de potencial en el terminal del colector.
- Una gran cantidad de electrones en la región de la base cruzan la juntura base-colector y llegan a la región del colector, generando la corriente del colector.

El hecho de polarizar una juntura en directo y la otra en inverso fue lo que le dio el nombre de **Transistor de unión bipolar**, que fue el reemplazo de los tubos de vacío y años más tarde se usó para la invención de los circuitos integrados, éstos últimos han sido clave en el desarrollo tecnológicos de las últimas dos décadas.

## 2 Procedimiento Experimental

Para el desarrollo de la práctica se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Transistor 2N2222.
- Diodo 1N4004.
- Dos fuentes de voltaje variables
- Resistencias

### 2.1 Curvas Características

Para ésta sección se hizo un primer montaje que se muestra en la figura, lo primero que se observa es que el transistor es NPN según la figura; además tiene una configuración de *emisor común*, es decir, la corriente de entrada es la corriente de la base. Para entender el funcionamiento del circuito se puede dividir en dos partes.

- Circuito del colector: El diodo 1N4004 actúa como rectificador de media onda, dejando pasar solamente la parte positiva de la señal alterna del transformador como se ilustra en la figura, dado que el colector es de tipo N, queda polarizado en inverso.
- Circuito de la base: La fuente DC hace que el diodo entre Base y Emisor quede polarizado en directo.

Se polariza el circuito del colector con una fuente de corriente alterna en vez de una fuente DC ya que facilita la variación del Voltaje sin necesidad de estar cambiando la fuente. Además, la ventaja que ofrece el uso de un transformador a un generador de señales es que éste último tiene su terminal de 'señal de referencia' conectada a tierra mientras que en un transformador no hay tierra y ésta puede ser definida.

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include "top.h"

int main(int argc, char **argv){
    for (double vv = 0.1; vv <= 1.0; vv+=0.01){
        std::cout << vv << "\t" << Shockley(vv) << "\n";
    }
    return 0;
}
```

Con el fin de poder medir al mismo tiempo la corriente del colector  $I_C$  y el voltaje entre Emisor y Colector  $V_{EC}$ , hay que establecer un punto de referencia; en este caso se considera tal como se muestra en la figura los puntos M, N y O. Al medir el Voltaje entre M y O, conociendo el valor de la resistencia se calcula la corriente  $I_C$ , por otra parte, el Voltaje entre el punto O y N, corresponde a  $V_{CE}$ , de modo que el punto de referencia (tierra) puede colocarse en O. Una alternativa para medir la corriente  $I_C$  puede ser abriendo el circuito y colocando el amperímetro; sin embargo, no resulta tan útil, considerando que también debe medirse  $V_{CE}$  en simultáneo.

Así, lo primero que se hizo fue encontrar las curvas características para el transistor. Para ello, usando un osciloscopio se midió  $V_{CE}$  y el voltaje a través de la resistencia del colector  $V_C$ , mientras el voltaje  $V_{BB}$  variaba entre  $0.56V$  hasta  $11.1V$ . Un ejemplo de toma de datos se muestra en la sección. Usando la ley de Ohm se obtiene:

$$I_C = \frac{V_C}{178\Omega} \quad (3)$$

Con lo anterior se estudia el comportamiento de  $I_C$  en función de  $V_{CE}$  para diferentes valores de la corriente de la base  $I_B$ . Con los datos obtenidos, y considerando solamente el circuito de la base, se puede obtener como:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (4)$$

Donde  $R_B = 21.4k\Omega$  y  $V_{BE} = 0.7V$ , que es el **Voltaje Umbral** o voltaje desde el cual el diodo comienza a conducir.

## 2.2 Recta de carga

Para ésta sección se realizó el montaje mostrado en la figura, donde se reemplazó el transformador y el diodo por una fuente de voltaje DC, con  $V_{CC} = 9V$ . Una vez hecho lo anterior se mide nuevamente el voltaje a través de la resistencia del colector  $V_C$  y el voltaje Colector-Emisor,  $V_{CE}$  que varían a medida que cambia  $V_{BB}$ .

Para un transistor en configuración de emisor común, la recta de carga viene dada por:

$$I_C = \frac{-V_{CE}}{R_C} + \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta los valores de las resistencias usadas en el circuito, se espera que la recta de carga esté descrita por: Así, se compara ésta recta con la obtenida de tomar los datos en los voltímetros, y se encuentra la intersección de la misma con cada una de la curvas de corriente, conocido como **punto de trabajo Q**.

## 3 Resultados y análisis

### 3.1 Curvas Características

Las curvas características, para siete valores de la corriente de base  $I_B$  se muestra en la figura, donde las líneas rojas punteadas están delimitando la región activa, que según la gráfica se encuentra para  $V_{CE} > 2.0V$ , sin embargo, se debe tener en cuenta hay un límite para  $V_{CE}$  que no se muestra en la figura donde el transistor entra en la región de ruptura, en ésta región no se debe trabajar el transistor ya que éste dispositivo no funciona como el diodo Zener y se puede dañar. Así mismo, en la gráfica se señala la región de saturación y la región de corte.

- La zona de corte se reconoce porque el transistor opera como un interruptor abierto y por lo tanto no hay paso de corriente, es decir  $I_C = 0$ , esto ocurre porque  $V_{BB}$  es muy pequeño y no logra superar el Voltaje Umbral entre Base-Emisor.
- La región de saturación se reconoce donde  $I_C$  es proporcional a  $V_{CE}$ , esto ocurre para valores de  $V_{CE} \leq 0.8V$ , así mismo a medida que aumenta  $I_B$ , se llega a un punto donde ésta es tan grande que el diodo colector-base se polariza en directo, allí se dice que el transistor está completamente saturado.
- La región activa, que es la zona normal de operación del transistor se reconoce porque es donde  $I_C$  se mantiene constante, pues para un  $I_B$  constante el colector está recibiendo casi todos los electrones que el emisor envía a la base, por eso, no cambia a pesar de las variaciones de  $V_{CE}$ .

Se observa también en la gráfica de curvas características que, en la región activa, a medida que aumenta la corriente de la base, la curva se hace más corta, es decir  $V_{CE}$  alcanza su límite en valores más pequeños.

El comportamiento que se observa en la región donde  $I_C$  es proporcional a  $V_{CE}$  se explica porque el diodo del colector tiene un voltaje positivo insuficiente para coleccionar todos los electrones libres que llegan a la base, por eso, depende de  $V_{CE}$ . Después, en la región activa como ya se mencionó, el colector recibe casi todos los electrones que llegan a la base y por tanto se mantiene constante sin importar  $V_{CE}$ . Cabe anotar que en ésta región, no es del todo constante sino que tiene una pequeña pendiente que se debe a la región de la base haciéndose más angosta a medida que  $V_{CE}$  incrementa, lo que deja menos huecos para la recombinación y por ende, más electrones llegan al colector.

## 4 Conclusiones

- Un transistor NPN en configuración de emisor común puede usarse para amplificar corrientes, siempre que la juntura emisor-base esté polarizada en directo y la juntura colector-base en inverso. El parámetro  $\beta$  es un indicador de su eficiencia, para el caso del transistor 2N2222 usado en ésta práctica  $\beta \approx 13.9$ .

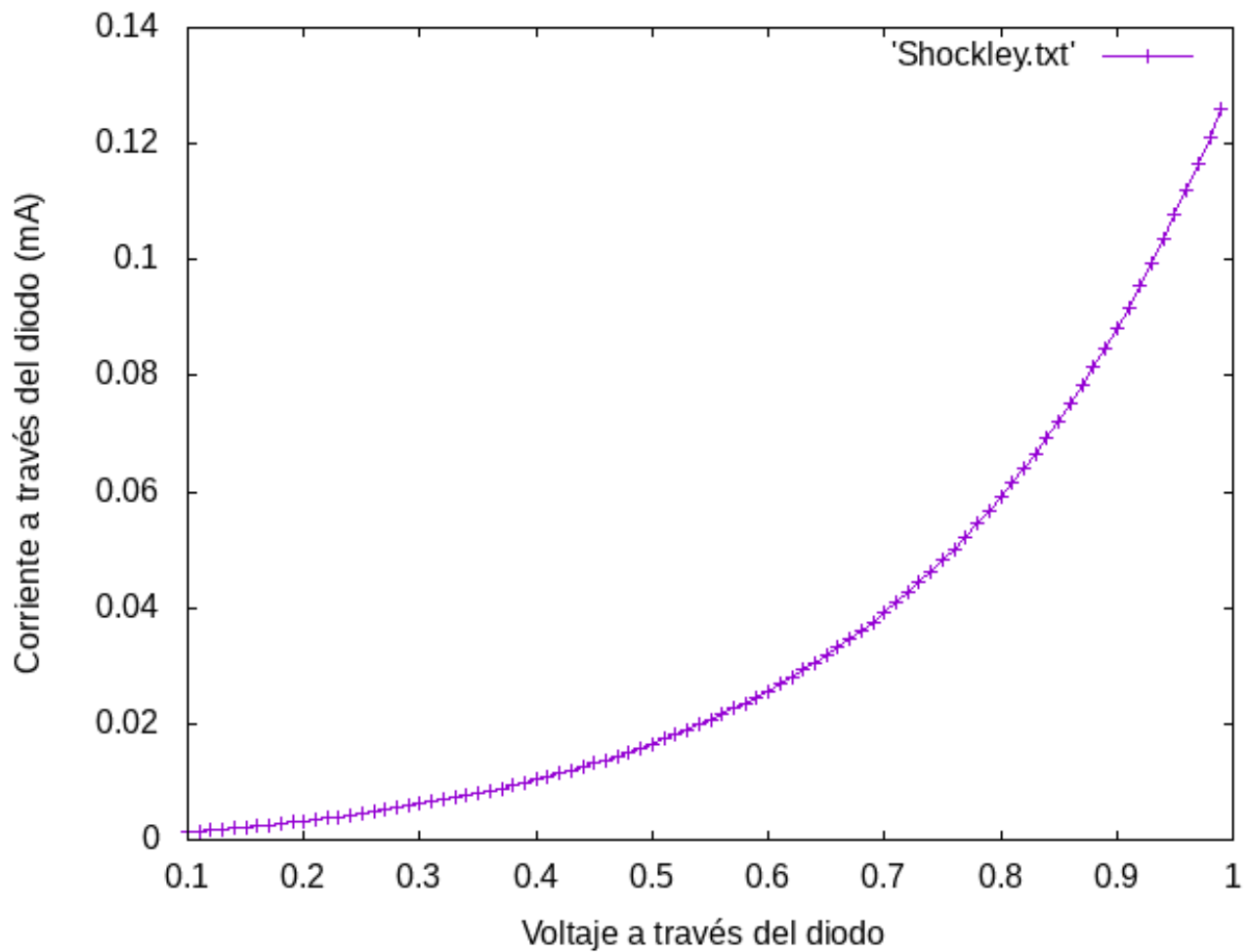


Figure 1:

- Las curvas características de salida de un transistor permiten diferenciar las diferentes regiones de funcionamiento del transistor, que son esenciales para usar el transistor con diferentes propósitos (Interruptor o Amplificador).
- La recta de carga permitió en ésta practica encontrar los puntos de trabajo del transistor para diferentes corrientes de la base. Para un mejor funcionamiento, se espera que esté centrado dentro de la región activa.
- Los transistores resultan bastante útiles y versátiles, tanto así que pudieron reemplazar a los tubos de vacío y con ello generar grandes avances en el desarrollo tecnológico.

## References

- [1] John David Jackson. *Classical electrodynamics*. 1999.