

DISEÑO DE UN AMPLIFICADOR CLASE B y AB

Juan José Restrepo Rosero, Manuel Alejandro Orejuela, David Alejandro Dorado

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana Cali

Santiago de Cali, Valle del Cauca

juanjorestrepo@javerianacali.edu.co

manuelalejo@javerianacali.edu.co

alejodoradog@javerianacali.edu.co

Resumen- El presente documento consta las actividades realizadas para el desarrollo de la práctica de laboratorio número dos de Electrónica Analógica, donde en primer lugar se diseña teóricamente un circuito con un amplificador clase B, que luego será comparado en una simulación en computadora por medio de Pspice, verificando que los valores de ganancia de voltaje y la potencia.

Palabras clave— Ganancia, eficiencia, excursión, potencia, carga.

Abstract— The following document contains the activities carried out in order to develop the second laboratory practice of “Electrónica Analógica”. First of all, we have done the theoretical design of a circuit with a class B amplifier, which will be compared at a computing simulation on Pspice, by verifying the values of voltage gain and power.

I. INTRODUCCIÓN

EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA NOS ENCONTRAMOS CON MÚLTIPLES IMPLEMENTACIONES DE LOS AMPLIFICADORES BJT Y EN ESTE DOCUMENTO NOS ENFOCAREMOS EN LOS CLASE B Y AB, ESTOS SON EN PARTICULAR MÁS ESTABLES RESPECTO A LOS CLASE A. EN EL PRESENTE DOCUMENTO VEREMOS EL TRABAJO REALIZADO PARA LA PRÁCTICA DE LABORATORIO NÚMERO 2 DONDE SE PONDrán EN PRÁCTICA LAS HABILIDADES EN DISEÑO DE LOS AMPLIFICADORES B Y AB, SE ANALIZARAN LOS RESULTADOS Y SE OBTENDRÁN DIVERSAS CONCLUSIONES.

II. OBJETIVOS

- Consolidar los conceptos teóricos adquiridos en el análisis, diseño y simulación de amplificadores con transistores BJT
- Analizar el comportamiento de un amplificador en clase B y AB
- Verificar mediante simulación del circuito amplificador conceptos como la potencia entregada a la carga, la eficiencia y la ganancia de voltaje.
- Comparar los resultados obtenidos en la práctica con los de simulación y la parte teórica.

III. MARCO TEÓRICO

Amplificador clase B:

Es un tipo de amplificador que proporciona una señal que varía durante la mitad del ciclo de la señal de entrada o a lo largo de 180° de esta, amplificando por un lado el semicírculo positivo y el negativo de la señal de entrada. Dicha configuración se conoce como push-pull o de simetría complementaria [1][2].

Las ventajas de un amplificador clase B tienen que ver con la no disipación de potencia en estado de reposo debido a que la corriente del colector es cero cuando la señal

de entrada del amplificador es cero [1]. Además, presenta una mayor eficiencia a la hora de transferir potencia y de poder manejar cargas pequeñas.

Las desventajas de este tipo de amplificador se encuentran la inclusión de la región no lineal de corte en el intervalo de operación, provocando una distorsión a la señal de salida la cual es producida cerca del punto Q [1].

Por otro lado, se presenta una distorsión por cruce (crossover en inglés), la cual hace referencia al punto donde la señal tiene un valor nulo, es decir, se vuelve cero por un instante de tiempo [2]. Además, si se desea simplificar la señal completamente, es necesario utilizar 2 transistores

Amplificador clase AB:

Teniendo en cuenta que un amplificador clase A cuenta con una distorsión pequeña y que el clase B tiene una mayor eficiencia, estas dos configuraciones se pueden aprovechar para eliminar la distorsión por cruce gracias a que el amplificador de tipo B se puede polarizar sobre el nivel de corriente de base cero y por sobre la mitad del nivel de voltaje de alimentación del clase A, por lo que el punto Q se sitúa ligeramente por encima de la región de corte [1][2].

Ancho de banda:

$$BW = f_H - f_L$$

IV. DISEÑO, ANÁLISIS Y PROCEDIMIENTO

1. CLASE B

$$A_V \approx 1$$

$$A_i \approx \beta$$

$$P_L = 200mV$$

$$R_L = 100\Omega,$$

$$V_{CC} = \sqrt{2 \times P_L \times R_L} = 6,32V = V_{EE}$$

Modelo AC e híbrido:

$$I_{CMAX} = \frac{V_{CC}}{R_L} = 63.2mA$$

$$I_{DC} = \frac{i_{CMAX}}{\pi} = 20,11mA$$

$$V_\pi = \beta \times \frac{26mV}{I_{DC}} \approx 0$$

$$R_L = 100\Omega$$

$$V_{CC} = 6.32V$$

$$\beta = 157$$

Potencia promedio:

$$P_L = \frac{I_o^2 \times R_L}{2} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L} = 0.198W \approx 200mW$$

ahora,

$$I_{DC} = \frac{i_{CMAX}}{\pi} = 20.11mA$$

Por último, P_{DC} :

$$P_{DC} = V_{CC} \times I_{DC} \approx 127.1 mW$$

como se tiene polarización dual:

$$P_{DCT} = 2 \times P_{DC} = 254.2mW$$

Eficiencia:

$$n\% = \frac{P_L}{P_{DCT}} = 73.6\%$$

BW en frecuencia:

$$f_L = 1.9242 MHz$$

$$f_H = 7.3053 GHz$$

$$BW = 7.3033 GHz$$

2. CLASE AB

Diseño:

$$R_L = 100\Omega,$$

$$V_{CC} = \sqrt{2 \times P_L \times R_L} = 6,32V$$

$$i_{cMAX} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

$$I_{CQ} = 0.01 \times i_{cMAX}$$

$$I_{CQ} = 0.01 \times \frac{V_{cc}}{R_L}$$

$$= 0.01 \times \frac{6.32V}{100\Omega} = 0.632mA$$

$$I = 100 \times \frac{I_{CQ}}{\beta} = 387.73uA$$

$$R_1 = \frac{V_{BE}}{I} = \frac{0.7V}{387.73uA} = 1.8k\Omega$$

$$R_2 = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{I} = \frac{6.32V - 0.7V}{387.73uA} = 14.5k\Omega$$

Análisis :

$$\begin{aligned} V_{cc} &= 6,32 V \\ R_1 &= 1.8 K \Omega \\ R_2 &= 14.5 K \Omega \\ R_L &= 100 \Omega \\ \beta &= (157+169) / 2 = 163 \end{aligned}$$

En DC:

$$\begin{aligned} V_{BB} &= v_{cc} (R_1/(R_1 + R_2)) \\ V_{BB} &= 0,6979 V \approx 0.7 = V_{BE} \end{aligned}$$

Haciendo uso del módulo híbrido:

$$\begin{aligned} R_B &= R_1 || R_2 \approx 1.6 k \\ R_\pi &= \beta (26mV/IDC) \\ &= 123,7 \Omega \approx 124\Omega \end{aligned}$$

Ganancia de Voltaje:

$$\begin{aligned} Av &= V_o/V_{in} \\ V_o &= (iL + \beta i_b) R_L \approx \beta i_l + R_L \end{aligned}$$

Pues : $\beta i_b + i_b \approx \beta i_b$

$$\begin{aligned} i_b &= (V_s - V_o) / (R\pi) \\ V_s &= i_b R\pi + V_o \\ &= i_b R\pi + \beta i_b R_l \\ &= i_b (R\pi + \beta R_l) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av &= (i_b * \beta R_l) / (i_b * (R\pi + \beta R_l)) \\ &= 0,992 \approx 1 \end{aligned}$$

Ganancia de corriente:

$$\begin{aligned} A_i &= i_o/i_i \\ i_o &\approx \beta i_b \\ V_i &\approx V_o \end{aligned}$$

$$\beta i_b * R_L \approx (i_i - i_b) * R_B$$

$$\beta i_b R_L + i_b R_B = i_i * R_B$$

$$i_b = (i_b R_B) / (\beta R_L + R_B)$$

$$i_o \approx \beta (i_i * R_B) / ((\beta R_L + R_B))$$

$$A_i = \beta R_B / ((\beta R_L + R_B)) = 14.57$$

Impedancias

$$\begin{aligned} Z_{out} &= R\pi / \beta \\ &= 124 / 163 = 0.76 \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{in} = (\beta R_L + R\pi) \parallel (R_B)$$

$$16424 \parallel R_B = 1.457 K\Omega \approx 1.5k \Omega$$

Eficiencia:

$$n\% = \frac{P_L}{P_{DCT}} = \frac{\frac{(V_{cc})^2}{2RL}}{\frac{2V_{cc}^2}{\pi Rl}}$$

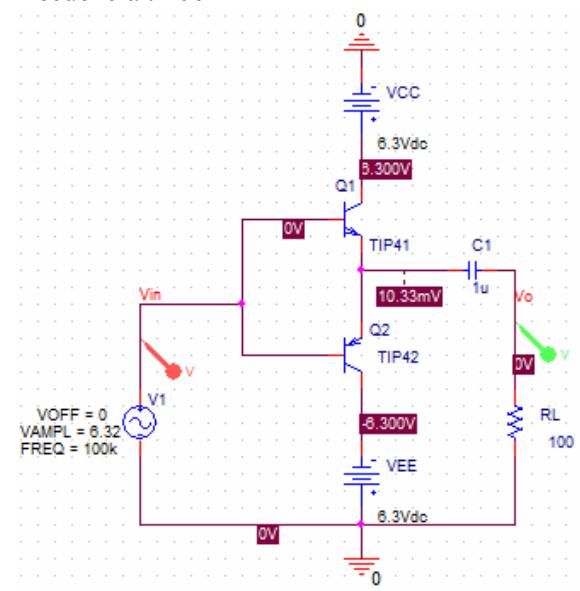
$$n\% = 78,54 \%$$

V. ANÁLISIS POR SIMULACIÓN

Al realizar la simulación circuital en Pspice se obtuvieron los siguientes resultados:

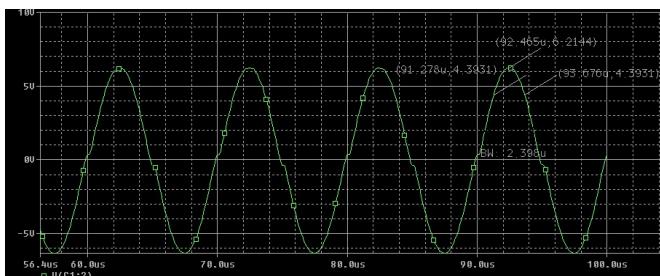
Amplificador clase B

Frecuencia : 100 Khz



A continuación, el ancho de banda del amplificador clase B:

Ancho de banda en el dominio del tiempo:

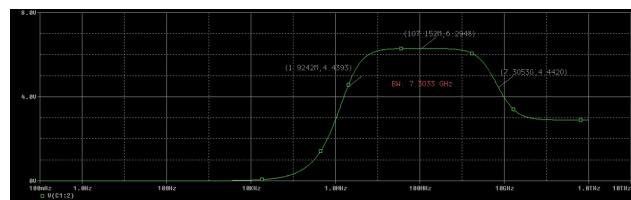


El punto máximo resulta ser una amplitud de 6.2144 V en un tiempo de 92.465 us

$$\frac{6.2144}{\sqrt{2}} = 4.3942$$

$$\begin{aligned} \text{FL} &= 91,278 \text{ us} \\ \text{FH} &= 93,676 \text{ us} \\ \text{BW} &= 2,398 \text{ us} \approx 2,4 \text{ us} \end{aligned}$$

Ancho de banda en frecuencia:



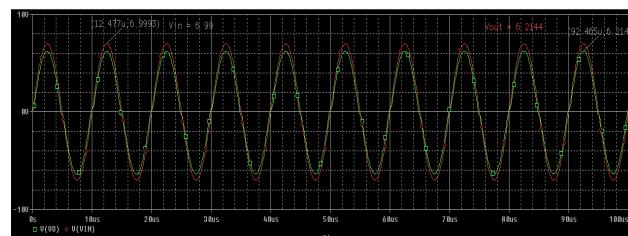
El punto máximo resulta ser de una amplitud de 6.2948 V a una frecuencia de 107.152 MHz

$$\frac{6.2948}{\sqrt{2}} = 4.4510$$

Por lo tanto, las frecuencias de corte bajo (FL) y de corte alto (FH) son:

$$\begin{aligned} \text{FL} &= 1,9242 \text{ MHz} \\ \text{FH} &= 7,3053 \text{ GHz} \\ \text{Bw} &= 7,3033 \text{ Ghz} \end{aligned}$$

Ganancia de Voltaje



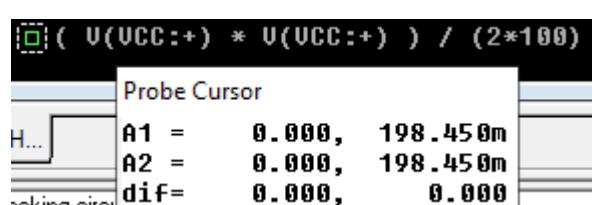
$$\begin{aligned} \text{Vin} &= 7.0 \text{ V} \\ \text{Vout} &= 6.2144 \text{ V} \\ \text{Av} &= 0.889 \approx 1.0 \end{aligned}$$

Potencia promedio:

Teniendo en cuenta la ecuación para hallar la potencia promedio (PL)

$$P_L = \frac{V_{cc}^2}{2RL}$$

se obtuvo en la simulación un valor de 198.45 mW

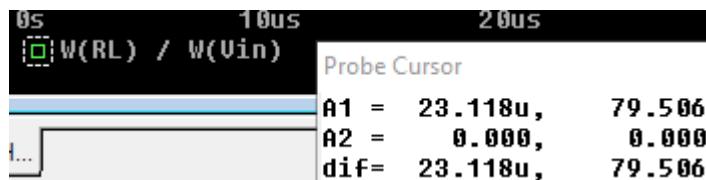


Eficiencia:

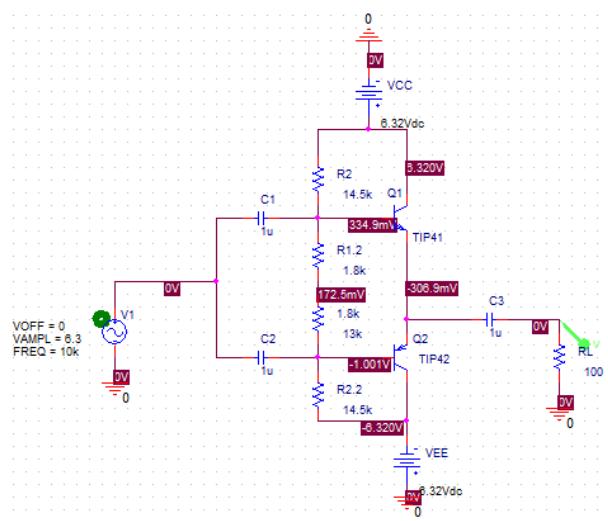
Finalmente, teniendo en cuenta que para encontrar la eficiencia del amplificador es:

$$n\% = \frac{P_L}{P_{DCT}}$$

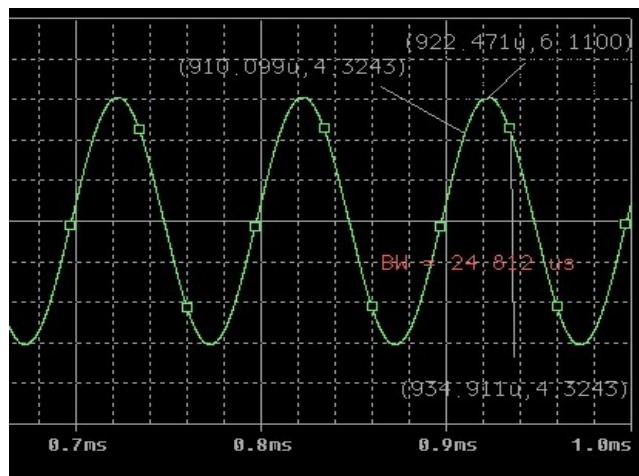
Al simular se obtuvo un valor de 79.506 %



Amplificador clase AB



Ancho de banda en el dominio del tiempo:



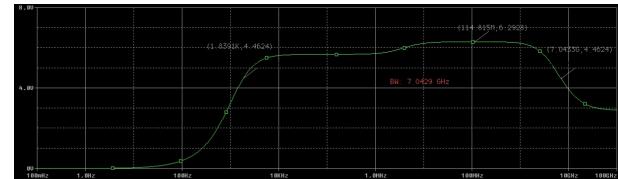
$$\frac{6.1100}{\sqrt{2}} = 4.32$$

$$FL = 910,099 \mu S$$

$$FH = 934,911 \mu S$$

$$Bw = 24,812 \mu S$$

Ancho de banda en frecuencia:



El punto máximo resulta ser de una amplitud de 6.2928 a una frecuencia de 114.815 MHz

$$\frac{6.2948}{\sqrt{2}} = 4.449$$

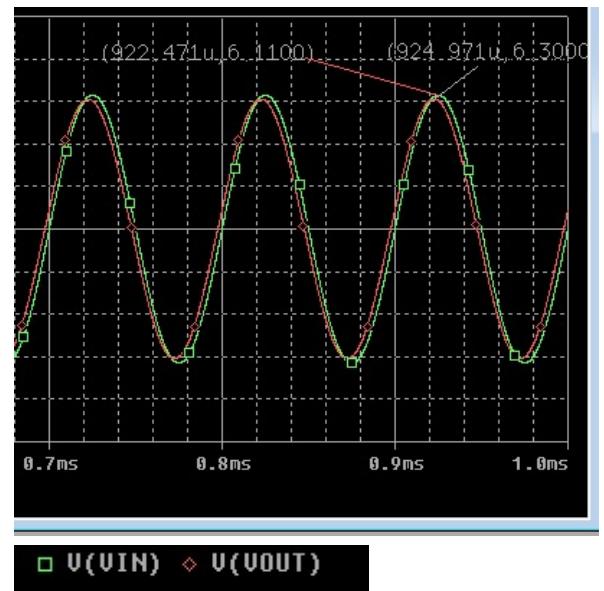
Por lo tanto, las frecuencias de corte bajo (FL) y de corte alto (FH) son:

$$FL = 1.8391 \text{ kHz}$$

$$FH = 7.043 \text{ GHz}$$

$$Bw = 7,0429 \text{ Ghz}$$

Ganancia de voltaje:



$$Vin = 6.30 \text{ V}$$

$$Vout = 6.11 \text{ V}$$

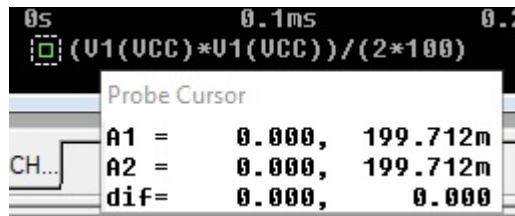
$$Av = 0.969 \approx 1.0$$

Potencia promedio:

Teniendo en cuenta la ecuación para hallar la potencia promedio (PL)

$$P_L = \frac{V_{cc}^2}{2RL}$$

se obtuvo en la simulación un valor de 199.712 mW

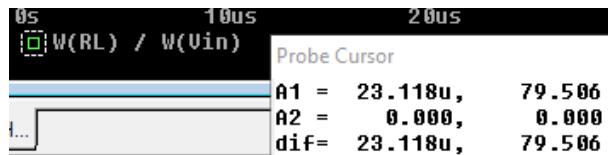


Eficiencia:

Finalmente, teniendo en cuenta que para encontrar la eficiencia del amplificador es:

$$\eta\% = \frac{P_L}{P_{DCT}}$$

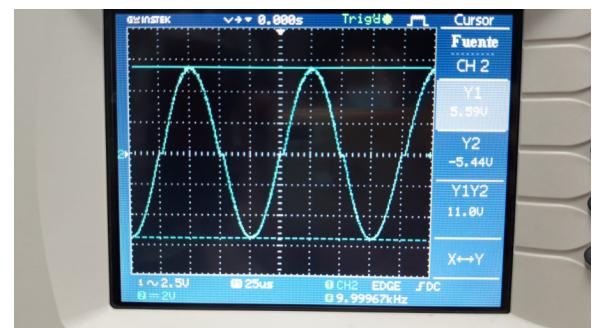
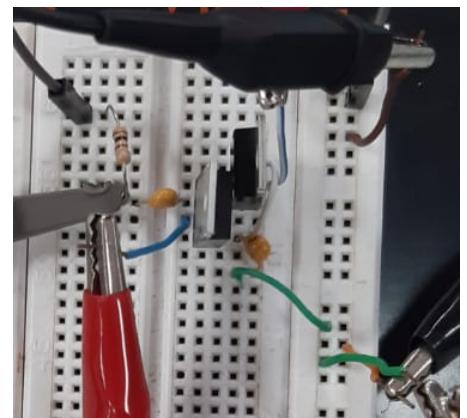
Al simular se obtuvo un valor de 79.506 %



- Transistores
- Condensadores
- Orcad Pspice

A continuación, se presenta el contraste de los datos teóricos, simulados y prácticos:

Amplificador clase B



VI. RESULTADOS PRÁCTICA DE LABORATORIO

Materiales para la práctica en el laboratorio

A continuación se presentan los elementos y herramientas que serán usadas para el diseño y posteriormente la puesta en práctica de este ejercicio.

- Generador de señales
- Osciloscopio
- Protoboard
- Multímetro
- Fuente DC
- Resistencias

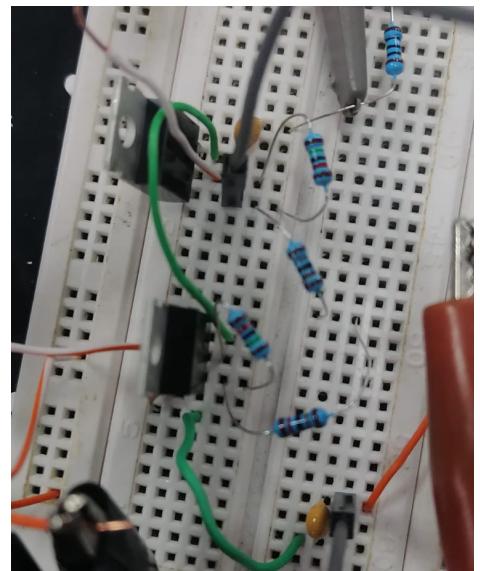
Clase B

Parametro	Teoría	Simulación	Práctica
Av	1	0,89	0.87
PL (mW)	200	198.45	151.8
%n	73.6	79.5	60

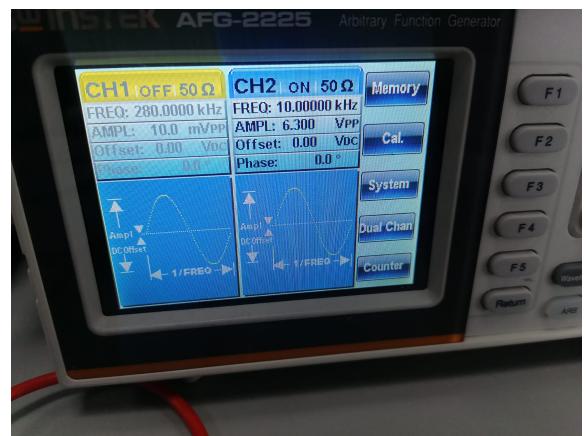
Los resultados obtenidos son satisfactorios, se aprecia como estos son bastante cercanos independientemente de ser teóricos, prácticos o simulados.

Para entrar en detalle veamos a continuación el error porcentual entre la práctica y la teoría.

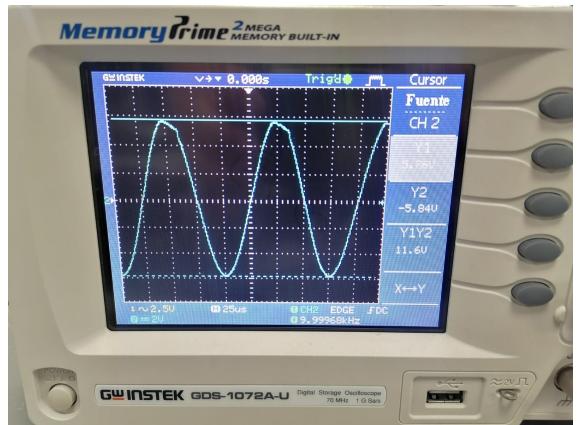
Error porcentual Clase B	
Simulación - Práctica	
Av	2.24%
PL (mW)	23.5%
%n	14.52%



Error porcentual Clase B	
Teoría - Práctica	
Av	13%
PL (mW)	24.1%
%n	18.47%



Como se puede ver en las dos tablas anteriores, la simulación tuvo un acierto relativamente alto, con respecto a lo calculado en la teoría, y a su vez, la práctica estuvo bastante cerca de lo calculado en la simulación, pues la ganancia de voltaje fue muy similar, con un error menor al 3%. Donde más difieren estos dos parámetros, con en la potencia de carga, esto debido a que en la práctica se tuvo que aumentar considerablemente el valor de Vcc, pues no se llegaba a los valores necesarios, lo cual demuestra que siempre habrá que tener en cuenta pequeños contratiempos.



Amplificador clase AB

Clase AB			
Parametro	Teoría	Simulación	Práctica
Av	1	0.969	0.95
PL (mW)	199	199.712	174
%n	78,54	79.506	55.8

Error porcentual Clase AB	
Teoría - Práctica	
Av	5%
PL (mW)	12.56%
%n	28.95%

Error porcentual Clase AB	
Simulación - Práctica	
Av	1.96%
PL (mW)	12.87%
%n	29.81%

Finalmente, como se puede ver en las anteriores tablas de comparación de los resultados del amplificador clase AB, los errores respectivos fueron más pequeños con respecto a los resultados obtenidos por el amplificador clase B.

VII. Conclusiones

- Con esta práctica de laboratorio, fue posible observar el comportamiento de un amplificador clase B y un AB. Donde en principio se tuvieron errores, pues hubo distorsión en el AB. Lo que se arregló rápidamente.
- Fue posible ver la distorsión por cruce generada en la señal de salida del amplificador clase B y ver que la señal del AB salía más limpia a pesar de haber obtenido una pequeña distorsión en la práctica.
- Se compararon los resultados obtenidos en la simulación y en la práctica, analizados a través de los porcentajes de error calculados.
- Se verificó mediante la simulación los conceptos de potencia entregada a la carga, eficiencia y ganancia de voltaje.

REFERENCIAS

- [1] Savant C. Roden M. Carpenter G. Diseño electrónico. Circuitos y sistemas
- [2] Boylestad R. Nashelsky L. Electrónica teoría de circuitos