



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
LABORATORIO DE COMUNICACIONES EC-3043
PROFESOR: MIGUEL DÍAZ

INFORME - PRÁCTICA #3
MODULACIÓN AM

Integrantes:

Miguel Salcedo 15-11326

Giancarlo Torlone 20-10626

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
METODOLOGÍA	7
RESULTADOS	10
ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
CONCLUSIONES	20

INTRODUCCIÓN

En esta práctica se construyó un modulador AM. Se utilizó una protoboard para montar las distintas etapas del modulador, así como también el osciloscopio para analizar las distintas etapas y la señal AM. Se realizaron mediciones a la salida del modulador para obtener el índice de modulación y, posteriormente, se calculó la potencia de la portadora, de las bandas laterales, la potencia total de la señal AM y la fracción del total de potencia que contienen las bandas laterales.

MARCO TEÓRICO

Modulación AM

La Modulación de Amplitud, tiene el efecto de la traslación en frecuencia de la señal mensaje, desde la banda base, centrando a la frecuencia de la portadora, obteniéndose un espectro de Doble Banda Lateral sin portadora (DSB-SC).

$$S(t)_{DSB-SC} = f(t)\cos(\omega_c t)$$

Siendo $f(t)$ el mensaje y $\cos(\omega_c t)$ la portadora. En los orígenes de la tecnología de radio se requiere de una señal patrón para mantener los sintonizadores sobre una frecuencia específica, y evitar las derivas de los sintonizadores. Dicha señal era la portadora limpia, que se suma a la DSB-SC, para formar así DSB con portadora (DSB+C) conocida como AM comercial.

$$S_{AM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) + S(t)_{DSB-SC} = A_c \cos(\omega_c t) + f(t)\cos(\omega_c t) = [A_c + f(t)] \cos(\omega_c t)$$

Por definición el Índice de Modulación es la relación entre la amplitud pico de la Señal DSB-SC (doble banda lateral sin Portadora), y la amplitud pico de la portadora:

$$m = \frac{A_{DSB-SC}}{A_c}$$

Por lo que podemos escribir la señal AM como sigue:

$$S_{AM}(t) = A_c \cos(\omega_c t) + S(t)_{DSB-SC} = A_c \cos(\omega_c t) + mA_c \hat{f}(t) \cos(\omega_c t) = A_c \left[1 + m\hat{f}(t) \right] \cos(\omega_c t)$$

Donde $\hat{f}(t)$ es el mensaje con amplitud normalizada a 1, ya que mA_c es la amplitud de la señal DSB-SC. Es decir, el índice de modulación es un control de intensidad entre la amplitud del mensaje y la amplitud de la portadora. Para mostrar esto supongamos un mensaje de la forma $f(t) = A_m \cos(\omega_m t)$, la señal AM tendrá la siguiente forma:

$$S_{AM}(t) = [A_c + f(t)] \cos(\omega_c t) = [A_c + A_m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_c t) = A_c \left[1 + \frac{A_m}{A_c} \cos(\omega_m t) \right] \cos(\omega_c t)$$

Por lo que en este caso, el índice de modulación es la relación entre la amplitud del mensaje y la amplitud de la portadora.

$$m = \frac{A_m}{A_c}$$

Potencia en Función del Índice de Modulación

La potencia por definición es el promedio cuadrático de la señal en el tiempo, expresado como:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_T (S(t)_{AM})^2 dt = \overline{S_{AM}^2(t)}$$

La Potencia Total de la señal AM, es la suma de la Potencia de las dos componentes, Potencia de Portadora y potencia de la Señal DSB-SC:

$$P_T = A_c^2 \overline{\cos^2(\omega_c t)} + 2A_c \overline{f(t) \cos^2(\omega_c t)} + \overline{f^2(t) \cos^2(\omega_c t)}$$

Podemos asumir que $f(t)$ varía muy lentamente con respecto a $\cos(\omega_c t)$, También podemos asumir que $f(t) = 0$, usual en la mayoría de los casos, eliminando así el término central de la ecuación anterior. Quedando la potencia de esta manera $f^2(t) \cos^2(\omega_c t)$

$$P_T = A_c^2 \overline{\cos^2(\omega_c t)} + \overline{f^2(t) \cos^2(\omega_c t)} = \frac{A_c^2}{2} + \frac{\overline{f^2(t)}}{2} = P_c + P_m$$

Siendo P_c la potencia de la portadora y P_m , potencia de las bandas laterales. Si $f(t) = A_m \cos(\omega_m t)$, tenemos que

$$P_m = \frac{A_m^2}{4} = \frac{m^2 A_c^2}{4}$$

$$P_T = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right)$$

Se define la fracción del total de potencia que contiene las bandas laterales como μ :

$$\mu = \frac{P_m}{P_T} = \frac{m^2}{2 + m^2}$$

Otra forma de calcular el índice de modulación con la ayuda del osciloscopio

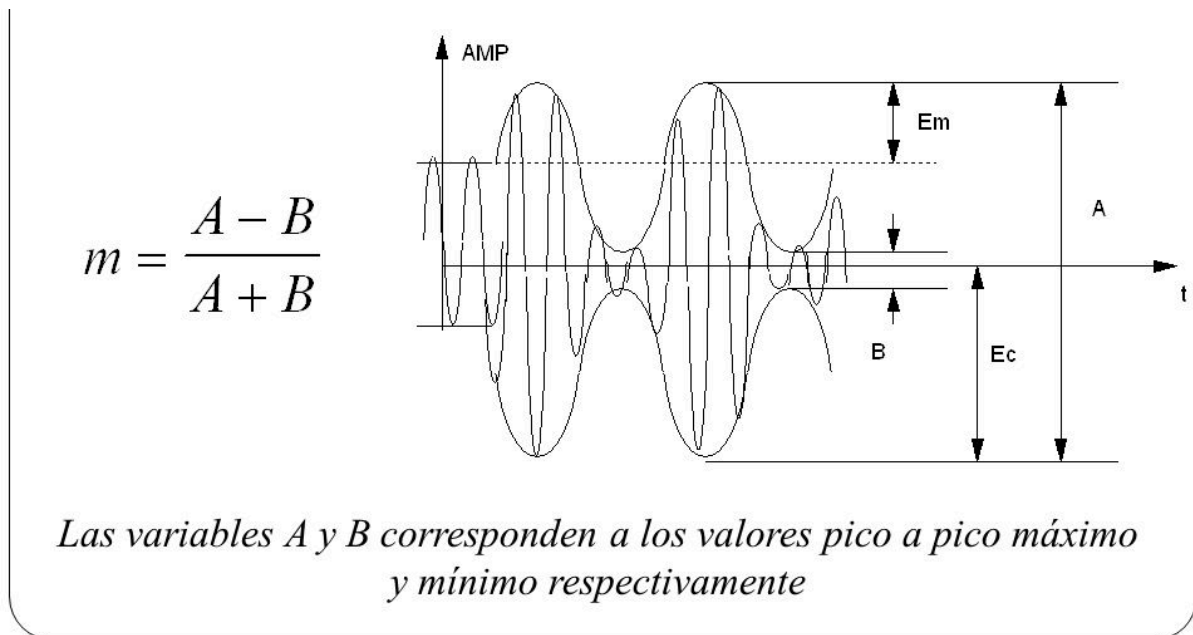


Figura 1. Cálculo del índice de modulación de manera gráfica

METODOLOGÍA

Se procederá a montar los siguientes circuitos/etapas para construir el modulador AM.

El circuito presentado en la **figura 2** conforma un modulador AM DSB, por conmutación. Esta primera etapa busca generar la envolvente de la señal DSB, es decir toma el mensaje original y le sube el nivel DC positivo, pero como el circuito implementa un sumador en configuración de inversor, la salida es la envolvente negativa. Se deben sugerir valores para R_1 , R_2 y R_3 y del potenciómetro R_6 que regula el valor del DC. La alimentación de los OPAM, debe estar entre ± 5 Voltios.

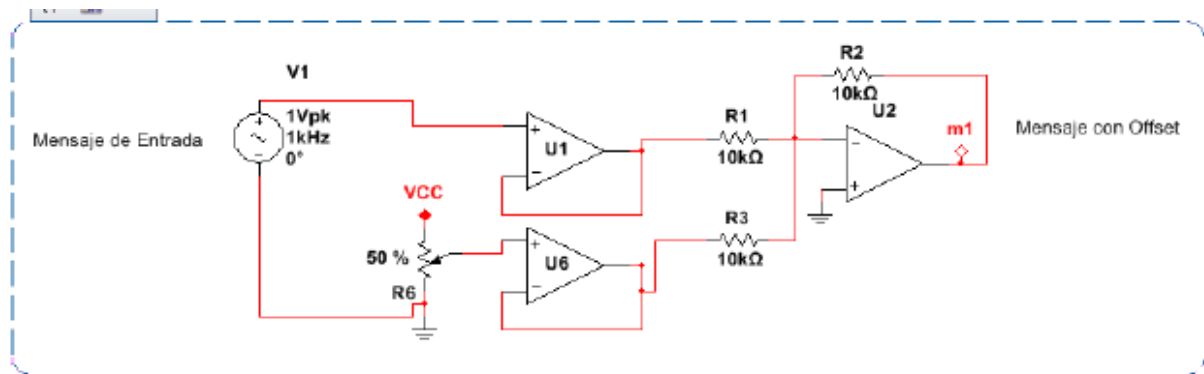


Figura 2. Diagrama de la etapa 1

Para obtener la envolvente positiva, debemos invertir la conseguida anteriormente, y para evitar los efectos de carga, colocamos un buffer a la negativa. Estas entran a un switch analógico, 4066, como se muestra en la **figura 3**, que va a permitir obtener una salida que conmute entre ambas envolventes, a la frecuencia de portadora. La salida se toma de la unión de dos salidas (pines 2 y 3), esto es posible debido a que los switches deben operar en forma inversa, es decir, cuando uno está cerrado el otro está abierto. Esto es controlado por las señales que provienen del LM555.

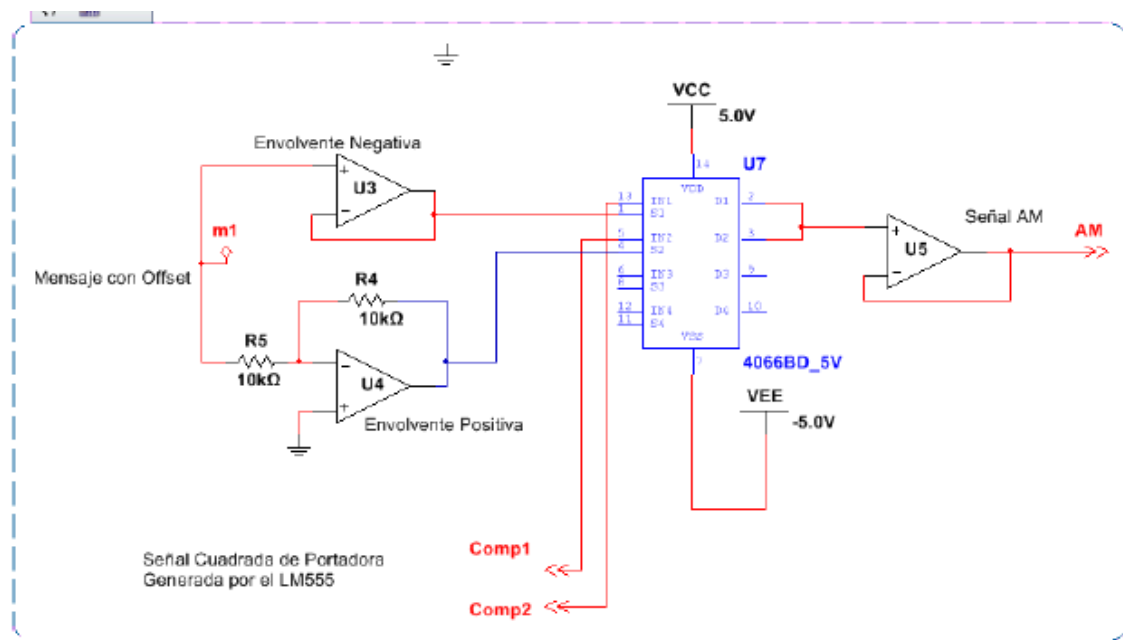


Figura 3. Diagrama de la etapa 2

Las señales de control deben conmutar entre ± 5 Voltios, a la frecuencia de la portadora; una forma de obtenerla, es a través de un LM 555 como astable de 50% Duty Cycle, como se muestra en la **figura 4**. Luego para obtener las dos versiones se debe invertir una de ellas, una forma es utilizar comparadores LM339 para generar ambas señales.

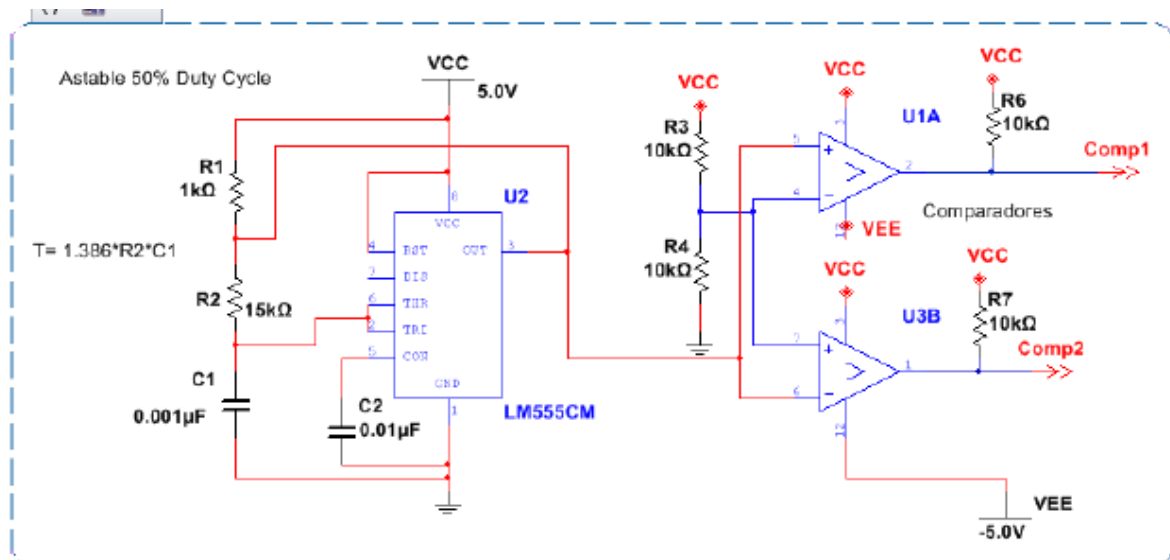


Figura 4. Diagrama de la etapa 3

En este caso, por la estructura del Modulador, se debe verificar que el control de Offset del DC, va a coincidir con el valor de amplitud de la portadora AC, esto es sencillo de ver cuando la señal de mensaje se convierte en un DC constante.

Se tomarán las mediciones a la salida del modulador AM y se calculará el índice de modulación. Para diferentes valores del índice de modulación, se medirá la potencia de la portadora y de las bandas laterales.

RESULTADOS

- Montaje de la etapa 1

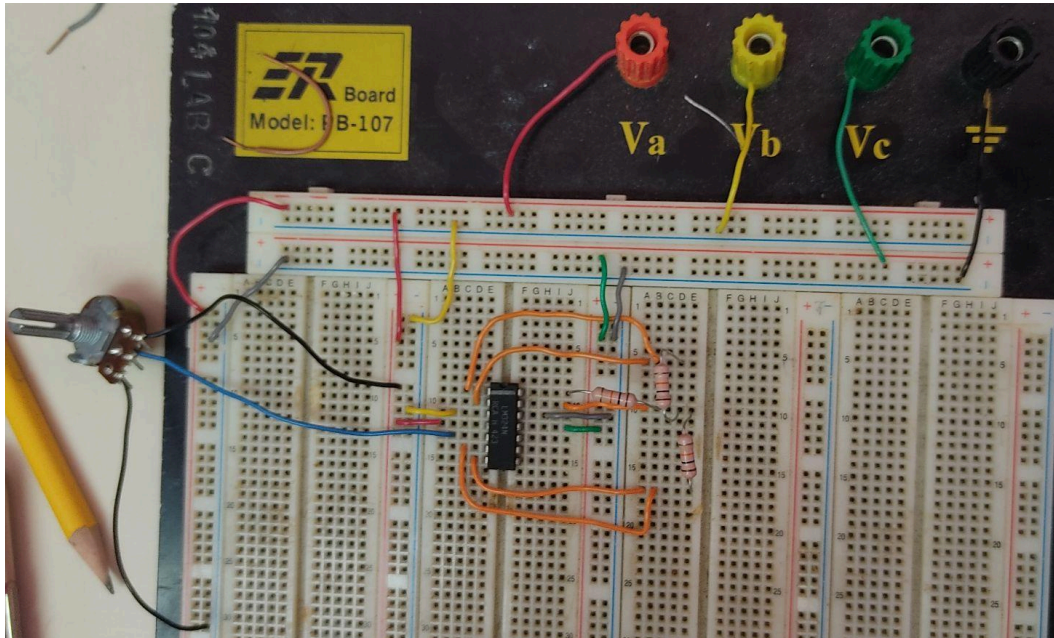


Figura 5. Montaje de la etapa 1

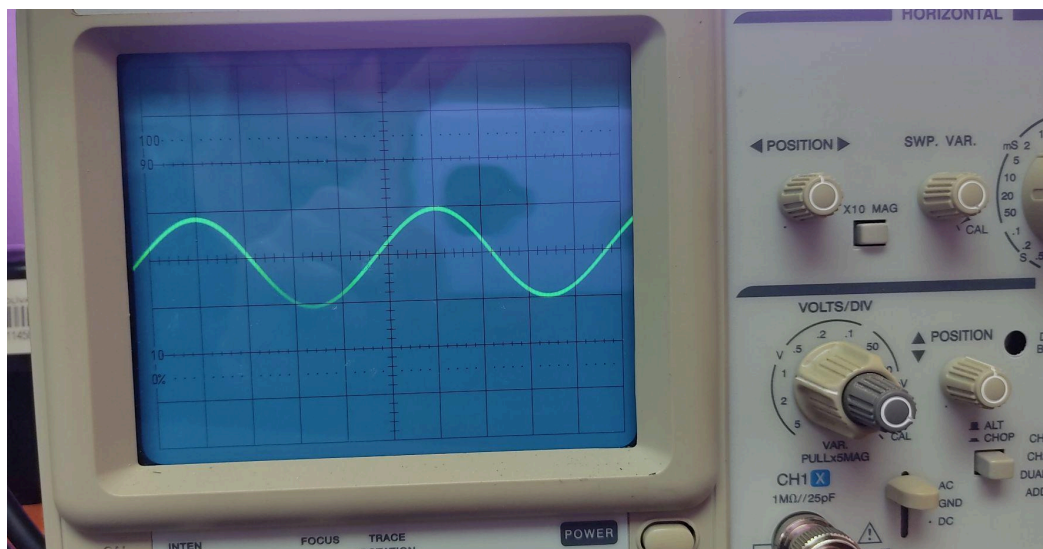


Figura 6. Señal en la etapa 1

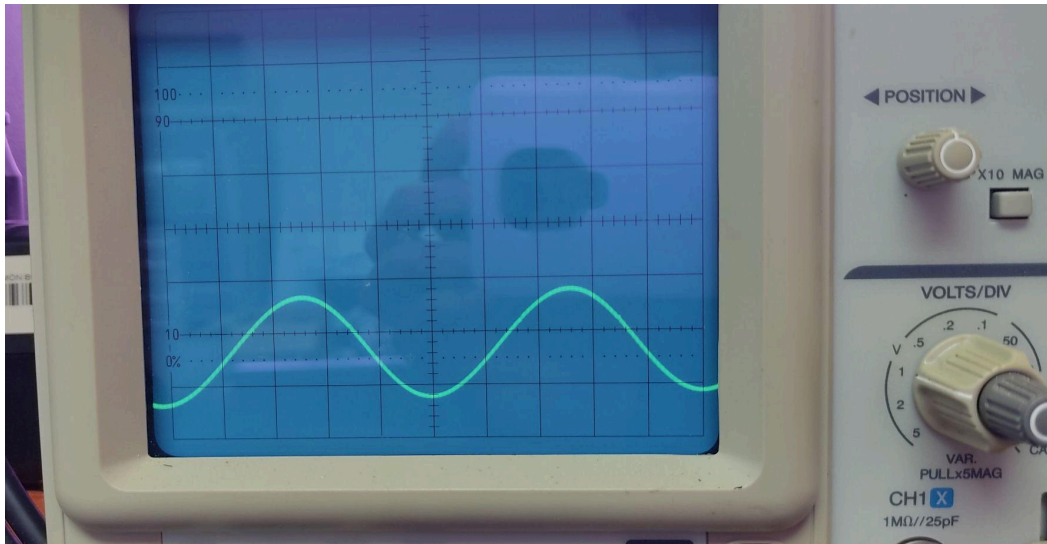


Figura 7. Señal en la etapa 1 controlada con el potenciómetro

- **Montaje de la etapa 2**

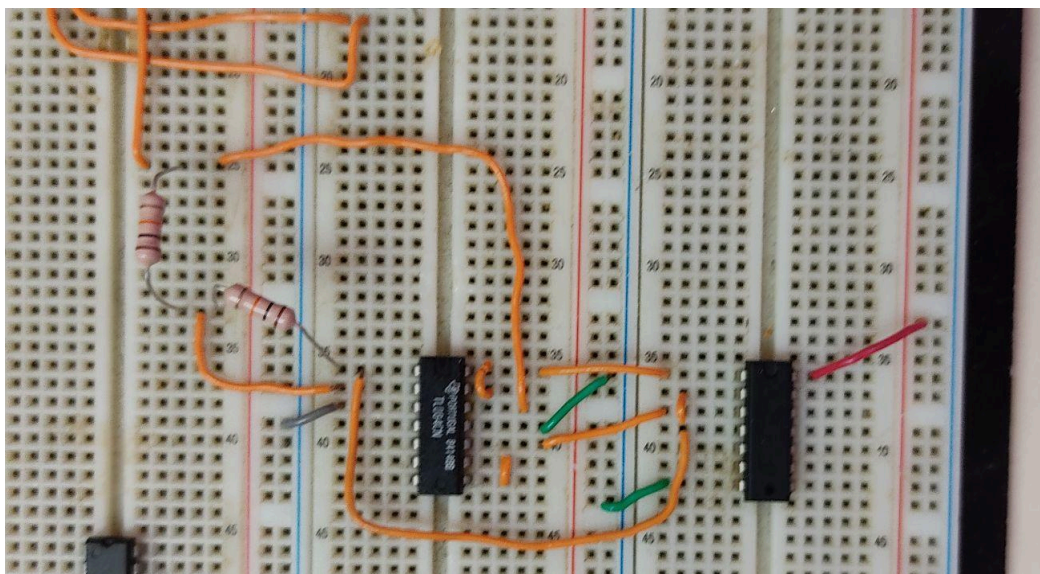


Figura 8. Montaje de la etapa 2

- **Montaje de la etapa 3**

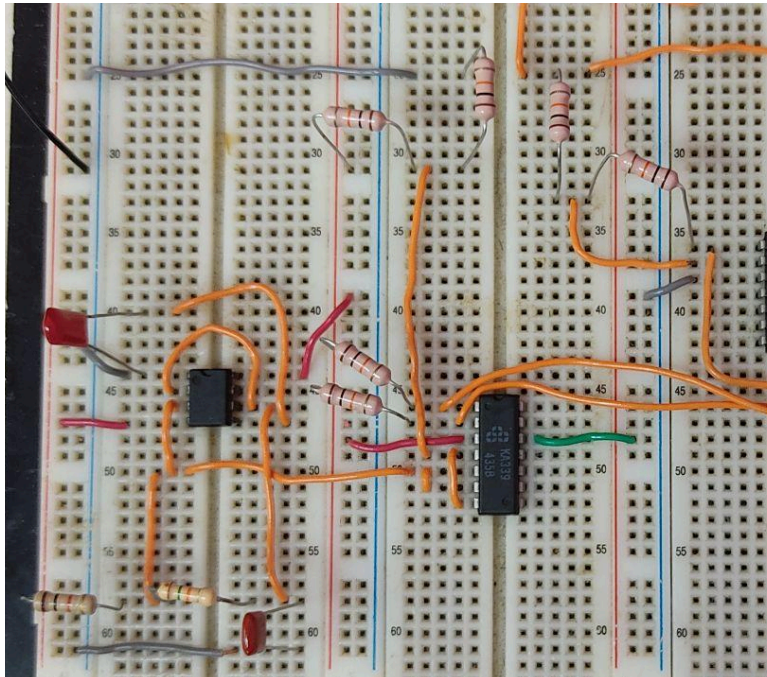


Figura 9. Montaje de la etapa 3

- **Montaje completo del modulador AM**

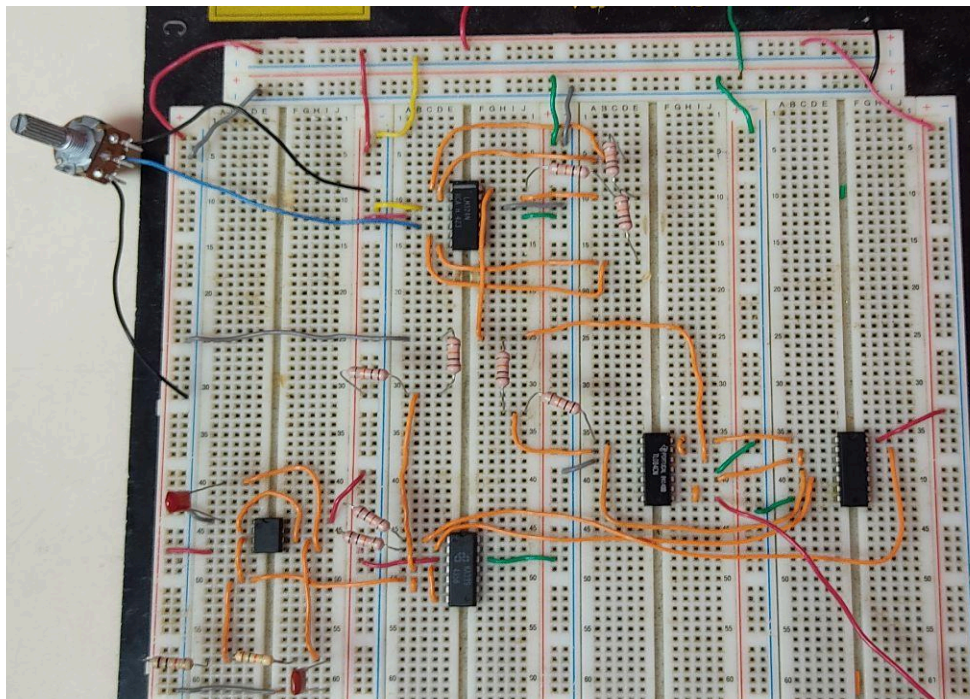


Figura 10. Montaje completo

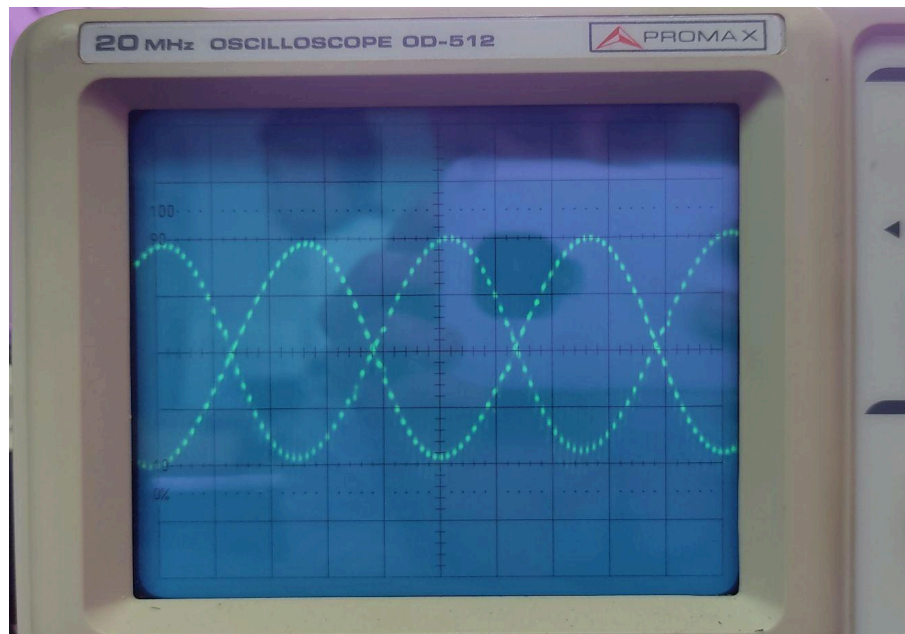


Figura 11. Envolventes de la señal

- **Señal AM**

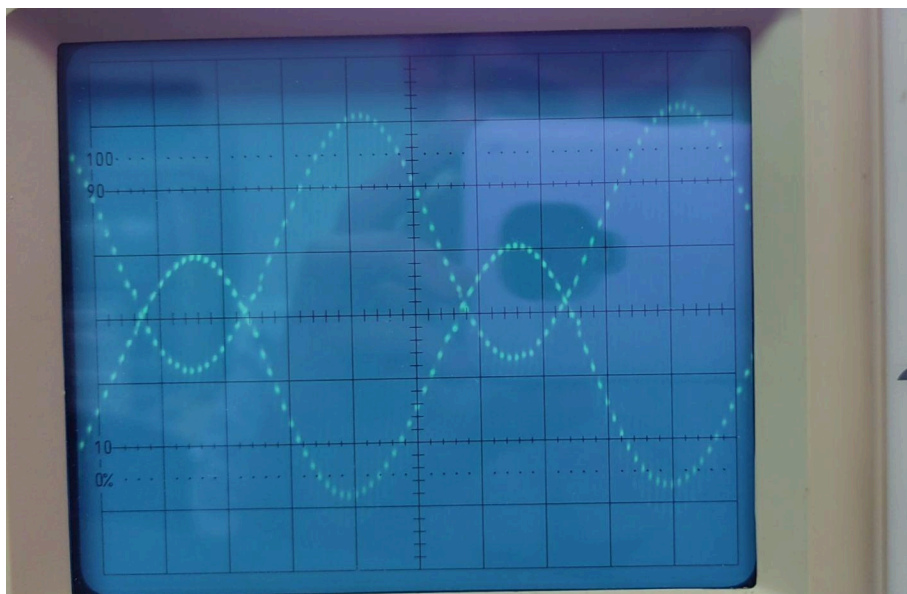


Figura 12. Señal AM a la salida del modulador

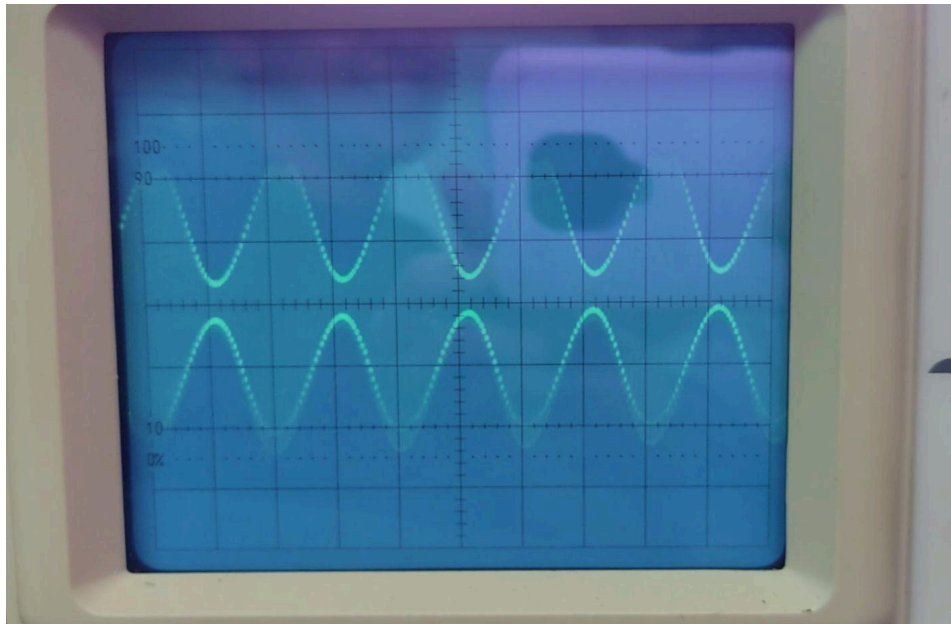


Figura 13. Señal AM con diferente amplitud de la portadora (variada con el potenciómetro)

- **Señal AM para distintos valores de índice de modulación (m)**

Índice % Teórico	Ac (V)	Am (V)	m Medido	m Teórico
15	5	1	0,20	0,15
25	4	1	0,25	0,25
50	2	1	0,50	0,50
75	1,4	1	0,71	0,75
100	1	1	1	1

Tabla 1. Índice de modulación (m), amplitud de la portadora (Ac) y amplitud del mensaje (Am)

Índice % Teórico	m Medido	Pc (W)	Pm (W)	Pt (W)	μ Medido	μ Teórico
15	0,20	12,5	0,25	12,75	0,02	0,011
25	0,25	8	0,25	8,25	0,03	0,03
50	0,50	2	0,25	2,25	0,11	0,11
75	0,71	0,98	$0,247 \approx 0,25$	1,23	0,20	0,22
100	1	0,5	0,25	0,75	0,33	0,33

Tabla 2. Índice de modulación (m), potencia de la portadora (Pc), potencia de las bandas laterales (Pm), potencia total de la señal AM (Pt) y fracción del total de potencia que contienen las bandas laterales (μ)

- Señal AM con 100% de modulación ($m = 1$)

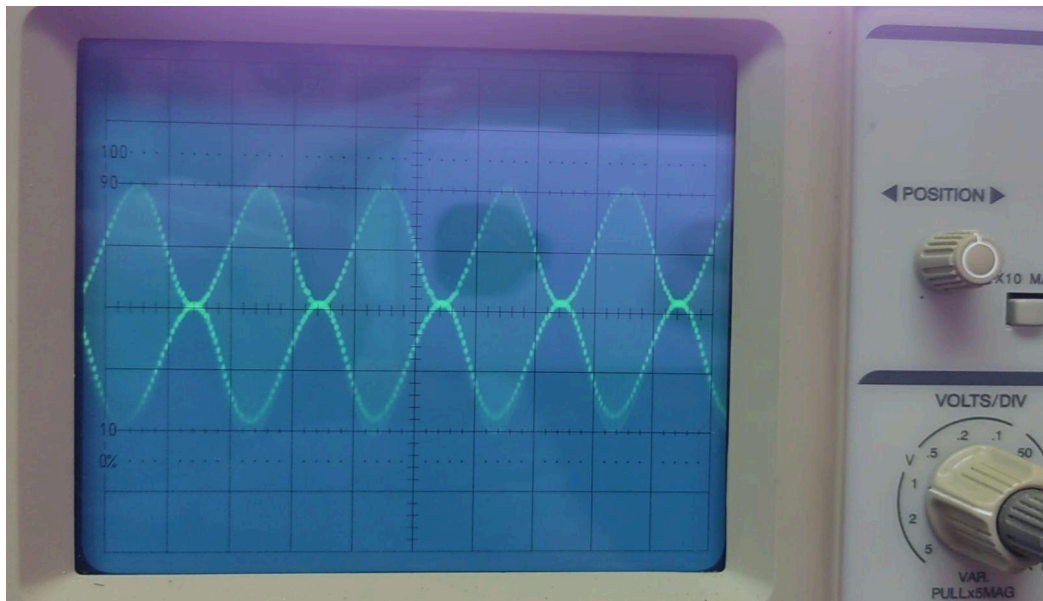


Figura 14. Señal AM con $m = 1$

- Señal AM con 71% de modulación ($m = 0.71$)

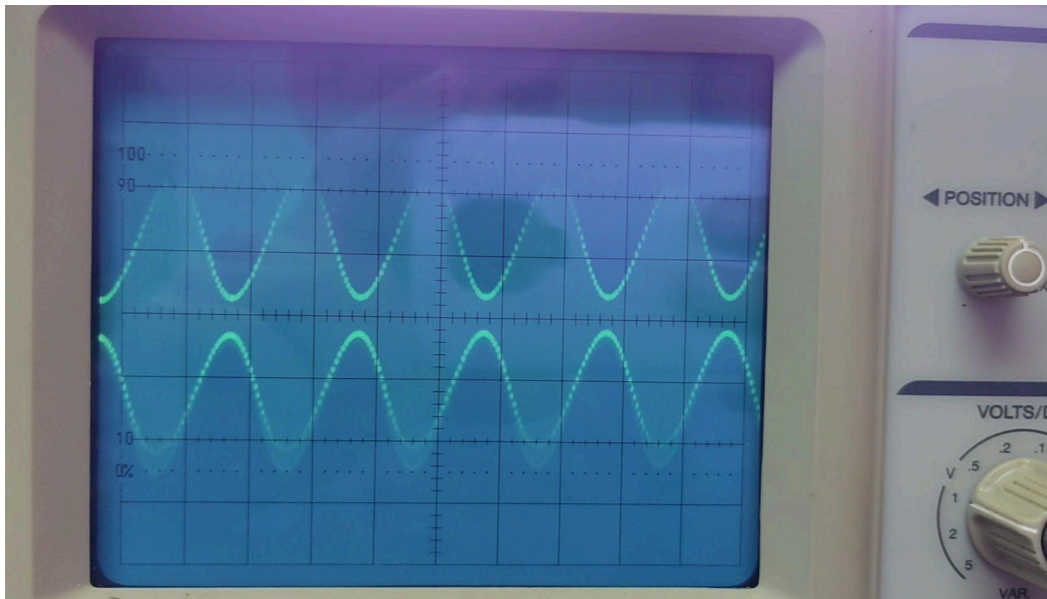


Figura 15. Señal AM con $m = 0.71$

- Señal AM con 50% de modulación ($m = 0.50$)

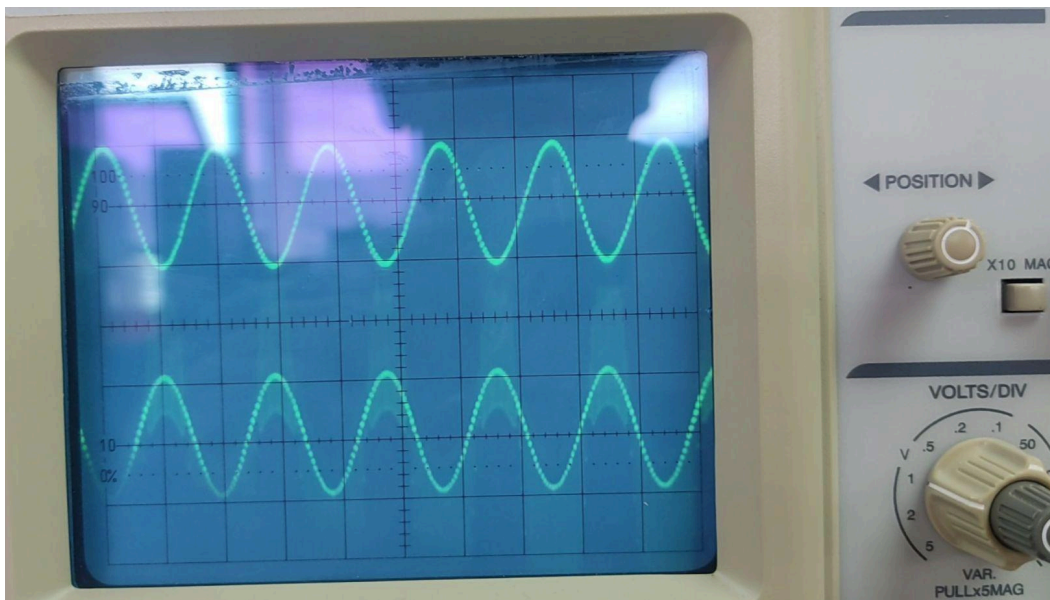


Figura 16. Señal AM con $m = 0.50$

- Señal AM con 25% de modulación ($m = 0.25$)

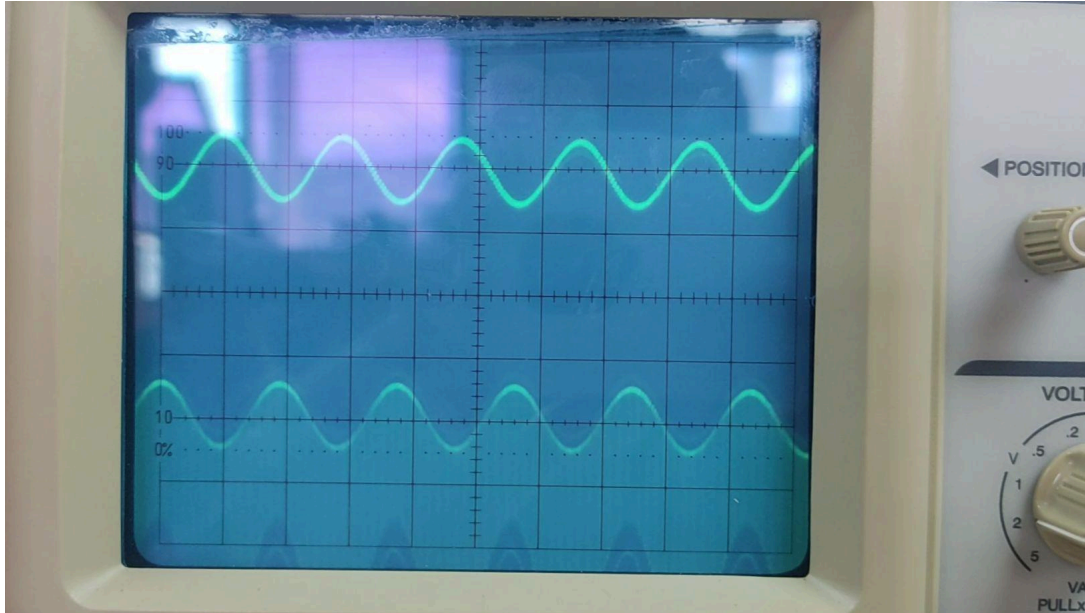


Figura 17. Señal AM con $m = 0.25$

- Señal AM con 20% de modulación ($m = 0.20$)

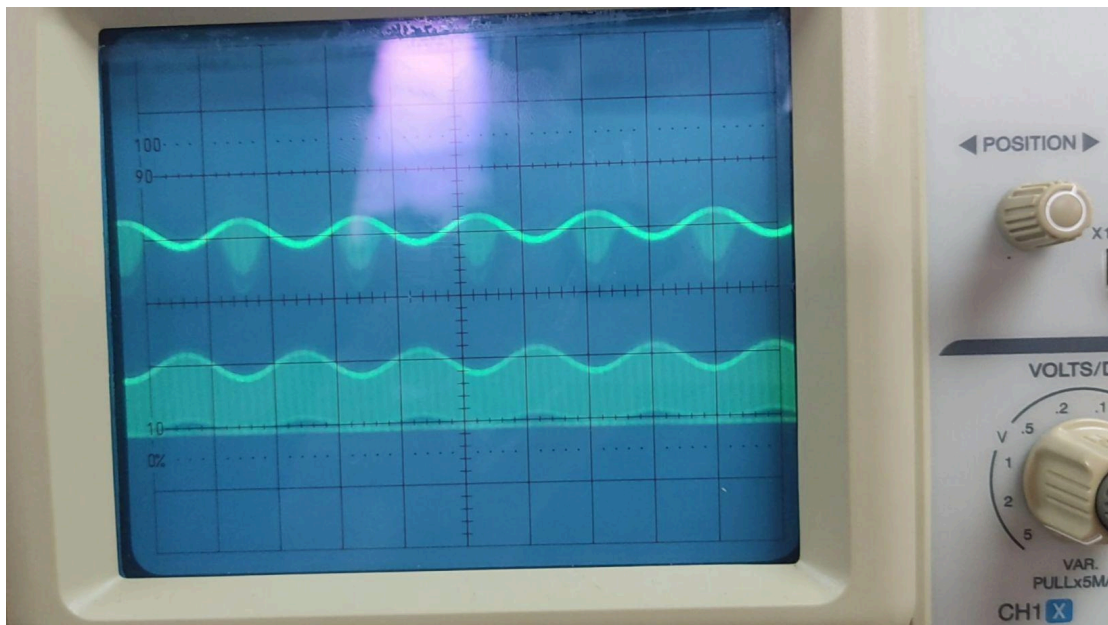


Figura 18. Señal AM con $m = 0.20$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la **tabla 1** se pueden observar la amplitud de la portadora y los índices de modulación medidos durante la práctica. De esta forma, se encuentran discrepancias de los resultados teóricos de los prácticos para los índices de 15 y 75%, ya que se obtuvieron índices nuevos de 20 y 71% respectivamente. Este cambio es originado por la amplitud de la portadora (A_c), donde para el caso del 20% se tuvo que colocar la amplitud de 5V debido a que los OPAMP usados saturaban en 5 V y no permiten un correcto funcionamiento para valores de voltaje superiores como los 6,67 V necesarios para obtener el índice planteado. En el caso del índice de modulación de 75% se origina por la poca precisión brindada por el potenciómetro que, dificulto establecer valores cercanos a 1,33 V y el valor próximo más cercano que se pudo usar fueron 1,4 V que lograba un índice de modulación del 71%. Para los demás índices de modulación se pudieron establecer los valores estudiados anteriormente y se logró establecer la A_c y el índice de modulación esperado.

En el caso de la **tabla 2** se encuentran los valores de potencia de la señal para los distintos índices de modulación. Por lo tanto, si nos fijamos en los índices de 20 y 71% notaremos los cambios que tienen algunas potencias de estos con respecto a los valores teóricos, sin embargo, estos cambios no afectan a la potencia de las bandas laterales, dado que, esta potencia depende prácticamente de la amplitud del mensaje (A_m) y esta es la misma para todos los índices de modulación estudiados. Al estudiar la potencia de la portadora se puede notar que mientras más pequeño sea el índice de modulación, mayor será la potencia de la señal y por su parte, la fracción de la potencia que poseen las bandas laterales (μ) será menor, es decir, a mayor potencia de la portadora menor μ . En este sentido, para todos los índices de modulación a excepción del 15 y 75%, los valores obtenidos en la práctica coinciden con los valores teóricos. Por este motivo, al estudiar los índices de 20 y 71% podemos notar lo dicho anteriormente.

Para el índice de 15% pudimos estudiar fue un índice de 20%; por lo tanto, de acuerdo a lo analizado, la potencia obtenida en práctica va a ser menor, pero el μ va a ser mayor y esto es lo que esencialmente tenemos. Para un índice de 15% tenemos una potencia de portadora de 22,22 W y un μ igual a 0,011, pero si observamos los valores obtenidos para un índice de 20% la potencia se reduce considerablemente a 12,5 W y el μ aumenta a 0,02. Por otra parte,

tenemos el caso contrario para el índice de 75% y en esta ocasión el índice es de 71%, siendo menor que el índice estudiado en la teoría. Por lo tanto, al observar los valores obtenidos en la práctica notamos que efectivamente para un índice menor la potencia de la señal es mayor, teniendo una potencia de 0,98 W para un índice de 71% y una potencia de 0,88 W para un índice de 75%. De esta forma, los valores de μ también concuerdan con lo planteado siendo mayor para el 75% que para el 71%, con un μ igual a 0,22 y 0,20 respectivamente. Gracias a esto, se puede notar que para una A_m constante, la potencia de la portadora y la potencia total es inversamente proporcional a μ .

CONCLUSIONES

Para la realización de esta práctica se montó en un protoboard el circuito capaz de realizar una modulación AM, usando distintos componentes como OPAMPs, LM555, resistencias, entre otros. De esta forma, se realizó todo el montaje correspondiente para recibir una señal que actuaría como mensaje, montarla sobre una portadora y transmitirla con sus respectivas envolventes. Este circuito consta de 3 etapas, donde la primera recibe la señal, la invierte y se le suma un DC regulado con un potenciómetro. La segunda etapa recibe la envolvente de la primera y la invierte para tener la envolvente positiva y negativa, para que pasen por un 4066 que es un interruptor de conmutación, que también recibirá una señal de la tercera etapa donde está un 555 en modo astable. Luego, el conmutador a la salida mostrará la señal modulada en AM, pero no antes de pasar por un buffer. Con todo este circuito ensamblado, solo se necesita variar el potenciómetro para cambiar la amplitud de la portadora y así el índice de modulación de acuerdo a los requisitos de la práctica.

Al empezar a realizar los ajustes necesarios para obtener los distintos índices de modulación, se pudieron notar varias problemáticas que dificultaron el proceso de recolección de datos. En primer lugar los OPAMPs usados presentaban problemas ya que, se saturaban antes de los 3V dificultando hacer cálculos para portadoras con amplitudes cercanas a estos valores. Por este motivo, se reemplazaron algunos de estos e inclusive se tuvo que realizar las medidas antes del último buffer debido a los problemas que presentaba en valores mayores a 3 V. Por otra parte, al usar un potenciómetro es difícil regular de forma precisa el valor de la resistencia de éste y por ende el de los voltajes que uno desea a la salida del mismo, dificultando calibrar la señal para obtener los datos necesarios.

A pesar de estas problemáticas y que hubo ciertas partes que se calcularon con valores muy distintos a los teóricos, se pudo cumplir con los objetivos. Además, también por estas dificultades se pudo comprender más apropiadamente algunas de las propiedades que cambian al tener índices de modulación más altos o más bajos con una amplitud del mensaje constante. Sin embargo, también es importante tratar de trabajar con componentes que tengan un comportamiento más adecuado para que no surjan problemas al momento de realizar un montaje con estas características.