



# Universidad Nacional Autónoma de México

## Práctica 10. Modulación en amplitud

Alumno: Pérez Martínez Victor Hugo

Número de cuenta: 315214996

Asignatura: Sistemas de Comunicaciones

Grupo de laboratorio: 18

Grupo de teoría: 5

Fecha de entrega: 14/01/2021

Nombre del profesor: Christian Hernández  
Santiago

## Objetivos

1. El alumno conocerá las características en el tiempo y en la frecuencia de la modulación de amplitud.

## Metas

- Comprender diversos conceptos que engloban al ruido, así como su impacto en los sistemas de comunicaciones.

## Material

- Multisim

## Desarrollo

1. Define y describe los principios básicos de la modulación en sistemas eléctricos y electrónicos.

Podemos definir a la modulación en sistemas eléctricos y electrónicos como la adecuación o adaptación de una señal para que sea físicamente posible el poder transmitirla a través de un medio. La modulación se planteo en base a las ecuaciones de Maxwell ante la necesidad de transmitir información de forma simultanea y mejorar su resistencia ante ruidos e interferencias.

Un modulador de señales analógico está compuesto por los siguientes elementos:

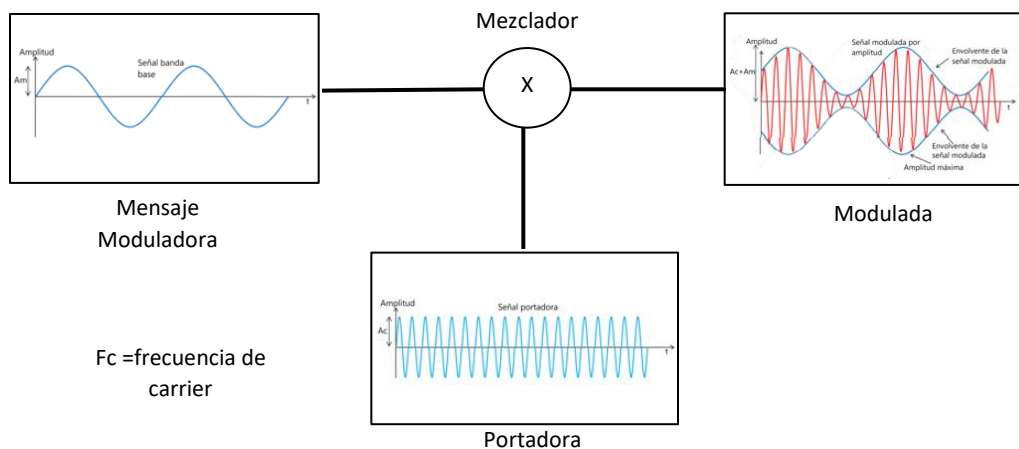


Figura 1. Esquema de modulación

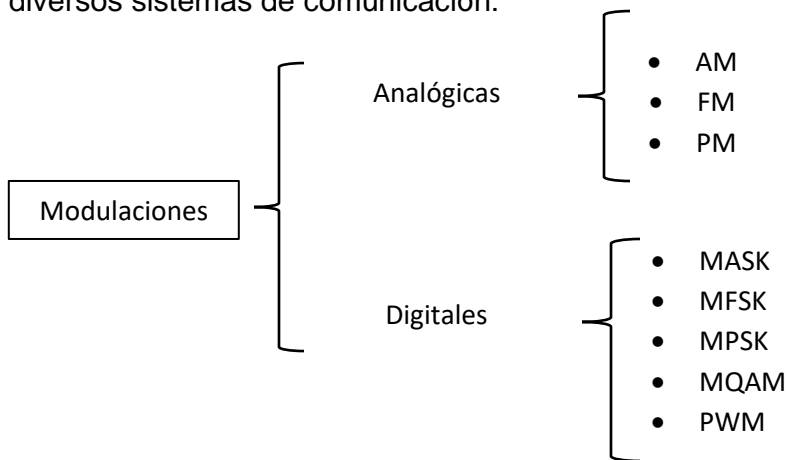
Para entender este concepto también es importante saber que se logra por medios inalámbricos, y siguen el esquema básico de los sistemas de comunicaciones:



Figura 2. Esquema de un sistema de comunicación



Dentro de la modulación tenemos 2 diferentes tipos, la modulación analógica y la modulación digital, teniendo en cada una de ellas subtipos que podemos encontrar en diversos sistemas de comunicación:



Un ejemplo sencillo con el cual se comprender mejor el concepto de modulación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:  $\lambda$  = longitud de onda  
 $c$  = velocidad de luz  
 $f$  = frecuencia

Estaciones de radio

- Reactor 105.7;  $\lambda = 2.84[m]$   $f_c = 105.7[MHz]$
- Ibero 90.9;  $\lambda = 3.3[m]$   $f_c = 90.9[MHz]$
- Radio UNAM 96.6;  $\lambda = 3.12[m]$   $f_c = 96.6[MHz]$

2. Utilizando *Multisim*, simula el comportamiento del circuito de la Figura 1. Anota:

- La frecuencia del mensaje.  
 $f_{mensaje} = 1[KHz]$
- La frecuencia de la señal portadora.  
 $f_c = 20[KHz]$
- Los ciclos de la señal modulada que hay en cada ciclo de la señal moduladora.  
 $\#veces = \frac{f_c}{f_{mensaje}} = \frac{20[KHz]}{1[KHz]} = 20$
- La envolvente superior.  
Método gráfico: 3[V]  
Método numérico: 2.962[V]
- La envolvente inferior.  
Método gráfico: 1[V]  
Método numérico: 994.736[mV]

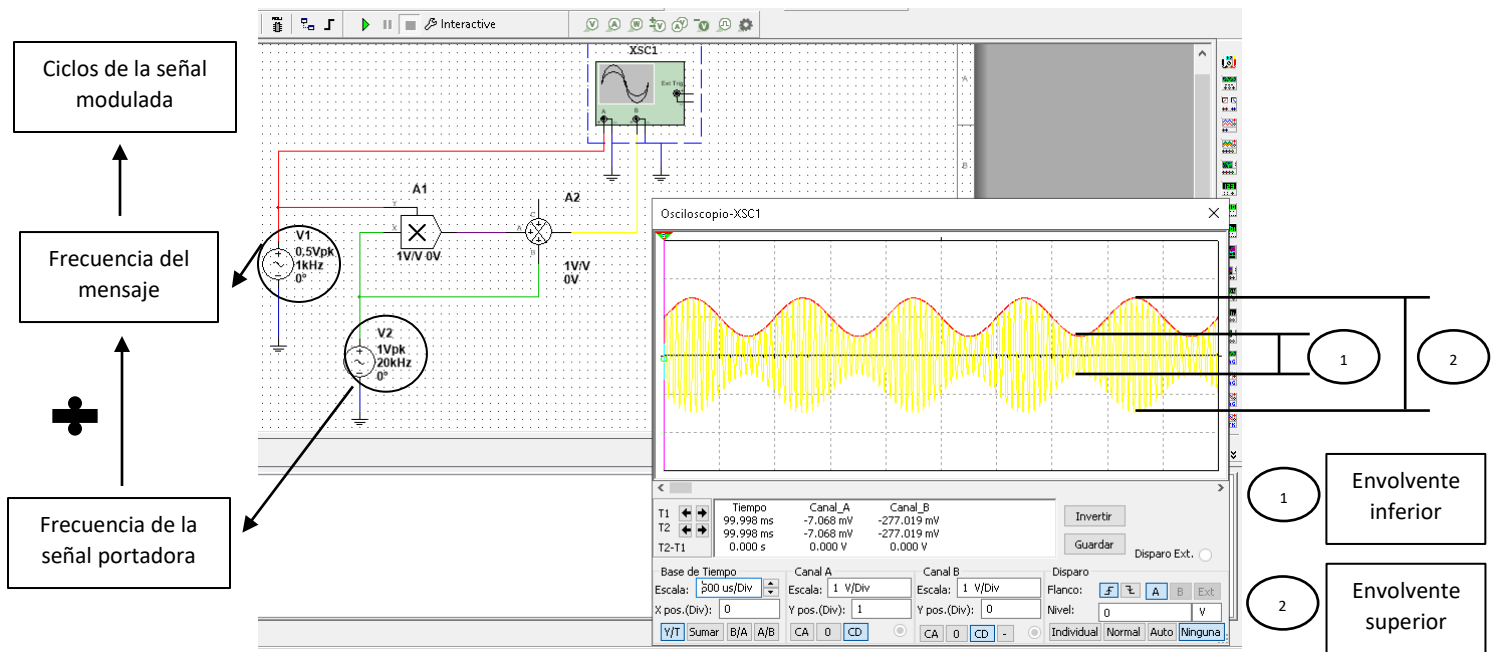


Figura 3. Ubicación de los elementos de la señal modulada

3. Modifica la amplitud del mensaje a 0.5 Vp. Observa la señal en el osciloscopio. Posteriormente, cambia el tipo de señal del mensaje a una señal triangular, diente de sierra y cuadrada. Incluye en tu reporte los cuatro oscilogramas obtenidos y el análisis correspondiente.

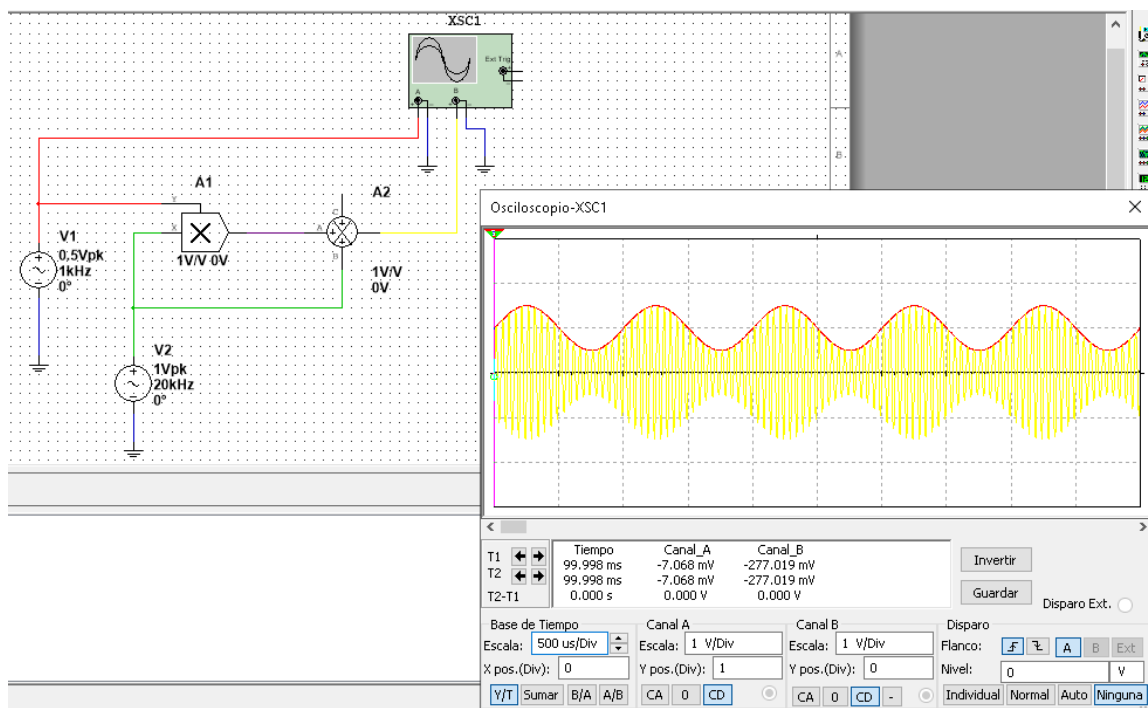


Figura 4. Modulación del mensaje con señal senoidal

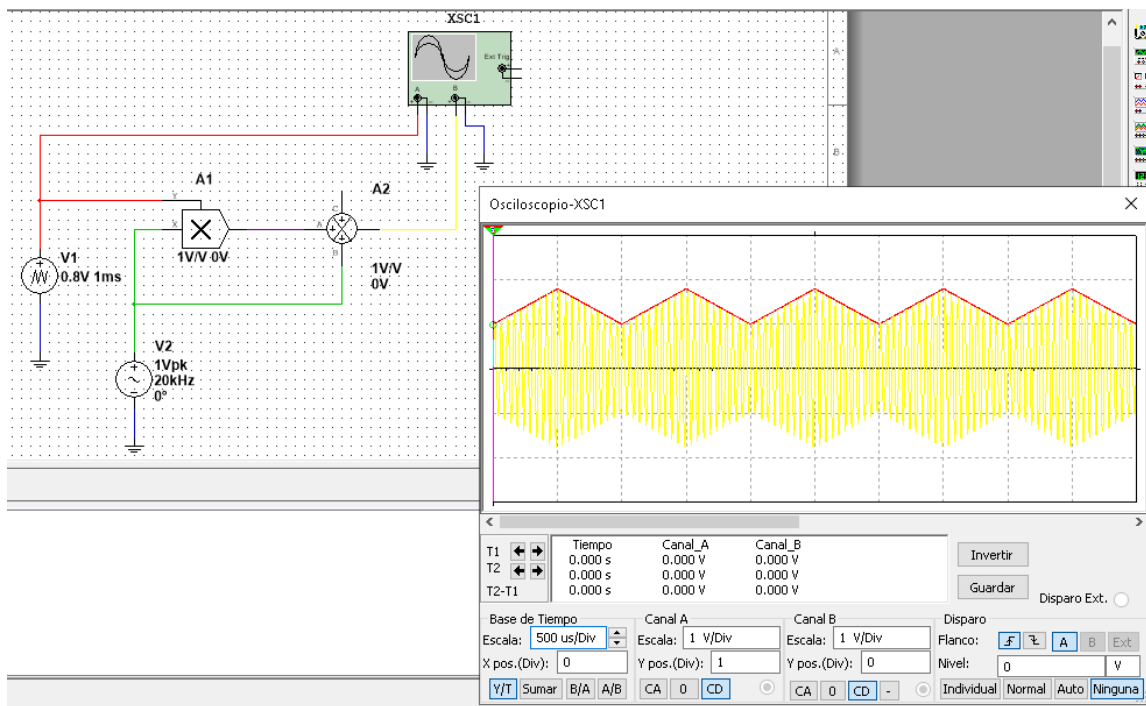


Figura 5. Modulación del mensaje con señal triangular

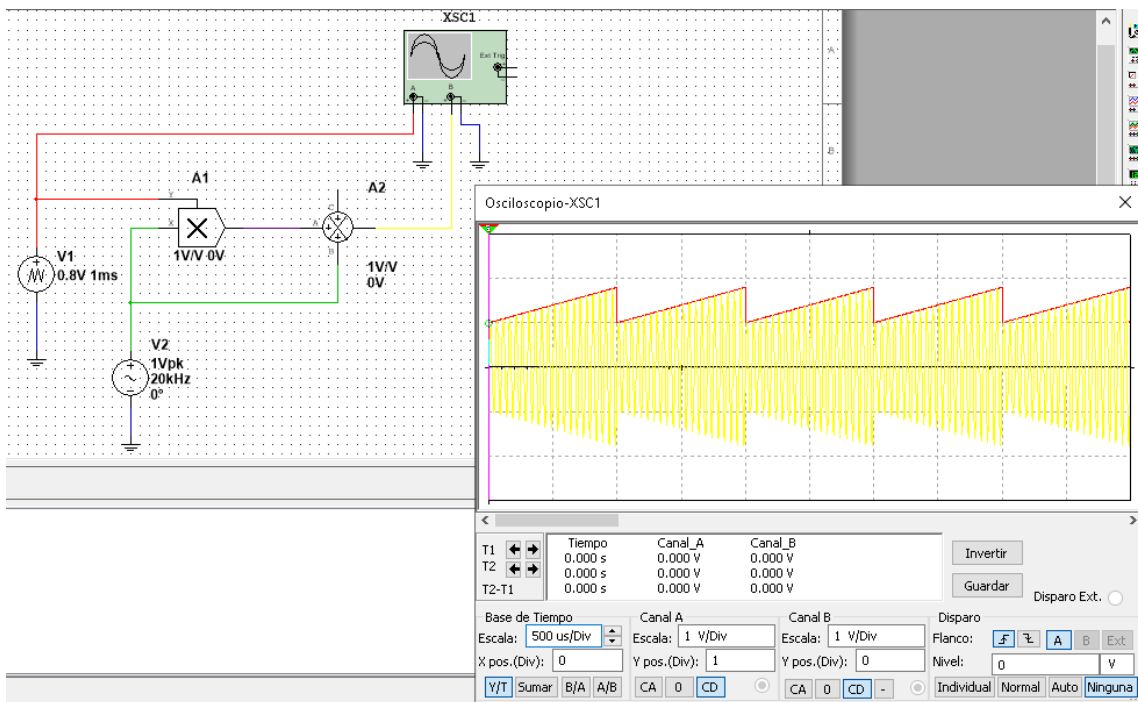


Figura 6. Modulación del mensaje con señal diente de sierra

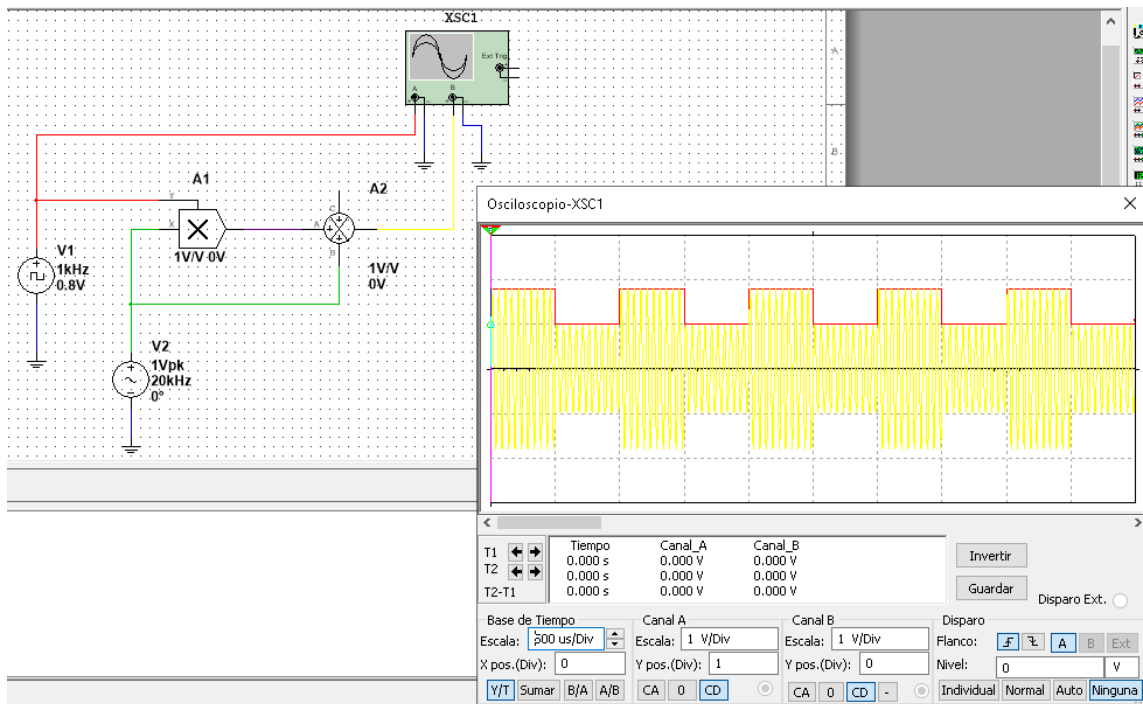


Figura 7. Modulación del mensaje con señal cuadrada

De los oscilogramas obtenidos podemos ver que en todos ellos la señal del mensaje siempre envuelve a la señal portadora sin importa el tipo de señal (ya sea senoidal, triangular, diente de sierra o cuadrada), ya que básicamente es esa línea que cubre la parte superior (para estos casos la de color rojo). Además, la señal portadora adopta la forma de la señal del mensaje, ya que al cambiar el tipo de señal del mensaje la portadora hacia lo mismo es por ello que vemos todos esos resultados en los oscilogramas (también conocida como regla de la envolvente).

4. Explica cómo se calcula el porcentaje de modulación AM.

El índice de modulación AM ( $m$ ) es una relación aritmética de las envolventes superior e inferior, que se expresa de la siguiente manera:

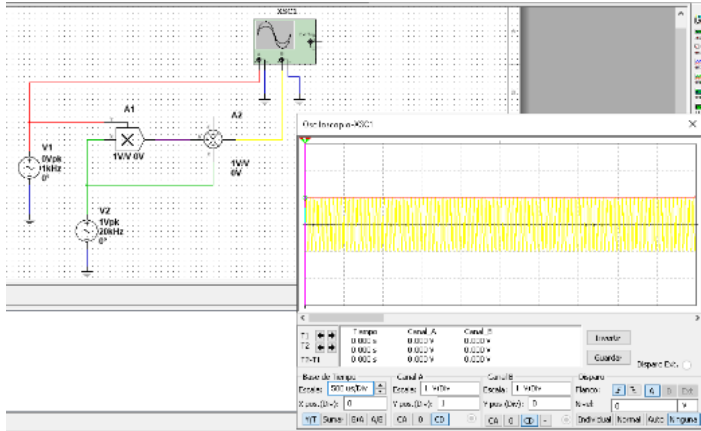
$$m_{AM} = \frac{ES - EI}{ES + EI}$$

Siendo ES: envolvente superior, EI=envolvente inferior

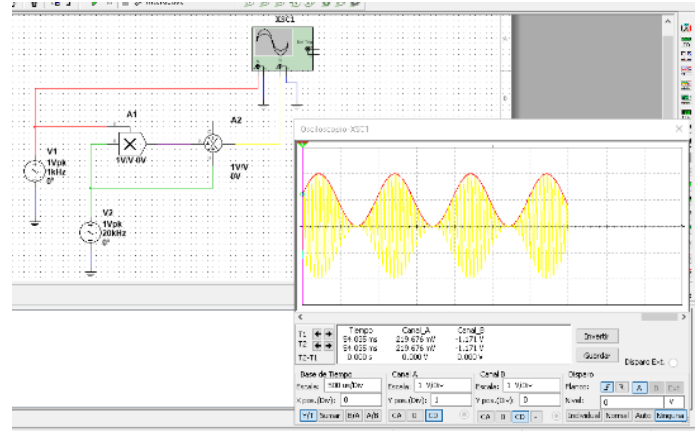
El porcentaje de modulación AM lo podemos expresar de esta forma:

$$\%m_{AM} = \frac{ES - EI}{ES + EI} \times 100$$

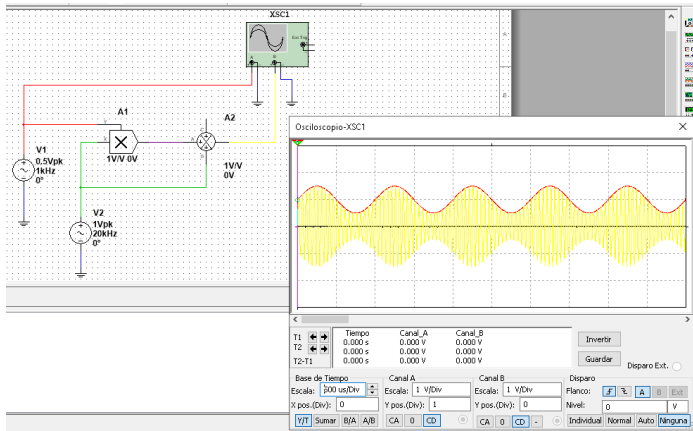
5. Para una señal moduladora senoidal modifica la amplitud del mensaje para obtener 100%, 50%, 0% de modulación. y una sobremodulación. Incluye en tu reporte los resultados obtenidos como se muestra en la Figura 2.



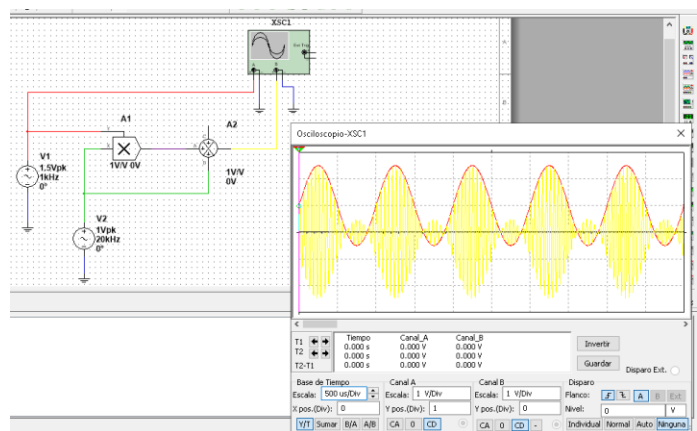
$V_{PK} \text{ Mensaje} = 0[V_P]$  ,  $V_{PK} \text{ Portadora} = 1[V_P]$  ,  
%Modulación:0%



$V_{PK} \text{ Mensaje} = 1[V_P]$  ,  $V_{PK} \text{ Portadora} = 1[V_P]$  ,  
%Modulación:100%



$V_{PK} \text{ Mensaje} = 0.5[V_P]$  ,  $V_{PK} \text{ Portadora} = 1[V_P]$  ,  
%Modulación:50%



$V_{PK} \text{ Mensaje} = 1.5[V_P]$  ,  $V_{PK} \text{ Portadora} = 1[V_P]$  ,  
%Modulación:150%

Figura 8. Oscilogramas de los porcentajes de modulación

Para esta caso podemos notar que al modificar el voltaje pico de la señal del mensaje, el porcentaje de modulación comienza a variar y para cada caso podemos ver cómo es que comporta la señal de la portadora, ya que recordemos que la señal portadora se adapta a la forma de la señal de mensaje y es por ello que ambas cambian al momento de cambiar el porcentaje de modulación. Lo adecuado es dejar a la señal con una modulación aproximada del 100%, ya que el sobremodular una señal se pierde bastante información del mensaje y es el peor de los casos en comunicaciones.



6. Simula el circuito de la Figura 3. Configura la fuente de AM para generar una señal modulada en AM con las siguientes características: portadora de 100 kHz y voltaje de 5 volts pico; moduladora o mensaje senoidal de 1 kHz; índice de modulación de 0.8, es decir, un porcentaje de modulación del 80 %. Observa en el analizador de espectros en qué frecuencias están ubicadas las componentes espectrales. Dejando fija la frecuencia de la señal portadora varía la frecuencia del mensaje. Incluye en tu reporte los espectros resultantes y completa la Tabla 1.

	Frecuencia de la señal portadora	Frecuencia de la señal moduladora	$f_1$	$f_2$	$f_3$
	100 kHz	1 kHz	99 kHz	100 kHz	101 kHz
	100 kHz	2 kHz	98 kHz	100 kHz	102 kHz
	100 kHz	3 kHz	97 kHz	100 kHz	103 kHz

Tabla 1. Componentes espectrales de una modulación en amplitud

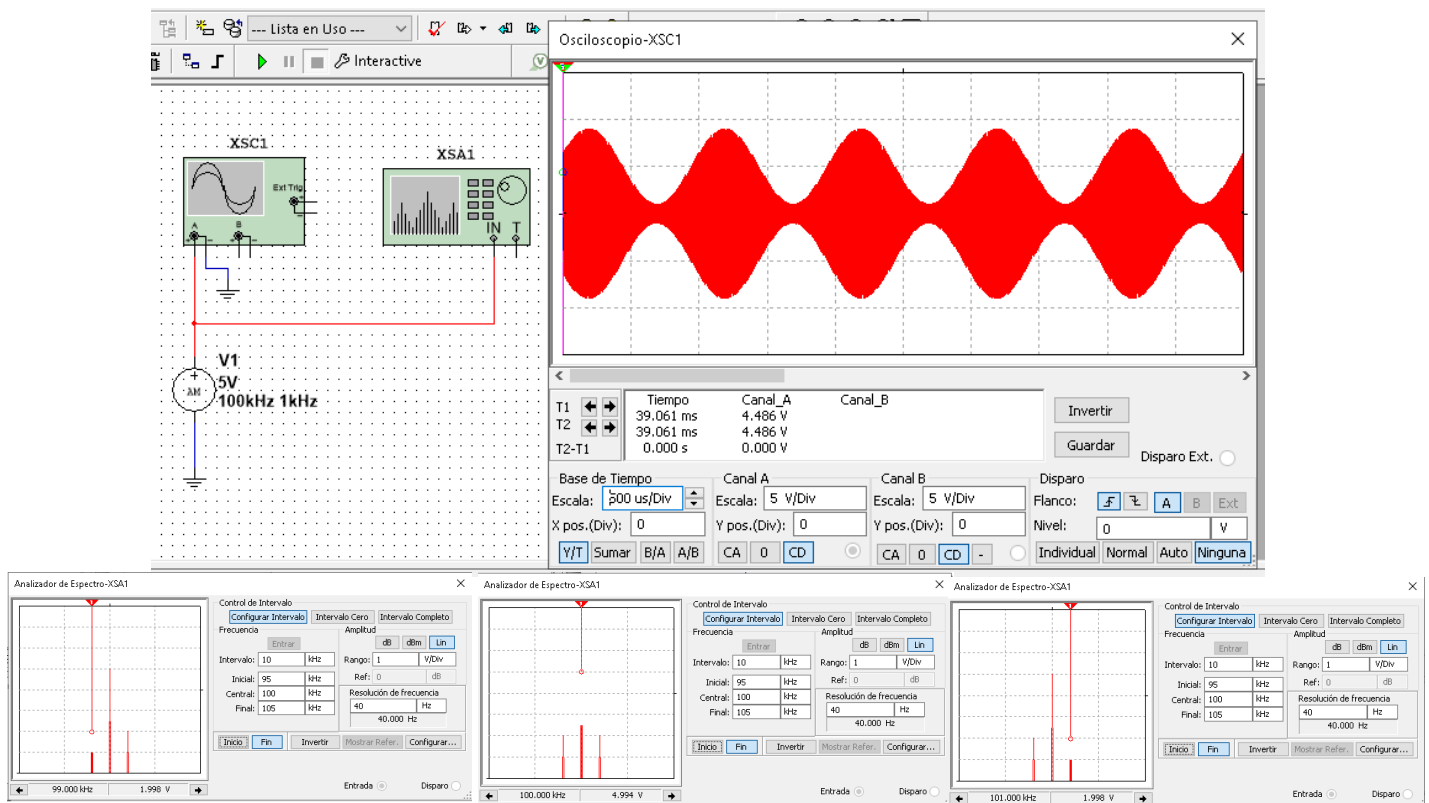


Figura 9. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 100[KHz] y señal moduladora de 1[KHz]



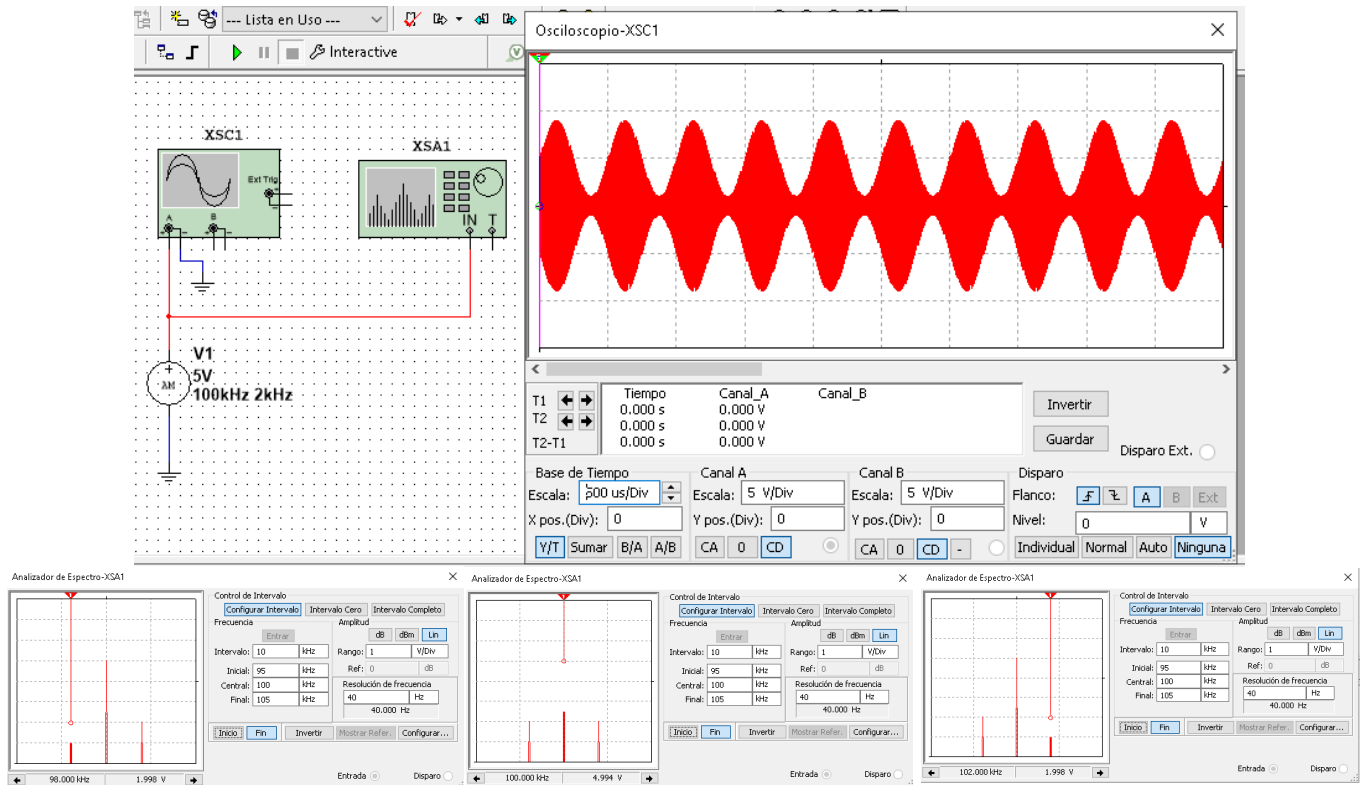


Figura 10. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 100[KHz] y señal moduladora de 2[KHz]

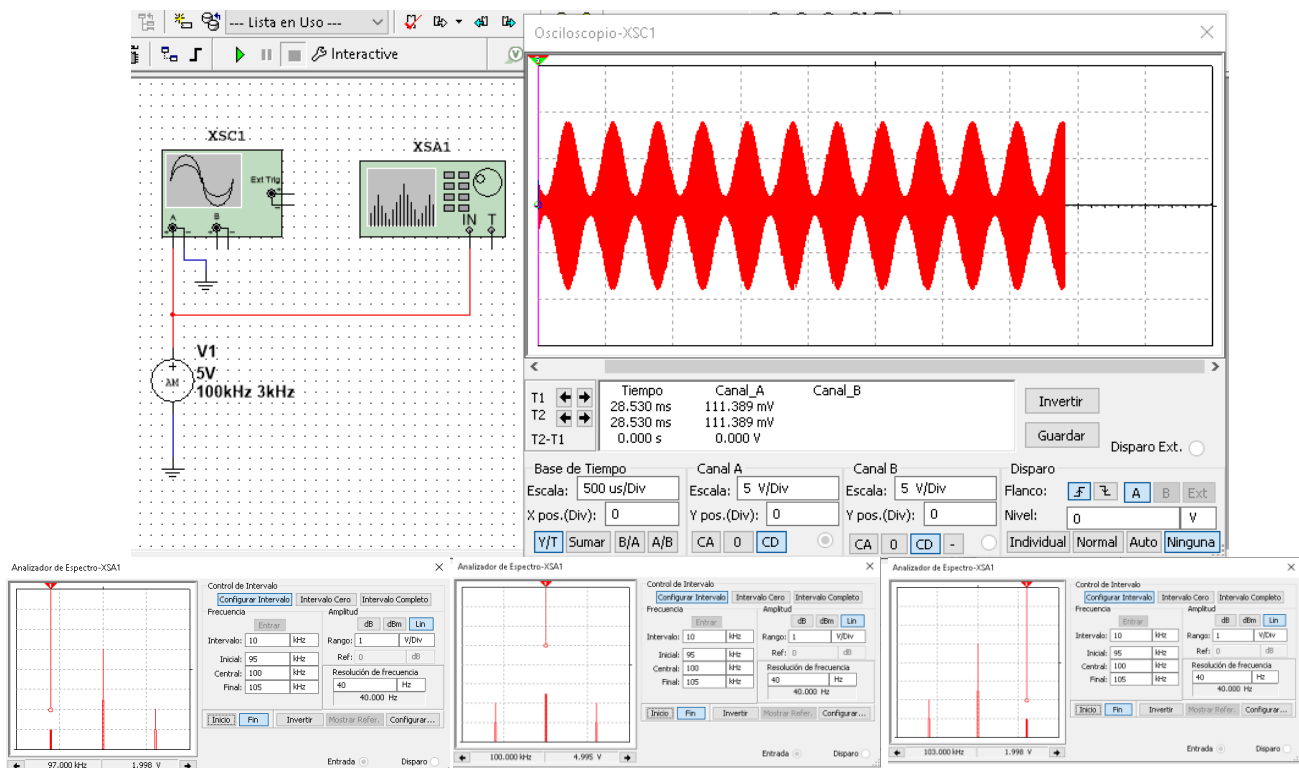


Figura 11. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 100[KHz] y señal moduladora de 3[KHz]



Para este caso podemos ver la relación directa que tiene la frecuencia de la señal moduladora con la distancia que hay entre los impulsos al momento de visualizarlos en el analizador de espectros, ya que al aumentarlo podemos ver como las componentes se alejan proporcionalmente a la frecuencia fundamental o portadora, podemos representar ese comportamiento de la siguiente forma:

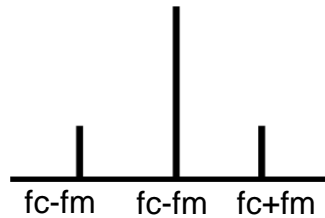


Figura 12. Distribución de los componentes espectrales en base a la frecuencia fundamental o portadora.

7. Modifica las frecuencias de las señales portadora y la moduladora como se muestra en la Figura 4. Realiza las configuraciones necesarias para completar la Tabla 2. Con los resultados obtenidos en la Tabla 1 y en la Tabla 2 describe la relación que existe entre la frecuencia de la portadora y la moduladora.

Frecuencia de la señal portadora	Frecuencia de la señal moduladora	$f_1$	$f_2$	$f_3$
20 kHz	1 kHz	19 kHz	20 kHz	21 kHz
20 kHz	2 kHz	18 kHz	20 kHz	22 kHz
20 kHz	3 kHz	17 kHz	20 kHz	23 kHz
30 kHz	2 kHz	28kHz	30 kHz	32 kHz
30 kHz	2.5 kHz	27.5kHz	30 kHz	32.5 kHz
30 kHz	4 kHz	26kHz	30 kHz	34 kHz

Tabla 2. Componentes espectrales

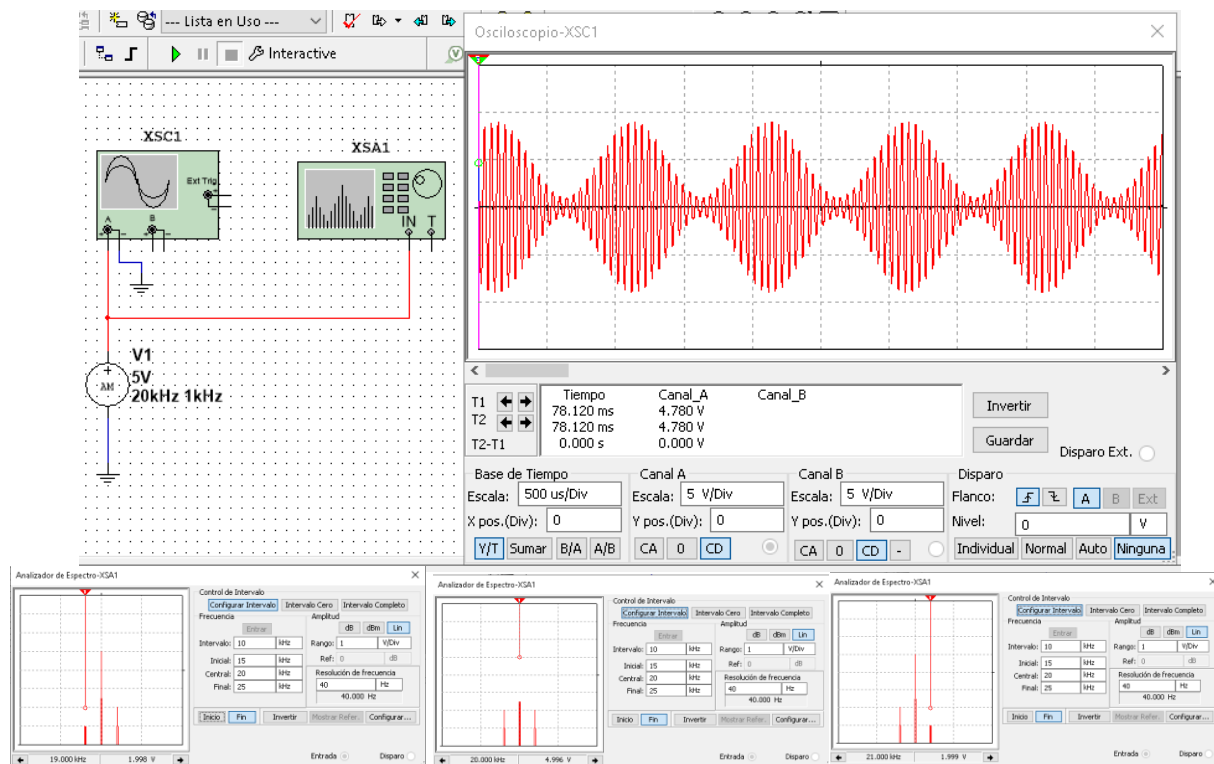


Figura 13. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz] v señal moduladora de 1[KHz]

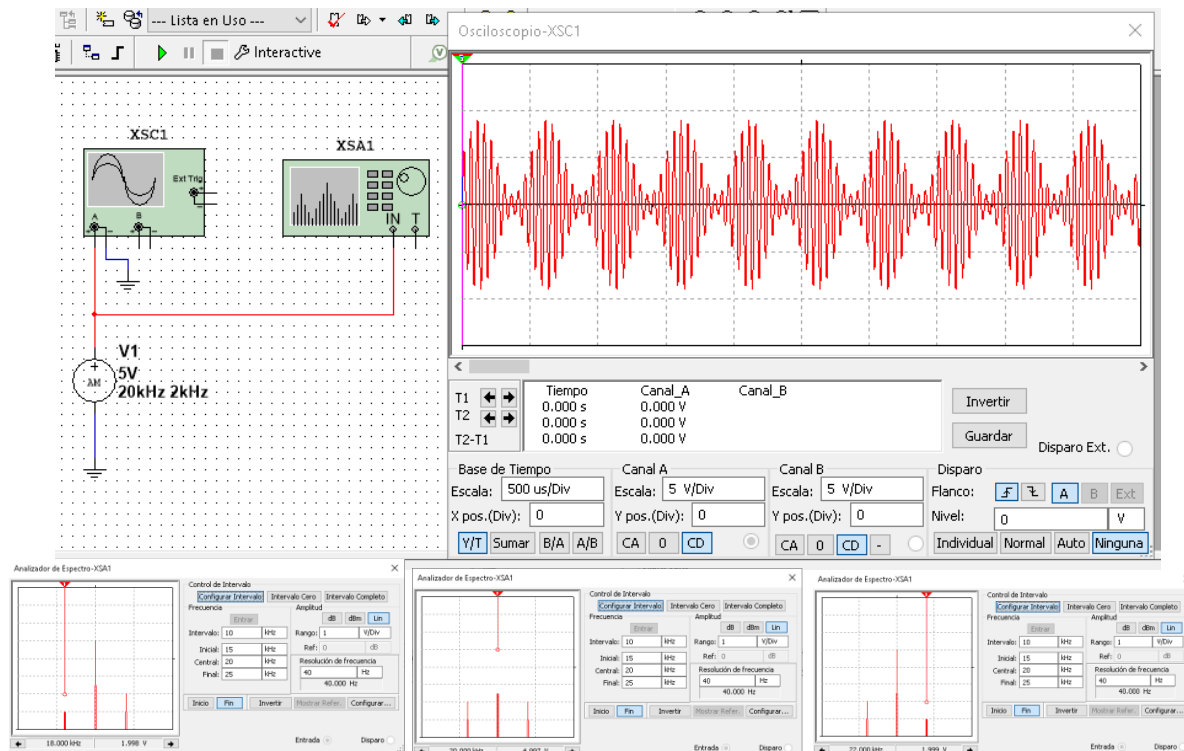


Figura 14. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz] v señal moduladora de 2[KHz]

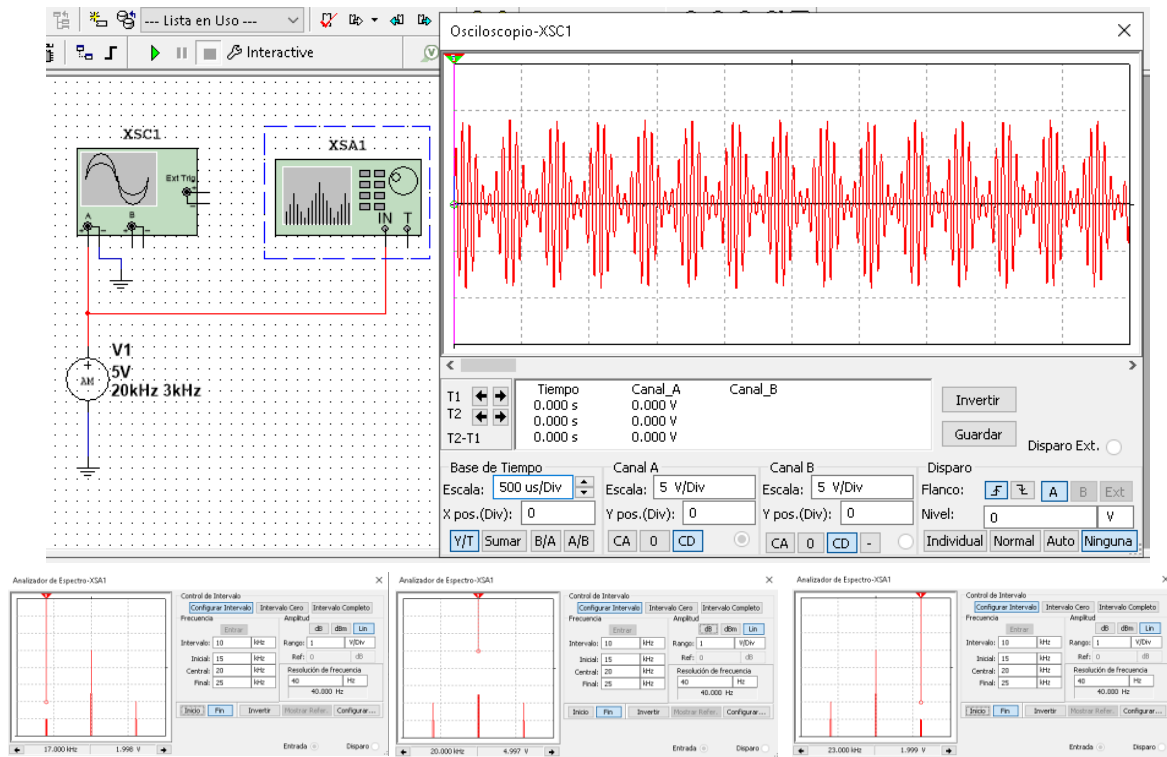


Figura 15. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz] y señal moduladora de 3[KHz]

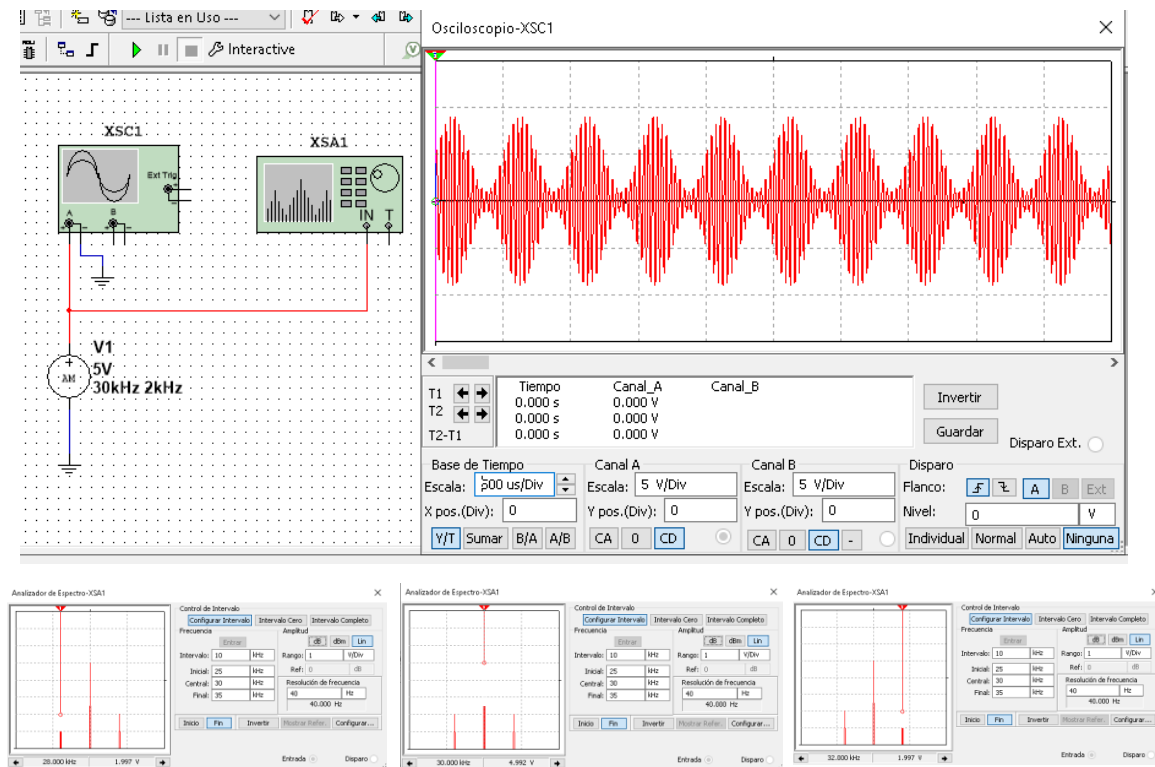


Figura 16. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 30[KHz] y señal moduladora de 2[KHz]

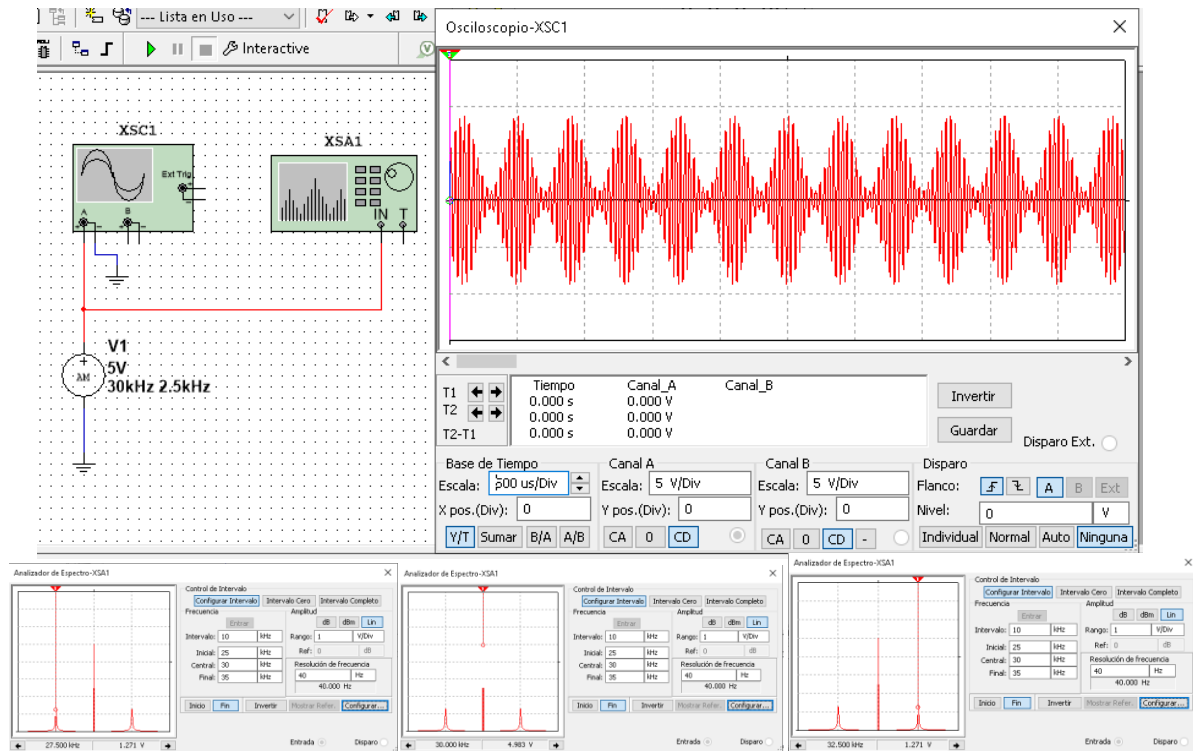


Figura 17. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 30[KHz] y señal moduladora de 2.5[KHz]

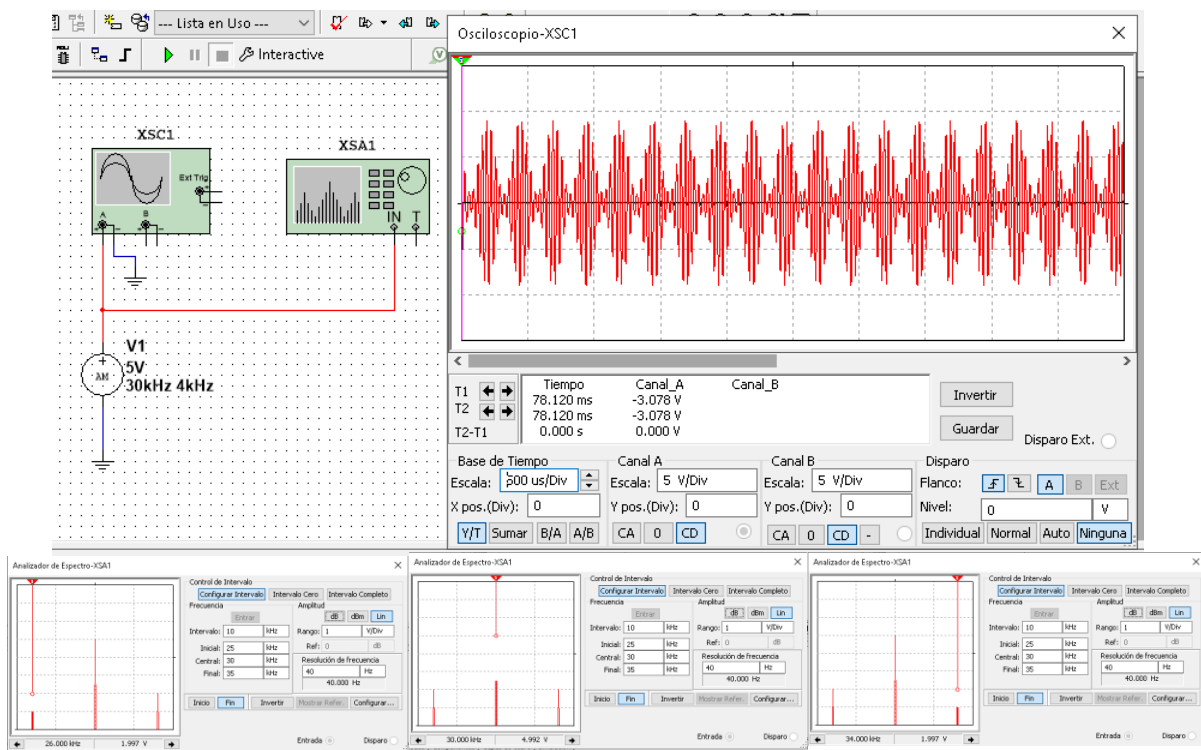


Figura 18. Osciloscopio y analizador de espectros de frecuencia modulada con señal portadora de 30[KHz] y señal moduladora de 4[KHz]

Este caso es bastante similar al punto anterior, ya que se puede ver la relación directa que tiene la frecuencia de la señal moduladora con la distancia que hay entre los impulsos al momento de visualizarlos en el analizador de espectros, ya que al aumentarlo podemos ver como las componentes se alejan proporcionalmente a la frecuencia fundamental o portadora, entonces con esto podemos afirmar que en todos estos casos se respeta el concepto modelado en la Figura 12.

8. Simula el circuito de la Figura 5. Modifica el índice de modulación y completa los datos solicitados en la Tabla 3. Observe los resultados obtenidos y explica la relación que existe entre el porcentaje de modulación y las magnitudes de las componentes espectrales.

	% de Modulación	$V_1$ [Vp]	$V_2$ [Vp]	$V_3$ [Vp]
	0%	0	4.997	0
	25%	0.624	4.997	0.624
	50%	1.249	4.997	1.249
	75%	1.874	4.997	1.874
	100%	2.498	4.997	2.498

Tabla 3. Componentes espectrales

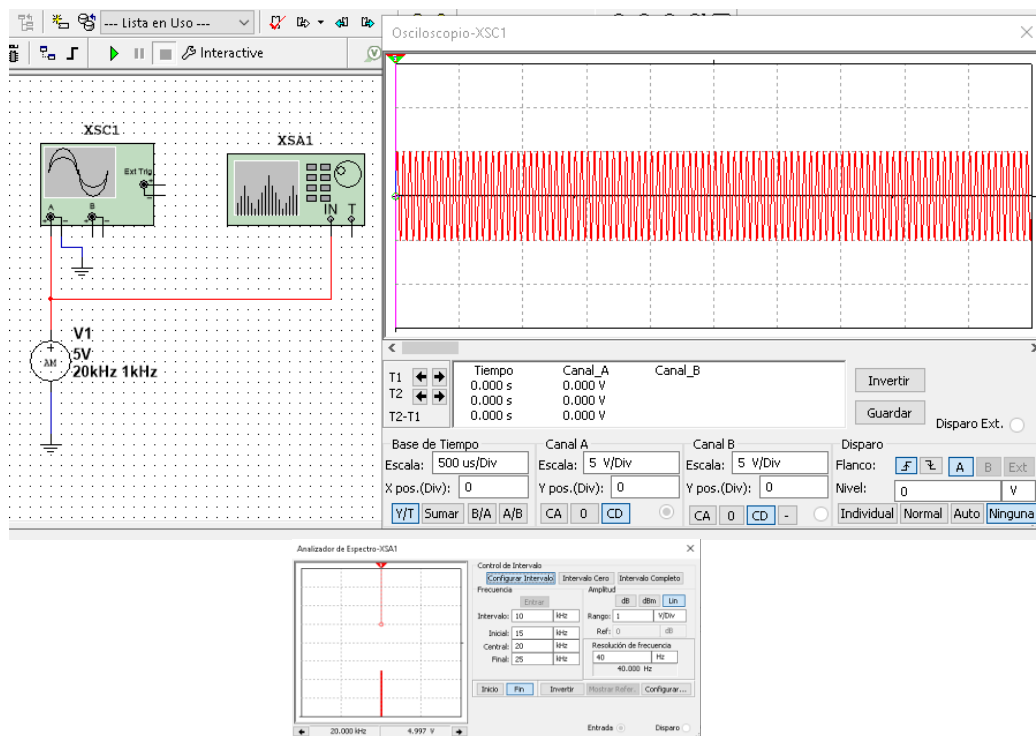


Figura 19. Osciloscopio y analizador de espectros de una frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz], señal moduladora de 1[KHz] y con porcentaje de modulación del %0



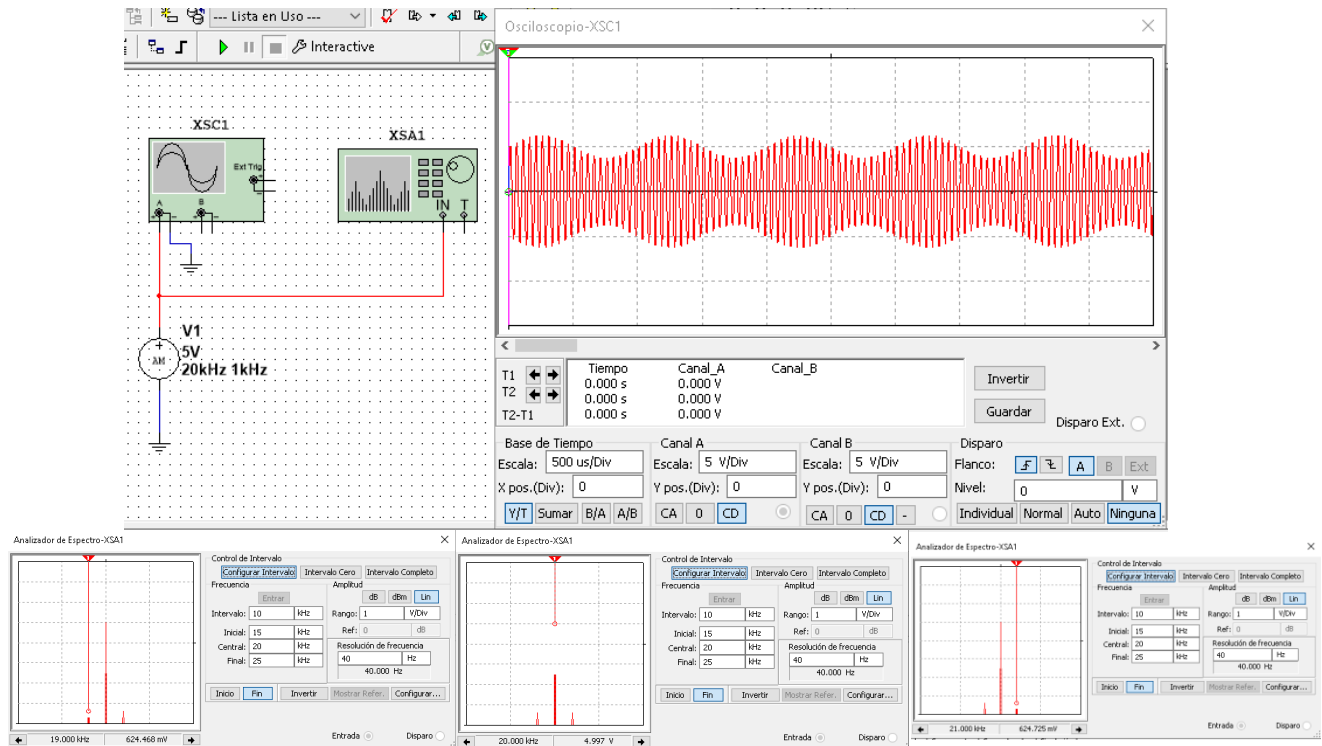


Figura 20. Osciloscopio y analizador de espectros de una frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz], señal moduladora de 1[KHz] y con porcentaje de modulación del %25

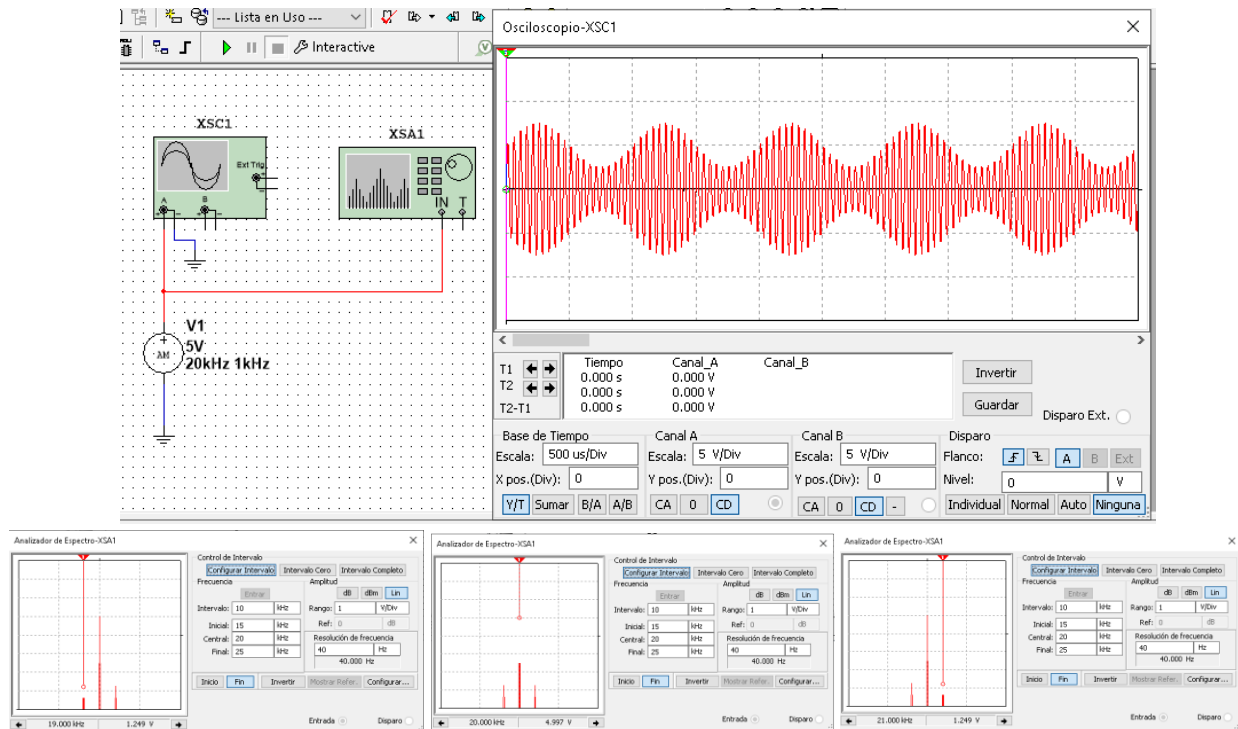


Figura 21. Osciloscopio y analizador de espectros de una frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz], señal moduladora de 1[KHz] y con porcentaje de modulación del %50



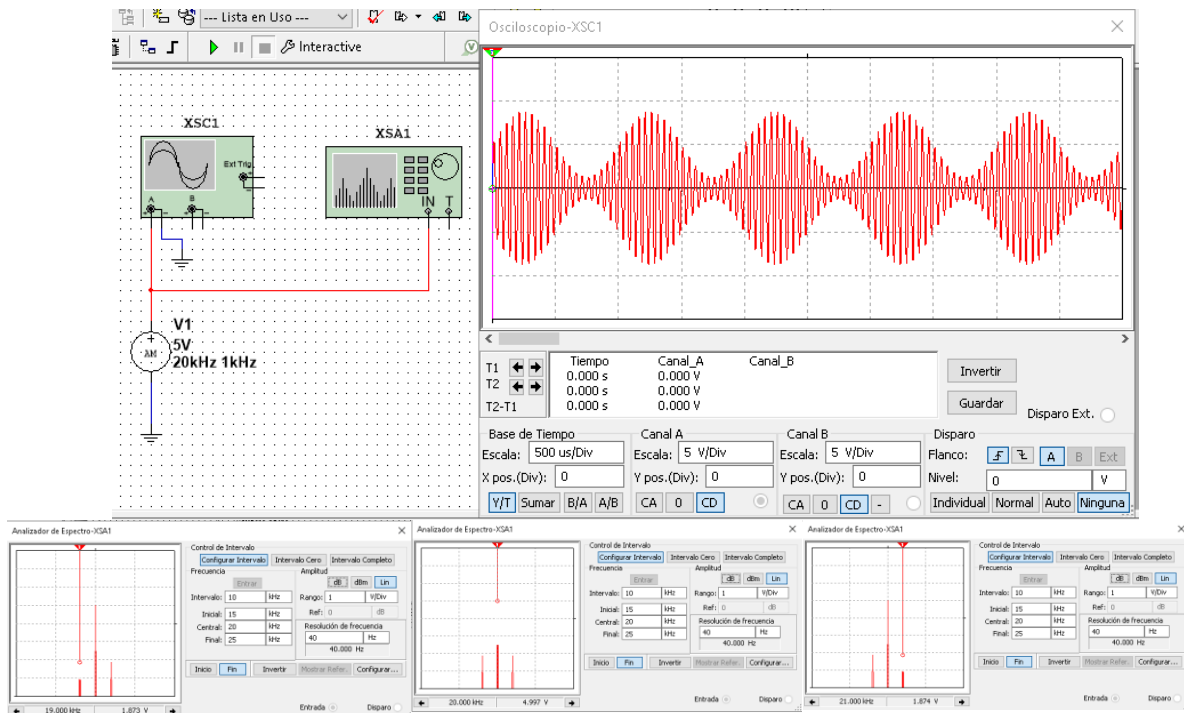


Figura 22. Osciloscopio y analizador de espectros de una frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz], señal moduladora de 1[KHz] y con porcentaje de modulación del %75

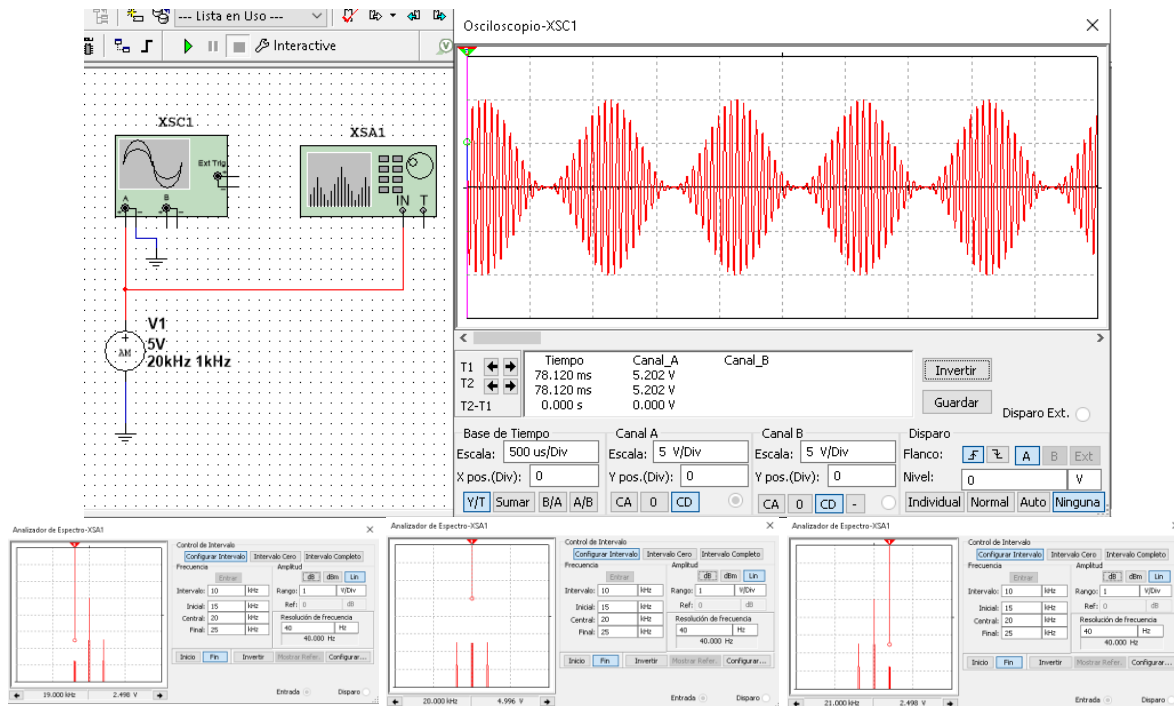


Figura 23. Osciloscopio y analizador de espectros de una frecuencia modulada con señal portadora de 20[KHz], señal moduladora de 1[KHz] y con porcentaje de modulación del %100

Podemos ver una relación directa entre el porcentaje de modulación y las magnitudes de las componentes espectrales, ya que al ir aumentando el porcentaje de magnitud aumenta proporcionalmente las magnitudes de las componentes espectrales en ambos laterales.

9. Simula el circuito y configura el osciloscopio como se muestra en la Figura 6 para que obtengas una figura trapezoidal. Modificando la amplitud del mensaje, varía el porcentaje de modulación y anota los oscilogramas para los porcentajes de modulación solicitados.

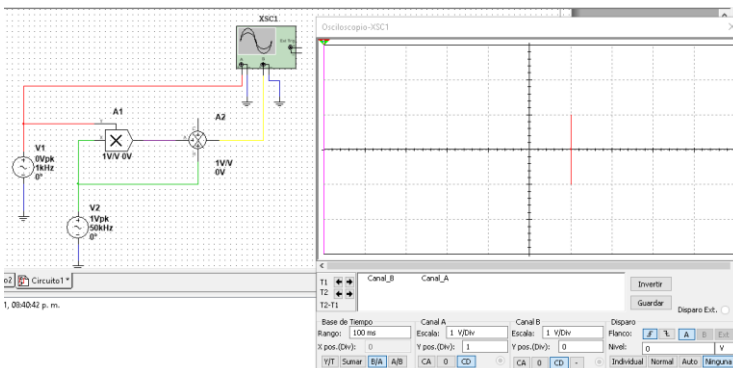


Figura Trapezoidal , %Modulación:0%

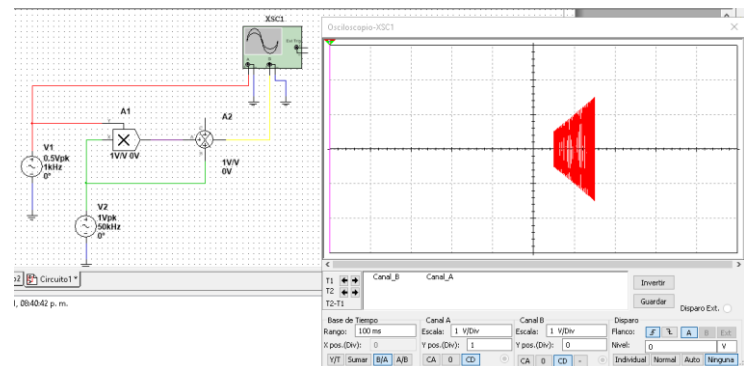


Figura Trapezoidal , %Modulación:50%

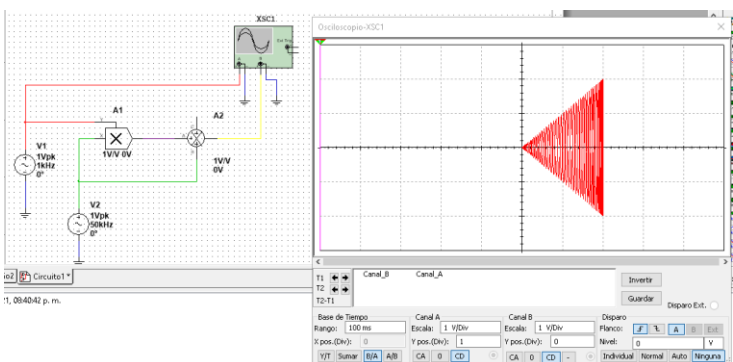
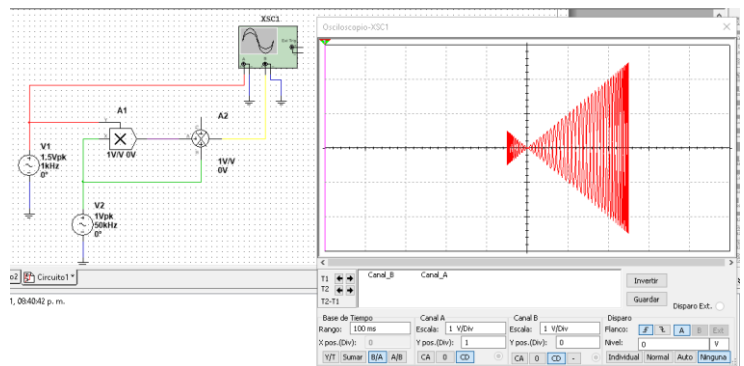


Figura Trapezoidal , %Modulación:100%



Onda sobremodulada , %Modulación:150%

Figura 24. Figuras trapezoidales con diferentes porcentajes de modulación

## Modulación digital

ASK (Amplitud Shift Keying): Es el cambio o intermitencia de amplitud. Se cambia la amplitud de la señal portadora en base a la detección de un 0 o 1.



Figura 25. Modulación digital ASK

OOK (On-Off Keying) También llamado de conmutación, hace que se conmuta la portadora de modo que se prende o se apaga para el ejemplo dado se tiene que cuando hay un cero, se apaga y cuando se tiene un uno se prende.

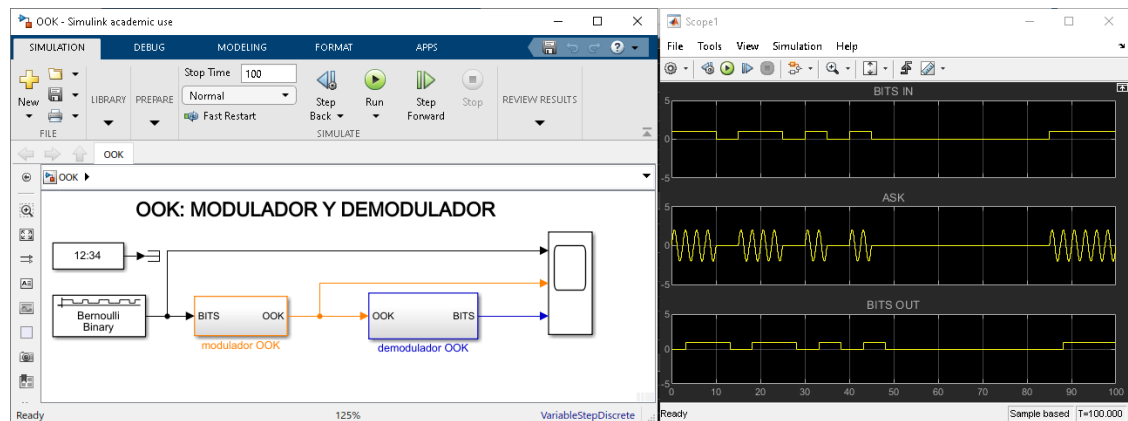
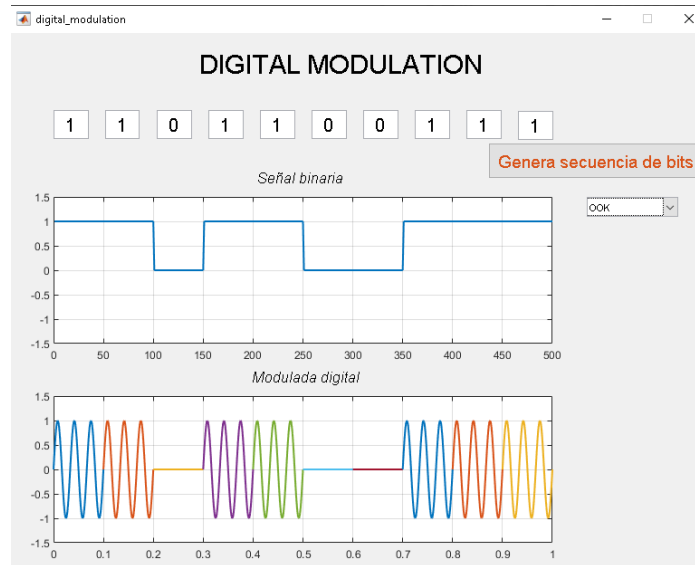


Figura 26. Modulaci3n digital OOK

FSK (Frequency Shift Keying): realiza la conmutaci3n de la frecuencia. Se cambia la frecuencia de la portadora con base a su estado (ya sea 0 o 1), entonces se deben asignar dos diferentes frecuencias en total, una para el cero y otro para el uno.

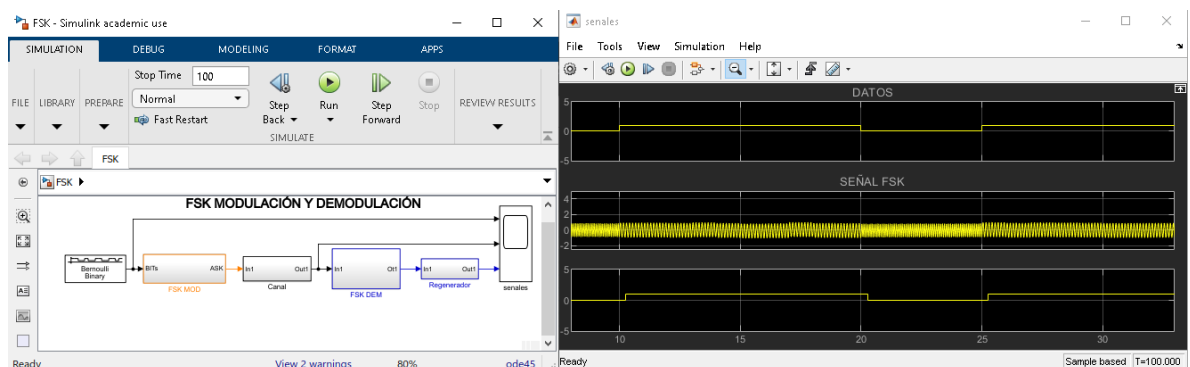


Figura 27. Modulaci3n digital FSK

PSK (Phase Shift Keying): conmutación de la fase. Cando se cambia de estado lógico lo que cambia es la fase de la señal, este cambio depende del tipo de modulación. Para el ejemplo es un número binario y se asignan dos ángulos, 0 y 180°. Modulación más inmune a las transmisiones.

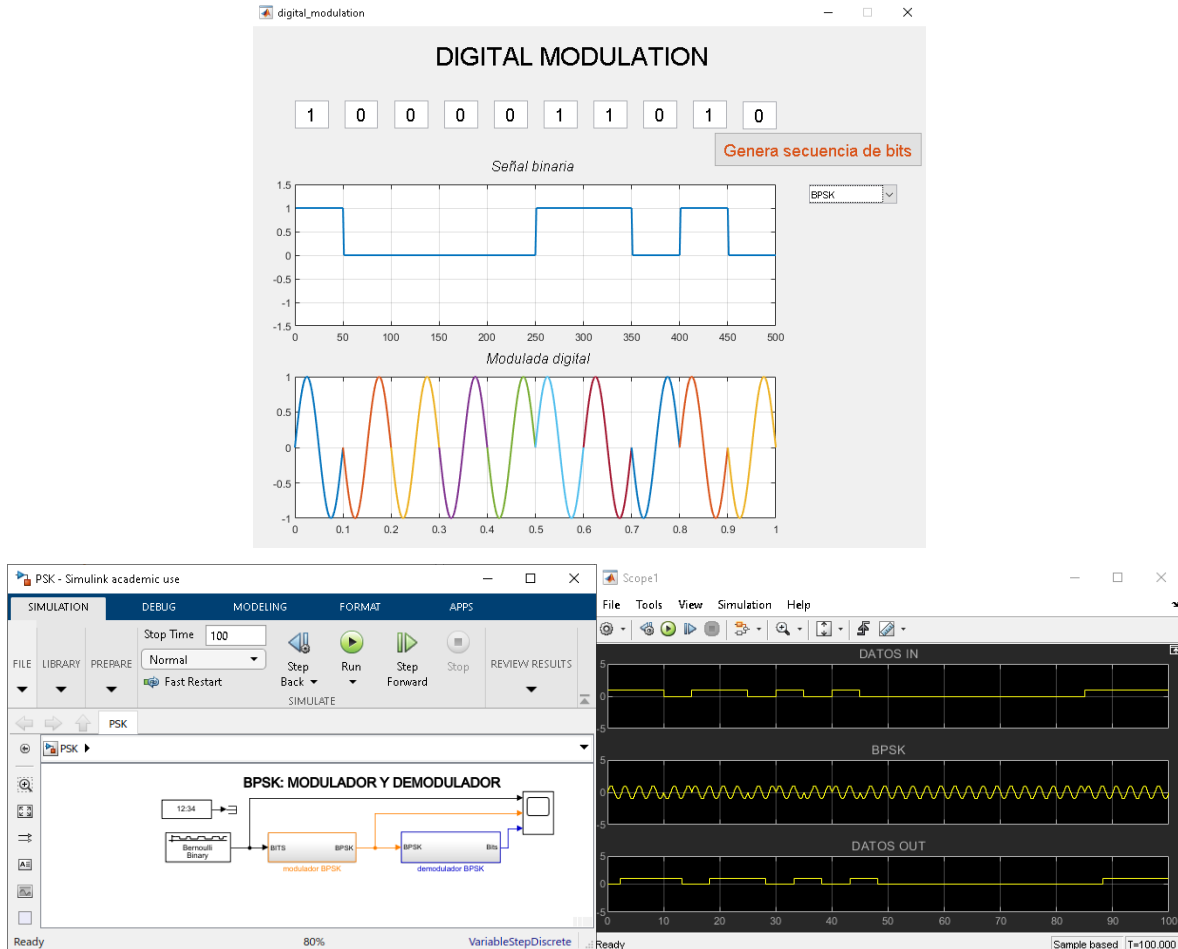


Figura 28. Modulación digital PSK

### 8PSK

Modulación multinivel de fase de 3 bits, es decir, que hace un cambio de fase cada 3 bits.

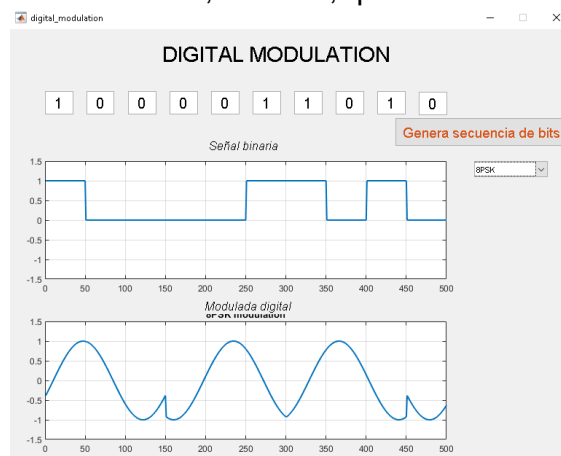


Figura 29. Modulación digital 8PSK



## QPSK

Modulación multinivel de fase de 2 bits, es decir, que hace un cambio de fase cada 2 bits.

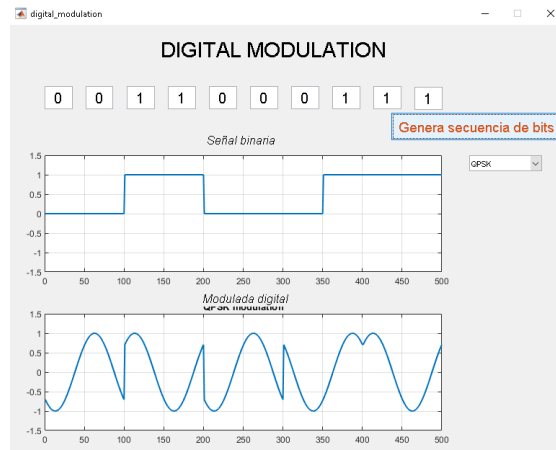


Figura 30. Modulación digital QPSK

## Conclusiones

Se cumplieron con los objetivos y metas de esta práctica, comprendiendo y visualizando varios ejemplos en donde se modula una señal AM, entendí como es el proceso y algunos circuitos con los cuales se puede obtener dicho resultado, así como sus ventajas y desventajas de modular una señal, ya que es verdad que al modularla se logra transmitir la información de manera más práctica, pero si nos pasamos al modular la señal (sobremodulación) lo que provocaremos es una pérdida de información importante, lo que nos puede suponer un grave problema ya que no se está cumpliendo con el objetivo. También el poder entender como es que se comportan las componentes espectrales al modificar los valores de la señal moduladora, estas irán alejándose proporcionalmente a la componente fundamental. De igual forma al modificar el porcentaje de modulación, vemos que la amplitud aumenta mientras vamos aumentando el porcentaje, es básicamente un conjunto de proporcionalidades.

Para el caso de las modulaciones digitales, entendí de manera general como es el comportamiento de las 6 explicadas en clase y su comportamiento gráfico, no me parecieron tan complicadas excepto la de 8PSK y QPSK ya que de manera gráfica son difíciles de analizar, aunque el software o programa proporcionado por el profesor en Matlab me permite experimentar con diferentes secuencias como se da el comportamiento de cada una y además tiene una interfaz bastante fácil de entender. Sin ninguna duda esta práctica complementó mi conocimientos que tenía acerca de la modulación AM y digital.



### **Fuentes de consulta**

- Hernández C. (2020). Conceptos vistos en clase. 07/01/2021, de UNAM. Descripción: Explicación proporcionada por el profesor.
- Hernández C. (2020). Conceptos vistos en clase. 14/01/2021, de UNAM. Descripción: Explicación proporcionada por el profesor.
- Hernández C. (2020). Manual de la práctica 10. 07/01/2021, de Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones UNAM. Descripción: Documento proporcionado por el profesor Christian Hernández Santiago.

### **Figuras/Imágenes**

1-30. Perez V. (2020). Capturas de pantalla [Figura]. Imágenes elaboradas por el alumno Pérez Martínez Víctor Hugo