



Laboratorio 4: Modulación Analógica

Nombre: Juan Arredondo
Alberto Rodríguez
Curso: Redes de Computadores
Sección 0-L-1
Profesor: Carlos González
Ayudante: Nicole Reyes

21 de Junio de 2019

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco teórico	2
2.1. Modulación analógica	2
2.2. Modulación de amplitud (AM)	2
2.3. Frecuencia modulada (FM)	4
2.4. Índice de Modulación (k)	5
3. Desarrollo de la experiencia	6
3.1. Herramientas Utilizadas	6
3.2. Importación y gráfica del audio	6
3.3. Interpolación	7
3.4. Modulación de señales	7
3.4.1. Modulación AM	7
3.4.2. Modulación FM	10
3.5. Espectro de frecuencia de señales	13
4. Análisis de los resultados	16
4.1. Modulación de señales	16
4.2. Comparación de filtros	17
5. Conclusiones	18
6. Referencias	19

Índice de figuras

1.	Modulación AM.	3
2.	Modulación FM.	4
3.	Amplitud de la onda según determinado índice de modulación	5
4.	Gráfico del audio de "handel" en función del tiempo.	7
5.	Modulación a M con $k = 15\%$	8
6.	Modulación a M con $k = 100\%$	9
7.	Modulación a M con $k = 120\%$	10
8.	Modulación a M con $k = 15\%$	11
9.	Modulación a M con $k = 100\%$	12
10.	Modulación a M con $k = 120\%$	13
11.	Modulación a M con $k = 15\%$	14
12.	Modulación a M con $k = 100\%$	14
13.	Modulación a M con $k = 120\%$	15

1. Introducción

Con la llegada de la revolución industrial, comenzó una creación exponencial de herramientas tecnológicas que modificarían la actividad humana en el siglo xx, uno de esos artefactos electrónicos fue la radio. La radio para transmitir sus señales utiliza ondas electromagnéticas, las cuales oscilan dentro de una frecuencia determinada para ser escuchada de forma correcta por los humanos. Sin embargo, en un comienzo ésta sufría complicaciones en sus transmisiones ya que no tenían la suficiente potencia ni se adaptaban al medio de transmisión, para solucionar ese problema es que en el año 1907 nace la modulación de ondas de radio, permitiendo crear ondas de alta potencia en la transmisión.

La modulación en telecomunicaciones, es aquella técnicas que se aplica en el transporte de datos sobre ondas portadoras. Gracias a estas técnicas, es posible aprovechar el canal comunicativo de la mejor manera para transmitir un mayor caudal de datos de manera simultánea.

De esa manera, utilizando la teoría vista en clases, el laboratorio número cuatro nos propone el desafío de aplicar la modulación de señales (AM / FM) al clásico audio en que se ha trabajado en el curso (handel.wav) y ver el comportamiento que adquieren las señales al aplicar ésta técnica. Para aquello utilizaremos las herramientas clásicas del laboratorio, como lo son el lenguaje de programación Python y sus librerías Numpy, Matplotlib y Scipy, que nos permitirán la facilidad de importar una señal de audio y experimentar con ella.

Finalmente, analizaremos los resultados obtenidos por las gráficas de las moduladas y sacaremos conclusiones de ello comparándolo con la teoría.

2. Marco teórico

2.1. Modulación analógica

La modulación son una serie de técnicas la cual se usan para transportar información sobre una onda portadora. Consiste en una alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal modulada) y puede ser también una codificación.

La modulación analógica con portadora analógica se utiliza cuando se desea transmitir la señal analógica a una frecuencia diferente o con un ancho de banda menor, esta se puede realizar utilizando cambios de amplitud, frecuencia o fase de la señal portadora.

La ventaja de usar la modulación es :

- Facilita la propagación de la señal de la información por cable o por el aire.
- Ordena el radio espectro, distribuyendo canales a cada información distinta
- Disminuye dimensiones de las antenas y optimiza el ancho de banda del canal
- Evita la interferencias entre canales.

Existen tipos de Modulación analógica, la amplitud modulada (AM), frecuencia modulada (FM) y modulación de fase. Para este laboratorio se analizarán los tipos AM y FM.

2.2. Modulación de amplitud (AM)

Es el proceso de de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo de la señal del mensaje. Con este modulación, la información imprime sobre la portadora en la forma de cambios de la amplitud.

Este tipo de modulación es relativamente barata y de baja calidad, se utiliza en la radiodifusión (Emisión radiotelefónica que está destinada al público) de señales de audio y de video. Un modulador AM es un aparato no lineal con dos señales de entrada de la información: una señal portadora de amplitud constante y de frecuencia sencilla y la señal del mensaje. El mensaje actúa sobre o modula la portadora y puede ser una forma de onda de frecuencia simple o compleja compuesta de muchas frecuencias que fueron originadas de una o más fuentes.

El receptor AM es el proceso inverso de la transmisión AM, es decir, la demodulación de la señal, consiste en convertir la onda de amplitud modulada nuevamente a la fuente original de información (mensaje). El receptor cuando va a demodular debe ser capaz de cambiar el rango (banda) de frecuencia que es capaz de recibir. Una vez que una señal se recibe, se amplifica y se limitan las bandas, deberá convertirse en la señal original de información.

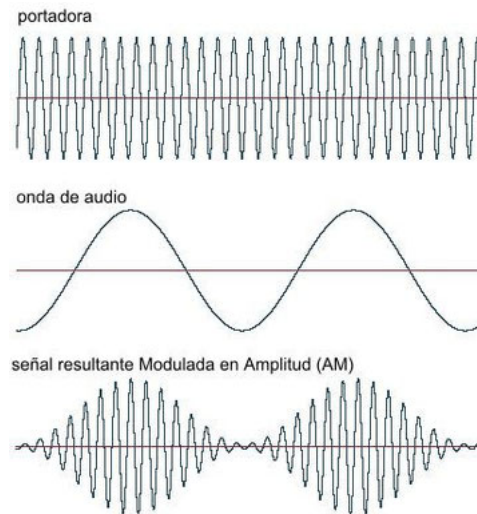


Figura 1: Modulación AM.

El receptor AM es el proceso inverso de la transmisión AM, es decir, la demodulación de la señal, consiste en convertir la onda de amplitud modulada nuevamente a la fuente original de información (mensaje). El receptor cuando va a demodular debe ser capaz de cambiar el rango (banda) de frecuencia que es capaz de recibir. Una vez que una señal se recibe, se amplifica y se limitan las bandas, deberá convertirse en la señal original de información.

Existen desventajas de esta técnica, las cuales limitan su utilidad y obligan a buscar otras técnicas de modulación, una de las principales es que esta señal se afecta fácilmente frente a fenómenos atmosféricos, también señales electrónicas con frecuencias parecidas. Todos estos ruidos tienden a modular la amplitud de la portadora, del mismo modo que lo hace su propia señal moduladora. Por lo tanto se convierten en parte de la señal modulada y subsisten en ella durante todo el proceso de demodulación. Después de la demodulación se manifiestan como ruido o distorsión, que si es bastante fuerte, puede sobreponerse a toda la información y hacer completamente inaprovechable la señal demodulada.

2.3. Frecuencia modulada (FM)

Consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo a la intensidad de la onda de información. En este caso la señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a cómo varía la amplitud de la señal moduladora. Datos digitales pueden ser enviados por el desplazamiento de la onda de frecuencia. Al contrario que en el caso de modulación de amplitud modulada, que se concentra en la frecuencia portadora y dos bandas laterales, el ancho de banda de una señal de FM se extiende indefinidamente.

Es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y el habla. También se utiliza en las frecuencias intermedias de la mayoría de los sistemas de video analógico, incluyendo VHS.

Esta modulación es considerada una mejora de un sistema de transmisión y recepción en características como la relación señal-ruido, pues permite mayor seguridad en las mismas. Es así como pasar de la modulación AM a la modulación FM, establece una mejor resistencia al efecto del desvanecimiento y a la interferencia, comunes en AM.

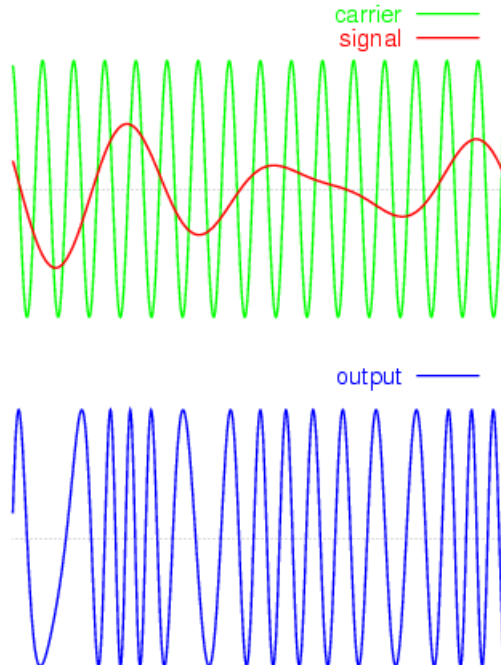


Figura 2: Modulación FM.

2.4. Índice de Modulación (k)

El índice de modulación es una medida de la variación de amplitud que rodea una portadora no modulada. Al igual que con otros índices de modulación, en AM esta cantidad (también llamada "profundidad de modulación") indica la variación introducida por la modulación respecto al nivel de la señal original. En AM, se refiere a las variaciones en la amplitud de la portadora. Para las señales FM es la desviación de la frecuencia.

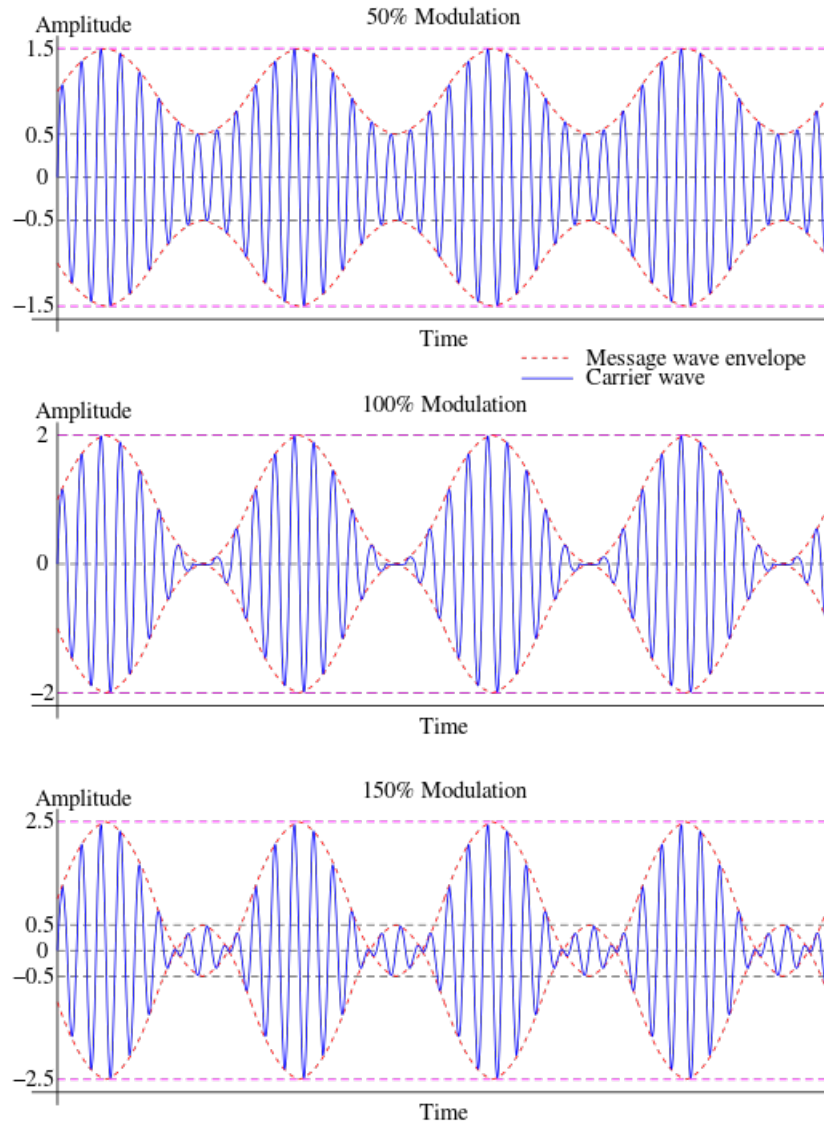


Figura 3: Amplitud de la onda según determinado índice de modulación .

3. Desarrollo de la experiencia

3.1. Herramientas Utilizadas

Primeramente, antes de comenzar la experiencia debemos tener instaladas las herramientas básicas para un correcto funcionamiento del programa, estas herramientas son:

- **Python:** Es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.
- **Numpy:** Es una extensión de Python, que le agrega mayor soporte para vectores y matrices, constituyendo una biblioteca de funciones matemáticas de alto nivel para operar con esos vectores o matrices.
- **Scipy:** Es una biblioteca open source de herramientas y algoritmos matemáticos para Python. Además contiene módulos para optimización, álgebra lineal, integración, interpolación, funciones especiales, FFT, procesamiento de señales y de imagen y otras tareas para la ciencia e ingeniería.
- **Matplotlib:** Es una biblioteca para la generación de gráficos a partir de datos contenidos en listas o arrays.

3.2. Importación y gráfica del audio

Al comenzar con la experiencia lo primero que debemos hacer será importar el audio a trabajar, para aquello utilizamos un archivo con formato .wav con el cual se ha trabajado a lo largo del semestre, de esa forma aplicamos la función `read` de `scipy`. Dicha función devuelve la frecuencia del muestreo y los datos de un archivo .wav, con ello podremos obtener la cantidad de intervalos, espaciado y el periodo del audio. Posteriormente se utilizan las funcionalidades de `Matplotlib` que nos permiten graficar, tal como se ve en la imagen.

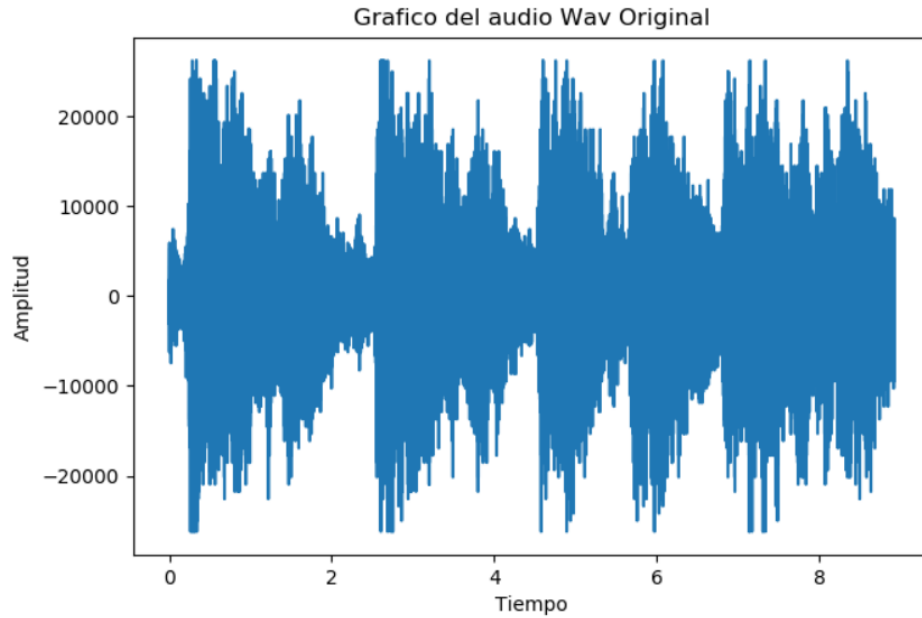


Figura 4: Gráfico del audio de "handel".^{en} función del tiempo.

3.3. Interpolación

En primera lugar, antes de realizar la modulación de la señal, deberemos interpolar dicha señal a un intervalo donde se pueda apreciar una diferencia en el comportamiento de las ondas, esto es debido a que la frecuencia de la onda es tan alta que no se visualiza como oscilan las ondas, generando un gráfico cuadrado. Para aquello utilizamos la función `interp` de la librería Numpy, el cual representa un símil de una interpolación de onda, donde recibe por parámetro el nuevo intervalo de datos que se quiere tener, el anterior y el audio importado, con eso la onda muestra las diferencias en su comportamiento.

3.4. Modulación de señales

En base a los datos obtenidos al importar el archivo de audio y a la interpolación previamente realizada, se pueden obtener valores que nos permiten experimentar y comprobar los efectos físicos de la modulación.

3.4.1. Modulación AM

Para calcular la modulación AM nos basamos en su ecuación matemática:

$$AM : y(t) = k.m(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

que nos entrega la señal modulada, para obtener esos datos es sencillo, el “k” que es el índice de modulación lo establecemos en tres valores: 15 %, 100 % y 125 %, para visualizar el comportamiento de las ondas bajo diferentes modulaciones. Por otra parte $m(t)$ es la señal de audio que importamos, el coseno se obtiene a través de la librería Math, “t” es el intervalo de tiempo que graficamos y f_c sería la frecuencia del carrier, la cual debe ser mucho más alta que la frecuencia de la señal moduladora, donde por teorema del muestreo sabemos que debe ser $f_c \geq 2*f_s$.

Por lo tanto al realizar esa multiplicación de los elementos se obtienen las siguientes señales moduladas:

Con k igual a 15 %

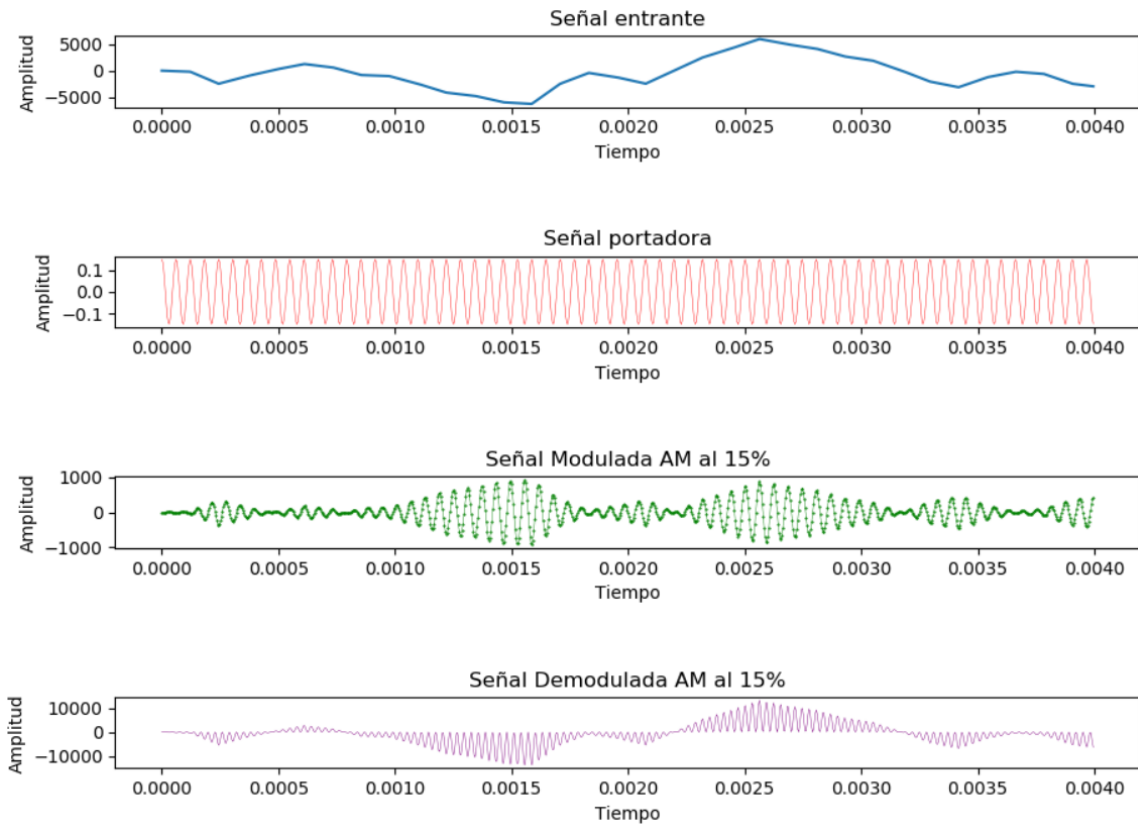


Figura 5: Modulación a M con $k = 15\%$.

Con k igual a 100 %:

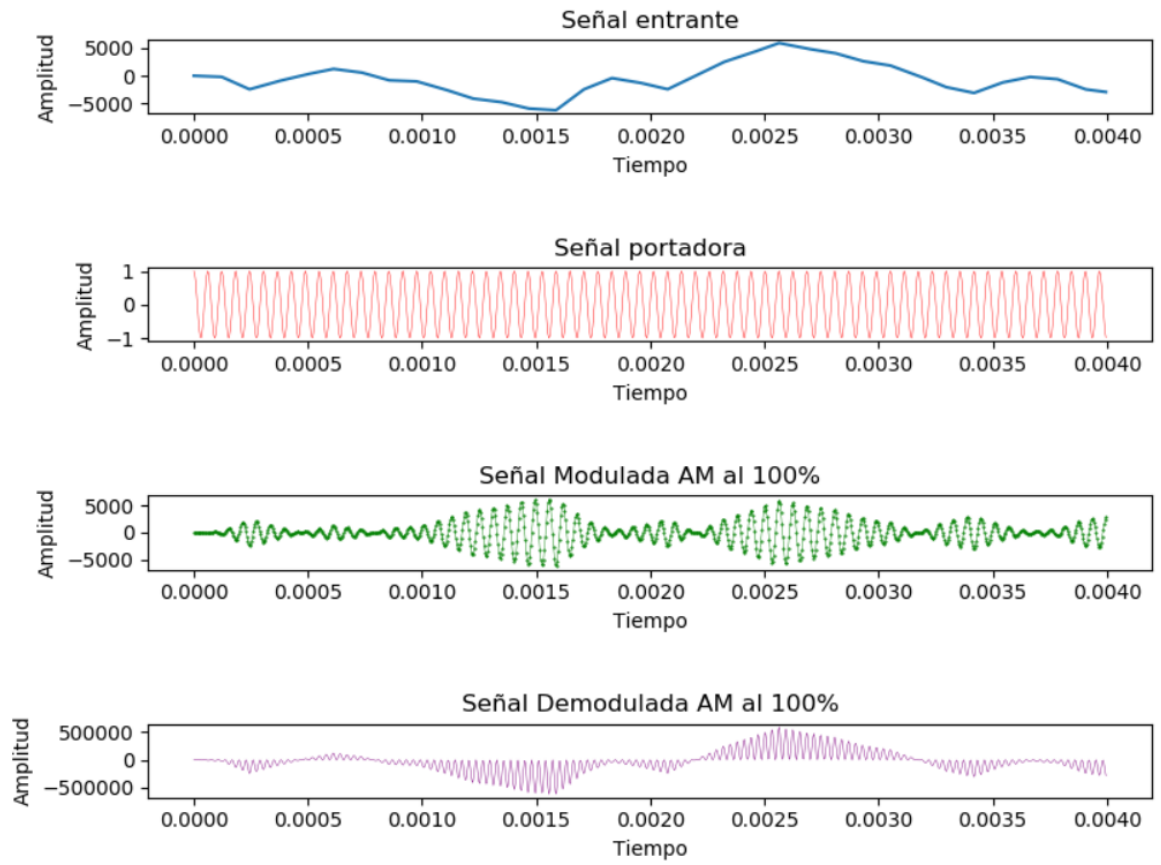


Figura 6: Modulación a M con $k = 100\%$.

Con k igual a 125 %:

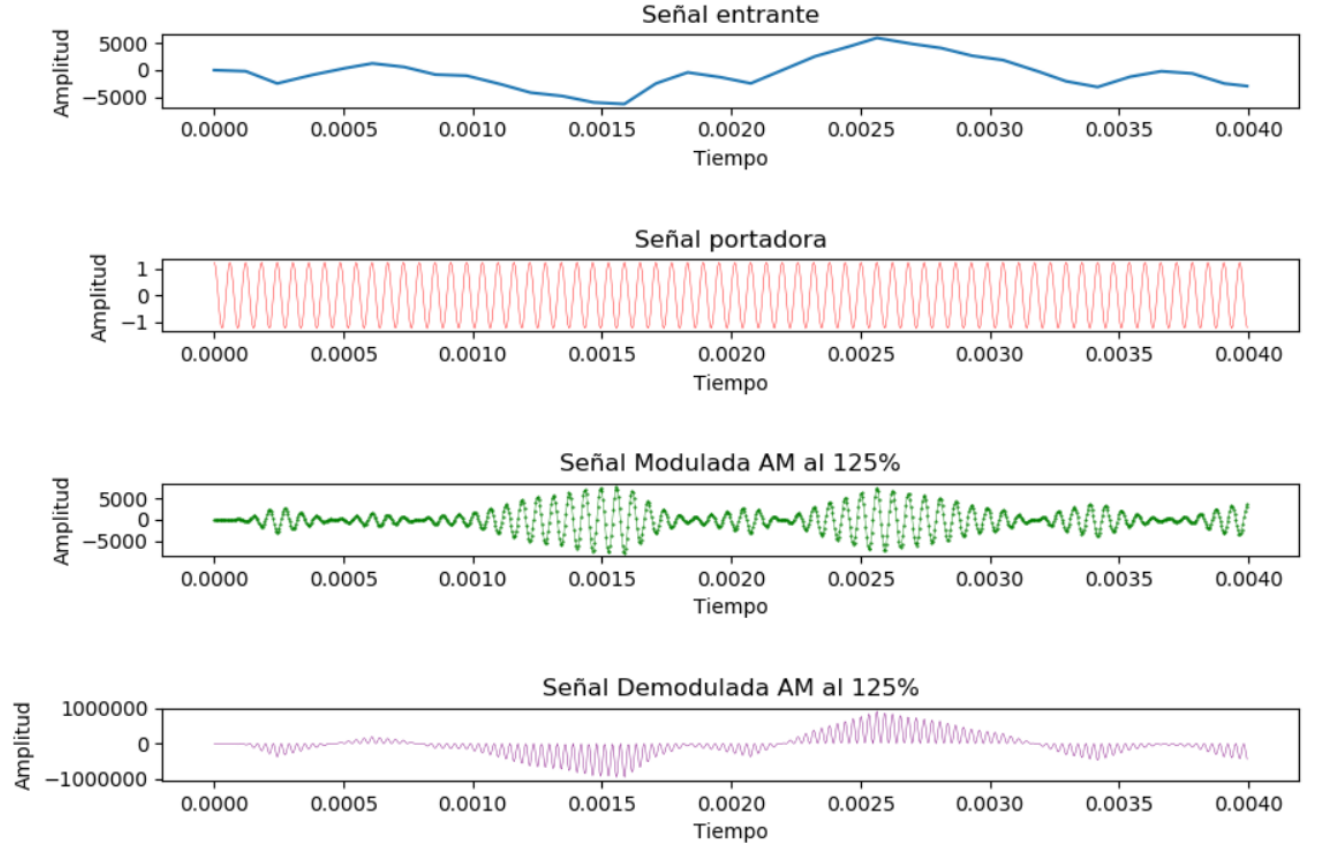


Figura 7: Modulación a M con $k = 120\%$.

3.4.2. Modulación FM

La modulación en frecuencia tiene otro comportamiento respecto a la amplitud modulada, de esa forma mantiene una amplitud constante y hace variar su frecuencia cada vez que encuentra perturbaciones en la señal original, la ecuación que representa a la modulación FM es:

$$FM : y(t) = \cos(2\pi f_c t + k \cdot \int_0^t m(\tau) d\tau) \quad (2)$$

Donde la principal diferencia que se encuentra respecto a la ecuación de AM es que el coseno no multiplica por el índice de modulación y la señal de audio, sino que los contiene, donde

“k” se multiplica por una integral de la señal entrante que va desde cero hasta el intervalo graficado. Para la realización de la integral se utilizó “integrate.cumtrapz”, función que es un símil a una integral, donde recibe por parámetro la señal de entrada y los intervalos de tiempo que se utilizarán para integrar.

Obteniendo estos datos, procedemos a realizar la modulación en frecuencia, que nos da por resultado las siguientes gráficas (Nótese que el intervalo donde se grafica se disminuyó para visualizar con mayor claridad el comportamiento de la señal modulada):

Con k igual a 15 %

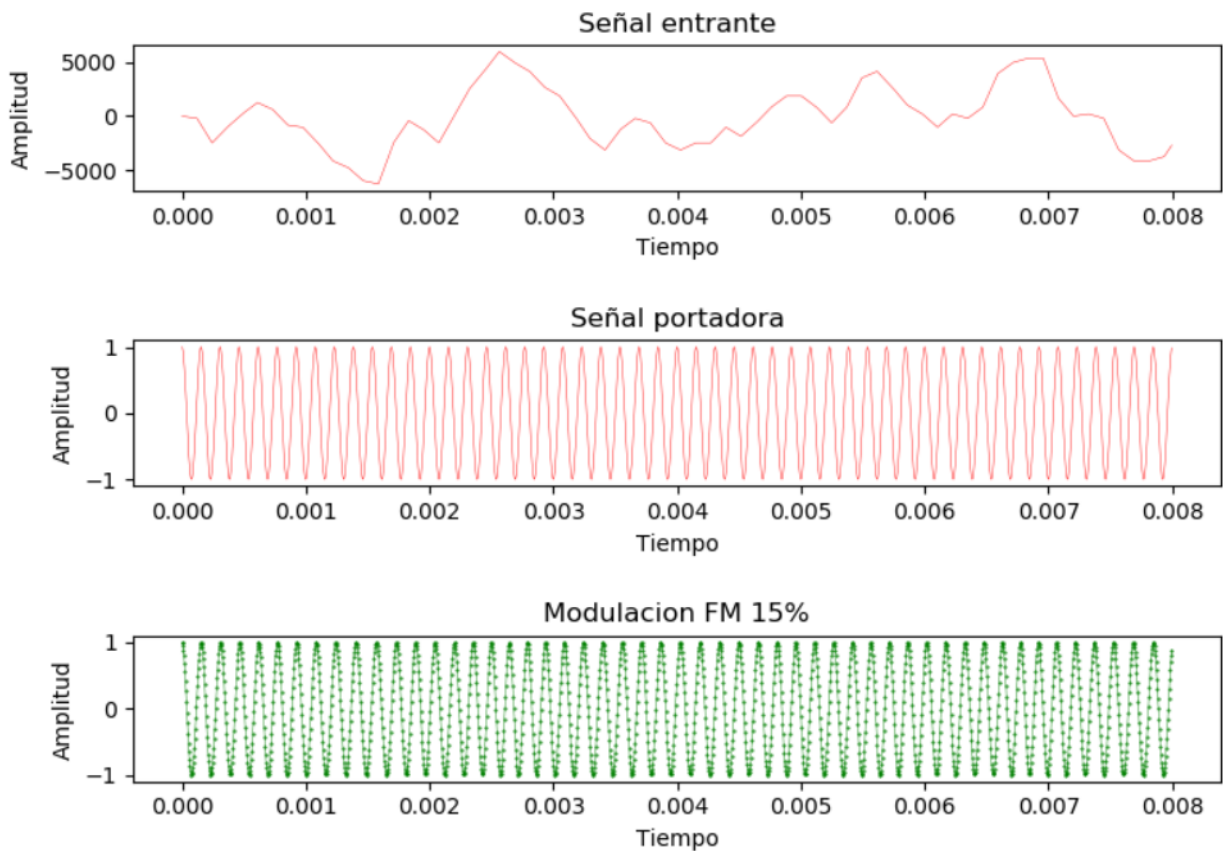


Figura 8: Modulación a M con $k = 15\%$.

Con k igual a 100 %:

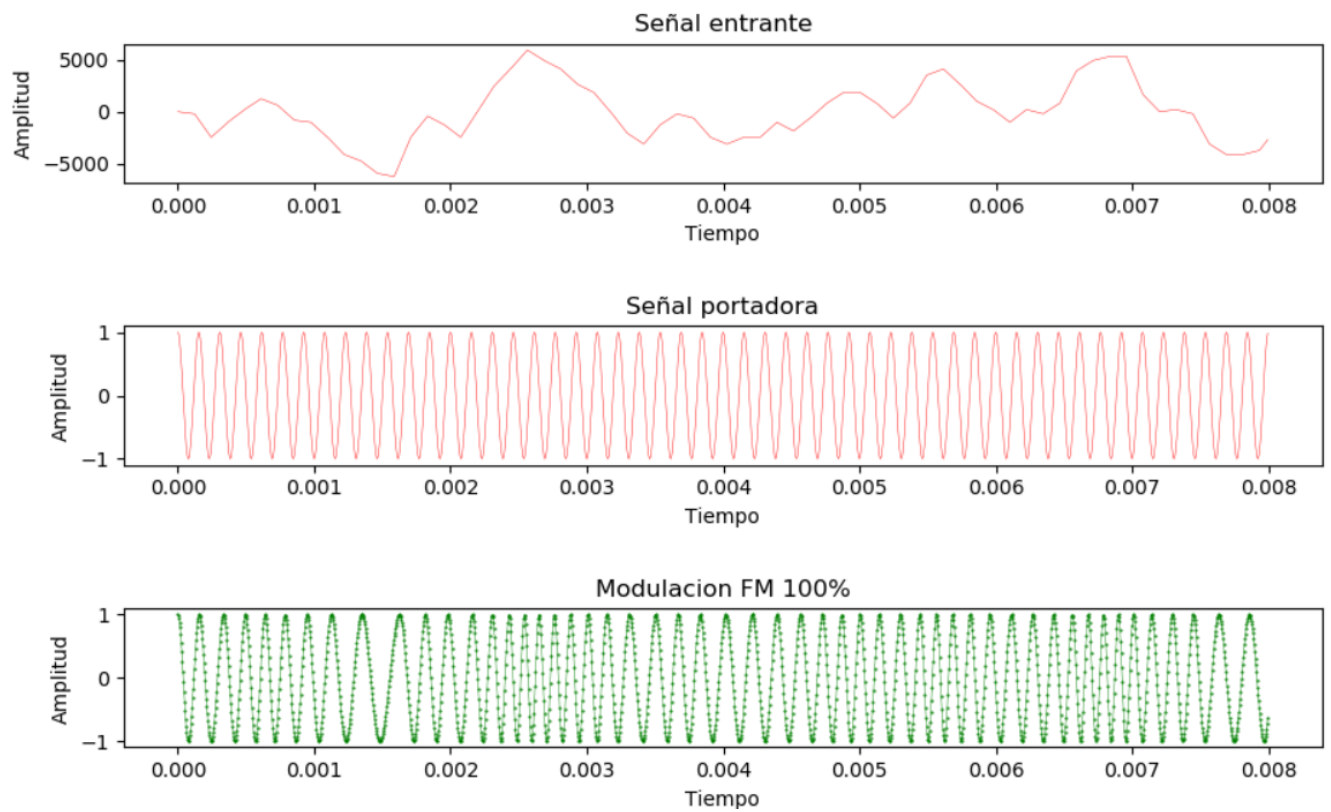


Figura 9: Modulaci3n a M con $k = 100\%$.

Con k igual a 125 %:

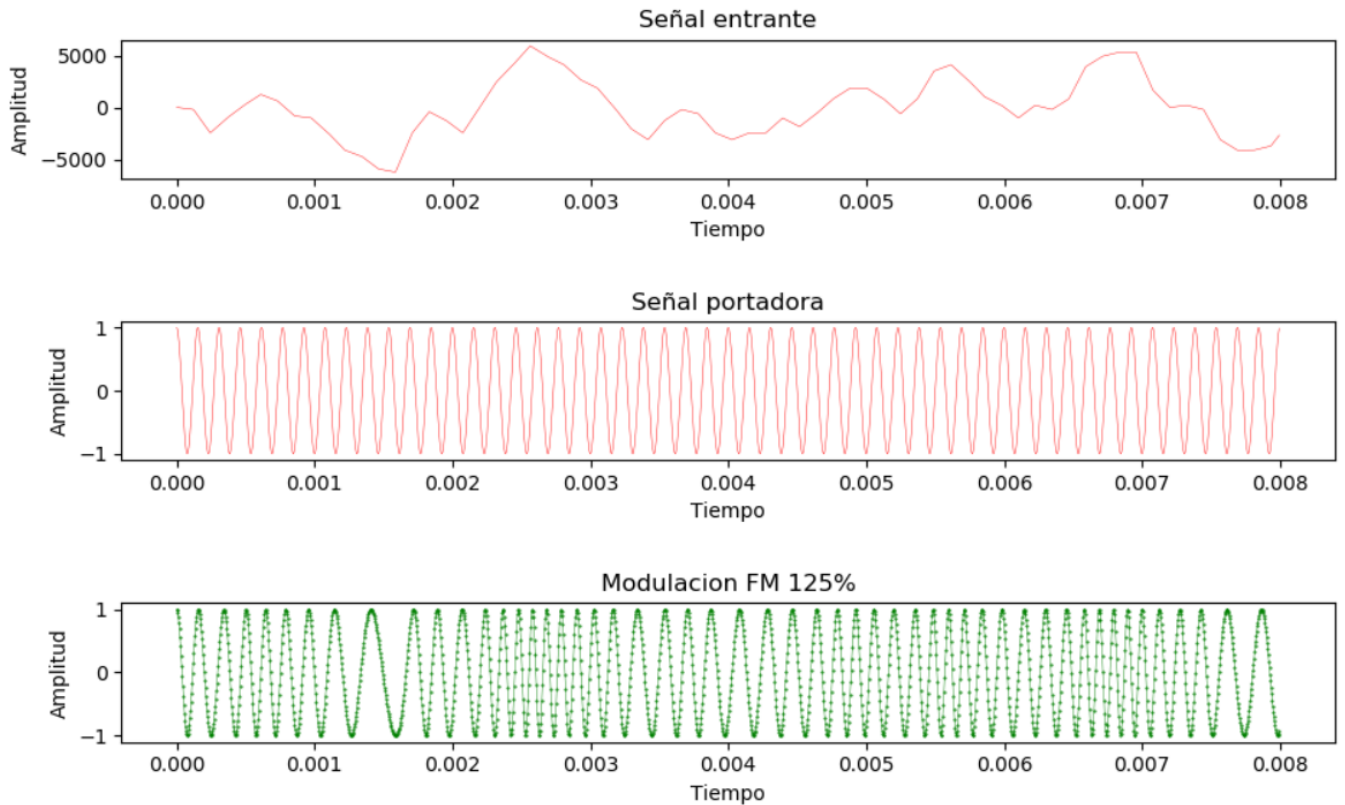


Figura 10: Modulación a M con $k = 120\%$.

3.5. Espectro de frecuencia de señales

Para entender de mejor manera el fenómeno de las señales moduladas, se grafica el espectro de frecuencia de la señal original y sus respectivas modulaciones AM y FM. Donde se aplica con distintas desviaciones de frecuencia y los distintos comportamientos que presentan cada una.

Para la realización de este espectro de frecuencias, se tomó como referencia lo realizado en laboratorios anteriores donde se hizo uso de funcionalidades que representaban el funcionamiento de la transformada de fourier, dichas funciones son “fft” y “fftfreq” de la librería scipy.

Al realizar el gráfico de estas transformaciones en frecuencia se obtienen los siguientes resultados:

Con k igual a 15 %

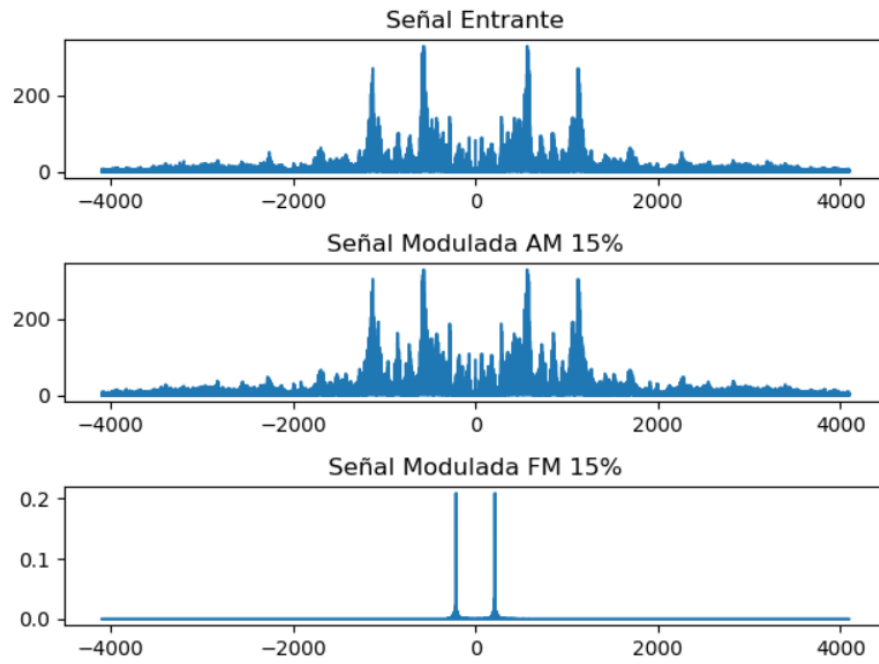


Figura 11: Modulación a M con $k = 15\%$.

Con k igual a 100 %:

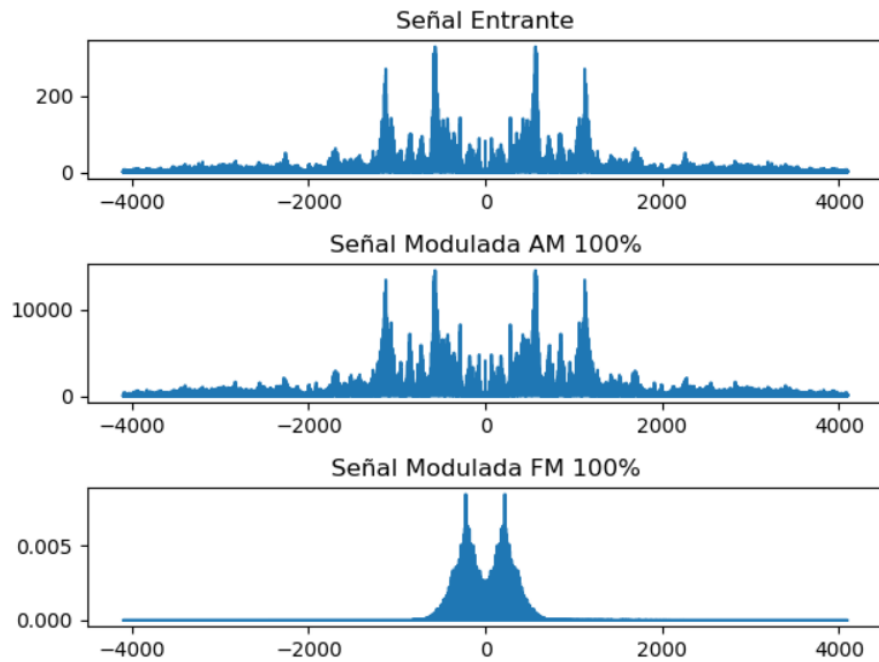


Figura 12: Modulación a M con $k = 100\%$.

Con k igual a 125 %:

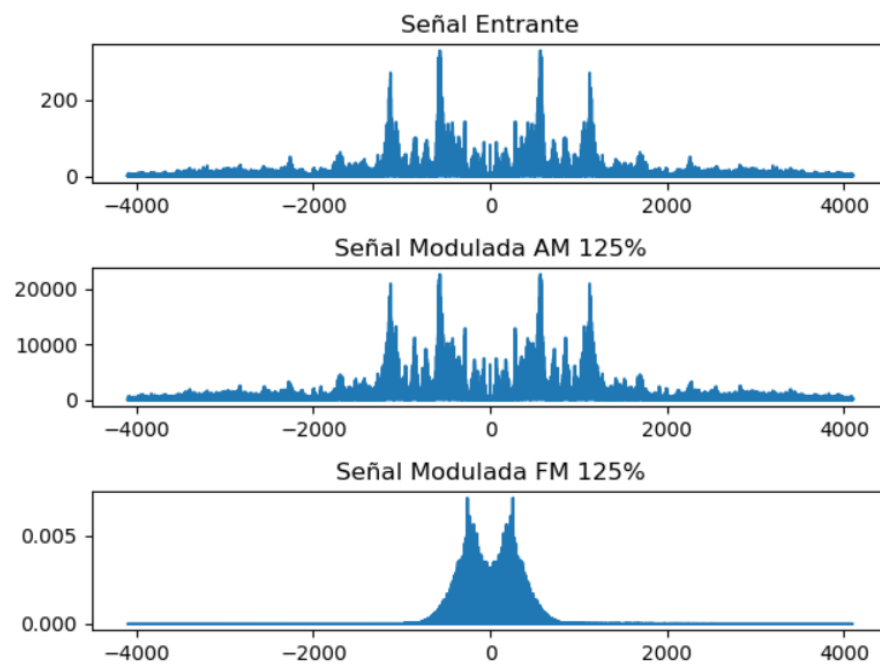


Figura 13: Modulación a M con $k = 120\%$.

4. Análisis de los resultados

La experiencia arrojó varios resultados que se logran visualizar de manera explícita a través de gráficas con funciones del tiempo y frecuencia, algunas cosas que se pueden deducir de estos resultados son:

4.1. Modulación de señales

Los resultados arrojados por cada una de las gráficas fue totalmente satisfactorio con los contenidos vistos en cátedra ya que cumplen los fenómenos físicos asociados a la modulación.

- **Modulación AM:** Luego de interpolar la señal para visualizar el comportamiento, se nota que es consecuente con la multiplicación de las señales, ya que ésta eleva sus amplitudes en los casos de que la señal tenga una amplitud elevado, y disminuye cuando la moduladora lo hace. Además, al variar el índice de modulación, los resultados cambian al obtener señales con amplitudes mayores o menores, proporcionalmente a la señal de entrada.
- **Modulación FM:** Los resultados en la modulación FM igualmente fueron satisfactorios, ya que luego de aplicar la ecuación de ésta misma, la señal obtenida es totalmente consecuente con lo esperado, creando una señal que varía su frecuencia dependiendo la señal de entrada, donde en cambios bruscos de amplitud, se nota como la señal modifica su frecuencia para acomodarse al medio de transmisión. De igual manera, al modificar el índice de modulación la señal cambia el sus longitudes de onda, donde cada vez que se aumenta el índice de modulación, las longitudes aumentan.
- **Demodulación AM:** En nuestro caso, decidimos seleccionar la demodulación AM, la cual se ve gráficamente que funciona exitosamente, debido que se obtiene de igual manera la señal de entrada, con iguales amplitudes, pudiendo ser escuchada por el receptor.
- **Espectros de frecuencias:** Se puede analizar con los gráficos de espectros de frecuencia que en la modulación AM no se modifica la frecuencia como se había mencionado, pero

si aumenta la amplitud de esta, mientras que en la modulación FM solo se concentran las frecuencias bajas de esta. Filtrando todas las demás.

4.2. Comparación de las modulaciones

Se puede analizar con los gráficos de espectros de frecuencia que en la modulación AM no se modifica la frecuencia como se había mencionado, pero si aumenta la amplitud de esta, mientras que en la modulación FM solo se concentran las frecuencias bajas de esta. Filtrando todas las demás.

5. Conclusiones

Luego de la experiencia realizada pudimos analizar y entender de mejor manera los conceptos relacionados con la modulación de señales en amplitud y frecuencia. Para aquello esta vez se utilizó un archivo de audio .wav, donde se pudo aplicar distintos tipos de modulaciones, variando la desviación de frecuencias, obteniendo diferentes resultados de señales que modifican su frecuencia para adaptarse al medio de comunicación.

Para aquello se seleccionó el clásico audio “handel.wav” en el cual se importó el audio, obteniendo su frecuencia y el muestreo del audio, con dichos datos se logró recrear la señal y multiplicarla con la funciones conocidas de modulación Am/Fm, obteniendo distintos resultados, donde se muestra explícitamente cómo cambia dependiendo la variación que tenga el “k”.

Posteriormente, para analizar la variación en frecuencias respecto a la imagen original calculamos la transformada de fourier de cada una de las señales moduladas, donde visualizamos explícitamente como este se comporta al aplicar las modulaciones, en que las frecuencias se modifican dependiendo la modulación que se aplique.

De ésta forma al analizar las salidas obtenidas, pudimos comprobar la materia vista en clases, en que claramente se ve la aplicación de la modulación en señales, donde un función de entrada que sería el audio de se ve modificado por una función intermedia (portadora), para obtener la función final que sería la señal modulada. Por lo que podemos decir que al aplicar los conocimientos aprendidos en cátedra y laboratorio en la elaboración del programa, el proceso fue realizado exitosamente obteniendo las salidas deseadas y comprobando la teoría vista en clases

Finalmente, podemos decir que gracias al laboratorio número cuatro hemos reforzado nuestros conocimientos acerca de las señales eléctricas y de igual manera nuestros conocimientos en el área de la programación, donde se espera en un próximo trabajo de laboratorio seguir complementando los conocimientos vistos en este laboratorio con otras nuevas enseñanzas de las clases.

6. Referencias

- Anónimo. (2015). Modulación AM. Disponible en:
<https://www.electronicafacil.net/tutoriales/MODULACION-AM.html> Disponible
en:<https://unipython.com/transformada-de-fourier/>
- Anónimo. (2005). Modulación FM. Disponible en:
<https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/frecuencia>