

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INFORMÁTICA



Laboratorio N 4: Modulación de Señales

Integrante: Nicolás Gutiérrez

Curso: Redes de Computadores

Profesor(a): Carlos Gonzalez Cortes

20 de Junio de 2019

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
2. Marco teórico	2
2.1. Canal	2
2.2. Teorema de Nyquist	2
2.3. Modulación	2
2.4. Señal Portadora	3
2.5. Modulación AM	3
2.6. Modulación FM	3
3. Desarrollo de la experiencia	4
3.1. Modulación AM	4
3.1.1. Interpolación	5
3.2. Modulación FM	8
3.3. Demodulación AM	10
4. Análisis de los resultados	12
4.1. Modulación AM	12
4.2. Modulación FM	13
4.3. Demodulación AM	14
5. Conclusiones	15
Bibliografía	16

1. Introducción

Comúnmente la sociedad esta acostumbrada a la presencia de antenas en la ciudad sin saber en que se utilizan o para que sirven. La mayoría de las personas sabe que es necesario tener una antena en la casa para poder captar señales de diferentes partes y en mas de una ocasión las palabras AM y FM han salido a colación cuando se habla de radio.

Pero ¿Que significa realmente AM y FM? o ¿Como es posible que una señal que se emitió a kilómetros de distancia pueda ser recibida por una antena pequeña de un auto? La Respuesta sencilla es gracias a la Modulación. Este concepto es usado en gran medida para la transición de señales digitales por diferentes medios.

En este documento se estudiara justamente este concepto de Modulación aplicando una modulación por amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM) a una señal de audio y que importancia tiene la modulación en tema de telecomunicaciones.

El documento está dividido de tal forma que se explican los conceptos y funciones a utilizar en la experiencia, pasando después a la parte de exposición de los resultados con su respecto análisis para finalmente llegar a la conclusión del informe.

2. Marco teórico

2.1. Canal

El canal definido de forma sencilla es el medio por donde circula la información o señal, por ejemplo un cable, el aire, el agua, etc.

Al transmitir una señal se debe estar consciente del medio o canal por el cual se va a transmitir.

2.2. Teorema de Nyquist

Es un teorema fundamental de la teoría de la información, de especial interés en las telecomunicaciones. Postula que para recuperar una señal transmitida de forma íntegra, es necesario que la frecuencia de muestreo o la cantidad de puntos tomados por segundo, sea mayor o igual al doble de la frecuencia máxima de la señal.

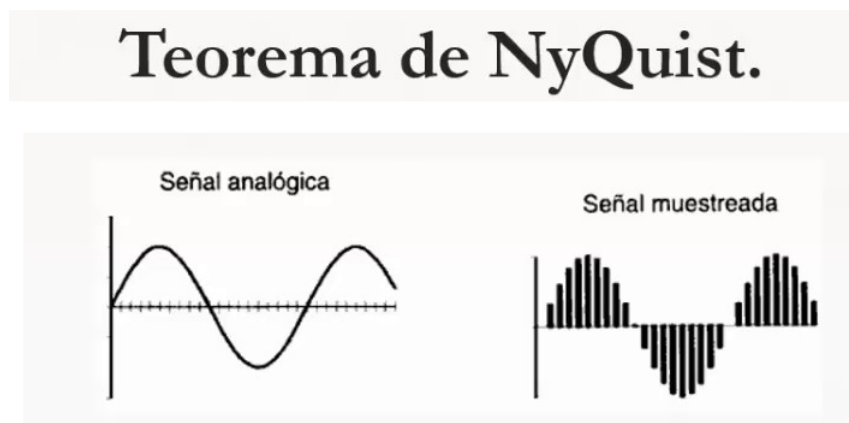


Figura 1: Imagen de explicación del teorema de Nyquist

2.3. Modulación

La modulación es un conjunto de técnicas que permiten montar la información de una señal a otra señal portadora de mayor frecuencia con el fin transmitir esta nueva señal. Cuando se modula hay algunas características propias de la señal que se alteran para poder modular efectivamente. La modulación permite aprovechar mejor el canal ya que po-

sibilita transmitir más información en forma simultánea por un mismo canal y/o proteger la información de posibles interferencias y ruidos.

Modulación

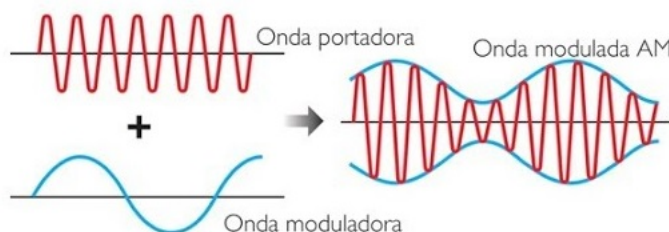


Figura 2: Imagen de explicación de la Modulación

2.4. Señal Portadora

La señal portadora es una señal una frecuencia mucho más alta que la de la señal moduladora o señal original. Esta señal recibe una modificación que puede ser de Amplitud, frecuencia o fase, con el objetivo de transmitir una señal original .

2.5. Modulación AM

Cuando se habla de AM se quiere decir Amplitud modulada la cual es una técnica para modular que altera la amplitud (como característica de la señal). Se altera la amplitud de la señal original de audio para someterla con la señal portadora para crear una nueva señal de mayor intensidad siguiendo el patrón de la señal original .

2.6. Modulación FM

A diferencia de la modulación AM, FM también es una técnica de modulación que quiere decir frecuencia modulada, permite transmitir información a través de una onda portadora alterando la característica de su frecuencia.

3. Desarrollo de la experiencia

Para poder desarrollar la experiencia fue necesario utilizar Python 3 con las librerías *Numpy*, *Matplotlib*, *Scipy* y *PIL*. Estas librerías son para el manejo de números complejos, imágenes, gráficas y funciones de conversión.

La idea de la experiencia es tomar el audio 'handel.wav' el cual tiene el típico canto *Aleluya* al cual se le aplicaran 2 modulación diferentes, una por AM:

$$y(t) = k \cdot m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

Figura 3: Función de la señal portadora AM

La imagen anterior muestra la señal portadora para realizar una modulación AM. Donde f_c es la frecuencia de la portadora en Hz y k el índice de modulación o desviación en frecuencia (relación entre la amplitud de la portadora y la amplitud del mensaje).

Y una modulación FM:

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

Figura 4: Función de la señal portadora FM

Luego de modular, se tienen que estudiar sus espectros y compararlos.

Ya con los Datos modulados, se procede a hacer una des modulación y comparar si la señal resultando es similar a la señal original modulada.

Ahora estudiando los pasos :

3.1. Modulación AM

Para poder implementar la modulación AM es importante definir que es lo que se necesita; es necesario armar la función portadora y para ello es necesario dar una frecuencia. Se entiende que la frecuencia de la señal portadora debe ser igual al doble de la frecuencia máxima de la señal original, por lo que si la señal original fue mostrada a 8192 , es posible que tenga un máximo en los 4kHz por lo que la frecuencia de muestreo debería ser el doble

lo que quiere decir que los 8192 es una buena frecuencia para la portadora, sin embargo para evitar errores simplemente se multiplica la tasa de muestreo por 2.

Entonces se define la función de la portadora como :

$$k * \text{señal original} * \cos(2 * \pi * (2 * \text{tasa de muestreo}) * \text{largo señal})$$

Luego con esto se podría multiplicar los puntos de forma simple, sin embargo como se trabaja en python, este necesita que los tamaños sean iguales para poder hacer la multiplicación entonces es necesario recurrir a otra técnica que nos permitan igualar la misma cantidad e puntos de ambas funciones.

3.1.1. Interpolación

La interpolación es una técnica matemática que permite obtener puntos de una función conociendo como esta se comporta y un conjunto de puntos también conocido. En este sentido si se necesitan saber 10 puntos de la función $y(x) = x$ entre los intervalos $[0, 1]$ solo es necesario obtener estos puntos y así podría tener un conjunto de puntos $[(0.1, 0.1), (0.4, 0.4) \dots]$, por lo que con esto es posible igualar la cantidad de los vectores de python para poder multiplicarlos sin problemas.

Con la interpolación correcta es posible multiplicar las funciones para obtener una distribución o conjunto de vectores del mismo tamaño el cual corresponde a la señal modulada.

Entonces la señal portadora queda :

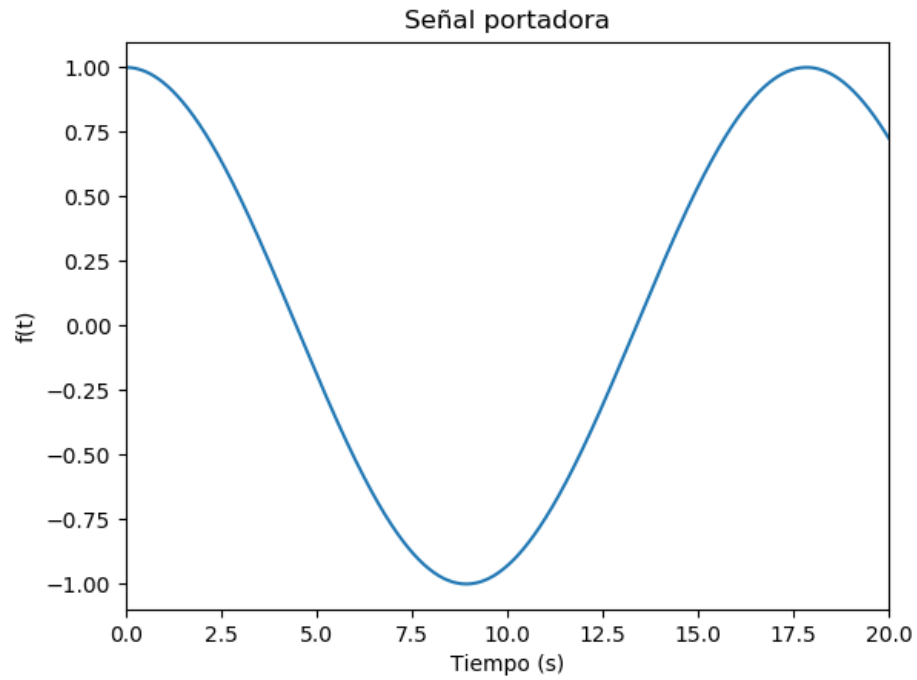


Figura 5: Señal portadora

Además sabiendo que la señal original es de la siguiente forma :

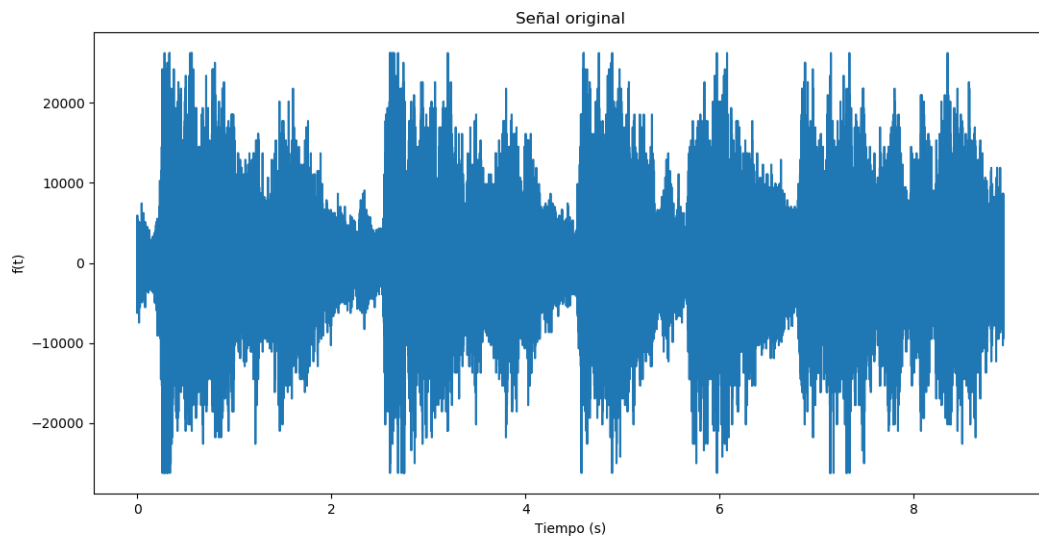


Figura 6: Señal original

Entonces realizando la modulación en 15, 100, 125 porciento las señales dan como

resultado:

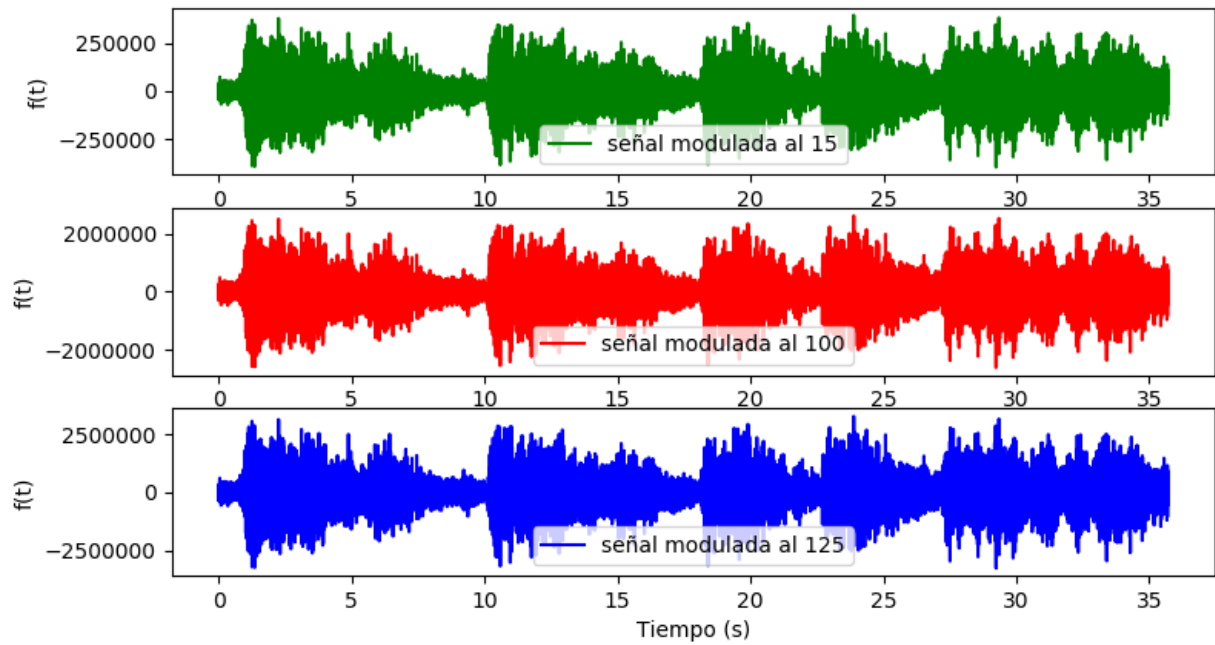


Figura 7: Señales modulas AM al 15,100, 125

Además obteniendo sus transformadas de Foruier:

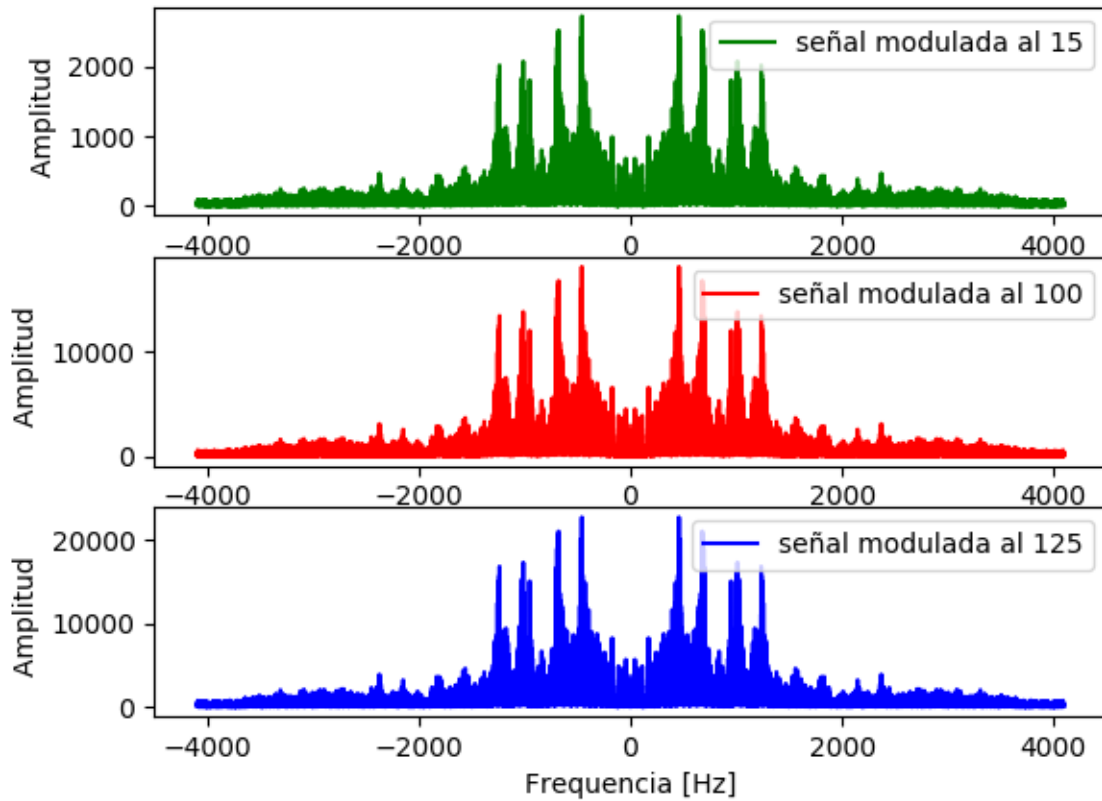


Figura 8: Transformada de Fourier de las señales moduladas AM

3.2. Modulación FM

Al igual que la modulación AM, la modulación FM necesita de una función portadora como se podía ver antes. Con ayuda de las funciones propias de numpy como *cumsum()* o *linspace()* es posible realizar o implementar la función FM antes mostrada. Cabe destacar que esta función posee en su estructura una integral, esto se traduce como la suma de todos los puntos en la señal original por lo que con la función *cumsum()* es posible realizarlo.

Al igual que el caso anterior, la modulación FM también necesita una interpolación de las señales para que se puedan sumar o multiplicar. Por lo que es necesario aplicar esta técnica antes de continuar.

Cuando ya se tenga la interpolación, ya solo basta con aplicar la formula sumando y aplicando un coseno a la suma.

Entonces las señales luego de la modulación FM queda:

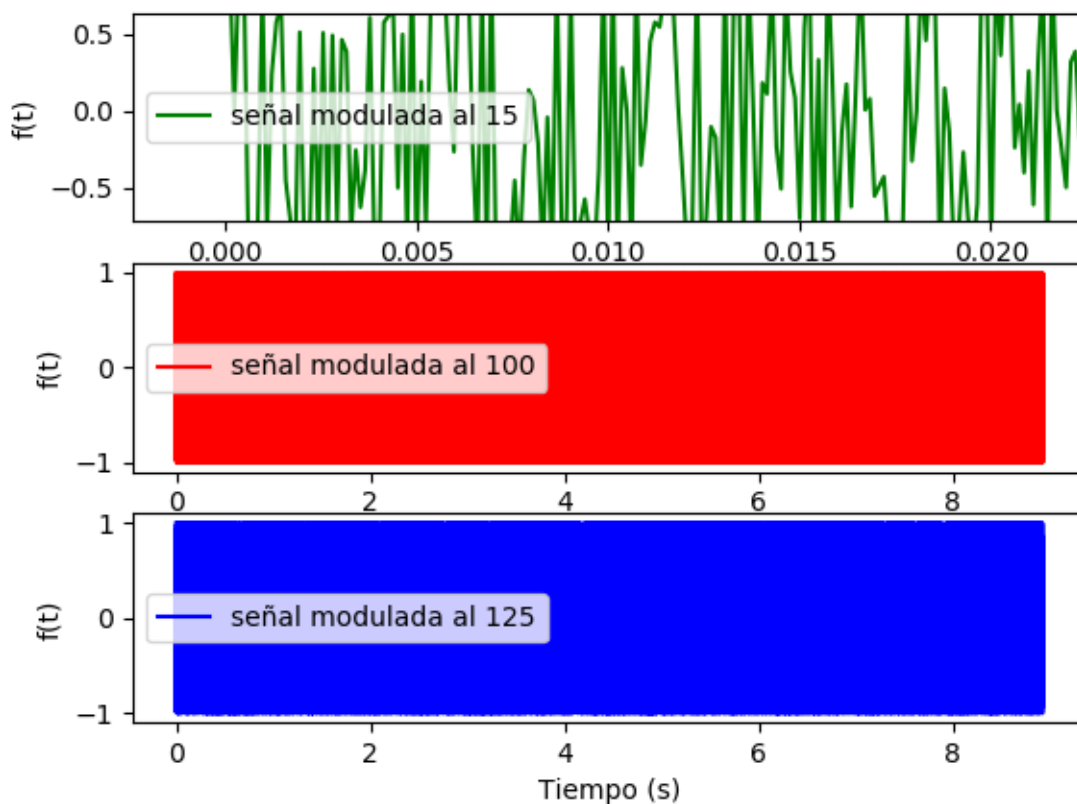


Figura 9: Señales modulas FM al 15,100, 125

Cabe destacar que la imagen se pueden ver una franja de un solo color pero esto es debido a la cantidad de elementos presentes en el gráfico, por lo que se ha ampliado el gráfico verde para que se vea como es realmente.

Si a estas señales se le obtiene su transformada de Fourier:

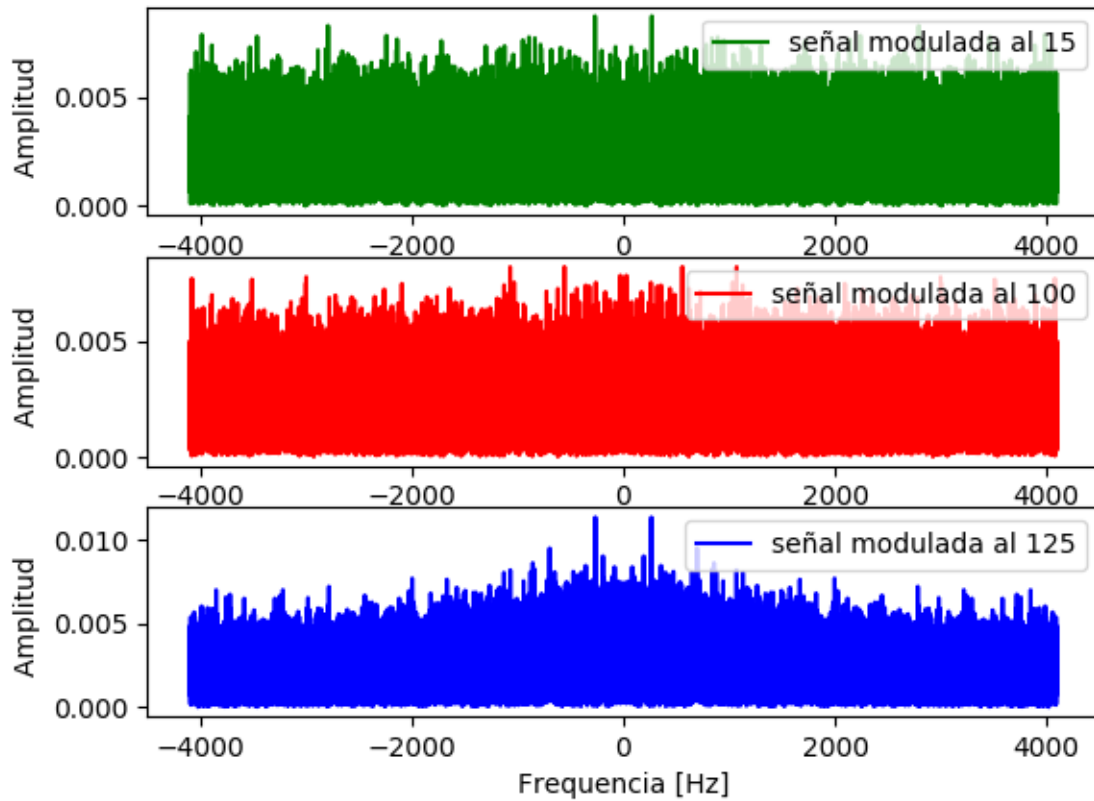


Figura 10: Transformada de Fourier de las señales moduladas FM

3.3. Demodulación AM

Como se podría pensar, la demodulación es la técnica inversa a la modulación y sirve para recuperar la información de una señal original transportada por una señal portadora.

Para esta experiencia se quiso implementar un demodulador AM para recuperar la señal original de justamente un modulador AM.

Para hacer el demodulador es necesario saber que es posible aplicarle un filtro paso bajo para eliminar toda la frecuencia alta producida por la portadora, por lo que al hacer esto ya se puede volver a obtener el audio original.

Haciendo el filtro paso bajo se obtuvo :

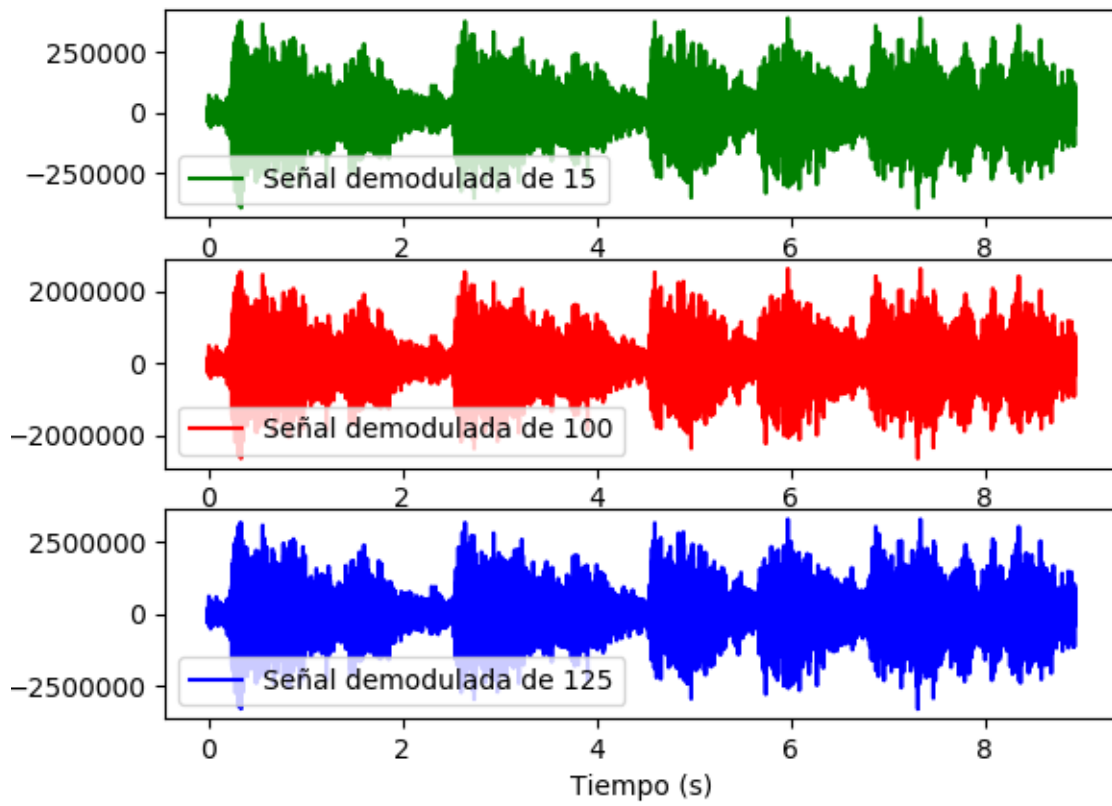


Figura 11: Demodulación de la señal portadora AM en 15 100 y 150

4. Análisis de los resultados

4.1. Modulación AM

Durante las pruebas que se estuvieron haciendo se pudo notar que si a la frecuencia de la portadora se le asigna el doble de la frecuencia de muestreo del audio original , esta no creaba del todo bien una señal modulada:

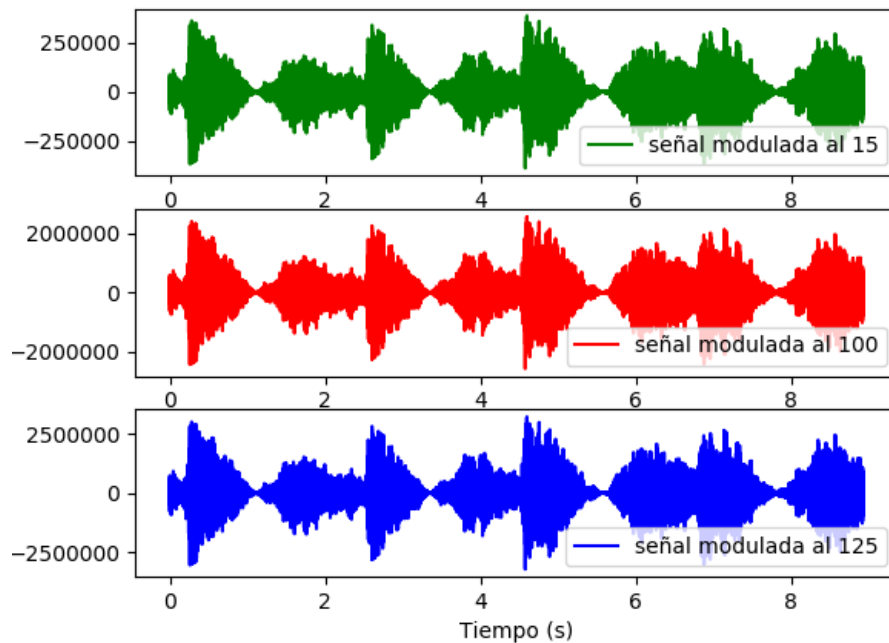


Figura 12: Error en señales modulas AM al 15,100, 125

Se puede ver que hay información que se pierde y es notoriamente diferente a la señal de audio original.

Lo que se hizo para resolver esto, es que a la frecuencia de la portadora se le asigno la tasa de muestro de la señal de audio original por 1kHz. Al hacer esto, la portadora se hizo con frecuencia mucho mayor permitiendo que toda la señal fuera de la misma forma.

En este sentod al hacer este pequeño cambio la señal modulada AM fue igual a la señal de audio original solo con la diferencia en el tamaño de la amplitud. Donde la amplitud iba creciendo conforme al porcentaje dado.

Se trato de darle un porcentaje de 500 por cien y se obtuvo la misma forma de la señal original pero con una amplitud del orden de los 10 millones.

Viendo la transformada de Fourier y recordando un poco de materia de la primera experiencia del curso, se pudo dar cuenta que todas las transformadas eran de la misma forma y solo variaba el tamaño de la amplitud de estas.

Por lo que se puede decir que la modulación AM fue todo un éxito.

4.2. Modulación FM

Para el caso de la modulación FM es un poco mas difícil analizarlo ya que como varia la expresión de su frecuencia, no se puede saber que esta pasando con la señal y si es igual a la original.

Como a la señal original se le suma mas frecuencia de los puntos para obtener la función de la portadora, tiene sentido que su espectro se vea de esa forma ya que lo que se esta haciendo es que por cada punto, se sumamos toda una suma de puntos propios de la señal original, es decir, vamos viendo que cada punto tiene relacionados mucha mas frecuencia.

En este sentido, era de esperarse que cada gráfico se viera condensado y saturado de rayas ya que son muchos elementos presentes en el gráfico que es casi imposible de distinguirlos.

En cuanto a su transformada de Fourier como le estamos sumando frecuencias a la portadora, es lógico que su espectro vaya a cambiar. Como por cada punto se suma frecuencia es muy posible que todas las frecuencias tengan una participación, tanto las frecuencias bajas como las altas.

Como se pudo ver, las frecuencias bajas son las que tienen el protagonismo y a medida que el porcentaje subía, las frecuencias altas iban disminuyendo, lo cual tiene sentido ya que la mayor energía se centra en las frecuencias bajas.

Por lo tanto se puede decir que la modulación FM también es un éxito.

4.3. Demodulación AM

En cuento a la demodulación se cree que se hizo un buen trabajo ya que si se aplicaba el filtro correspondiente a pasa bajos con las señales moduladas, la frecuencia de la portadora se anulaba por lo que solo quedaban las frecuencias bajas lo cual corresponde a la señal original .

Al escuchar el audio demodulado se puede dar cuenta que la señal original persiste sin embargo existe un ruido de fondo bastante notorio el cual puede ser por algún error propio de la demodulación.

5. Conclusiones

Con todo el trabajo realizado, se puede dar cuenta que se hizo un buen trabajo sin embargo no esta excepto de errores, ya que la demodulación produjo un archivo wav con ruido por lo tanto la recuperación de la señal no fue del todo correcta o al 100.

En cuanto a los contenidos se pudo estudiar que era la modulación AM y con esto se pudo entender que es una técnica para transmitir señales la cual se utiliza para transmitir señales de voz y musica ya que es muy robusta, barata pero de baja calidad.

En cambio la frecuencia FM que también es robusta permite la transición de imagen, vídeo y sonido por el canal sin mayores inconvenientes. Las frecuencias FM son más utilizadas por la calidad que permiten enviar.

Se ha podido aprender que si bien la modulación permite todo lo que conocemos hoy en día en temas de telecomunicaciones es también algo arriesgado ya que si se sobre modula una señal esta se desborda en la amplitud o energía que se le da a dicha señal, como lo que ocurre si se le da 500 por cien en la simulación.

Además si se quiere demodular una señal se tiene que tener bien claro los limites del filtro ya que si estos no son colocados de forma correcta, la señal puede perderse tomando o no tomando elementos que si sirven para volver a construir una señal.

Teniendo todo esto en cuenta y haciendo una síntesis, se pudo estudiar la modulación a profundidad con todos los beneficios que otorga.

Bibliografía

- (2007). Modulaci3n a.m. [Online] <https://www.electronicafacil.net/tutoriales/MODULACION-AM.html>.
- (2016). Modulaci3n de datos. [Online] <https://github.com/redes-usach/2016-2-redes-equipos-2/wiki/Modulaci3n-de-datos>.