



## Modulación Analógica

Integrantes: Gabriel Bustamante Toledo  
Curso: Redes de computadores  
Profesor: Carlos González  
Ayudante: Nicole Reyes

26 de Agosto de 2020

# Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos . . . . .	1
<b>2. Marco teórico</b>	<b>2</b>
2.1. Modulación . . . . .	2
2.1.1. AM . . . . .	2
2.1.2. FM . . . . .	2
2.2. Transformada de Fourier . . . . .	3
<b>3. Desarrollo</b>	<b>4</b>
3.1. Audio de entrada . . . . .	4
3.2. Implementación de modulación AM . . . . .	4
3.3. Implementación de la desmodulación AM . . . . .	4
<b>4. Análisis</b>	<b>10</b>
<b>5. Conclusión</b>	<b>11</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>12</b>

# Índice de figuras

1.	Sección de la señal ingresada . . . . .	5
2.	Sección de la señal portadora . . . . .	5
3.	Sección de la señal modulada . . . . .	6
4.	Transformada de fourier de la señal ingresada . . . . .	6
5.	Transformada de fourier de la señal portadora . . . . .	7
6.	Transformada de fourier de la señal modulada . . . . .	7
7.	Sección de la señal desmodulada . . . . .	8
8.	Transformada de fourier de la señal desmodulada . . . . .	8
9.	Transformada de fourier de la señal filtrada . . . . .	9

# 1. Introducción

Al momento de querer transmitir por una antena una señal de audio, que podría ser una voz humana, alguna canción o alguna otra señal que tenga un rango de frecuencia similar, surge un gran problema. El problema es el siguiente, el largo de la antena de transmisión es calculado de esta forma:

$$l = c/f \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz y  $f$  es la frecuencia de la señal que se quiere transmitir. Se deduce que a menor frecuencia el largo de la antena va a ser mayor, y a mayor frecuencia el largo de la antena será menor. Por lo tanto se necesitarán antenas muy grandes para transmitir la voz humana, para solucionar esto se realiza la modulación, que tiene por objetivo aumentar la frecuencia de la señal pero sin perder la esencia de la señal original para que el receptor la pueda demodular y llegué con la menor cantidad de alteraciones posibles.

## 1.1. Objetivos

1. Reforzar de forma práctica el procesamiento de señales.
2. Entender conceptos de la modulación analógica.
3. Implementar moduladores analógicos.
4. Comprender porque es necesario adaptar la señal al medio de transmisión.

## 2. Marco teórico

Para comprender de que forma se llegará a la solución, hay que entender una parte teórica, para posteriormente poder utilizar herramientas informáticas. En este caso se pondrá en contexto que es y como es que se aplica la modulación AM y FM, y que es la transformada de Fourier.

### 2.1. Modulación

Como se comentaba en la introducción, es necesario adaptar la señal al medio de transmisión, esto se lleva a cabo de una forma general que es aumentar la frecuencia de esta señal. Pero esto puede ser realizado de dos formas que estudiaremos, que es modificar la frecuencia según la amplitud de la señal de origen (AM) y también está la opción de modificar la frecuencia según la señal de origen(FM). Estas dos opciones serán descritas con mas detalles.

#### 2.1.1. AM

Para realizar esta modulación se debe crear una portadora, esta debe tener una frecuencia mucho mayor a la señal a modular para que posteriormente pueda ser demodulada correctamente. Al tener esta portadora es multiplicada con la señal de entrada. Esto da como resultado que el espectro de frecuencia de esta multiplicación sea el mismo espectro de la señal original pero trasladado a la frecuencia de la portadora, con esto se logra aumentar la frecuencia y es posible transmitir de mejor forma esta señal. Esto se verá de forma mas visual en la sección de desarrollo.

$$y(t) = m(t)\cos(2\pi ft) \quad (2)$$

#### 2.1.2. FM

En el caso de la modulación FM lo que se busca es modificar la frecuencia de una portadora según la señal de entrada. Esto es llevado a cabo sumando a la frecuencia dentro del coseno, la integral de la señal de entrada. Esto permitirá que la señal modulada se vea mas comprimida en sectores donde la señal de entrada esté en cierta amplitud, y se

vea menos comprimida en otros sectores.

$$y(t) = \cos(2\pi ft + \int_0^t m(\tau) d\tau) \quad (3)$$

## 2.2. Transformada de Fourier

Es una transformación matemática utilizada para transformar señales desde el dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia, o viceversa en el caso de usarla de forma inversa, posee más aplicaciones en física e ingeniería, pero para nosotros es más relevante la propiedad de transformar las señales. Con esto podremos analizar desde otro punto de vista la señal que estaremos procesando, y nos ayudará para ver si lo que estamos haciendo está de manera correcta.

### **3. Desarrollo**

#### **3.1. Audio de entrada**

Luego de leer el archivo de audio 'handel.wav', para los efectos de esta experiencia dentro del código se trabajará con la totalidad de la frecuencia, pero al momento de visualizar la señal solo se mostrara una pequeña porción, que en este caso será de 0-0.005 s (Figura 1), esto para apreciar de mejor forma la modulación. Esto también será aplicado para todas las señales en el dominio del tiempo. Si analizamos el audio en el dominio de la frecuencia (Figura 4) podemos ver que su frecuencia máxima se encuentra entre los 6.000 y 7.000 Hz, esto será de gran ayuda para crear una portadora.

#### **3.2. Implementación de modulación AM**

Para comenzar con la modulación AM se necesita de una portadora, la cual será un coseno a 30.000Hz (Figura 2, Figura 5), bien alejado de la frecuencia máxima de la señal. La frecuencia de muestreo será 4 veces la frecuencia de la portadora para asegurarse que no habrá perdida de información. Esto generará un problema al multiplicar la señal con la portadora ya que no poseen la misma frecuencia de muestreo, para esto se le realiza una interpolación a la señal dejándola con la misma frecuencia de muestreo. Posterior a esto es posible realizar la multiplicación, dando como resultado la señal modulada (Figura 3), para comprobar si estos resultados son correctos se calcula la transformada de fourier tanto de la portadora como de la señal modulada (Figura 6).

#### **3.3. Implementación de la desmodulación AM**

Para implementar la desmodulación se deben realizar dos grandes pasos, el primero es multiplicar la señal modulada con la misma portadora con la que se moduló (Figura 7), esto hará que en el dominio de la frecuencia el espectro de la señal de entrada quede totalmente centrada (Figura 8) y con una copia de este espectro en una frecuencia mucho mayor, para ser exacto en el doble de la frecuencia de la portadora, entonces lo único que faltaría es realizar un filtro para quedarnos con el espectro original. Posterior a esto el segundo paso es aplicar

un filtro pasa bajos, en este caso se aplicará un filtro en la frecuencia 10.000, dejando pasar solo la frecuencia de la señal de entrada (Figura 9).

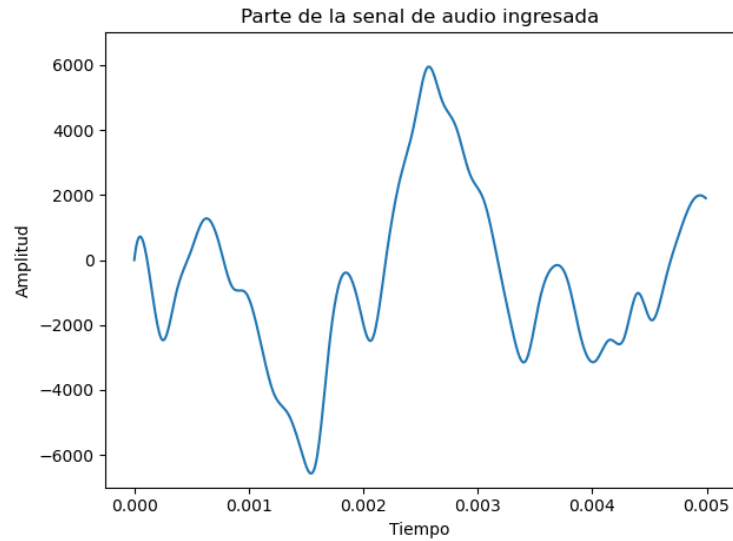


Figura 1: Sección de la señal ingresada

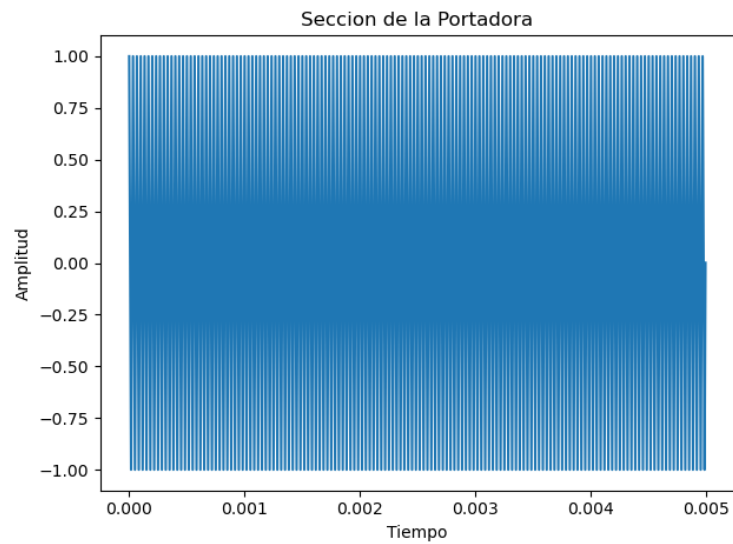


Figura 2: Sección de la señal portadora



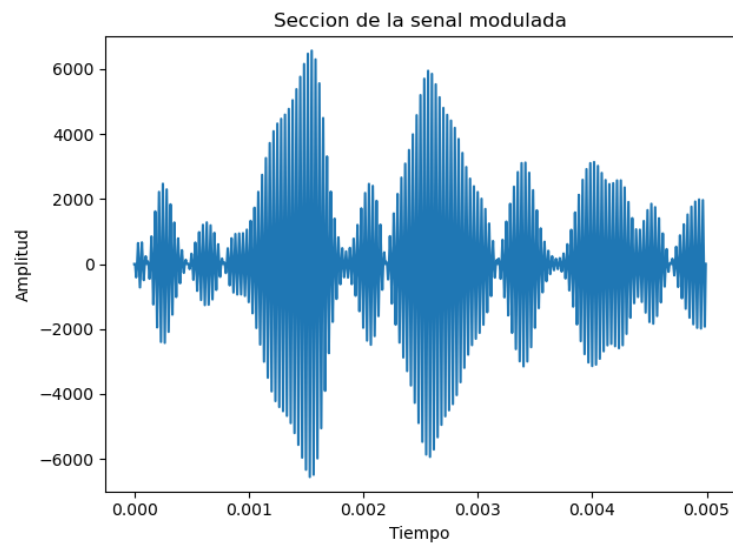


Figura 3: Sección de la señal modulada

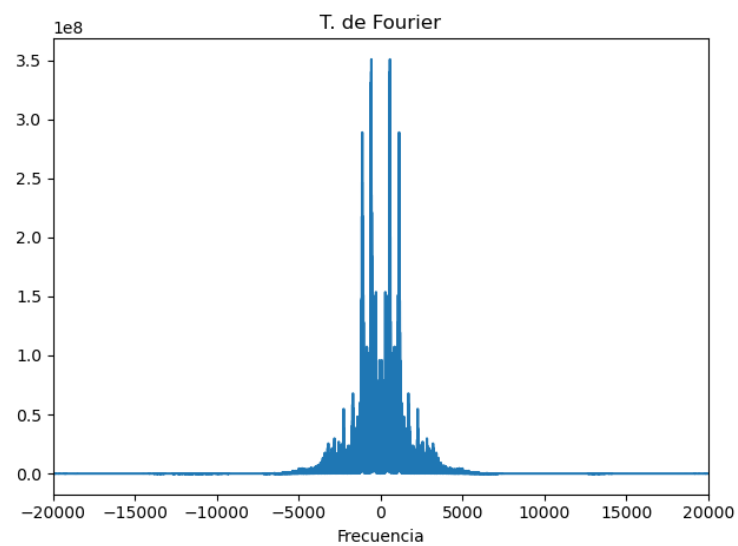


Figura 4: Transformada de fourier de la señal ingresada

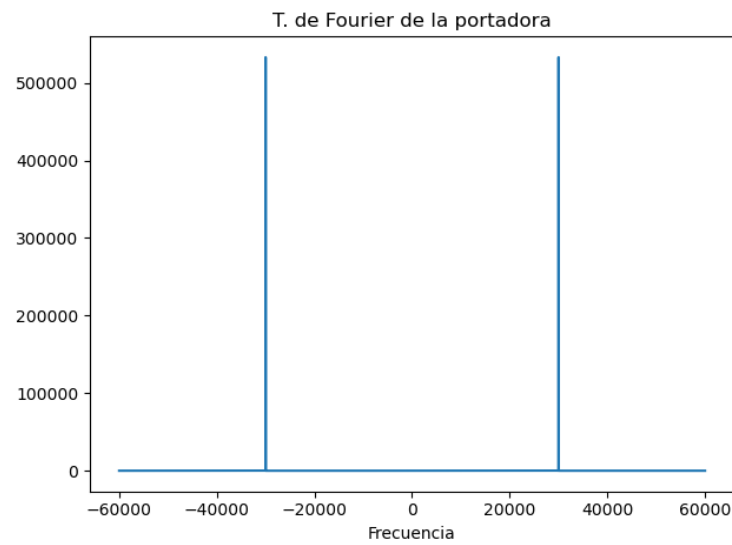


Figura 5: Transformada de fourier de la señal portadora

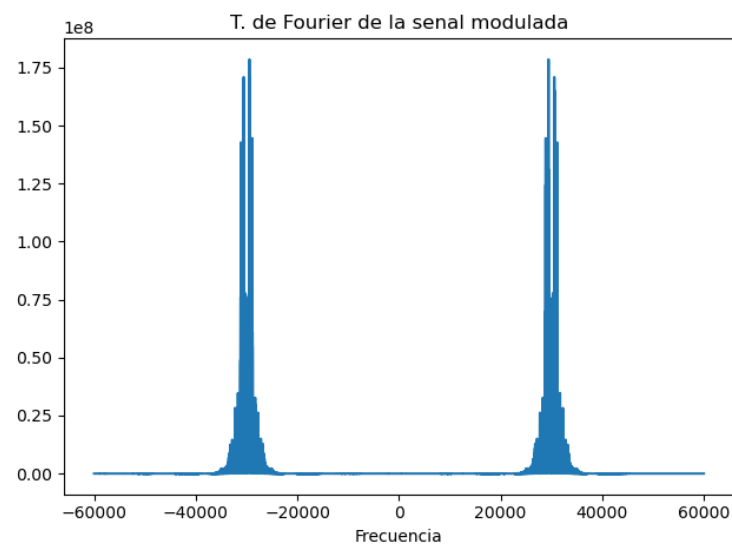


Figura 6: Transformada de fourier de la señal modulada

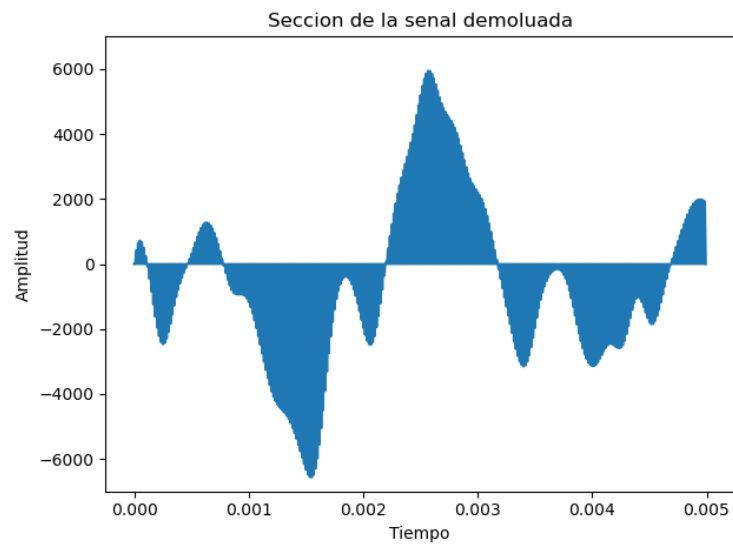


Figura 7: Sección de la señal desmodulada

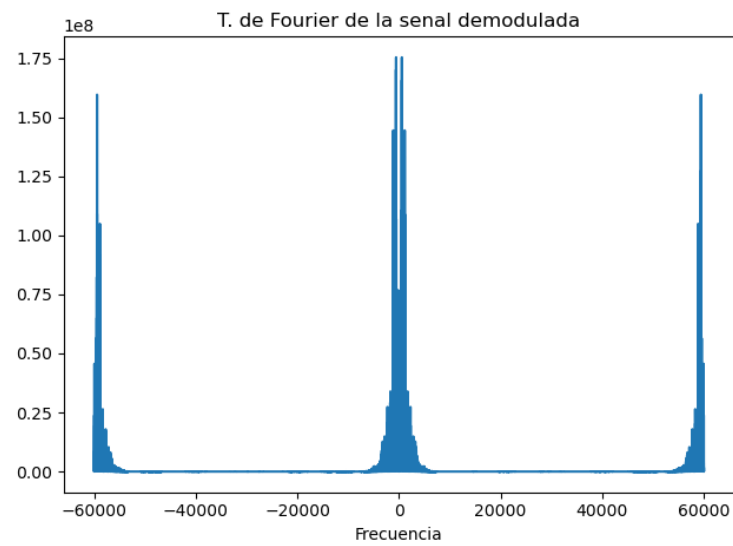


Figura 8: Transformada de fourier de la señal desmodulada

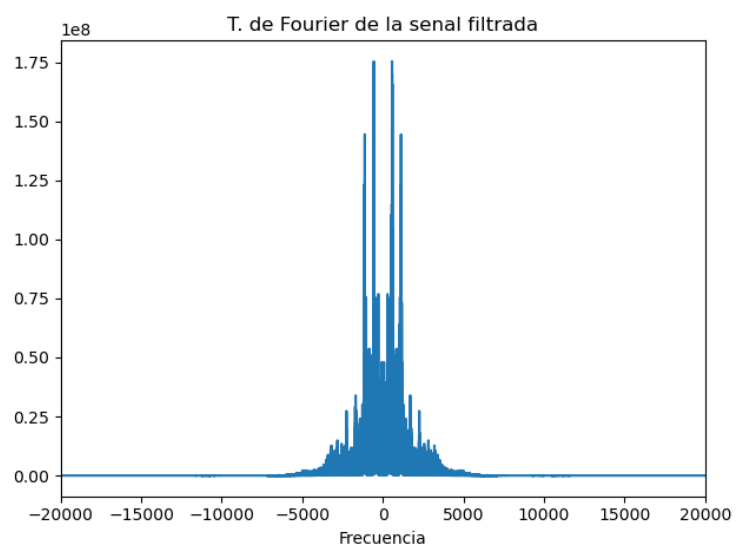


Figura 9: Transformada de fourier de la señal filtrada

## 4. Análisis

Con ayuda de las transformadas de fourier obtenidas podremos dar un análisis y comprobar si lo obtenido es correcto. Como primer punto podemos observar que la modulación AM que fue aplicada está correcta, ya que el espectro de la señal original es trasladado a la frecuencia 30.000 que es en donde se encuentra la portadora, además de que su ancho de banda es duplicado, inicialmente estaba entre los 7.000 y con esa modulación quedó alrededor de los 14.000. Además se ve en los gráficos del tiempo como es que la señal modulada sigue en su contorno a la señal original.

Para poder recuperar la señal a partir de la señal modulada se realizó el procedimiento adecuado dando como resultado el mismo espectro de la señal original. Gracias a esto se puede confirmar que si es posible recuperar esta señal modulada.

La modulación AM a comparación de la modulación FM es de una menor frecuencia, por lo que alcanza mayor distancia. Por esto sus principales usos son para comunicación a una mayor distancia, donde probablemente entre medio hayan montañas, la señal aún así podrá ser enviada. ¿Cuál es el costo? principalmente es que es mucho más débil ante el ruido, por lo que la señal al llegar a su destino no será completamente la misma sino que tendrá unas pequeñas diferencias y tal vez no se escuche tan bien. Pero con el beneficio de que su ancho de banda no es tan grande y que logra llegar a largas distancias. Por lo que sus principales utilidades son la comunicación a una gran distancia, donde lo importante no sea el como se escucha, sino la información del mensaje. La modulación FM en cambio, es una señal con mucha mayor frecuencia, la cual no logra llegar a grandes distancias y puede ser entorpecido su camino con las montañas que puedan haber. ¿Cuál es el costo? el gran costo que presenta esta modulación es que su ancho de banda puede llegar a ser 100 veces el de la señal original. Las principales características de esta modulación es que es mas fuerte ante el ruido, no le afecta tanto, entonces el demodularla en el destino se logra obtener la misma señal con errores muy mínimos donde tal vez casi ni se perciba el ruido. Sus principales usos actualmente son el de las radios locales, ya que presenta una mayor calidad y la musica puede ser apreciada de mejor forma, con el costo de que la distancia que puede alcanzar es menor, por ellos cada ciertas ciudades la frecuencia de cada radio cambia.

## 5. Conclusión

A lo largo de esta experiencia, la cual no presentó grandes complicaciones, se pudo investigar de una forma un poco mas profunda sobre los temas de modulación, tanto en como es que es aplicado y las posibles complicaciones que puede presentar al realizarlo en un lenguaje de programación, ya que solo se debe modificar el muestreo de la entrada para obtener unos resultados coherentes.

En cuanto a la modulación FM no pudo ser llevada a cabo debido a que personalmente no se entendió como manipular los arreglos con la integral dentro del coseno.

Personalmente rescato el hecho de poder aprender a utilizar python para la modulación de señales, lo cual fue bastante interesante al ver los gráficos resultante ya que siempre me pregunte en como era que la radio era transmitida y por qué había tanta diferencia entre la radio AM y FM.

# Bibliografía

- [1] [Online] Dennis Freeman. 6.003 Signals and Systems. Fall 2011. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <http://ocw.mit.edu/6-003F11>.
- [2] [Online] <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/fftpack.html>.
- [3] [Online] <https://radioslibres.net/22-que-diferencias-hay-entre-am-y-fm/>.