

# Procesamiento de señales I

## Informe Final



## Modulación AM

Profesores:

Matías Presso

Rubén Wainschenker

Alumno:

Denis David Pérez Ramírez

## Índice

Introducción .....	3
¿Qué significa modular una señal? .....	4
Modulación de AM.....	4
Transmisión AM.....	5
Modulación de dos canales en un sistema AM .....	7
Modulación con portadora de baja frecuencia .....	8
Modulación con portadora de alta frecuencia .....	9
Receptor AM .....	10
Detección y filtrado de la señal .....	10
Demodulación de señal.....	11
Separación de portadoras .....	13
Conclusión.....	16
Bibliografía.....	17

## Introducción

En este informe se busca introducir los conceptos básicos de modulación AM, que es uno de los tipos de modulación utilizados para transmitir información a través del espacio. Esto consiste en un proceso de transformación de la señales de información a un forma mas adecuada para su transmisión.

Se inicia con una explicación de qué es modulación y específicamente que es la modulación AM. Luego la transmisión de dos canales a través de un sistema. Finalmente las funciones del receptor AM, puntualmente como detecta la señal deseada y como se realiza la demodulación.

A lo largo del informe la explicación va a ser acompañada de un ejemplo práctico que será desarrollado en Matlab. A partir de esta herramienta se mostrara como se realiza un modulación y demodulación de una señal. Siendo la demodulación la recuperación de la señal original que se busca transmitir.

El ejemplo estará basado en un audio de formato .wav, específicamente un fragmento de los primeros 15 segundos de la canción "La balada del diablo y la muerte", de la banda de rock nacional argentino "La Renga".

Se parte de la primicia de que quien lea este informe tiene conocimientos de la herramienta Matlab.

Todo lo desarrollado aquí se puede encontrar en el repositorio de github cuyo link está a continuación: [https://github.com/davidPerezRamirez/Seniales\\_I](https://github.com/davidPerezRamirez/Seniales_I).

## ¿Qué significa modular una señal?

Las señales de información se transportan entre un transmisor y receptor sobre un determinado medio de transmisión. Una de las formas para que esta transmisión sea lo más adecuada posible es mediante la modulación.

La modulación de una señal consiste en el proceso de transformar información a una forma que sea adecuada para la transmisión. La modulación es realizada por el transmisor y básicamente lo que hace es transformar la señal original, por lo tanto en el receptor se debe hacer un proceso de demodulación para poder recuperar la señal original.

## Modulación de AM

Dentro de los diferentes tipos de modulación se tiene la modulación AM, que es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de una señal moduladora. Esta última es la que contiene la información que se quiere transmitir.

Este tipo de modulación es utilizado para la difusión de audio y televisión análoga, es un sistema de transmisión económico y de no muy buena calidad.

En la figura 1 se muestra como trabaja la modulación AM.

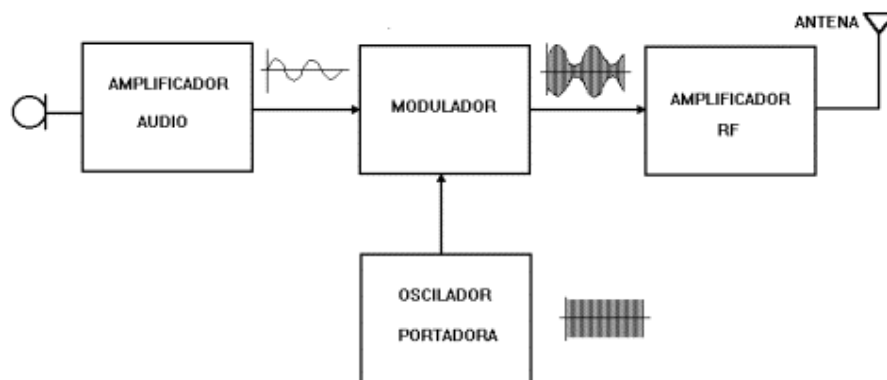


Figura 1: : Diagrama de bloques modulación AM

El amplificador de audio describe la señal moduladora la cual puede tener una frecuencia o amplitud variable.

Oscilador de portadora, describe la señal sobre la cual se va a superponer la señal moduladora, la frecuencia y amplitud de la señal portadora son constantes siempre y cuando no se superponga ninguna señal moduladora.

El modulador realiza el proceso de superponer la señal moduladora sobre la portadora, cambiando así su amplitud generando una señal modulada. La señal resultante del proceso se llama "onda modulada o señal modulante"

El amplificador como su nombre lo dice amplifica la potencia de la señal modulada para su transmisión por la antena. Su intención radica en que la señal debe tener una frecuencia lo suficientemente alta para radiarse de manera eficiente por una antena y propagarse por el espacio libre.

El proceso antes mencionado se observa en la figura 2.

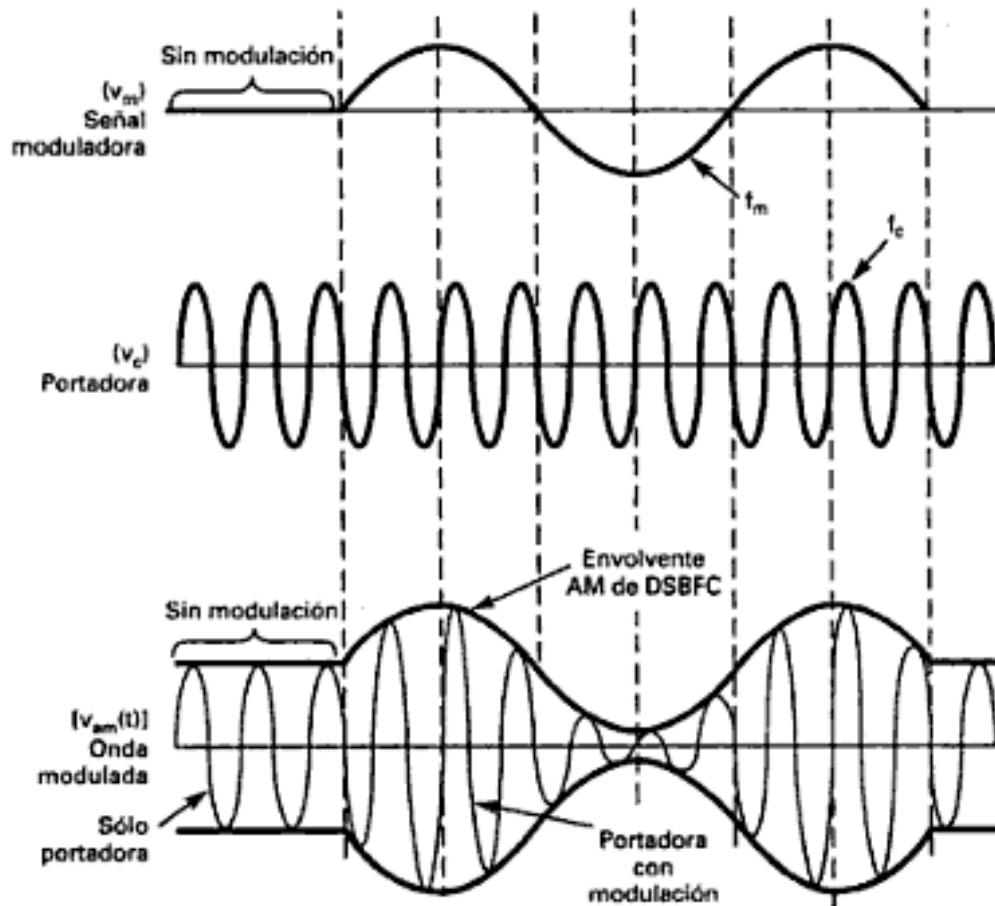


Figura 2: Modulador AM

## Transmisión AM

Matlab es una herramienta de software matemático que permite entre otras cosas la representación de datos y funciones. Para este proyecto se usará para simular una modulación AM. Existen varias versiones para esta herramienta, pero en este caso se estará usando la versión 2018.

Para la simulación se tomó un fragmento de 15 segundos, en formato .wav, de la canción "La balada de diablo y la muerte" de la banda de rock nacional La Renga.

Conforme a lo explicado anteriormente este fragmento tomará el papel de la señal moduladora con frecuencia de muestreo de 44100 Hz y con una cantidad de 617400 muestras. Se escoge esa frecuencia de muestreo no sólo porque es la misma frecuencia utilizada en el sistema de CD-Audio, sino también la más baja capaz de reproducir todo el espectro de frecuencia al que el oído humano es sensible: desde unos 20Hz hasta los 20kHz.

Desde Matlab se lee esta señal de audio, donde podemos ver la señal en tiempo y su espectro de frecuencias (Figura 3).

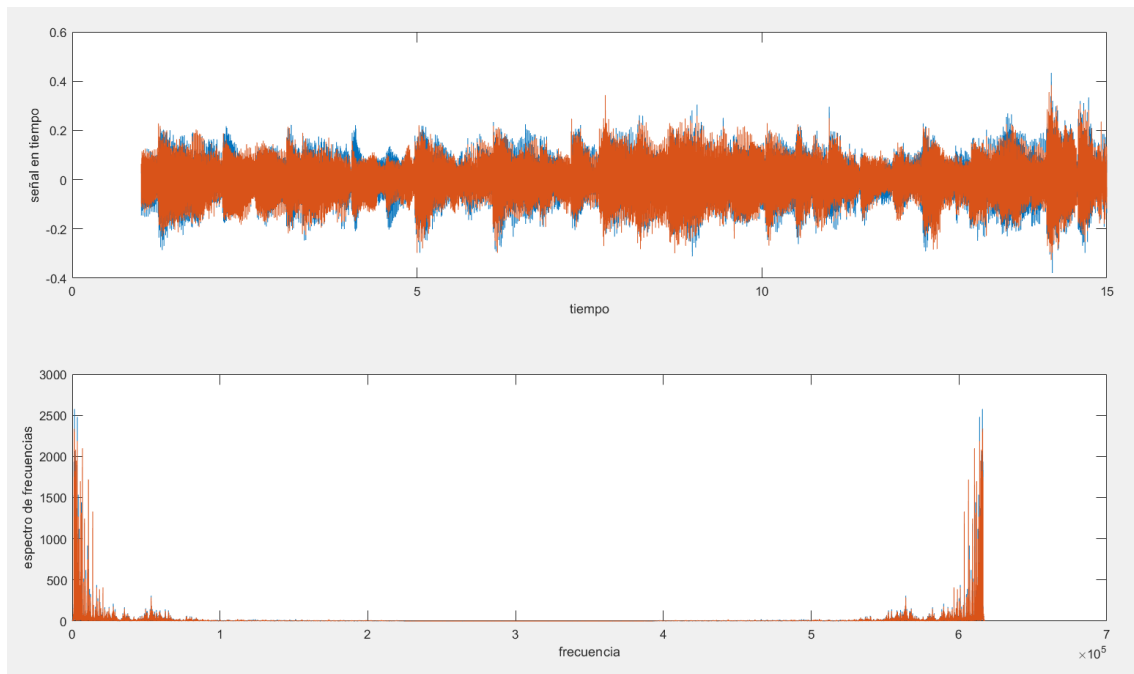


Figura 3: Señal de audio

Como se puede ver en el espectro de frecuencias se podría realizar un muestreo de la señal usando una frecuencia de muestreo de hasta 10000Hz, ya que a partir de esta frecuencia la señal no presenta grandes variación, y se puede estimar que no habrá una pérdida de información tal que no permite re construirla durante el proceso de demodulación. Para una frecuencia de muestreo menor a 10000Hz se puede prever la pérdida de información y como consecuencia no se podrá realizar una recuperación fiel de la señal original.

Ahora se procede a obtener una señal que actuara como moduladora y que es la que tiene la información que se busca modular (Figura4).

```
[z, fs]=audioread('..señal moduladora/LaBaladaDelDiabloyLaMuerte.wav');
transpuesta = z(:,1)'; % La señal esta formada por señales superpuestas,
                        % se escoge una de ellas para analizar

%señal moduladora
sm = transpuesta(1:44101);
```

Figura 4: Creación de señal moduladora en Matlab

Ahora se crea la señal portadora como se muestra en figura 5:

```
%señal portadora
f = 25;
fmuestreo=44100;
t = 1:1/fmuestreo:2; %vector tiempo
coseno = cos(2*pi*f*t);
```

Figura 5: Creación señal portadora

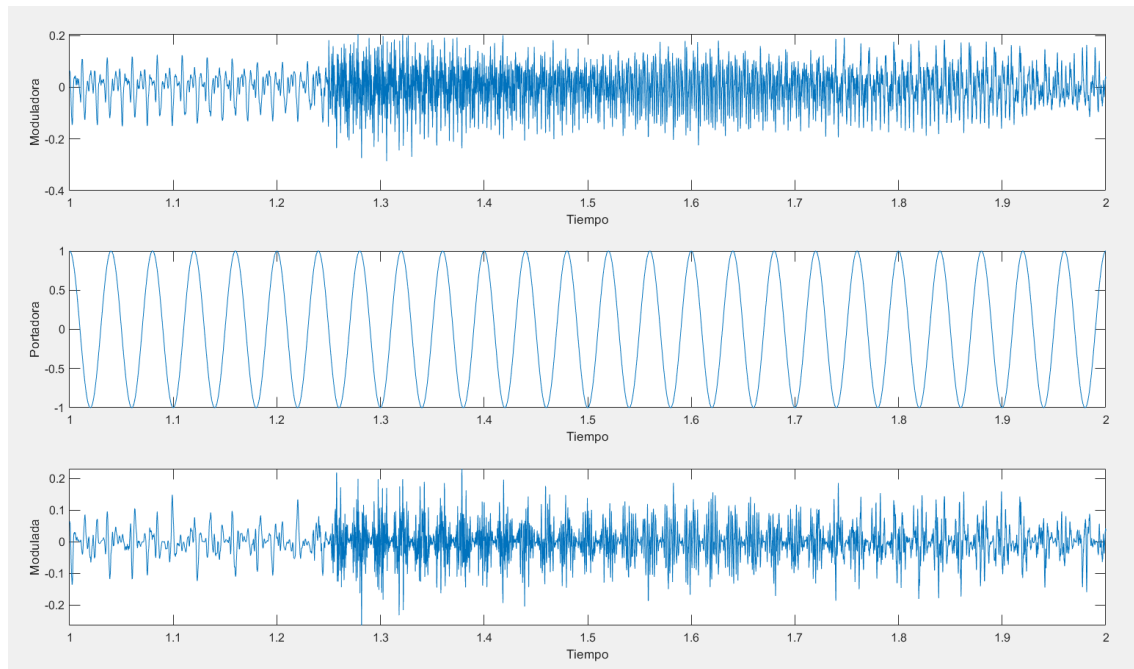
Como se observa se tiene un vector tiempo de los primeros 2 segundos de la señal, es decir, no se esta modulando la señal completa. Esto es para observar más en detalles la modulación, más adelante se trabajará con la señal completa y modulándola con portadoras de distintas frecuencias.

Finalmente se realiza la modulación, que consiste en multiplicar ambas señales, la portadora y la moduladora (Figura 6).

```
%modulacion  
am = sm.*coseno;
```

*Figura 6: Modulación*

El resultado de esta multiplicación da lo que se conoce como señal modulada, que se puede observar en la figura 7, donde se pueden ver los cambios en amplitud de la señal de moduladora.



*Figura 7: Señal modulada*

### Modulación de dos canales en un sistema AM

Para la modulación de dos canales en un sistema AM se usarán dos portadoras, una de baja de frecuencia y otra de alta frecuencia. Para ambas portadoras se usará la misma señal moduladora a fin de poder comparar la señal modulada para ambos casos. Una vez obtenidas las dos señales moduladas se harán llegar a un receptor que será el encargado de demodularlas para obtener la señal original. (Figura 8)

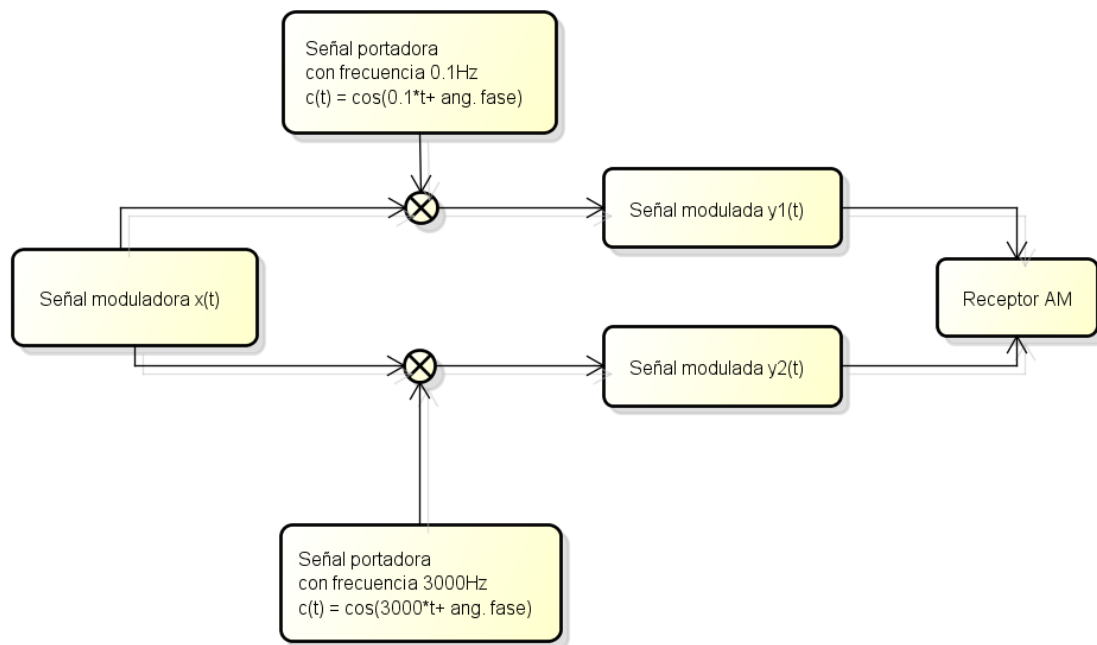


Figura 8: Sistema AM con dos canales

El receptor AM recibe las señales y realiza un proceso de demodulación haciendo uso de la frecuencia de la portadora. Este proceso se explicara detalladamente más adelante.

Se usara la señal moduladora completa por lo que se definirá un nuevo vector tiempo (Figura 9).

```

t1 = 1:1/fmuestreo:15;
cantidadMuestras = 617400;
t1 = t1(1:cantidadMuestras);
otraSm = transpuesta(1:cantidadMuestras); %señal moduladora

```

Figura 9: Definición de vector tiempo de 15 seg.

### Modulación con portadora de baja frecuencia

Se define una nueva portadora de baja frecuencia, en este caso de 0.1 Hz, y se realiza la modulación con la señal moduladora definida más arriba (Figura 10)

```

%Para portadora de baja frecuencia
fBaja = 0.1;
pfb = cos(2*pi*fBaja*t1); %portadora 0.01 HZ
amFb = pfb.*otraSm; %señal modulada

```

Figura 10: Modulación Am con portadora de baja frecuencia

La señal modulada resultante se observa en la figura 11.



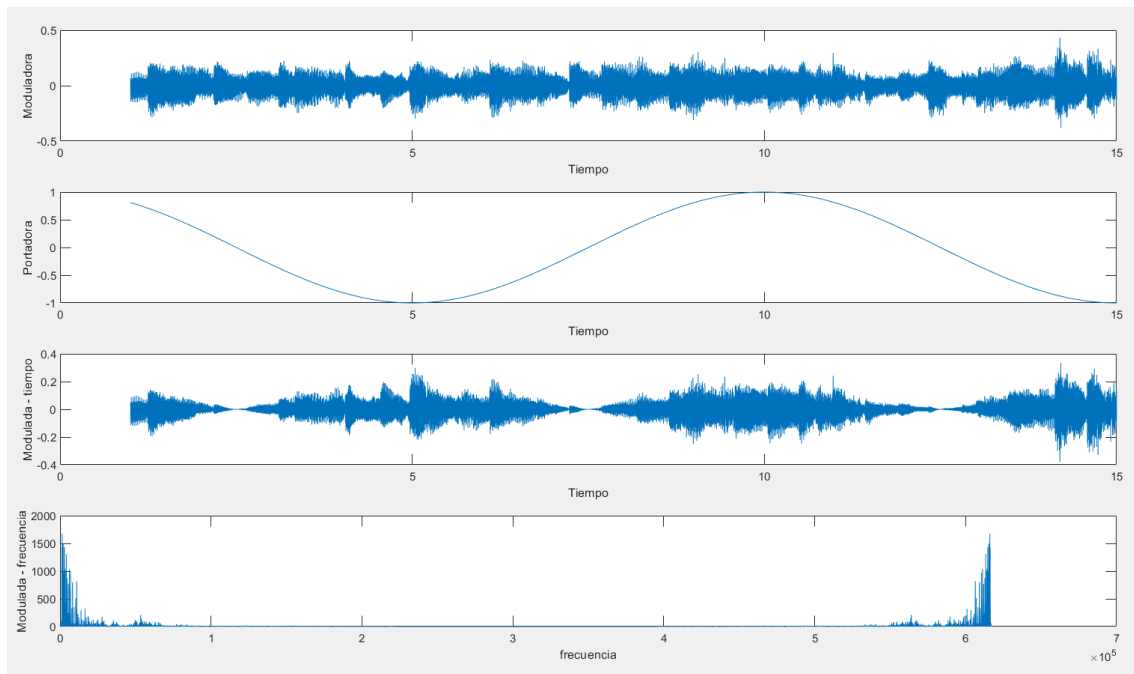


Figura 11: Modulación Am con portadora de baja frecuencia

### Modulación con portadora de alta frecuencia

Se define una nueva portadora de alta frecuencia, en este caso de 3000 Hz, y se realiza la modulación con la señal moduladora definida más arriba (Figura 12)

```
%Para portadora de alta frecuencia
fAlta = 3000;
pfa = cos(2*pi*fAlta*t1); %portadora 3000 HZ
amFa = pfa.*otraSm; %señal modulada
```

Figura 12: Modulación Am con portadora de alta frecuencia

La señal modulada resultante se observa en la figura 13.

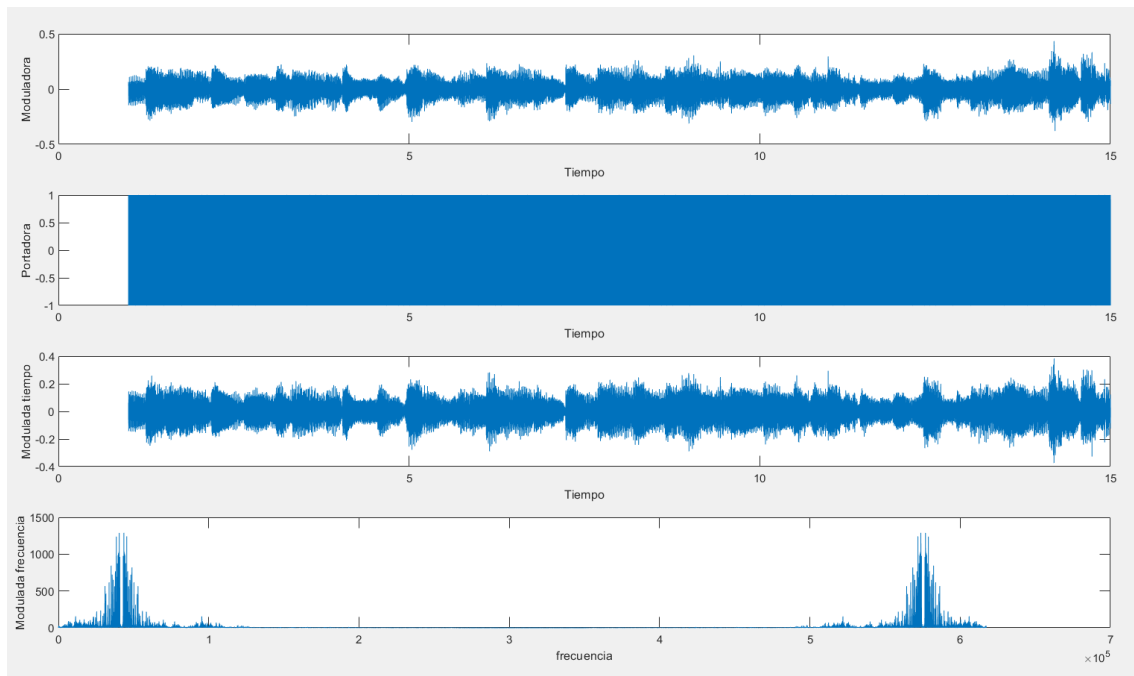


Figura 13: Señal modulada con portadora de alta frecuencia

## Receptor AM

Se divide básicamente en dos partes, que son elegir la señal de radio deseada, y después amplificarla con la frecuencia suficiente para ser recibida sin pérdidas, a estas frecuencias se las conoce como radiofrecuencia o FR.

Este informe no abarcará la amplificación de la señal pero sí la detección y demodulación de la misma.

### Detección y filtrado de la señal

La detección se basa en el fenómeno de la frecuencia de resonancia. Mediante un circuito resonante LC (inductor(L)-capacitor(C)), solo pasará aquella señal cuya frecuencia corresponda a la frecuencia de resonancia del circuito: las de baja frecuencia se van a tierra gracias al inductor L, que a bajas frecuencias se comporta como un cortocircuito; las de alta frecuencia, se van a tierra debido al condensador, que a altas frecuencias le pasa lo mismo. El resto de frecuencias, en mayor o menor medida, serán atenuadas, y solo pasará la que corresponda a la frecuencia de resonancia. Finalmente, usaremos un condensador como filtro, para que el condensador no pueda responder a la señal de alta frecuencia (la portadora), pero sí a la señal de baja frecuencia (la moduladora).

En resumen al receptor llega la señal modulada a partir de una señal portadora de una determinada frecuencia. Es esta frecuencia que será utilizada por el receptor para detectar la señal y demodularla. Para detectarla simplemente verifica que la frecuencia de la portadora entre en resonancia con una de las esperadas por el receptor (esta frecuencia esperada se consigue sintonizando previamente el circuito resonante LC mencionado en párrafo anterior), una vez detectada se recupera la señal original. Este es la manera en la que trabajan las radios para sintonizar una emisora, particularmente para las emisoras AM las portadoras están separadas por 10Khz y la banda AM esta entre los 535Khz y 1605Khz.

## Demodulación de señal

Para mostrar la demodulación de la señal se toma la señal modulada por la portadora con frecuencia de 3000HZ. Este proceso consiste en recuperar la información transportada por la señal modulada.

Se simula el proceso de demodulación mediante Matlab para ello se determina la frecuencia de resonancia en 3000hz, que es equivalente a sintonizar el circuito resonante LC. (Figura 14)

```
%Demodulación  
fc = 3000;  
fs = 44100;  
  
demodulacion = amdemod(amFa, fc, fs);
```

Figura 14: Demodulación de señal modulada por portadora con frecuencia a 3000hz

Para ver los resultado de la demodulación en la figura 15 se mostrara un fragmento de 2 segundos de la señal moduladora, la señal demodulada y la señal original.

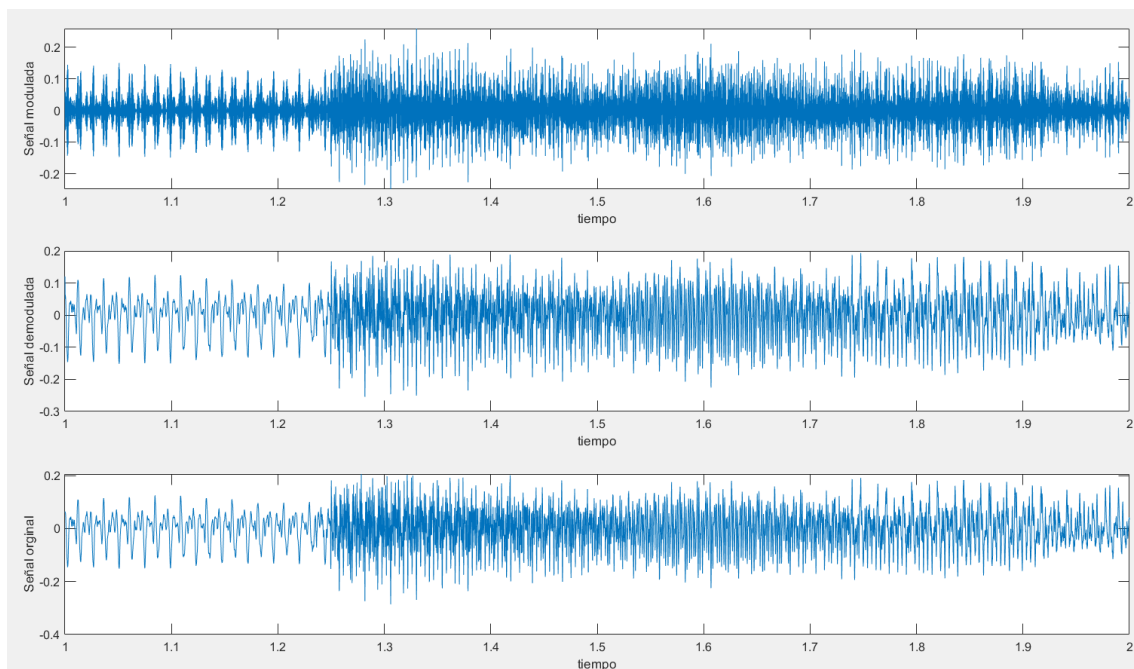
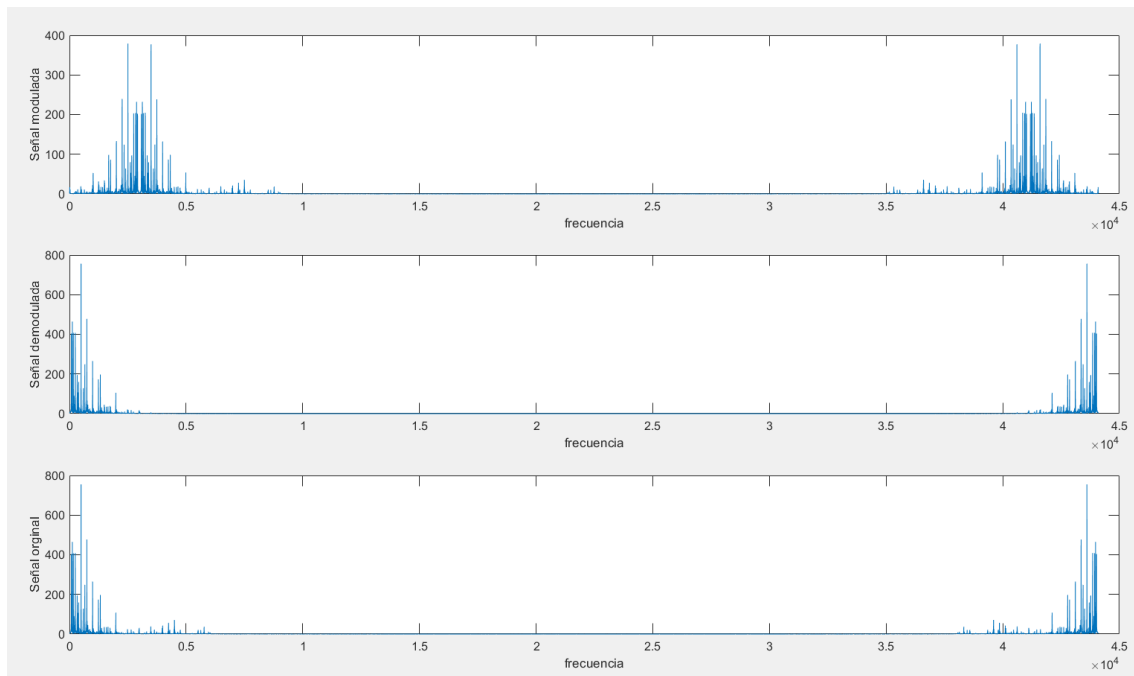


Figura 15: Resultado de demodulación

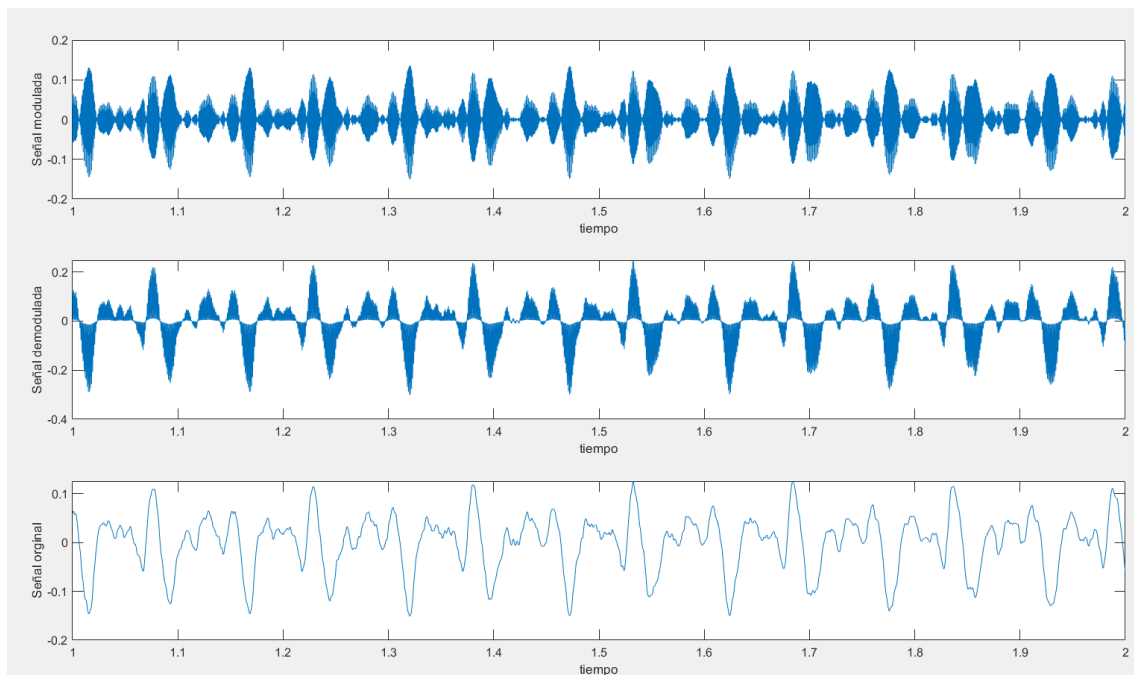
Como se observa la señal demodulada y la original son prácticamente iguales a simple vista, pero se puede detectar diferencias analizando el espectro de frecuencias que se muestra en la figura 16.



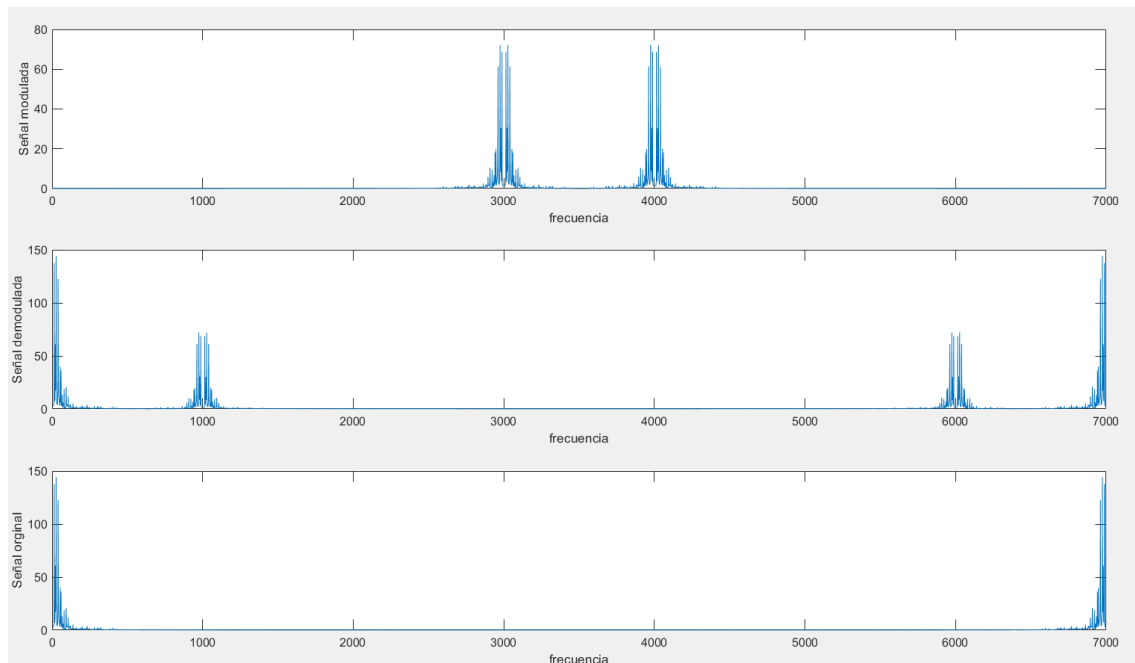
*Figura 16: Espectros de frecuencia de señales: modulada, demodulada y original*

Se puede apreciar que las frecuencias entre los 2500hz y los 6000hz se perdieron al realizar la demodulación, esto genera que el sonido no sea tan nítido como el original. Sin embargo, tomando en cuenta que luego de la demodulación es necesario una amplificación de la señal para poder ser escuchada por un parlante o audífono este error puede ser despreciable.

Cabe destacar que pudieron lograrse estos resultados tan aproximados debido a que la frecuencia de muestreo escogida, 44100 Hz, fue la adecuada. Escoger una frecuencia de muestreo mucho menor por ejemplo de 7000Hz, hubiera generado ruido, información no deseada. En la figura 17 se observa las señales en tiempo y la figura 18 se muestran las señales en frecuencia.



*Figura 17: Señales en tiempo*



*Figura 18: Señales en frecuencia*

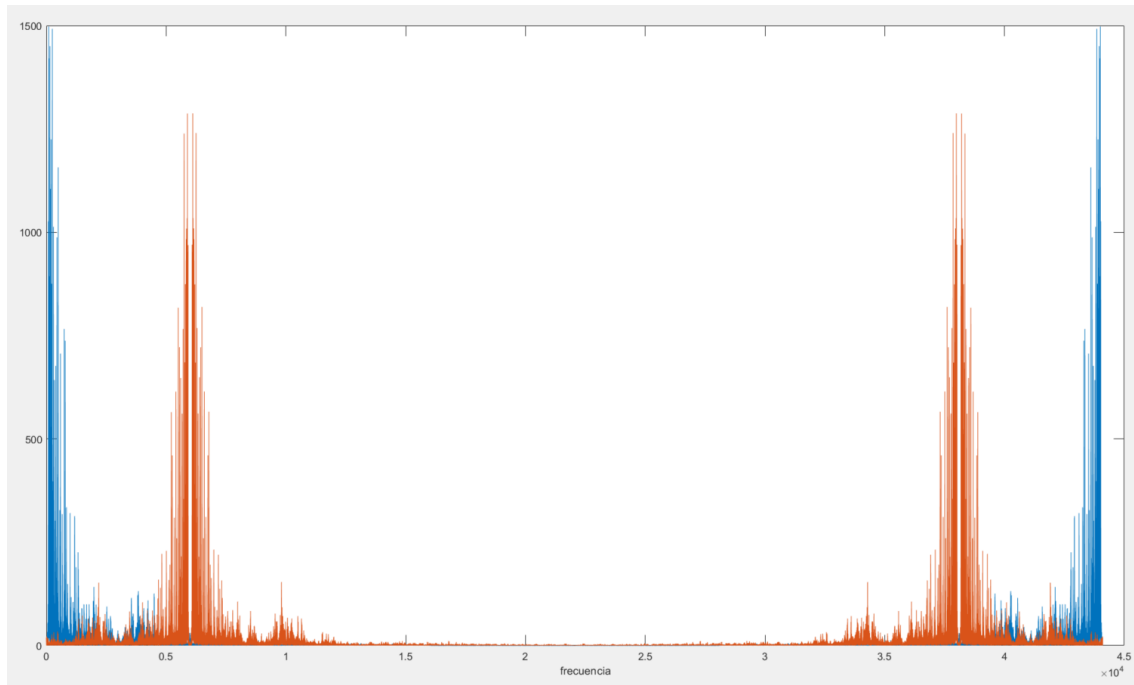
Se puede ver que la señal demodulada resulta distinta de la señal original, esto se debe a que la frecuencia de muestreo no es lo suficiente alta para realizar un buen muestreo de la señal y se evidencia con la aparición indeseada de aumentos de amplitud para las zonas cercanas a la frecuencia de los 1000Hz, que introducen ruido en la señal.

Escoger una frecuencia de muestreo apropiada es esencial para el receptor AM pues es quien se encarga de recuperar la señal original, si ésta no se encuentra correctamente muestreada puede resultar en pérdida de información o como en caso analizado con la incorporación de ruido.

## Separación de portadoras

Cuando se habla de la recepción AM, específicamente cuando se trata el tema de detección y filtrado de la señal, se mencionó que para la modulación AM las portadoras están separadas por 10Khz y la banda AM está entre los 535Khz y 1605Khz.

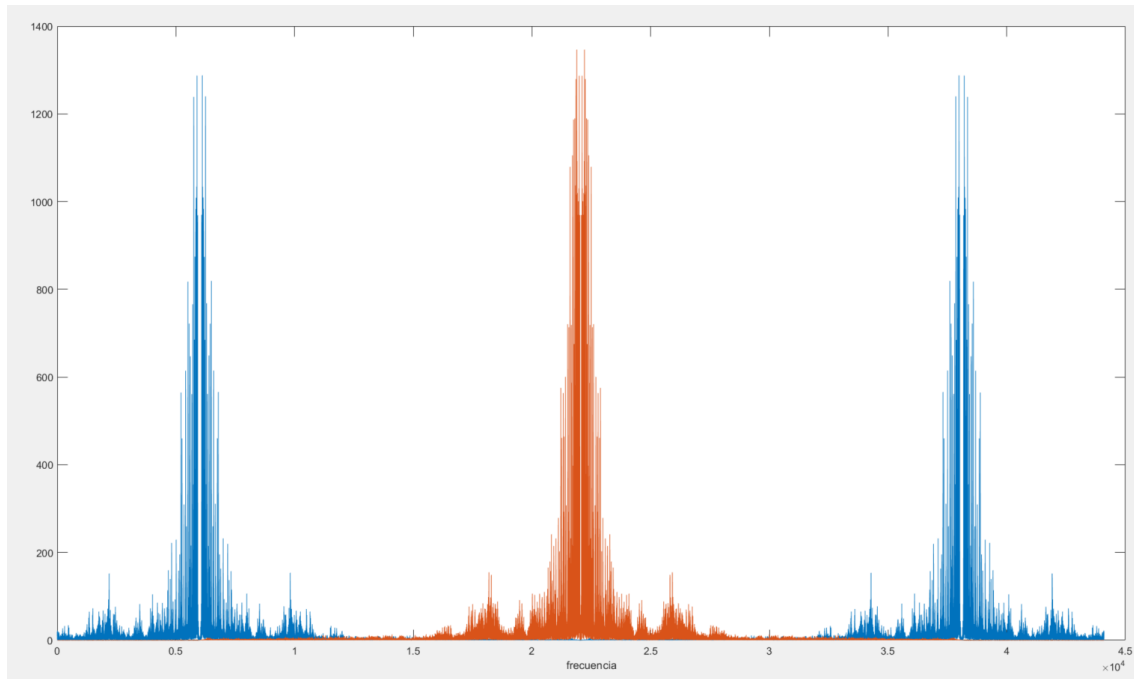
Las dos portadoras con las que se venía analizando la señal de audio (figuras 11 y 13) no se encuentran distanciadas entre sí por 10Khz. Ahora se analiza que ocurre si superponemos los espectros de frecuencia de ambas portadoras (Figura 19)



*Figura 19: Superposición de portadoras*

Como se observa ambos espectros se superponen, por lo tanto el receptor va recibir las señales con interferencia y una consecuente dificultad a la hora de demodular. Al haber interferencia la detección de la señal por parte del receptor se verá dificultada, ya que de por sí, la señal convive con otras señales que ocasionan interferencias que el receptor tiene que ir filtrando.

Para evitar estos inconvenientes durante la demodulación se propone que las portadoras estén separadas mínimamente 10Khz. De esta manera se observa que los espectros de frecuencia se encuentran separados y facilitando la demodulación. Para demostrar esto se generaron dos portadoras: una de 6000hz y otra de 22000hz. En la figura 20 se muestra la superposición de los espectros de frecuencia de ambas portadoras.



*Figura 20: Superposición de portadoras a 6khz y 22kz*

Como se había predicho ambos espectros no se superponen, desapareciendo la interferencia.

Se puede concluir que las portadoras inicialmente propuestas, con frecuencias de 0.1hz y 3000hz, no resultan acordes para ser recibidas por el receptor puesto esto dificulta la demodulación por la interferencia presente al superponerse las señales moduladas.

Un ejemplo que esta interferencia puede generar problemas es cuando la antena recibe la señal de dos emisoras de radio AM. Se debe tener en cuenta que las antenas están constantemente recibiendo señales, de todas ellas se detectan las que el recetor espera recibir filtrando las demás. La consecuencia de interferencia se traduce en una pobre sintonización de la emisora y un sonido con ruido.

## Conclusión

Dada una señal moduladora muestreada a una frecuencia de 44100Hz fue posible realizar la simulación de una modulación AM en Matlab. Para esto se usaron dos portadoras de frecuencia distintas, una de 0,1 Hz y otra de 3000 Hz. Estas portadoras sirvieron a fines didácticos para entender el compartimiento y observar que si no están separadas al menos por 10Khz, se generan interferencias que se traducen en una pobre recuperación de la señal original. Luego se presentaron dos nuevas portadoras de 6khz y 22Khz donde se verifica que sus espectros de frecuencia no presentan interferencias, comprobando que la separación de 10Khz entre las portadoras, que se propone para modulación de señales en AM, es justificada para solucionar estos inconvenientes.

Durante este proyecto se observo que, si bien en un estándar muestrear una señal de audio a 44100Hz, por el espectro de frecuencia de la figura 3 se observó que se puede muestrear la señal con una frecuencia menor de hasta 10000Hz.

Como se había previsto al muestrear la señal con una frecuencia menor a 10000Hz se observo que al realizar la demodulación no fue posible obtener la señal original, sino más bien una señal similar pero con un ruido adicional.

El receptor AM es quien recibe las señales moduladas y se encarga de realizar un proceso de detección, demodulación y amplificación de la señal recibida. Este recibe muchas señales y debe escoger la señal deseada, para esto posee un circuito resonante que se sintoniza para detectar la frecuencia de la señal que se desea capturar. Una vez sintonizado espera la señal cuya frecuencia de la portadora sea igual a la frecuencia sintonizada, es decir, haciendo uso del fenómeno de resonancia. Una vez detectada procede a recuperar la señal original, mediante la demodulación, y finalmente realiza una amplificación de la señal para que puede ser escuchada a través de un audífono o parlante.



## Bibliografía

- <https://la.mathworks.com/help/>
- <https://www.hispasonic.com/tutoriales/sintesis-27-modulacion-am-teoria-basica/39919>
- Castro Fusio, Segunda edición, 1999, Teleinformática para ingenieros en Sistemas de información, Capítulo 4.
- William Stallings, Sexta edición, 2000, Comunicaciones y redes de computadoras, Capítulo 5.