

**LABORATORIO 4:
MODULACIÓN ANÁLOGA Y DIGITAL**

**JUAN PABLO ROA CARVAJAL
DANY RUBIANO JIMÉNEZ**

Profesores: Carlos González Cortés

Ayudantes: Pablo Reyes Díaz

Maximiliano Pérez Rodríguez

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES	7
1.2 OBJETIVOS	7
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 CONCEPTO DE MODULACIÓN	9
2.2 TIPOS DE MODULACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	9
2.2.1 Cuando la señal portadora y la moduladora son señales analógicas	9
2.2.1.1 Amplitud Modulada (AM)	9
2.2.1.2 Frecuencia Modulada (FM)	9
2.2.1.3 Modulación de Fase (PM)	9
2.2.2 Cuando la señal portadora es analógica y la señal moduladora es digital	10
2.2.2.4 Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK)	10
2.2.2.5 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)	10
2.2.2.6 Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)	10
2.2.3 Cuando la señal portadora es digital y la señal moduladora es analógica	10
2.2.3.7 Modulación por amplitud de pulsos (PAM)	10
2.2.3.8 Modulación por codificación de pulsos (PCM)	11
2.2.3.9 Modulación Delta (DM)	11
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA	13
3.1 MODULACIÓN AM GENERAL	13
3.2 MODULACIÓN AM EN PORCENTAJES	14
3.3 MODULACIÓN FM GENERAL	15
3.4 MODULACIÓN FM EN PORCENTAJES	16

3.5	ESPECTROGRAMAS GENERALES	17
3.6	ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN AM	18
3.7	ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN FM	19
3.8	DEMODULACION AM	20
3.9	MODULACIÓN DIGITAL Y SU RESPECTIVA DEMODULACION: ASK	21
3.10	MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN CON NIVELES DE RUIDO	23
CAPÍTULO 4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	29
4.1	MODULACIÓN AM GENERAL	29
4.2	MODULACIÓN AM EN PORCENTAJES	29
4.3	MODULACIÓN FM GENERAL	29
4.4	MODULACIÓN FM EN PORCENTAJES	29
4.5	ESPECTROGRAMAS GENERALES	29
4.6	ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN AM Y FM	29
4.7	DEMODULACION AM	30
4.8	MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN ASK	30
4.9	MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN ASK CON NIVELES DE RUIDO	30
4.10	PREGUNTAS: PARTE 1	30
4.10.1	¿Cuáles son los principales usos para la modulación AM? ¿Por qué?	30
4.10.2	¿Cuáles son los principales usos para la modulación FM? ¿Por qué?	31
4.10.3	¿Cuáles son los problemas de una sobremodulación? ¿Por qué no modular siempre en un 100 ?	31
4.11	PREGUNTAS: PARTE 2	31
4.11.1	¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la modulación digital?	31
4.11.2	¿Cuáles son los principales usos para la modulación digital?	32
4.11.3	¿Cuáles son los principales problemas de la modulación digital?	32
CAPÍTULO 5.	CONCLUSIONES	33
CAPÍTULO 6.	ANEXO 1.....	35
CAPÍTULO 7.	ANEXO 2.....	43
CAPÍTULO 8.	BIBLIOGRAFÍA.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Modulación	9
Figura 3-1: Gráficos de la señal original, señal portadora (carrier) correspondiente a la modulación por amplitud y la señal modulada resultante respectivamente	14
Figura 3-2: Gráficos resultantes de la modulación por amplitud a un 15 %, 100 % y 125 % respectivamente	15
Figura 3-3: Gráficos de la señal original, señal portadora (carrier) para modulación por frecuencia y la señal modulada resultante respectivamente	16
Figura 3-4: Gráficos resultantes de la modulación por frecuencia a un 15 %, 100 % y 125 % respectivamente	17
Figura 3-5: Espectrograma de la señal original, su modulación AM y FM en forma respectiva . . .	18
Figura 3-6: Espectrograma a diferentes porcentajes de modulación AM	19
Figura 3-7: Espectrograma a diferentes porcentajes de modulación FM	20
Figura 3-8: Señal obtenida luego de la demodulación AM	21
Figura 3-9: Señal digital ASK, su respectiva modulación y demodulación	22
Figura 3-10: Modulación y ruido con SNR 1/50	23
Figura 3-11: Modulación y ruido con SNR 1/10	24
Figura 3-12: Modulación y ruido con SNR 1/5	25
Figura 3-13: Modulación y ruido con SNR 1/2	26
Figura 3-14: Modulación y ruido con SNR 1	27
Figura 3-15: SNR vs Probabilidad de Error	28

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 3.1: Tasa de Error para cada Modulación con ruido a diferentes valores de SNR	27
---	----

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES

Las señales de información tal como se ha visto en el desarrollo de las experiencias anteriores, deben ser transportadas entre un transmisor y un receptor sobre algún medio de transmisión. Sin embargo, estas señales pocas veces encuentran una forma adecuada para la transmisión. El procesamiento de señales en la transmisión de información juega un papel muy importante en el área de las telecomunicaciones.

El objetivo de la modulación es el de adaptar la señal que se va a transmitir al canal de comunicaciones que hay entre la fuente y el destinatario. Para llevar a cabo estos procesos se necesita modular la señal (con lo que se denomina modulador) para luego ser enviada. El receptor luego de recibir la señal debe demodularla (con un demodulador) para que de esta manera sea posible obtener la señal original.

1.2 OBJETIVOS

Esta experiencia tiene como objetivo ahondar en los conceptos de modulación análoga y digital, para la transmisión de señales por un canal de comunicación y por sobre todo la importancia de éstas en el ámbito de las telecomunicaciones.

1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

El presente documento distribuye su contenido de la siguiente forma: En primer lugar se encuentra un marco teórico en el que se mencionan los conceptos necesarios para entender el desarrollo de la respectiva experiencia, posteriormente se da lugar a un capítulo dedicado al desarrollo de la experiencia en donde se describe el uso de las herramientas pedidas, luego se expone el análisis de los resultados obtenidos, y en última instancia se dan las conclusiones respectivas al desarrollo de la experiencia.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 CONCEPTO DE MODULACIÓN

La modulación consiste en variar determinado aspecto de una señal denominada portadora con respecto a una segunda señal denominada señal moduladora, generando finalmente una “señal u onda modulada”. En el proceso de modulación, la señal de alta frecuencia (portadora) quedará modificada en alguno de sus parámetros como su amplitud, frecuencia, fase, etc. De manera proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia o moduladora. (*EcuRed, s.f.-c*).

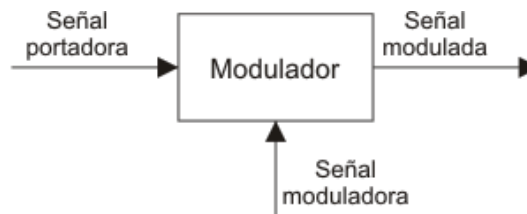


Figura 2-1: Modulación

2.2 TIPOS DE MODULACIÓN SEGÚN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

2.2.1 Cuando la señal portadora y la moduladora son señales analógicas

2.2.1.1 Amplitud Modulada (AM)

En la modulación de amplitud la característica sometida a variación es la amplitud de la onda. Por tanto esta se define como el proceso mediante el cual se varía la amplitud de la onda portadora de radiofrecuencia (RF) en función de la variación de la amplitud de la señal de audiofrecuencia (AF). (*EcuRed, s.f.-a*).

2.2.1.2 Frecuencia Modulada (FM)

Se refiere a la forma de transmitir Información a través de una Onda portadora variando su frecuencia. En este tipo de modulación la variación se produce en los saltos de frecuencias. Las características principales de la frecuencia modulada son: Su modulación y su propagación por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de VHF, en ella se crean bandas laterales cuya extensión dependerá de la amplitud de la onda moduladora, estas bandas laterales hacen que el ancho de banda que se utiliza en esta modulación es más grande que el tradicional de la onda media. (*EcuRed, s.f.-f*).

2.2.1.3 Modulación de Fase (PM)

Es un proceso donde el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a señal moduladora es la fase, manteniendo la frecuencia y la amplitud constante, es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia. Se utiliza ampliamente en la radiodifusión comercial, transmisión de sonido de televisión, radio móvil de dos sentidos, radio celular y los sistemas de comunicaciones por microondas y satélite. (*EcuRed, s.f.-e*).

2.2.2 Cuando la señal portadora es analógica y la señal moduladora es digital

2.2.2.4 Modulación por Desplazamiento de Amplitud (ASK)

Es una modulación de amplitud donde la señal moduladora (datos) es digital. Los dos valores binarios (0 y 1) se representan con dos amplitudes diferentes y es usual que una de las dos amplitudes sea cero; es decir uno de los dígitos binarios se representa mediante la presencia de la portadora a amplitud constante, y el otro dígito se representa mediante la ausencia de la señal portadora, en este caso la frecuencia y la fase se mantiene constante.

La modulación en ASK no es otra cosa que una variante de la modulación en AM que se adapta perfectamente a las condiciones de los sistemas digitales, además de que les permite trabajar sobre una sola frecuencia de transmisión en vez de tener que lidiar con pulsos cuadrados que contienen componentes en todas las frecuencias del espectro.

Su recuperación también resulta ser más sencilla, dado que sólo depende de sincronizar la frecuencia de las señales sinusoidales que sirven de portadoras y regeneradoras dependiendo si se hallan en el modulador o el demodulador.

El ASK por sí sólo, a pesar de todas estas consideraciones, no es uno de los métodos más utilizados debido a que para cada frecuencia es necesario realizar un circuito independiente, además de que sólo puede transmitirse un solo bit al mismo tiempo en una determinada frecuencia. Otro de los inconvenientes es que los múltiplos de una frecuencia fundamental son inutilizables y que este tipo de sistemas son susceptibles al ruido. (*EcuRed, s.f.-d*).

2.2.2.5 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)

Es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados. En los sistemas de modulación por salto de frecuencia. La señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que la señal modulada resultante codifica la información asociándola a valores de frecuencia diferentes. (*EcuRed, s.f.-b*).

2.2.2.6 Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)

Es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional (PM) es que mientras en ésta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado. (*EcuRed, s.f.-j*).

2.2.3 Cuando la señal portadora es digital y la señal moduladora es analógica

2.2.3.7 Modulación por amplitud de pulsos (PAM)

Es la más sencilla de las modulaciones digitales. Consiste en cambiar la amplitud de una señal, de frecuencia fija, en función del símbolo a transmitir.

En la modulación por amplitud de pulsos, la señal no necesariamente es de dos niveles, sino que el nivel de la señal puede tener cualquier valor real, si bien la señal es discreta, en el sentido de que se presenta a intervalos definidos de tiempo, con amplitudes, frecuencias, o anchos de pulso variables. (*EcuRed, s.f.-h*).

2.2.3.8 Modulación por codificación de pulsos (PCM)

Este tipo de modulación, sin duda la más utilizada de todas las modulaciones de pulsos es, básicamente, el método de conversión de señales analógicas a digitales, PCM siempre conlleva modulación previa de amplitud de pulsos.

En algunos lugares se usa el término: MIC = Modulación por impulsos codificados, aunque es de uso común, el término es incorrecto, pulso e impulso son conceptos diferentes, al igual que codificación de pulsos y pulsos codificados. (*EcuRed, s.f.-i*).

2.2.3.9 Modulación Delta (DM)

Aparece en los años 40 para aplicaciones en telefonía, otro nombre actual que recibe es Modulación de anchura de pulso (PWM). Es una técnica en la cual la derivada de la señal de entrada es cuantificada.

La Modulación delta compara la señal de entrada con una sucesión de pulsos de amplitud, los cuales son crecientes mientras la amplitud se encuentra por debajo de la amplitud de la señal de entrada y es decreciente cuando la amplitud de los pulsos de muestreo supera la amplitud de la señal de entrada, es decir, el modulador delta modula la diferencia en amplitud de la señal de entrada en lugar de la señal de entrada en sí misma. (*EcuRed, s.f.-g*).

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

En el presente capítulo se presentan mediante gráficos los resultados obtenidos del desarrollo de la respectiva experiencia.

3.1 MODULACIÓN AM GENERAL

Dado el audio entregado en base a la importación realizada con la función 'read' de Scipy, se obtiene un arreglo que contiene toda la información en lo respectivo a la señal que este proporciona. Se toma entonces, el audio leído como la señal moduladora, observando que el ancho de banda ocupado por la señal es de $4KHz$ y con una tasa de muestreo de $8160mps$ (muestras por segundo)

En cuanto a la señal portadora, para este tipo de modulación se toma una función sinusoidal. Idealmente para una frecuencia de moduladora de 4 kHz se establece una frecuencia de portadora de 100 kHz , con una tasa de muestreo de 200000 mps , tomando en cuenta que al tomar un ancho de banda 25 veces mayor que la moduladora, entonces la tasa de muestreo también debe ser de esta manera.

A partir de estas dos señales, se obtiene una multiplicación de ambas para lograr su modulación, no sin antes interpolar la moduladora para remuestrear esta señal con la misma tasa de muestreo que la señal portadora. De esta forma se sigue que:

$$y_{am}(t) = (x(t) + C)\cos(w_c t)$$

A continuación se exponen los resultados de graficar la señal original, la señal portadora creada y la señal modulada resultante.

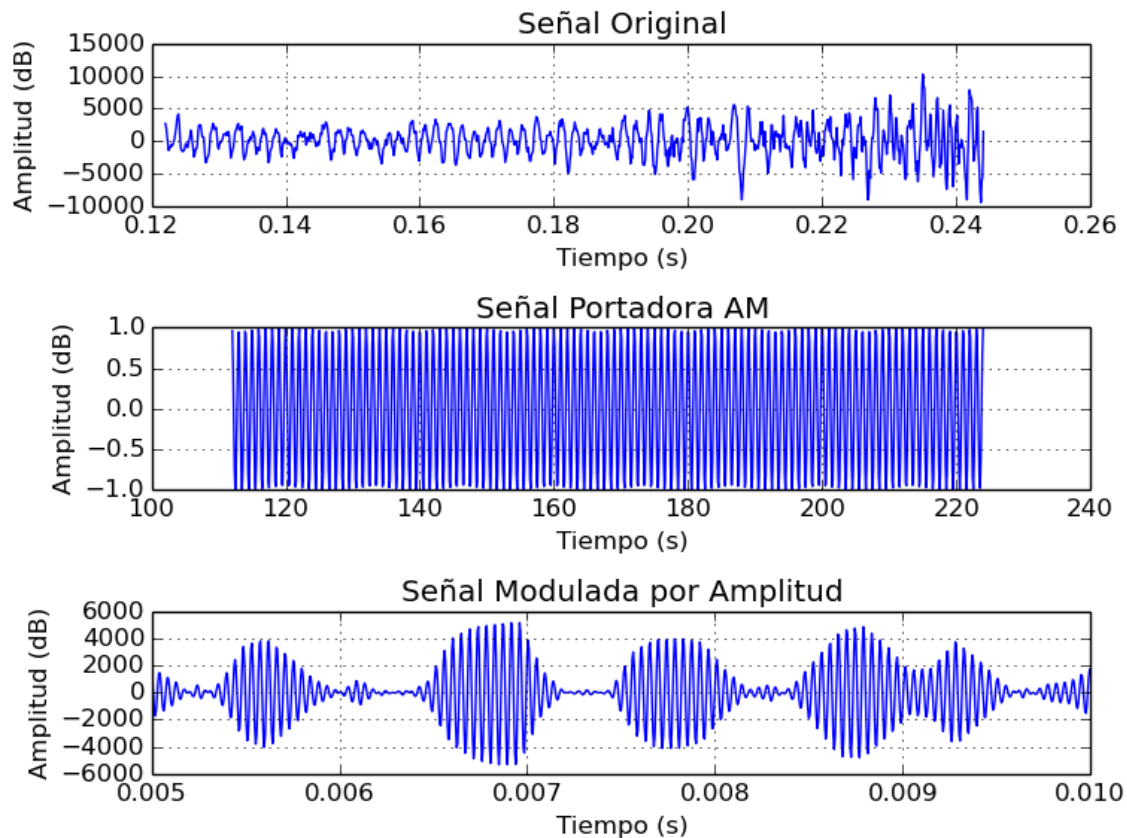


Figura 3-1: Gráficos de la señal original, señal portadora (carrier) correspondiente a la modulación por amplitud y la señal modulada resultante respectivamente

Como se puede apreciar en la imagen anterior las señales de interés se encuentran en el dominio del tiempo y su amplitud. Se debe hacer notar, tal como se dijo anteriormente, que para el desarrollo de la experiencia se tuvo que interpolar la señal original para tener una cantidad de puntos de muestras suficientes para llevar a cabo la modulación. Lo ultimo mencionado fue necesario para realizar toda la experiencia pero solo se mencionara una vez para evitar información redundante a futuro. En el caso de la imagen anterior solo es mostrada una fracción de las señales para efectos gráficos, ya que de otra manera no es posible distinguir la información de interés.

3.2 MODULACIÓN AM EN PORCENTAJES

El porcentaje de modulación muestra el cambio de porcentaje en la amplitud de la onda ya modulada cuando está actuando sobre la portadora por la señal de audio.

Tal como se solicita en el enunciado se presenta la modulación por amplitud a un 15 %, 100 % y 125 % en forma respectiva.

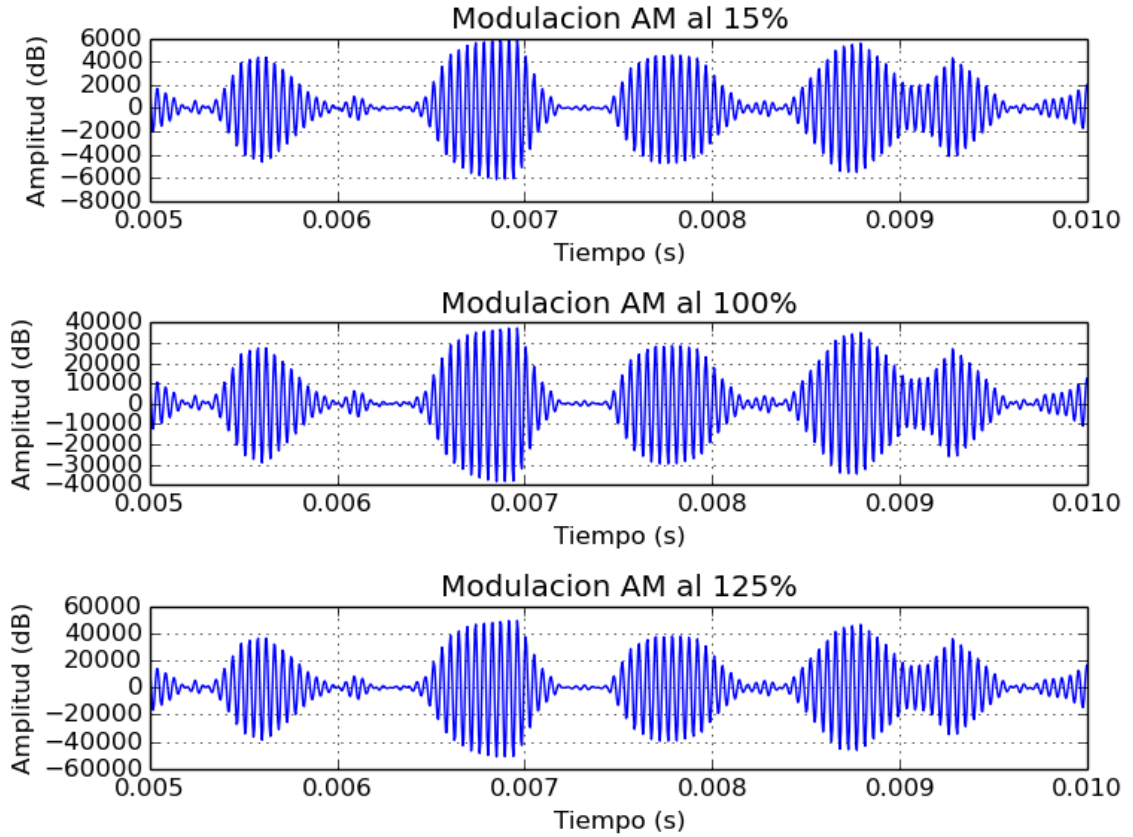


Figura 3-2: Gráficos resultantes de la modulación por amplitud a un 15 %, 100 % y 125 % respectivamente

Se hace notar que al igual que el caso anterior solo se exponen fracciones de las señales obtenidas para presentar al lector de mejor manera la información resultante.

3.3 MODULACIÓN FM GENERAL

En este caso, la señal portadora se establece con un ancho de banda de 200 KHz y por lo tanto una tasa de muestreo establecida de 400000 mps, de forma que se obtenga una mejor modulación. El siguiente paso, es aplicar el procedimiento necesario para la construcción de esta modulación en donde:

$$y_{fm}(t) = \cos(w_c t + k_f \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau)$$

La imagen presentada a continuación, muestra los resultados de graficar la señal original, la señal portadora correspondiente a la modulación por frecuencia y el resultado de la modulación respectivamente.

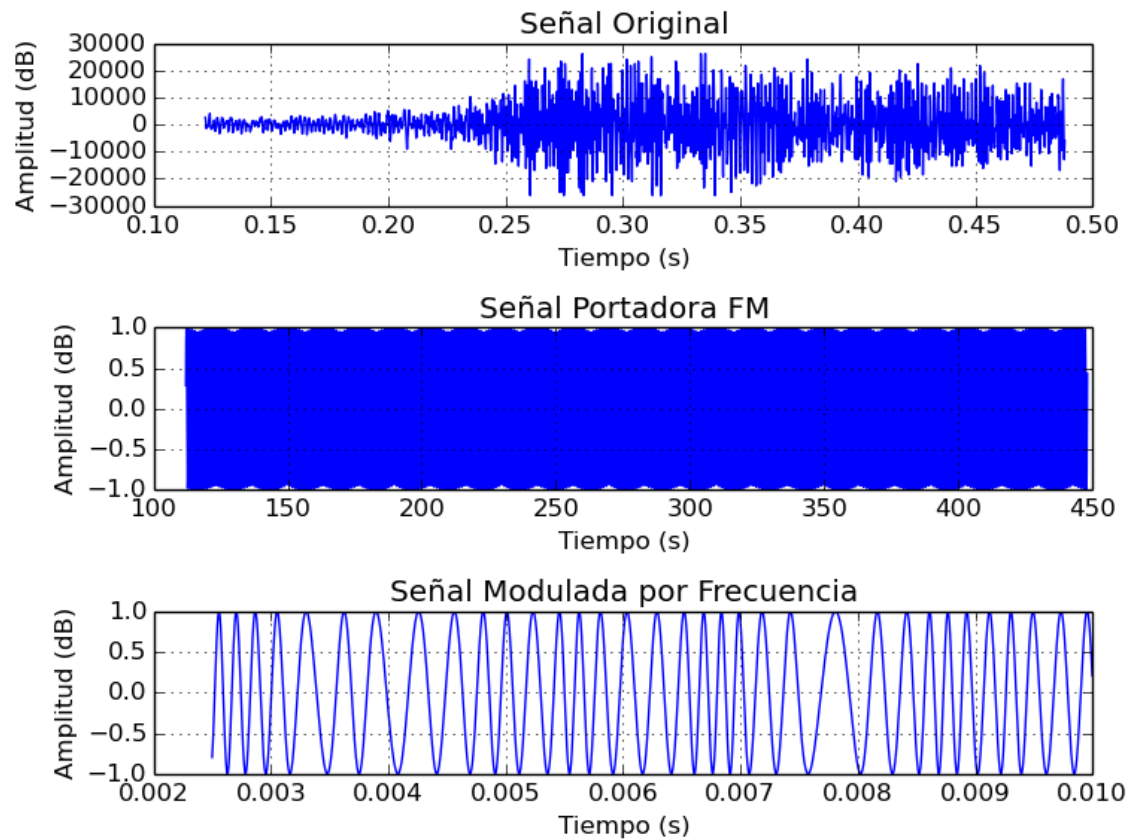


Figura 3-3: Gráficos de la señal original, señal portadora (carrier) para modulación por frecuencia y la señal modulada resultante respectivamente

3.4 MODULACIÓN FM EN PORCENTAJES

Al igual como su análoga AM se muestran los resultados obtenidos al realizar una modulación al 15 %, 100 % y 125 % pero en este caso para una modulación por frecuencia.

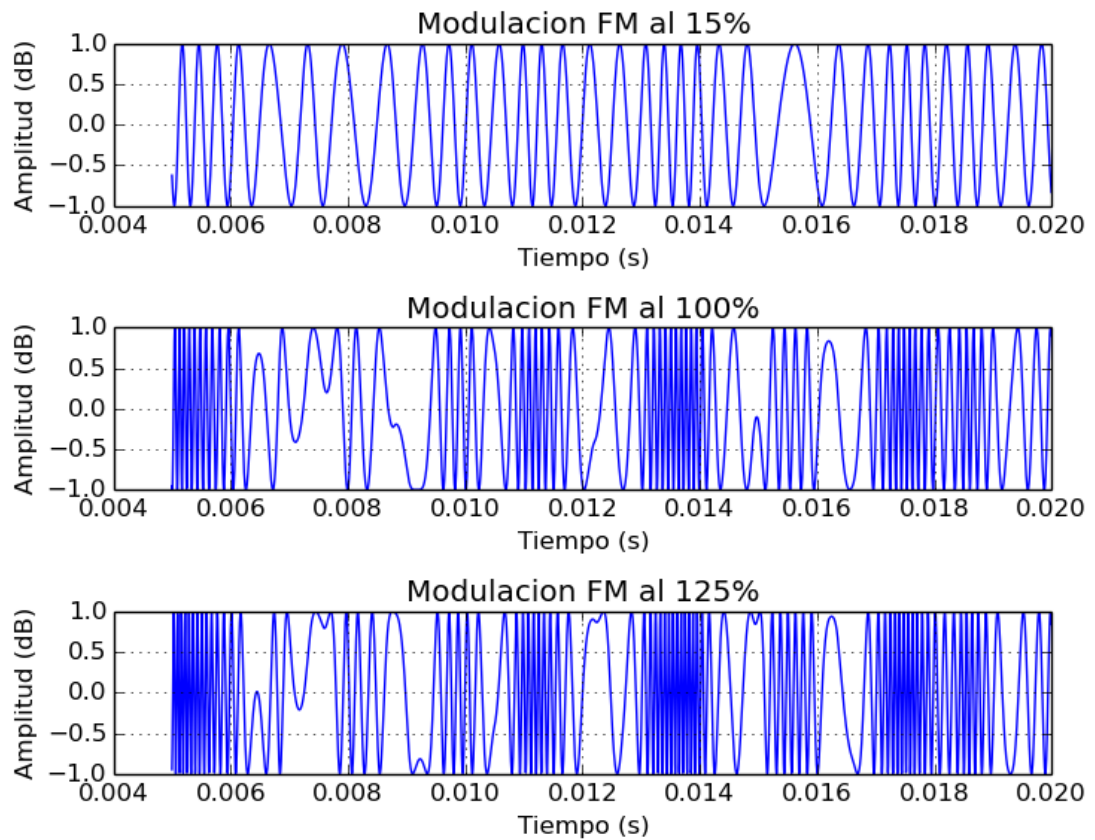


Figura 3-4: Gráficos resultantes de la modulación por frecuencia a un 15 %, 100 % y 125 % respectivamente

3.5 ESPECTROGRAMAS GENERALES

Se ha solicitado presentar los espectros de frecuencia tanto para la señal original como para las distintas modulaciones realizadas durante el desarrollo. Es por lo ultimo mencionado que se utilizan los denominados espectrogramas que fueron de utilidad en experiencias anteriores. A continuación se presentan los espectrogramas resultantes de la señal original, la modulación por amplitud y la modulación por frecuencia en forma respectiva.

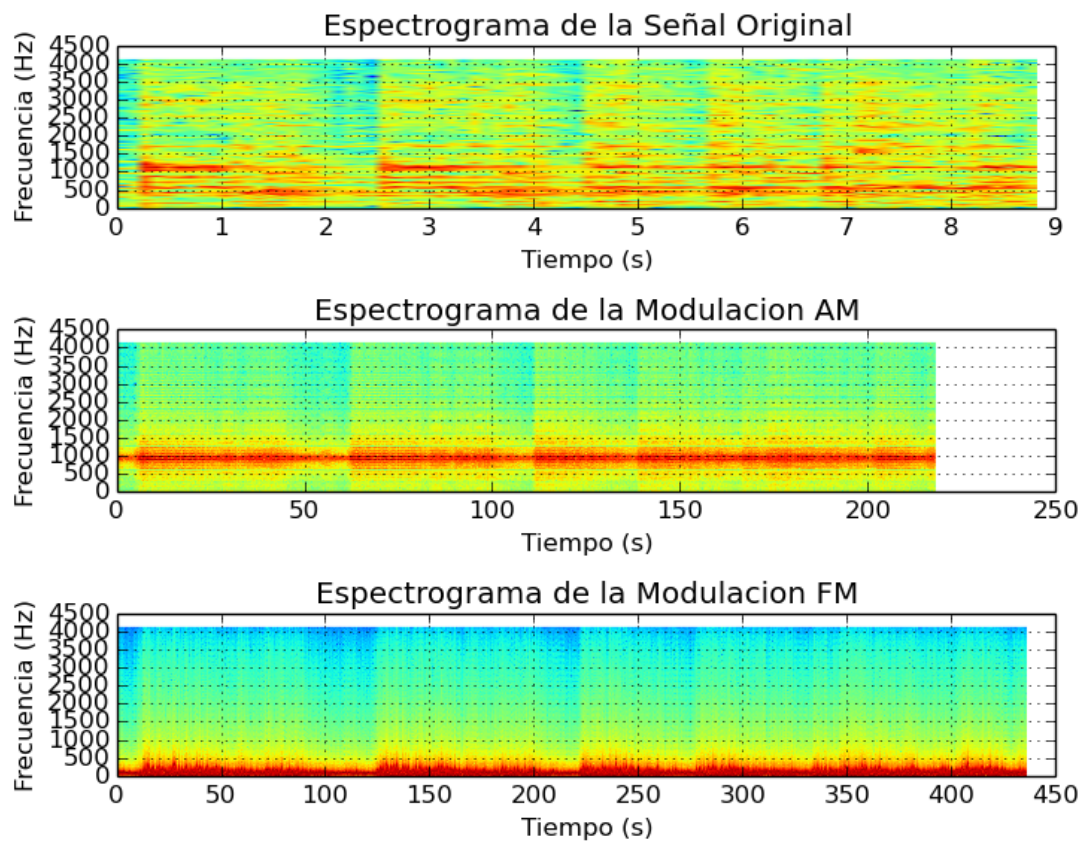


Figura 3-5: Espectrograma de la señal original, su modulación AM y FM en forma respectiva

3.6 ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN AM

Tal como se menciona anteriormente a continuación se presentan los espectrogramas resultantes de la modulación por amplitud en los porcentajes de interés.

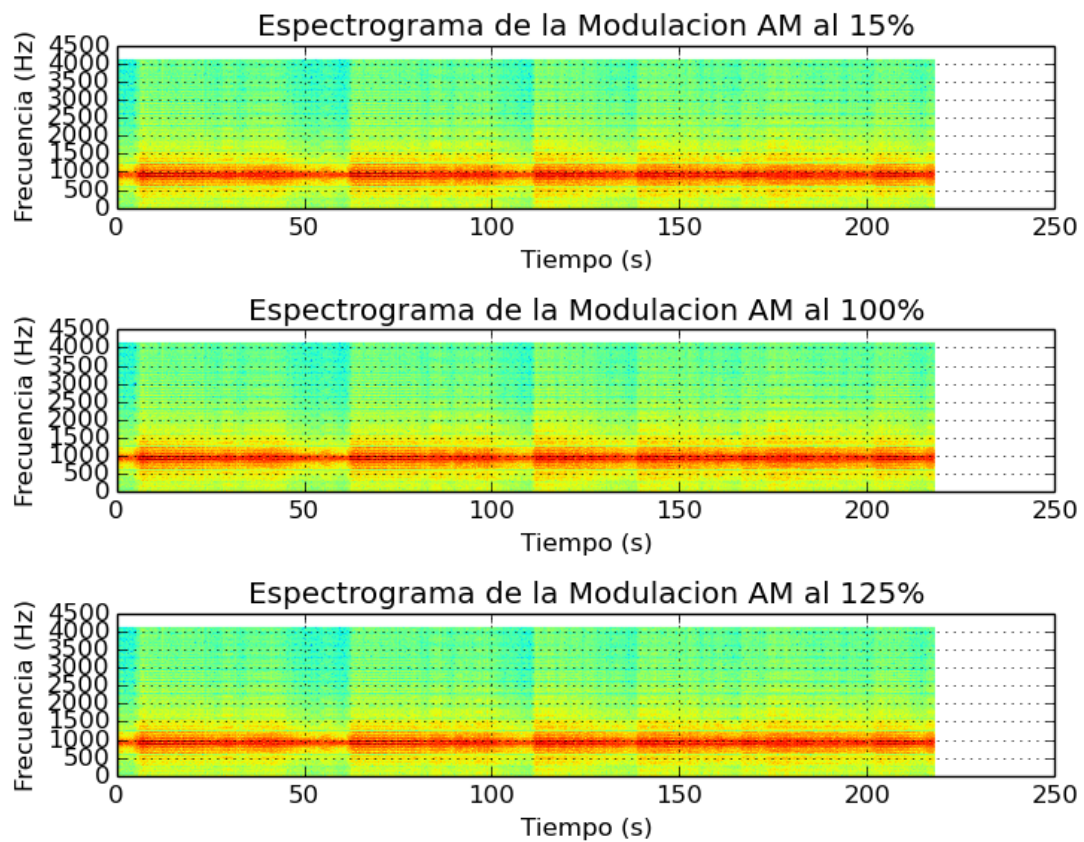


Figura 3-6: Espectrograma a diferentes porcentajes de modulación AM

3.7 ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN FM

En el siguiente caso se presentan los espectrogramas resultantes de la modulación por frecuencia en diferentes porcentajes de interés.

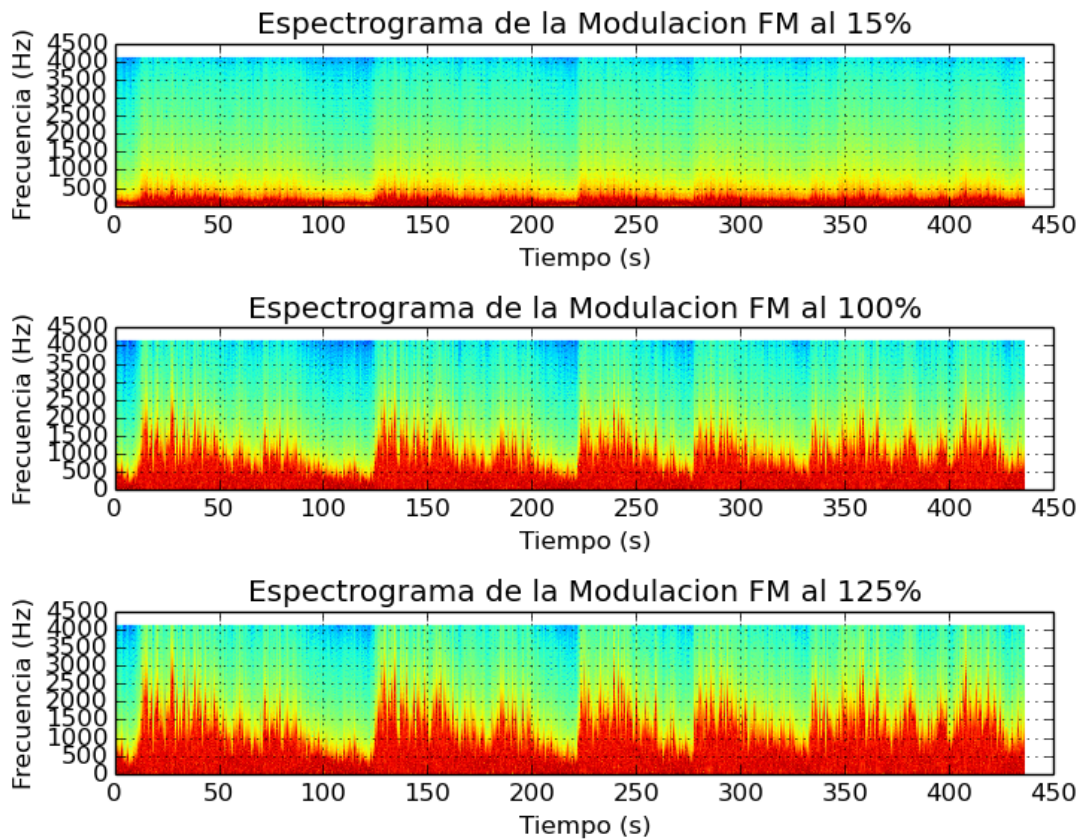


Figura 3-7: Espectrograma a diferentes porcentajes de modulación FM

3.8 DEMODULACION AM

En el enunciado del trabajo fue solicitado implementar un demodulador por amplitud o por frecuencia. La elección fue realizar un demodular por amplitud. Para ello fue necesario se recomendó y realizó una transformada de Fourier a la señal demodulada y seguido aplicar un filtro paso bajo. El resultado obtenido de estas operaciones es el que es posible apreciar en la siguiente imagen.

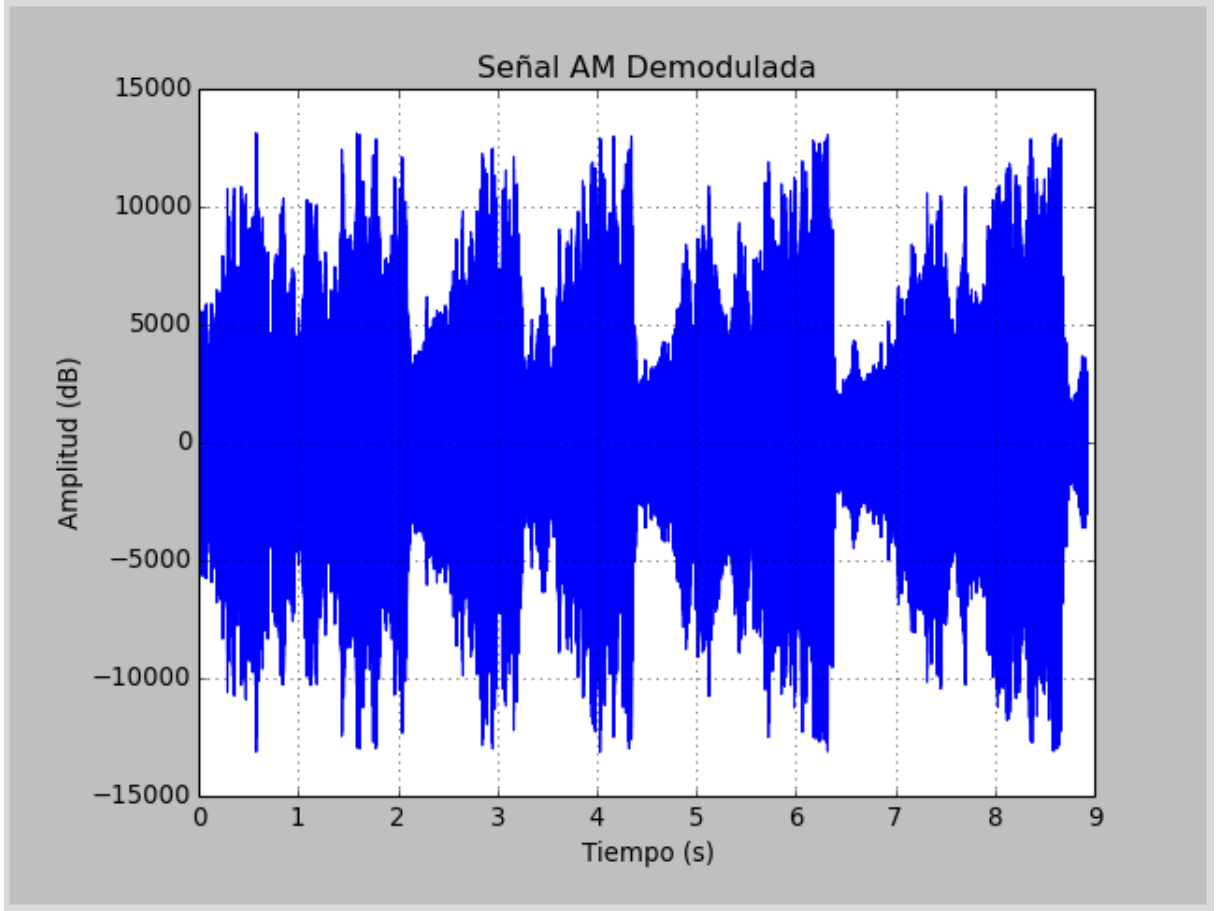


Figura 3-8: Señal obtenida luego de la demodulación AM

3.9 MODULACIÓN DIGITAL Y SU RESPECTIVA DEMODULACION: ASK

Tal como se menciona en el marco teórico, la modulación ASK es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora en función de los datos a enviar, por lo tanto, se tiene presente una señal digital como moduladora, y como portadora se tiene una señal analógica de tipo coseno. Como resultado, se tiene una señal que se conmuta entre dos valores de amplitud en respuesta al código de la señal digitalizada. Lo anterior se ilustra en la siguiente expresión:

$$\phi(t) = \begin{cases} A \cos(w_c t) & \text{si } 0 < t_1 \leq T \\ B \sin(w_c t) & \text{si } t_2 = t_1 - T \end{cases}$$

Para la realización de esta experiencia se toma a A como 1 representando la amplitud de la señal portadora cuando la información procedente es un uno lógico, y a B como 0, para el caso de que la información sea un cero lógico. Pero antes de este procedimiento, se tiene que digitalizar la señal de audio dada, para ello, por cada elemento en el arreglo del audio obtenido se establece su binarización en base 2, tomando

en cuenta la cantidad de bits necesarios para representar el elemento de máximo valor y añadiéndole un bit para su respectivo signo, de forma que todos los elementos este representados con la misma cantidad de bits. Una vez hecho esto, se toma cada bit por separado obteniendo así la información binaria de la información. Ahora, para tener la señal digital completa, para cada bit obtenido se hace una replicación de este de tal forma que se puedan representar como si fuesen pulsos cuadrados.

Con la señal ya digitalizada, se establece el proceso de modulación en donde por cada bit según sea su información (0 ó 1) se multiplica por la portadora con su respectiva amplitud.

Para el caso de la demodulación, cada elemento modulado se multiplica por una señal portadora de tipo coseno y se obtiene la integral mediante el algoritmo de los trapezoides. Para extraer los datos de la señal modulada ASK esta se muestrea, detectando cambios en la amplitud, donde la oscilación se interpreta como un uno lógico y la ausencia de señal se asocia con un cero lógico.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de la modulación y demodulación ASK.

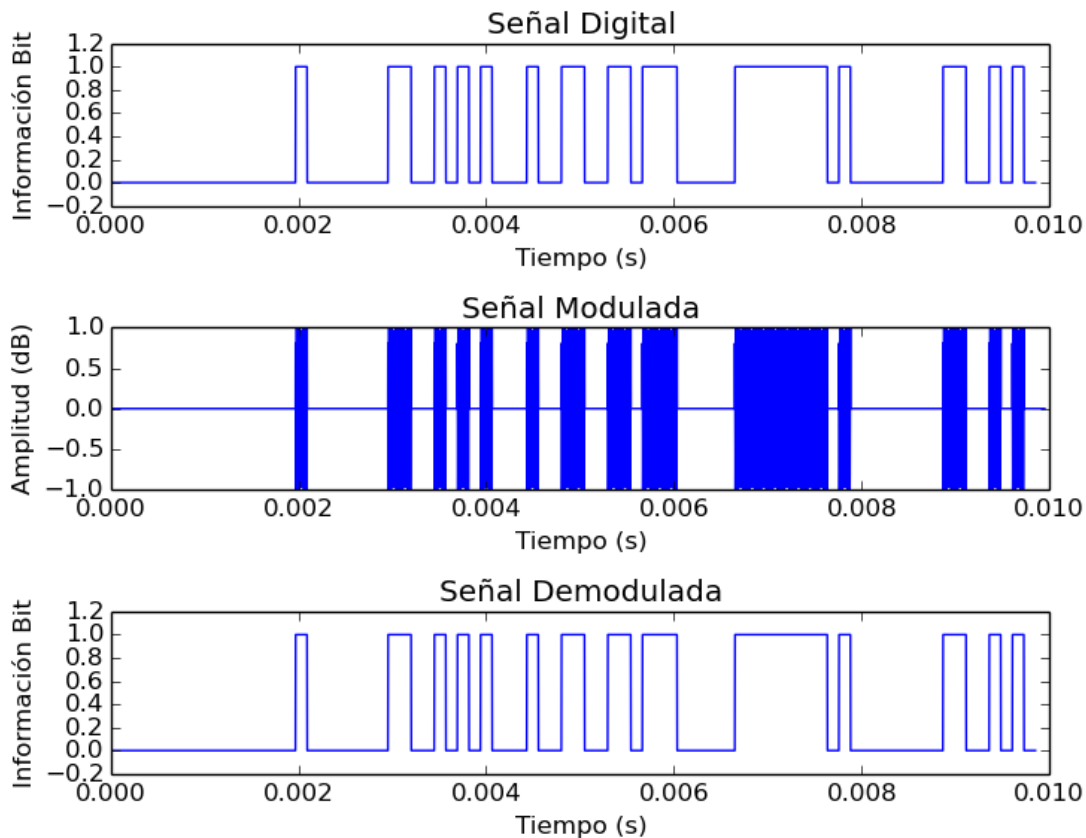


Figura 3-9: Señal digital ASK, su respectiva modulación y demodulación

3.10 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN CON NIVELES DE RUIDO

Se ha solicitado para el desarrollo de la experiencia preciar los efectos de agregar diferentes niveles de ruido utilizando la razón SNR a través de un canal con ruido Gaussiano AWGN.

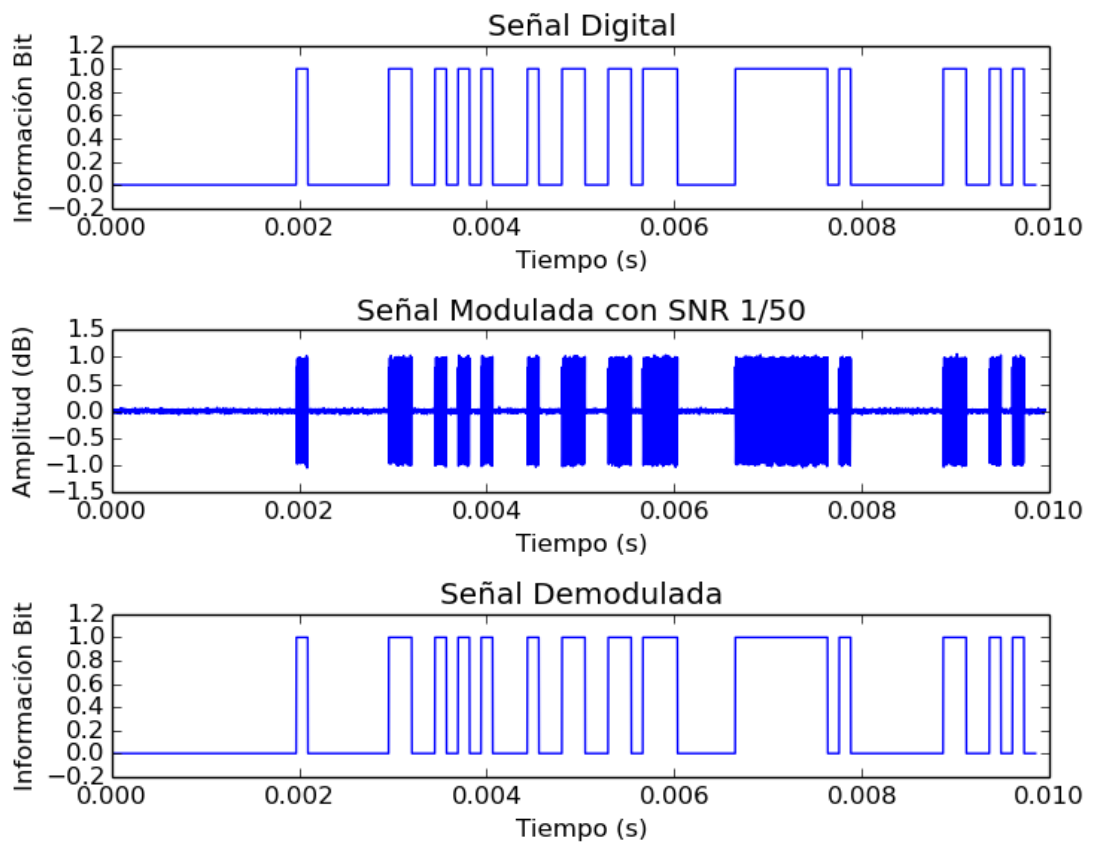


Figura 3-10: Modulación y ruido con SNR 1/50

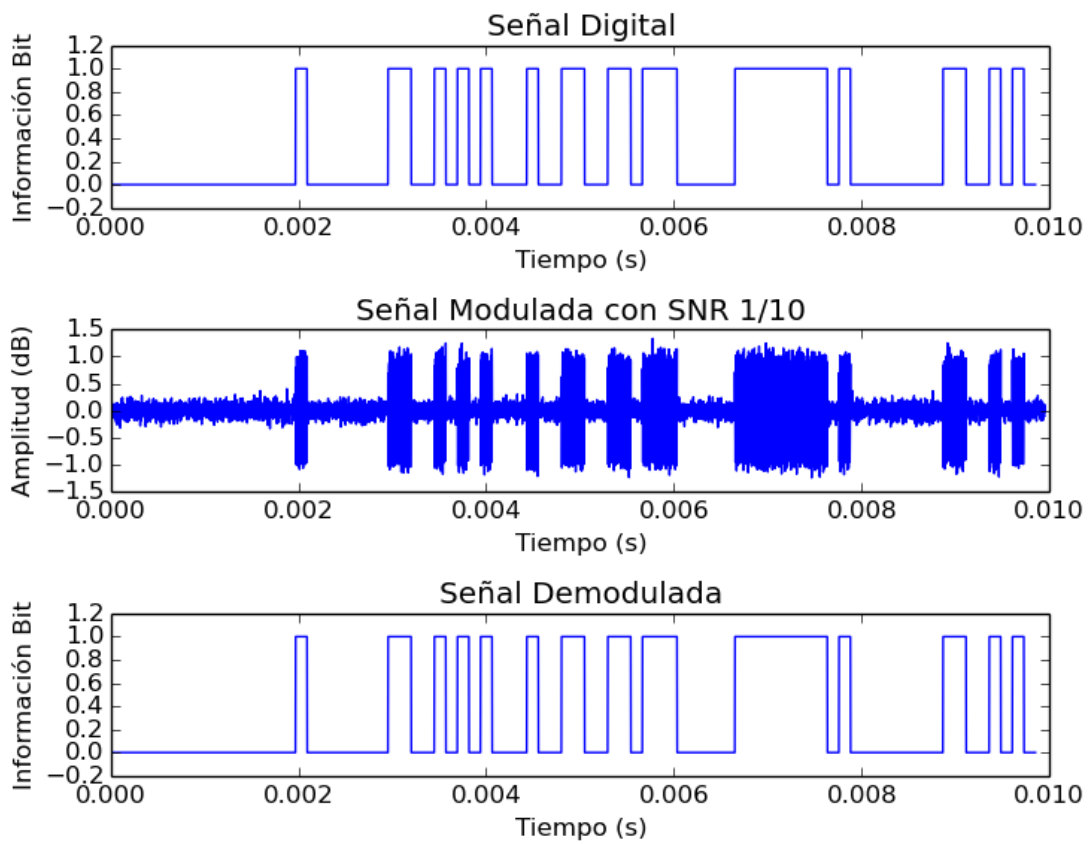


Figura 3-11: Modulación y ruido con SNR 1/10

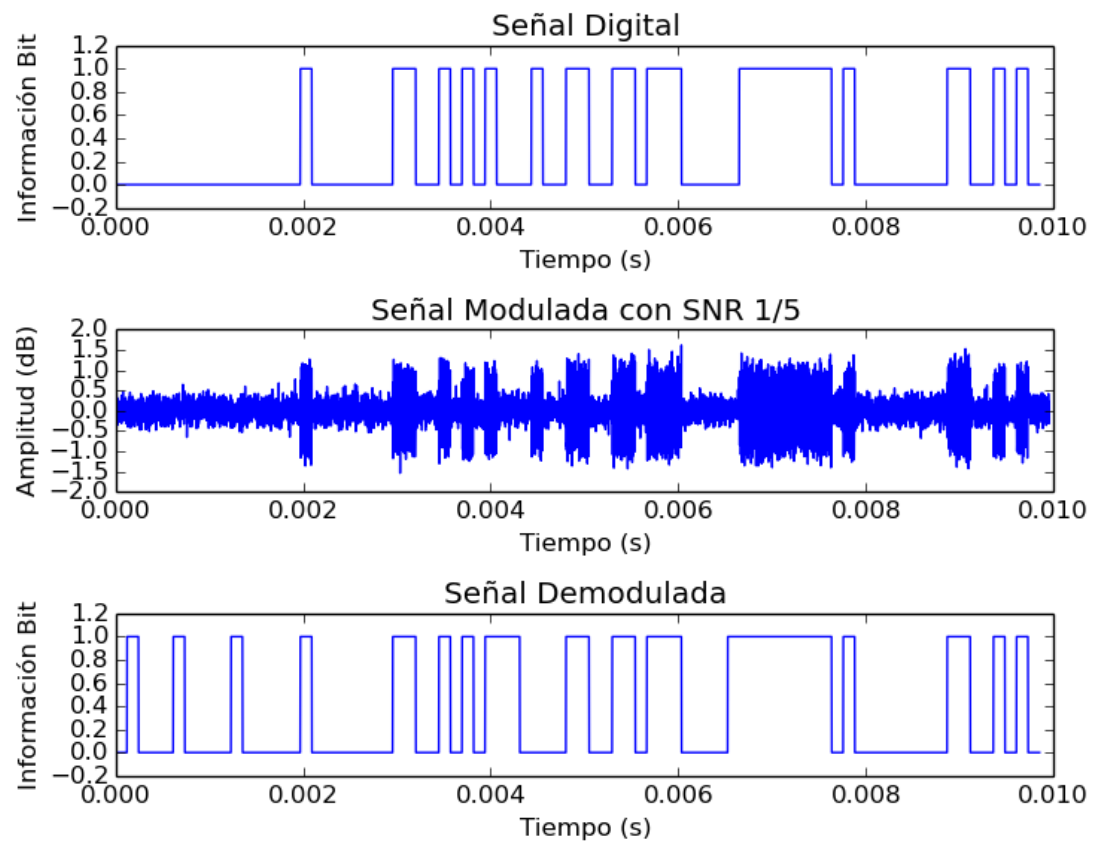


Figura 3-12: Modulación y ruido con SNR 1/5

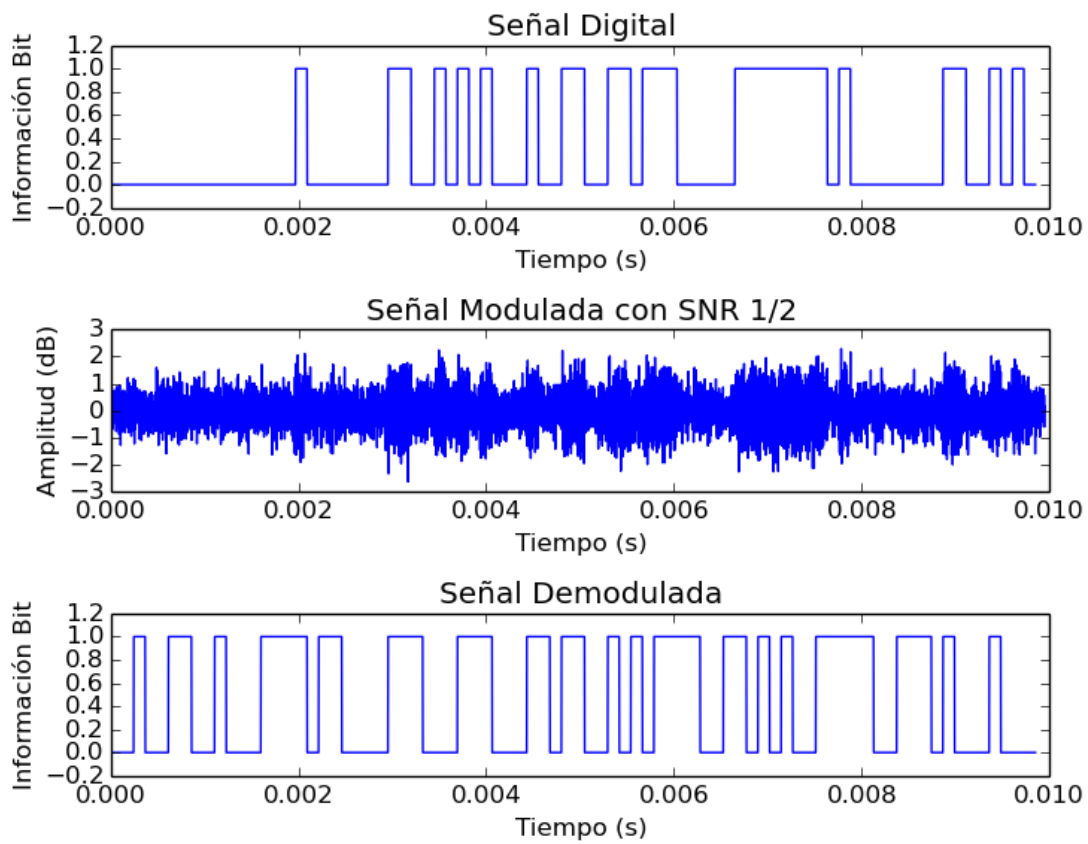


Figura 3-13: Modulación y ruido con SNR 1/2

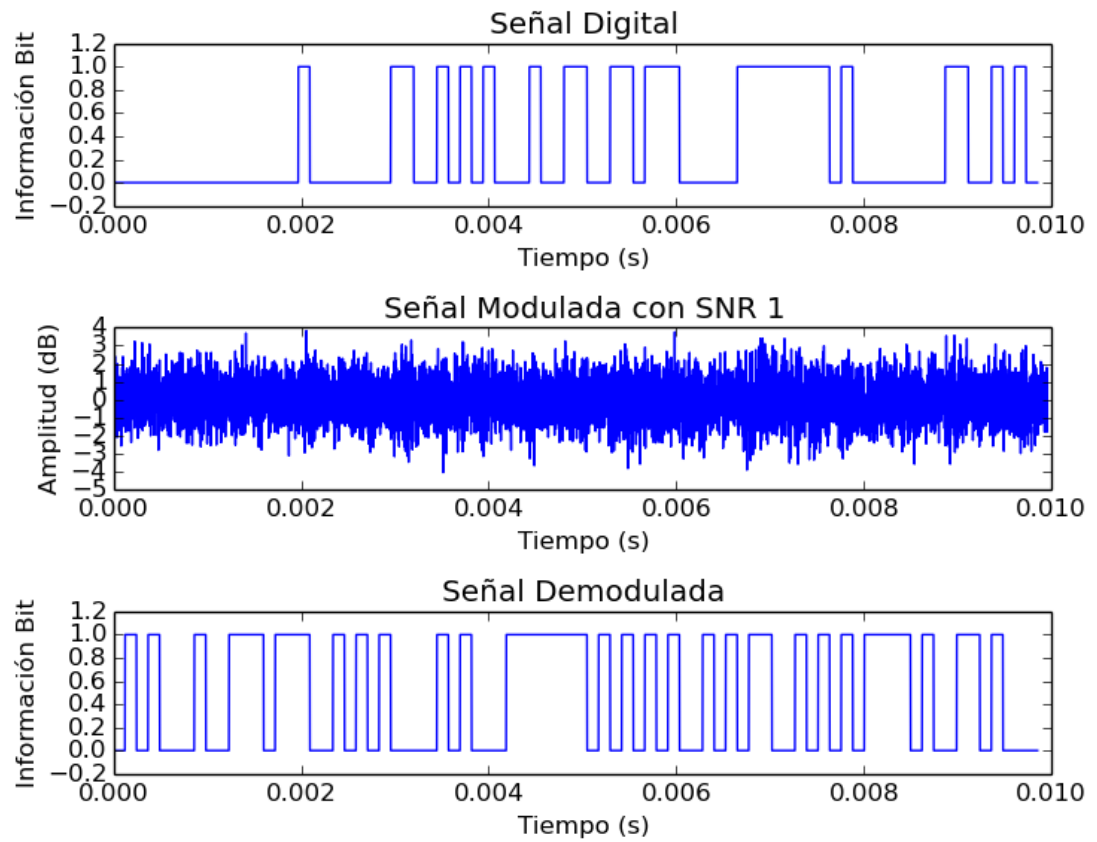


Figura 3-14: Modulación y ruido con SNR 1

Tabla 3.1: Tasa de Error para cada Modulación con ruido a diferentes valores de SNR

SNR	Tasa de Error
0	0
1/50	0
1/10	0.0047
1/5	0.1078
1/2	0.3035
1	0.4075

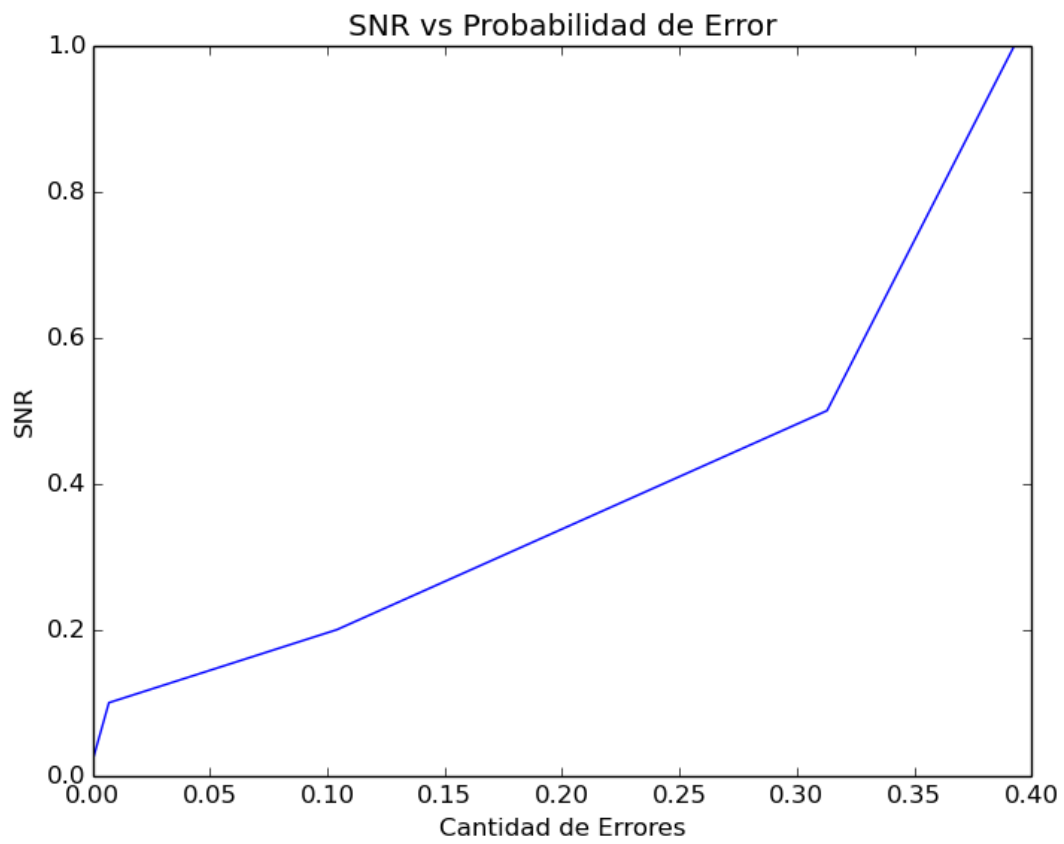


Figura 3-15: SNR vs Probabilidad de Error

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 MODULACIÓN AM GENERAL

De la realización de la modulación por amplitud se puede notar que (tal como lo menciona la teoría) se varía la amplitud de la señal a transmitir. Esto fue realizado mediante una combinación de la señal portadora y la señal portadora mediante lo que matemáticamente se define como una multiplicación entre ellas. Se debe recordar que para efectos gráficos la información fue "cortada", pero se puede apreciar como la señal modulada ha variado su amplitud con respecto a la señal original. Se puede observar así mismo, que la frecuencia que utiliza la señal portadora es muy alta, ocupando un ancho de banda mucho mayor al de la señal que se quiere transmitir. Lo anterior se puede deber a las grandes dimensiones de los medio en los cuales se quieren transportar una señal, de manera de tratar que no se generen pérdidas de información.

4.2 MODULACIÓN AM EN PORCENTAJES

Con respecto a los resultados de la modulación AM por porcentajes se puede notar que a mayor porcentaje la señal resultante aumenta su amplitud de forma mas elevada. Esta mencionada características puede ser fácilmente notada al comparar la amplitud máxima de la modulación al 15 % con la modulación por amplitud al 125 %.

4.3 MODULACIÓN FM GENERAL

Como lo menciona la teoría se puede observar que fue utilizada una señal portadora del tipo seno para variar la señal original en su ángulo y obteniendo como resultado una señal variada en su frecuencia.

4.4 MODULACIÓN FM EN PORCENTAJES

En lo que respecta a los resultados expuestos es posible dilucidar que a diferencia al proceso realizado en la modulación por amplitud en diferentes porcentajes, en este caso el aumento del porcentaje de amplitud no se afecta la amplitud para nada, en cambio lo que se modifica y es fácilmente notable que a mayor porcentaje de amplitud FM la señal resultante cuenta con mayores frecuencias en los puntos de interés.

4.5 ESPECTROGRAMAS GENERALES

Para evaluar los espectrogramas resultantes se debe recordar que estos representan los espectros de frecuencia de las señales en donde los puntos en que se presentan intensas frecuencias son representadas por un color rojo, mientras que las zonas de poca intensidad son representadas por un color mas azulado. Ya sabiendo lo anterior se puede notar que la señal original mantiene su intensidad de frecuencia mas dispersos, mientras que la intensidad de frecuencias en las señales moduladas se encuentran mas definidas. En el caso de la señal modulada por amplitud las frecuencias intensas se encuentran entre 800 Hz y 1080 Hz, mientras que en el caso de la señal resultante de la modulación por frecuencias se encuentran entre 0 Hz y 850 Hz.

4.6 ESPECTROGRAMAS A DIFERENTES PORCENTAJES DE LA MODULACIÓN AM Y FM

En el caso de la modulación por amplitud es posible notar que no hay diferencia alguna (o prácticamente nula) en la intensidad de frecuencias a diferentes porcentajes de modulación. Muy diferente es el caso de los espectrogramas resultantes para las señales resultantes de modulación por frecuencia, en donde a mayor porcentaje de amplitud implica un mayor intervalo de frecuencia intensa. En este último caso se observaron máximos de frecuencia con valores 815 Hz, 2520 Hz y 3200 Hz para los porcentajes de modulación por frecuencia 15 %, 100 % y 125 % respectivamente.

4.7 DEMODULACION AM

Al realizar una comparación de la señal "demodulada" por amplitud con la señal original a simple vista se puede visualizar un aumento importante de amplitud en donde la amplitud máxima aumento desde 10000 Hz (aproximadamente) hasta cerca de 14000 Hz.

4.8 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN ASK

De los resultados obtenidos se puede apreciar la representación digital en el primer gráfico, es decir, se aprecia que los valores que contiene la información son solo bits ceros y unos los cuales representan la amplitud de la señal digital. Tal como lo presenta la teoría se puede apreciar que en los intervalos en donde la señal digital presenta amplitud 1, en la señal modulada se presentan oscilaciones en los mismo instantes. También se aprecia que en amplitud cero de la señal digital en los mismos instantes en la señal modulada no se presentan oscilaciones, es decir, la amplitud es nula. Se debe recordar que en la imagen no se puede apreciar claramente las oscilaciones pero esto se debe a la gran cantidad de oscilaciones en instantes de milésima de tiempo. Por último se ve el resultado de la demodulación que como se puede apreciar es correcto debido a que se presenta de forma idéntica a la señal digital presentada en primera instancia.

4.9 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN ASK CON NIVELES DE RUIDO

En lo que corresponde a la adición de ruido a la señal digital mediante la razón de ruido conocida como SNR, se han presentado diferentes imágenes en donde se aprecia claramente que a mayor nivel de ruido es más difícil recuperar la señal mediante el proceso de demodular. La señal con mayor cantidad de ruido al ser demodulada presenta una forma prácticamente distinta a la señal original. Para apoyar esta aseveración se presenta un gráfico y una tabla en donde se puede apreciar la tasa de error de la señal demodulada con respecto al nivel de ruido que se ha proporcionado a la respectiva señal digital. Fácilmente en esta última tabla mencionada se puede dilucidar que la tasa de error aumenta a mayor nivel de ruido.

4.10 PREGUNTAS: PARTE 1

4.10.1 ¿Cuáles son los principales usos para la modulación AM? ¿Por qué?

La modulación de amplitud (AM) es considerada una forma de modulación barata y de baja calidad de modulación la cual se usa en radiodifusión de señales de audio y vídeo. La modulación por amplitud también se usa para las comunicaciones de radio móvil como una radio de banda civil. Por otra parte la modulación

AM no tiene mas grandes usos ya que tiene ciertas desventajas frente a otros tipos de modulación. En ciertas circunstancias, la modulación AM presenta una utilidad limitada. La desventaja principal consiste en que es afectada fácilmente por fenómenos atmosféricos (estática), otras señales electrónicas que presentan frecuencias similares e interferencias causadas por los aparatos eléctricos como los motores y generadores. Estos "ruidos" modulan en amplitud la señal portadora, al igual que lo hace la propia señal moduladora. Luego en el proceso de demodulación es manifestado como ruido o distorsión, que en los peores casos, puede sobreponerse a toda la información, lo que conlleva a tener completamente inútil la señal demodulada.

4.10.2 ¿Cuáles son los principales usos para la modulación FM? ¿Por qué?

Uno de los principales usos para la modulación por frecuencia (FM) se encuentra en la radiodifusión debido a que presenta resistencia al ruido. Luego otra propiedad importante es que no presenta cambios de amplitud, y es por esto ultimo que es considerada ideal para uso de aplicaciones móviles en las que los niveles de señal varían constantemente.

4.10.3 ¿Cuáles son los problemas de una sobremodulación? ¿Por qué no modular siempre en un 100 % ?

Cuando el porcentaje de modulación es mayor al 100 % se tiende a presentar una distorsión de la onda y es esto ultimo lo que es denominado sobremodulacion, lo cual repercute en una perdida de fidelidad de la señal de interés. Para efectos prácticos la sobremodulacion determina una perdida de potencia en la salida del transmisor utilizado. En general y para evitar el efecto de sobremodulacion se recomienda modular por amplitud hasta en un 80 %.

4.11 PREGUNTAS: PARTE 2

Se avocan las respuestas a estas preguntas a la modulación digital realizada para esta experiencia, la cual cabe recordar que corresponde a la modulación por desplazamiento de amplitud (ASK).

4.11.1 ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la modulación digital?

Las principales ventajas de este tipo de modulación son:

- Es la modulación digital más simple de diseñar, su semejanza es a la modulación por amplitud.
- La frecuencia y la fase permanecen constantes mientras que la amplitud es lo que cambia.

Y sus desventajas:

- La modulación ASK tiene el inconveniente de que es muy sensible al ruido que se acumula a lo largo del canal, por lo que el SNR a la entrada del receptor puede ser tan baja, que la probabilidad de error no sea tolerable. Esta es la causa por la que no se utiliza la modulación ASK para transmitir datos a alta velocidad a menos que el medio de transmisión garantice una adecuada SNR.
- El ancho de banda necesario para esta transmisión es mayor que el requerido para modulación de amplitud, debido a la cantidad de señales de frecuencias significativas que contiene el espectro, que depende de la relación entre el período y el tiempo de duración de los pulsos.

- La velocidad de transmisión está limitada por las características del medio por el cual se transmiten. *(del Trabajo de Villa María, s.f.)*.

4.11.2 ¿Cuáles son los principales usos para la modulación digital?

Siguiendo con la modulación ASK, se usa en la realidad para:

- Dado que la señal portadora es del tipo analógica, se usa para transmitir información digital a través de medios como el espacio libre.
- Transmitir datos digitales sobre la fibra óptica.
- Transmitir datos en radares en el margen de las microondas. *(Inati, 2013)*.

4.11.3 ¿Cuáles son los principales problemas de la modulación digital?

Tal como se enuncia en las desventajas que conlleva este tipo de modulación, los problemas principalmente recurrentes se enuncian en que existe una relación crítica entre la potencia de señal transmitida y la potencia de ruido, por lo que su inmunidad al ruido es mucho menor que otras modulaciones digitales, y puede tener una alta susceptibilidad a generar pérdidas de información, dependiendo del canal de transmisión utilizado y su relación con el posible ruido presente.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Al cabo de esta experiencia, la síntesis principal subyace en las ventajas que determinan el proceso de modulación tanto analógica como digital, y es que la modulación facilita la propagación de la señal de información por diferentes medios de transmisión, dependiendo de las características del medio y de la información que se quiera transmitir, el tipo de modulación a utilizar. Así mismo, las distintas modulaciones que se pueden ocupar, son las que determinan la calidad de la información transmitida. Una importante ventaja que también se puede desprender, es que al usar las diferentes técnicas de modulación, se optimiza en cierto modo el ancho de banda de cada canal. Lo anterior se afirma en base a lo que se puede observar en la diferencia de espectros utilizados para la señal que se quería transmitir, y la señal modulada resultante, específicamente en la modulación AM y FM desarrollada.

Una gran ventaja de la modulación por amplitud modulada (AM) tal como se pudo observar a lo largo del desarrollo de esta experiencia, es que su demodulación es muy simple y, por consiguiente, los receptores son sencillos de implementar. El porcentaje de modulación ayudó a la indicación de la variación introducida por la modulación respecto al nivel de la señal original, observando que a valores mayores o iguales al 100 %, se tiende a presentar lo que se denomina una sobremodulación que consiste en que la onda se distorsiona.

La modulación por frecuencia modulada (FM) tiene lugar a frecuencias muy altas comparando con AM, de hecho en lo teórico, el ancho de banda de una señal modulada en FM es infinito. Se genera una proporcionalidad directa entre el ancho de banda ocupado y el porcentaje de modulación, teniendo en consideración los costes involucrados al querer ocupar un mayor espectro de frecuencias y la posible sobremodulación.

En lo que respecta al tipo de modulación digital seleccionada para el desarrollo de la presente experiencia, es decir, modulación ASK, tal como se expuso en su momento está es una variante de la modulación AM antes mencionada, la modulación ASK al igual que la AM permite trabajar sobre una única frecuencia de transmisión, lo que nos libra del problema de tener que tener problemas con los pulsos cuadrados, estos últimos cuentan con componentes de todas las frecuencias del espectro. Otra propiedad importante y que pudo ser afirmada mediante la realización de la presente experiencia es que la recuperación o demodulación resulta ser sencilla. En la teoría se menciona que a pesar de las ventajas que presenta la modulación digital ASK, en la práctica no es uno de los métodos más utilizados debido a que el principal inconveniente es que son muy susceptibles al ruido. En específico dicha susceptibilidad fue comprobada al agregar el canal AWGN a diferentes tasas de SNR, donde a medida que aumenta esta tasa, aumenta la proporción de errores al momento de demodular, por consiguiente, se reafirma que es necesario que el medio de transmisión que use este tipo de modulación, debe tener un adecuado SNR, un ejemplo en lo práctico, es el uso en cables de fibra óptica.

CAPÍTULO 6. ANEXO 1

A continuación se presenta una serie de imágenes que representan el código utilizado para el desarrollo de la respectiva experiencia.

```
1 import numpy as np
2 from matplotlib import pyplot as plt
3 from scipy.io.wavfile import read, write
4 from scipy import fft, arange, ifft
5 import scipy.integrate as integrate
6 from scipy.signal import lfilter, firwin
7
8 rate, info = read("handel.wav")
9 dimension = info[0].size #es necesario saber si la señal de audio es de doble canal o no para poder trabajar en ella
10 if dimension==1:
11     datos = info
12 else:
13     datos = info[:, dimension-1]
14
15 def parte1():
16     ##Debido a la naturaleza de la señal es necesario realizar una interpolacion para tener una mayor cantidad de puntos
17     largo = len(datos)
18     T = largo/rate
19     t1 = np.linspace(0, T, largo)
20     t2 = np.linspace(0, T, 200000*T)
21     data1 = np.interp(t2, t1, datos)
22     t3 = np.linspace(0, 200000, 200000*T)
23
24
25 # Creacion de la señal portadora para diferentes porcentajes
26
27     carrier = np.cos(t3*2*np.pi);
28     carrier15 = 1.15*np.cos(t3*2*np.pi);
29     carrier100 = 7.2*np.cos(t3*2*np.pi);
30     carrier125 = 9.584*np.cos(t3*2*np.pi);
31
32 #señales moduladas por amplitud en sus difentes porcentajes
33     am = carrier * data1
34     am15 = carrier15*data1
35     am100 = carrier100*data1
36     am125 = carrier125*data1
37
38
39 ##para efectos gráficos es necesario "cortar" la imagen para poder visualizarla de manera correcta
40     plt.subplot(311)
41     plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
42     plt.title('Señal Original')
43     plt.xlabel('Tiempo (s)')
44     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
45     plt.grid(True)
46     plt.plot(t1[1000:2000], datos[1000:2000])
47
48     plt.subplot(312)
49     plt.title('Señal Portadora AM')
50     plt.xlabel('Tiempo (s)')
51     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
52     plt.grid(True)
53     plt.plot(t3[1000:2000], carrier[1000:2000])
54
55     plt.subplot(313)
56     plt.title('Señal Modulada por Amplitud')
57     plt.xlabel('Tiempo (s)')
58     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
59     plt.grid(True)
60     plt.plot(t2[1000:2000], am[1000:2000])
61     plt.show()
62
63
64
65     plt.subplot(311)
66     plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
67     plt.title('Modulacion AM al 15%')
68     plt.xlabel('Tiempo (s)')
69     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
70     plt.grid(True)
71     plt.plot(t2[1000:2000], am15[1000:2000])
72
73     plt.subplot(312)
74     plt.title('Modulacion AM al 100%')
75     plt.xlabel('Tiempo (s)')
76     plt.ylabel('Amplitud (dB)')]
```

```

76     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
77     plt.grid(True)
78     plt.plot(t2[1000:2000], am100[1000:2000])
79
80     plt.subplot(313)
81     plt.title('Modulacion AM al 125%')
82     plt.xlabel('Tiempo (s)')
83     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
84     plt.grid(True)
85     plt.plot(t2[1000:2000], am125[1000:2000])
86     plt.show()
87
88     #####
89
90
91
92     ## Modulacion FM, 4 veces mas
93
94     t2_fm = np.linspace(0,T, 400000*T)
95     data_fm = np.interp(t2_fm, t1, datos)
96     t3_fm = np.linspace(0, 400000, 400000*T)
97
98
99     # Se crean las señales necesarias
100    carrier_fm = np.sin(2*np.pi*t3_fm);
101    wct = rate * t2_fm
102    integral_audio = integrate.cumtrapz(data_fm, t2_fm, initial=0)##segun la teoria es necesaria la integral de la señal
103    fm = np.cos(np.pi*wct + integral_audio*np.pi);
104
105    ##señales fm a los porcentajes de interes
106    fm15 = np.cos(np.pi*wct + 1.15*integral_audio*np.pi);
107    fm100 = np.cos(np.pi*wct + 7.2*integral_audio*np.pi);
108    fm125 = np.cos(np.pi*wct + 9.584*integral_audio*np.pi);
109
110
111
112    plt.subplot(311)
113    plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
114    plt.title('Señal Original')
115    plt.xlabel('Tiempo (s)')
116    plt.ylabel('Amplitud (dB)')
117    plt.grid(True)
118    plt.plot(t1[1000:4000], datos[1000:4000])
119
120    plt.subplot(312)
121    plt.title('Señal Portadora FM')
122    plt.xlabel('Tiempo (s)')
123    plt.ylabel('Amplitud (dB)')
124    plt.grid(True)
125    plt.plot(t3_fm[1000:4000], carrier_fm[1000:4000])
126
127    plt.subplot(313)
128    plt.title('Señal Modulada por Frecuencia')
129    plt.xlabel('Tiempo (s)')
130    plt.ylabel('Amplitud (dB)')
131    plt.grid(True)
132    plt.plot(t2_fm[1000:4000], fm[1000:4000])
133    plt.show()
134
135
136
137    plt.subplot(311)
138    plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
139    plt.title('Modulacion FM al 15%')
140    plt.xlabel('Tiempo (s)')
141    plt.ylabel('Amplitud (dB)')
142    plt.grid(True)
143    plt.plot(t2[1000:4000], fm15[1000:4000])
144
145    plt.subplot(312)
146    plt.title('Modulacion FM al 100%')
147    plt.xlabel('Tiempo (s)')
148    plt.ylabel('Amplitud (dB)')
149    plt.grid(True)
150    plt.plot(t2[1000:4000], fm100[1000:4000])

```

```
152 plt.subplot(313)
153 plt.title('Modulacion FM al 125%')
154 plt.xlabel('Tiempo (s)')
155 plt.ylabel('Amplitud (dB)')
156 plt.grid(True)
157 plt.plot(t2[1000:4000], fm125[1000:4000])
158 plt.show()
159
160 #####
161 ##A continuacion se exponen los espectrogramas de las diferentes modulaciones am, fm y sus respectivos porcentajes
162
163 ##original, am y fm
164 plt.subplot(311)
165 plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
166 plt.title('Espectrograma de la Señal Original')
167 plt.xlabel('Tiempo (s)')
168 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
169 plt.grid(True)
170 plt.specgram(datos, NFFT=1024, Fs=rate)
171
172 plt.subplot(312)
173 plt.title('Espectrograma de la Modulacion AM')
174 plt.xlabel('Tiempo (s)')
175 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
176 plt.grid(True)
177 plt.specgram(am, NFFT=1024, Fs=rate)
178
179 plt.subplot(313)
180 plt.title('Espectrograma de la Modulacion FM')
181 plt.xlabel('Tiempo (s)')
182 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
183 plt.grid(True)
184 plt.specgram(fm, NFFT=1024, Fs=rate)
185 plt.show()
186
187
188 ##am a sus diferentes porcentajes
189 plt.subplot(311)
190 plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
```

```

189 plt.subplot(311)
190 plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
191 plt.title('Espectrograma de la Modulacion AM al 15%')
192 plt.xlabel('Tiempo (s)')
193 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
194 plt.grid(True)
195 plt.specgram(am15, NFFT=1024,Fs=rate)
196
197 plt.subplot(312)
198 plt.title('Espectrograma de la Modulacion AM al 100%')
199 plt.xlabel('Tiempo (s)')
200 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
201 plt.grid(True)
202 plt.specgram(am100, NFFT=1024,Fs=rate)
203
204 plt.subplot(313)
205 plt.title('Espectrograma de la Modulacion AM al 125%')
206 plt.xlabel('Tiempo (s)')
207 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
208 plt.grid(True)
209 plt.specgram(am125, NFFT=1024,Fs=rate)
210 plt.show()
211
212
213 ##fm a sus diferentes porcentajes
214 plt.subplot(311)
215 plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
216 plt.title('Espectrograma de la Modulacion FM al 15%')
217 plt.xlabel('Tiempo (s)')
218 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
219 plt.grid(True)
220 plt.specgram(fm15, NFFT=1024,Fs=rate)
221
222 plt.subplot(312)
223 plt.title('Espectrograma de la Modulacion FM al 100%')
224 plt.xlabel('Tiempo (s)')
225 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
226 plt.grid(True)
227 plt.specgram(fm100, NFFT=1024,Fs=rate) |
228
229 plt.subplot(313)
230 plt.title('Espectrograma de la Modulacion FM al 125%')
231 plt.xlabel('Tiempo (s)')
232 plt.ylabel('Frecuencia (Hz)')
233 plt.specgram(fm125, NFFT=1024,Fs=rate)
234 plt.grid(True)
235 plt.show()
236
237
238 ### Demodulacion AM
239 am_d = am * carrier
240 tamaño_modulada=len(am_d)
241 transformada_modulada=fft(am_d)/tamaño_modulada
242
243 k = arange(tamaño_modulada)
244 T = tamaño_modulada/200000
245 frq = k/T
246
247 for i in range(0,len(transformada_modulada)):
248     if i<36900*T:
249         transformada_modulada[i] = 0
250     elif i>163000*T:
251         transformada_modulada[i] = 0
252
253
254 inversa=fft(transformada_modulada)
255
256 plt.plot(t2, inversa)
257 plt.title("Señal AM Demodulada")
258 plt.xlabel('Tiempo (s)')
259 plt.ylabel('Amplitud (dB)')
260 plt.grid(True)
261 plt.show()
262
263 am2 = np.interp(t1, t2, am_d)
264
265 write("audio_dem.wav", rate, am2.astype(info.dtype))##se crea un audio para verificar que se mantiene el original sin mayores proble

```

```

270 def addnoise(N, SNR):
271     # N Cantidad de datos
272     # SNR razon señal ruido
273     # Create some data with noise and a sinusoidal
274     ruido = np.random.normal(0.0, 1.0/SNR, N)
275     return ruido
276
277 def modular_ASK(x, bp):
278     A1=1 # Amplitud de la señal portadora para informacion 1
279     A2=0 # Amplitud de la señal portadora para informacion 0
280     br=1/bp # frecuencia de bit
281     f=br*10 # frecuencia de carrier
282     t2 = np.arange(bp/99, bp+bp/99, bp/99)
283     ss=len(t2)
284     m=[]
285
286     for i in range(0,len(x)):
287         if (x[i]==1):
288             y=A1*np.cos(2*np.pi*f*t2)
289         elif (x[i]==0):
290             y=A2*np.cos(2*np.pi*f*t2)
291         m = np.concatenate((m, y))
292     return m, ss, f
293
294 def demodular_ASK(bp, ss, m, f):
295     ###DEmodulacion
296     mn=[]
297     n = ss
298
299     while(n<=len(m)):
300         t = np.arange(bp/99, bp+bp/99, bp/99)
301         y=np.cos(2*np.pi*f*t) # señal portadora
302         mm=y*m[(n-(ss)):n]
303         t4 = np.arange(bp/99, bp+bp/99, bp/99)
304         z=np.trapz(t4,mm) # integracion
305         zz=round((2*z/bp))
306         if(zz>0.75): # nivel logica = (A1+A2)/2=0.75
307             a=1
308         else:
309             a=0
310         mn = np.append(mn,a)
311         n += ss
312
313     bit_demodulado=[]
314     for n in range(0,len(mn)-1):
315         if mn[n]==1:
316             se=np.ones((100,), dtype=np.int)
317         elif mn[n]==0:
318             se=np.zeros((100,), dtype=np.int)
319         bit_demodulado = np.concatenate((bit_demodulado,se))
320
321     return bit_demodulado, mn
322
323
324 def plotear_ASK(t1, bit, t3, m, t4, bit_demodulado, titulo):
325     plt.subplot(3,1,1)
326     plt.subplots_adjust(hspace = 0.75)
327     plt.ylim(-0.2,1.2)
328     plt.title("Señal Digital")
329     plt.xlabel('Tiempo (s)')
330     plt.ylabel('Información Bit')
331     plt.plot(t1[0:8000],bit[0:8000])
332
333     plt.subplot(3,1,2)
334     plt.title(titulo)
335     plt.xlabel('Tiempo (s)')
336     plt.ylabel('Amplitud (dB)')
337     plt.plot(t3[0:8000],m[0:8000])
338
339     plt.subplot(3,1,3)
340     plt.ylim(-0.2,1.2)
341     plt.title("Señal Demodulada")
342     plt.xlabel('Tiempo (s)')
343     plt.ylabel('Información Bit')
344     plt.plot(t4[0:8000],bit_demodulado[0:8000])
345     plt.show()

```

```

348 def contar_errores(x, mn):
349     cont_errores = 0
350
351     for j in range(0, len(mn)-1):
352         if x[j] != mn[j]:
353             cont_errores += 1
354
355     return cont_errores
356
357 #####
358
359 def parte2():
360
361     maximo = info.max() ##valor maximo de los datos
362     cant_bits = len(bin(maximo)[2:])
363     datos_bin = []
364     for i in info:
365         binario = bin(i)[2:]
366         if(binario[0] == 'b'):
367             i = i*-1
368             binario = bin(i)[2:].zfill(cant_bits)
369             binario = '1' + binario
370         else:
371             binario = bin(i)[2:].zfill(cant_bits)
372             binario = '0' + binario
373         datos_bin.append(binario)
374     cant_datos = int(len(datos_bin)/16) #cada elemento es de 16 bits
375     data_acotado = datos_bin[0:cant_datos]
376
377
378     info_digital = []
379
380     for i in range(0,cant_datos):
381         for x in data_acotado[i]:
382             if x=='0':
383                 info_digital.append(0)
384             elif x=='1':
385                 info_digital.append(1)
386
387     x=info_digital[0:10000]# Informacion binaria
388
389     bp=0.000123112 # periodo por bit
390
391     ### Ahora se representa la transmision de informacion binaria como una señal digital
392
393     bit=[]
394     for n in range(0,len(x)):
395         if x[n]==1:
396             se=np.ones((100,), dtype=np.int)
397         elif x[n]==0:
398             se=np.zeros((100,), dtype=np.int)
399         bit = np.concatenate((bit,se))
400
401     t1 = np.arange(bp/100,100*len(x)*(bp/100)+bp/100,bp/100)
402
403     m, ss, f = modular_ASK(x, bp) # Modulador
404     t3 = np.arange(bp/99, bp*len(x)+bp/99, bp/99)
405
406     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m, f)
407     t4 = np.arange(bp/100, 100*len(x)*(bp/100)+bp/100, bp/100)
408
409     plotear_ASK(t1, bit, t3, m, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada")
410
411     list_SNR = []
412     list_errores = []
413
414     cont_errores = contar_errores(x, mn)
415     list_SNR.append(0)
416     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
417
418     #-----#
419     N = len(m)
420     SNR = 50
421     ruido = addNoise(N, SNR)
422

```



```

428     m1 = m + ruido
429
430     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m1, f)
431     plotear_ASK(t1, bit, t3, m1, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada con SNR 1/50")
432
433     cont_errores = contar_errores(x, mn)
434     list_SNR.append(1/SNR)
435     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
436
437     #------#
438
439     SNR = 10
440     ruido = addNoise(N, SNR)
441
442     m2 = m + ruido
443
444     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m2, f)
445     plotear_ASK(t1, bit, t3, m2, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada con SNR 1/10")
446
447     cont_errores = contar_errores(x, mn)
448     list_SNR.append(1/SNR)
449     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
450
451     #------#
452
453     SNR = 5
454     ruido = addNoise(N, SNR)
455
456     m3 = m + ruido
457
458     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m3, f)
459     plotear_ASK(t1, bit, t3, m3, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada con SNR 1/5")
460
461     cont_errores = contar_errores(x, mn)
462     list_SNR.append(1/SNR)
463     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
464
465     SNR = 2
466     ruido = addNoise(N, SNR)
467
468     m4 = m + ruido
469
470     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m4, f)
471     plotear_ASK(t1, bit, t3, m4, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada con SNR 1/2")
472
473     cont_errores = contar_errores(x, mn)
474     list_SNR.append(1/SNR)
475     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
476
477     #------#
478
479     SNR = 1
480     ruido = addNoise(N, SNR)
481
482     m5 = m + ruido
483
484     bit_demodulado, mn = demodular_ASK(bp, ss, m5, f)
485     plotear_ASK(t1, bit, t3, m5, t4, bit_demodulado, "Señal Modulada con SNR 1")
486
487     cont_errores = contar_errores(x, mn)
488     list_SNR.append(1/SNR)
489     list_errores.append(cont_errores/len(mn))
490
491     #------#
492
493     #XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Contar Errores XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
494
495     plt.plot(list_errores, list_SNR)
496     plt.xlabel('Probabilidad de Error')
497     plt.ylabel('SNR')
498     plt.title("SNR vs Probabilidad de Error")
499     plt.show()
500
501     print("SNR: ", list_SNR)
502     print("Probabilidad de Error: ", list_errores)

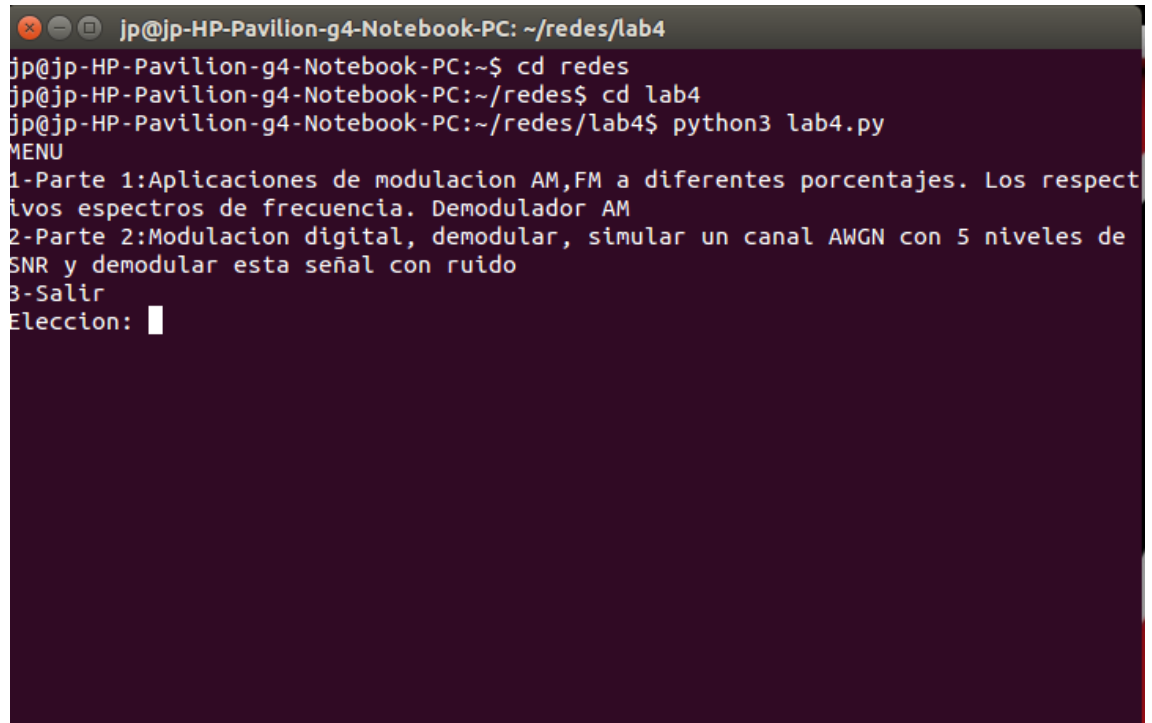
```

```
510 #####MENU#####
511 salida=0##variable a utilizar para mantener el while
512 while (salida==0):
513     print('MENU')
514     print('1-Parte 1:Aplicaciones de modulacion AM,FM a diferentes porcentajes. Los respectivos espectros de frecuencia. Demodulador AM')
515     print('2-Parte 2:Modulacion digital, demodular, simular un canal AWGN con 5 niveles de SNR y demodular esta señal con ruido ')
516     print('3-Salir')
517
518     opcion = input("Eleccion: ")
519     opcion=int(opcion)
520
521     if (opcion==1):
522         parte1()
523         print('////////////////////////////////////////')
524         print('////////////////////////////////////////')
525
526     if (opcion==2):
527
528         parte2()
529         print('////////////////////////////////////////')
530         print('////////////////////////////////////////')
531
532     if (opcion==3):
533         salida=1
534         print('////////////////////////////////////////')
535         print('////////////////////////////////////////')
```

CAPÍTULO 7. ANEXO 2

En el presente capítulo se explica el cómo utilizar el código Python con el cual se llevo a cabo la respectiva experiencia.

Para la ejecución del respectivo código debe abrir la terminal de su sistema operativo (de preferencia en una distribución de Linux). Lo siguiente que debe realizar es dirigirse a la ruta en la cual se encuentre el archivo "lab4.py" adjunto al presente documento. Para ejecutar el código debe digitalizar en su terminal la orden "python3 lab4.py", luego debería tener una respuesta como se presenta en la siguiente imagen:

A terminal window with a dark background and light-colored text. The window title is "jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC: ~/redes/lab4". The command history shows the user navigating to the "redes" directory, then to the "lab4" subdirectory, and finally running "python3 lab4.py". The output of the script is a menu with three options: "1-Parte 1:Aplicaciones de modulacion AM,FM a diferentes porcentajes. Los respect", "2-Parte 2:Modulacion digital, demodular, simular un canal AWGN con 5 niveles de", and "3-Salir". The prompt "Eleccion:" is followed by a cursor.

```
jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC: ~/redes/lab4
jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC:~$ cd redes
jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC:~/redes$ cd lab4
jp@jp-HP-Pavilion-g4-Notebook-PC:~/redes/lab4$ python3 lab4.py
MENU
1-Parte 1:Aplicaciones de modulacion AM,FM a diferentes porcentajes. Los respect
ivos espectros de frecuencia. Demodulador AM
2-Parte 2:Modulacion digital, demodular, simular un canal AWGN con 5 niveles de
SNR y demodular esta señal con ruido
3-Salir
Eleccion: █
```

Para la ejecución de tareas se debe digitalizar el numero correspondiente a la tarea de interés, es decir, si por ejemplo desea visualizar los resultados del trabajo solicitado en la parte 1 del enunciado del trabajo debe digitalizar "1" y luego presionar "enter" en su teclado. De forma análoga a los resultados de la parte 2 del enuncia debe proceder a realizar lo mismo que se ha descrito para la parte 1 pero presionando "2". Como podrá notar luego de la ejecución de las tareas se presentaran gráficos, cuando estos ultimo se presenten podrá ejercer acciones sobre ellos mediante los botones que se encuentran bajo estos.



Por ejemplo puede proceder a guardar la imagen, realizar un acercamiento, mover el gráfico, entre otras acciones. Cada vez que se muestra un gráfico esté debe ser cerrado para que la tarea siga su ejecución o para solicitarle al usuario cual tarea desea realizar a continuación. Finalmente para terminar con la ejecución del

código debe digitalizar "3" y presionar "enter". Se debe hacer notar que para la velocidad en que se ejecutan las tareas a pesar de que suelen ser de rápida respuestas, estas ultimas dependen de las características de Hardware y Software en donde son ejecutadas.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA

del Trabajo de Villa María, E. (s.f.). Modulación digital. <http://escueladeltrabajo.net/UNIDAD\%204.pdf>.

EcuRed. (s.f.-a). Amplitud modulada. http://www.ecured.cu/Amplitud_Modulada.

EcuRed. (s.f.-b). Fsk. <http://www.ecured.cu/FSK>.

EcuRed. (s.f.-c). Modulación. <http://www.ecured.cu/Modulacin>.

EcuRed. (s.f.-d). Modulación ask. http://www.ecured.cu/Modulacin_ASK.

EcuRed. (s.f.-e). Modulación de fase. http://www.ecured.cu/Modulacin_de_fase.

EcuRed. (s.f.-f). Modulación de frecuencia. http://www.ecured.cu/Modulacin_de_frecuencia.

EcuRed. (s.f.-g). Modulación delta. http://www.ecured.cu/Modulacin_Delta.

EcuRed. (s.f.-h). Modulación por amplitud de pulsos. http://www.ecured.cu/Modulacin_por_amplitud_de_pulsos_PAM.

EcuRed. (s.f.-i). Modulación por codificación de pulsos. http://www.ecured.cu/Modulacin_por_codificacin_de_pulsos_PCM.

EcuRed. (s.f.-j). Modulación por desplazamiento de fase. https://es.wikipedia.org/wiki/Modulacin_por_desplazamiento_de_fase.

Inati, D. (2013). Exposición, modulación digital, ask. <http://es.slideshare.net/davidinati/modulacin-ask>.