

LABORATORIO 3: MODULACIÓN DE SEÑALES
REDES DE COMPUTADORES

DIEGO MELLIS Y ANDRÉS MUÑOZ

Profesor:

Carlos Gonzalez Cortes

Ayudantes:

Dany Rubiano

Fernanda Muñoz

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 OBJETIVOS	7
1.1.1 Objetivo principal	7
1.1.2 Objetivos específicos	7
1.2 ESTRUCTURA DEL INFORME	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 MODULACIÓN DE ONDAS	9
2.2 MODULACIÓN ANALÓGICA	9
2.2.1 Modulación de la Amplitud o Amplitud Modulada (AM)	10
2.2.2 Modulación de la Frecuencia o Frecuencia Modulada (FM)	11
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA	13
3.1 MODULACIÓN AM	14
3.1.1 Modulación al 15 %	14
3.1.2 Modulación al 100 %	17
3.1.3 Modulación al 125 %	20
3.2 MODULACIÓN FM	23
3.2.1 Modulación al 15 %	23
3.2.2 Modulación al 100 %	24

3.2.3	Modulación al 125 %	26
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		28
4.1	MODULACIÓN AM	28
4.2	MODULACIÓN FM	29
4.3	PREGUNTAS	30
4.3.1	¿Cuáles son los principales usos para la modulación AM? ¿Por qué?	30
4.3.2	¿Cuáles son los principales usos para la modulación FM? ¿Por qué?	30
4.3.3	¿Cuáles son los problemas de una sobremodulación?	31
4.3.4	¿Por qué no modular siempre en un 100 %?	31
CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN		32
CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA		32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Señal Portadora	10
Figura 2-2: Señal Moduladora	11
Figura 2-3: Señal Modulada por modulación AM	11
Figura 2-4: Señal Portadora	12
Figura 2-5: Señal Moduladora	12
Figura 2-6: Señal Modulada por modulación FM	12
Figura 3-1: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 15 % . . .	14
Figura 3-2: Transformada de Fourier original	15
Figura 3-3: Transformada de Fourier Modulación AM al 15 %	15
Figura 3-4: Transformada de Fourier Demodulada AM al 15 %	15
Figura 3-5: Audio Demodulado AM al 15 %	16
Figura 3-6: Audio Original	16
Figura 3-7: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 100 % . . .	17
Figura 3-8: Transformada de Fourier original	17
Figura 3-9: Transformada de Fourier Modulación AM al 100 %	18
Figura 3-10: Transformada de Fourier Demodulada AM al 100 %	18
Figura 3-11: Audio Demodulado AM al 100 %	19
Figura 3-12: Audio Original	19
Figura 3-13: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 125 % . .	20
Figura 3-14: Transformada de Fourier original	20
Figura 3-15: Transformada de Fourier Modulación AM al 125 %	21
Figura 3-16: Transformada de Fourier Demodulada AM al 125 %	21
Figura 3-17: Audio Demodulado AM al 125 %	22

Figura 3-18: Audio Original	22
Figura 3-19: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 15 % . . .	23
Figura 3-20: Transformada de Fourier original	24
Figura 3-21: Transformada de Fourier Modulación FM al 15 %	24
Figura 3-22: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 100 % . .	24
Figura 3-23: Transformada de Fourier original	25
Figura 3-24: Transformada de Fourier Modulación FM al 100 %	25
Figura 3-25: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 125 % . .	26
Figura 3-26: Transformada de Fourier original	26
Figura 3-27: Transformada de Fourier Modulación FM al 125 %	27

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Este documento trata sobre la experiencia 3 del laboratorio de la asignatura Redes de Computadores. Dicho laboratorio trata sobre la transmisión de información análoga por un canal de comunicación físico. Para abordar el tema antes mencionado y tener un correcto aprovechamiento de este, se profundiza sobre los conocimientos desarrollados en cátedra sobre modulación. Para ello, se pide simular modulaciones y demodulaciones analógicas, de tal forma que se simulen todas las partes del proceso de modulado. Posteriormente, se requiere trabajar y analizar los resultados obtenidos para que sea posible entender la naturaleza de los fenómenos producidos por las señales.

La modulación en actualmente, presenta una serie de ventajas que nos permiten transmitir señales de información por cables y aire, disminuir el tamaño de las antenas y optimizar el ancho de banda del canal. Estas, son solo algunas ventajas que presentan las diferentes técnicas de modulación, cada una con sus particularidades.

Así como existe la modulación, también existe la demodulación de una señal. Esta técnica permite extraer la información de la señal modulada y reconstruir la señal original, para obtener la información que se deseaba transmitir inicialmente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo principal

1. Identificar y analizar el funcionamiento de las diferentes técnicas existentes para la transmisión de señales a través del medio y las técnicas de modulación más comunes para señales analógicas.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Aplicar y entender la modulación AM, bajo distintos porcentajes de modulación.
2. Aplicar y entender la modulación FM, bajo distintos porcentajes de modulación.
3. Aplicar, práctica y teóricamente la técnica de demodulación AM.

1.2 ESTRUCTURA DEL INFORME

El presente documento presenta primeramente el marco teórico, en el cual se da a conocer los diferentes contenidos y conceptos que se utilizan a lo largo del documento, con el fin de poder entender de mejor manera este. Luego, se encuentra el capítulo de desarrollo de la experiencia, en este se explica de forma detallada como se ha realizado el laboratorio, así como también, se presentan los resultados obtenidos para la modulación AM y FM y la demodulación de la la modulación AM. Posteriormente, se encuentra el capítulo de análisis de resultados, donde se expone una mirada crítica y respuestas a las preguntas propuestas en el enunciado de la experiencia, utilizando los resultados obtenidos anteriormente. Finalmente, se pesenta la conclusión, en el cual se responde si se cumplieron los objetivos. Además, de entregar unas conclusiones finales sobre el trabajo realizado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 MODULACIÓN DE ONDAS

Modulación engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información de forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias. Según la American National Standard for Telecommunications, la modulación es el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de una onda portadora de acuerdo con una señal que transporta información. El propósito de la modulación es sobreponer señales en las ondas portadoras. Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

2.2 MODULACIÓN ANALÓGICA

Las tres técnicas de modulación básica son:

- Modulación de la amplitud (AM o amplitud modulada).
- Modulación de la frecuencia (FM o frecuencia modulada).
- Modulación de la fase (PM o fase modulada).

La mayoría de los sistemas de comunicación utilizan alguna de estas tres técnicas de modulación básicas, o una combinación de ellas. Las Radios están basadas en AM y FM siendo la FM la de mejor calidad debido a la ventaja que tiene por manejar mayores frecuencias y mayores anchos de banda que mejoran la percepción por el contenido que se puede transmitir. EL caso de la Modulación PM no sera tratada en esta experiencia por lo tanto no sera incluida y solo es mencionada.

2.2.1 Modulación de la Amplitud o Amplitud Modulada (AM)

Este es un caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas.

Un modulador AM es un dispositivo con dos señales de entrada, una señal portadora de amplitud y frecuencia constante, y la señal de información o moduladora. El parámetro de la señal portadora que es modificado por la señal moduladora es la amplitud [Sam05].

En otras palabras, la modulación de amplitud (AM) es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir.

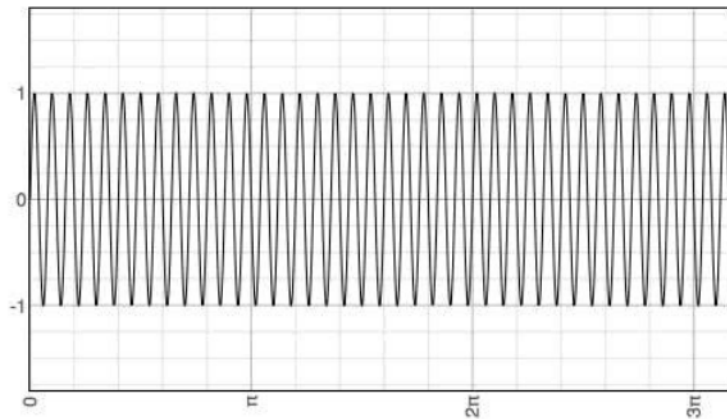


Figura 2-1: Señal Portadora

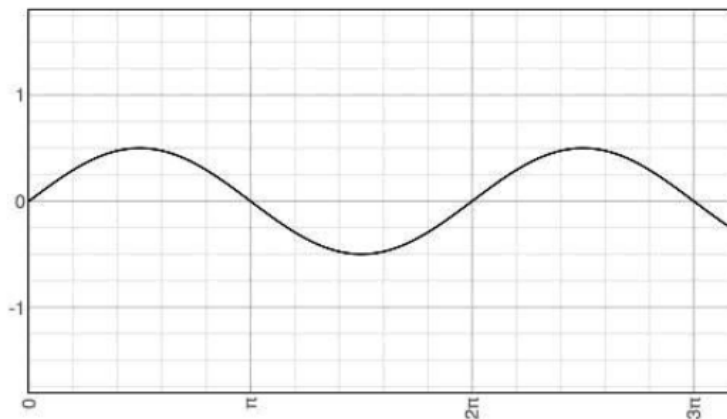
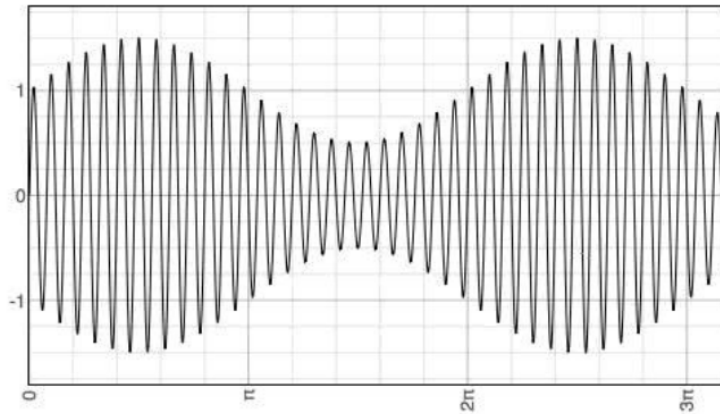
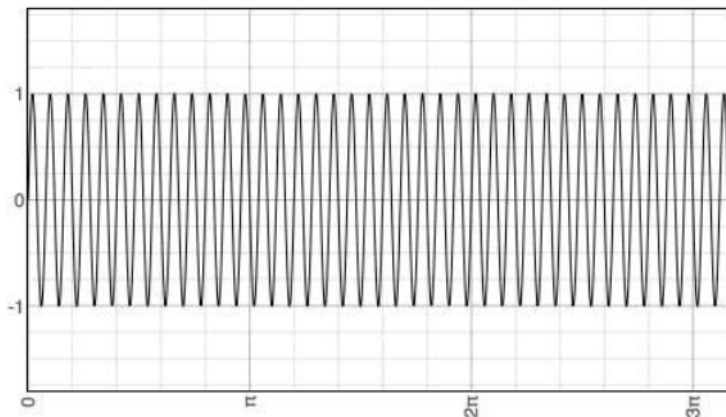


Figura 2-2: Señal Moduladora*Figura 2-3: Señal Modulada por modulación AM*

2.2.2 Modulación de la Frecuencia o Frecuencia Modulada (FM)

Este es un caso de modulación donde tanto las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas y es un tipo de modulación exponencial. En este caso la señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a como varíe la amplitud de la señal moduladora.

En otras palabras, la modulación por frecuencia (FM) es el proceso de codificar información, la cual puede estar tanto en forma digital como analógica, en una onda portadora mediante la variación de su frecuencia instantánea de acuerdo con la señal de entrada.

*Figura 2-4: Señal Portadora*

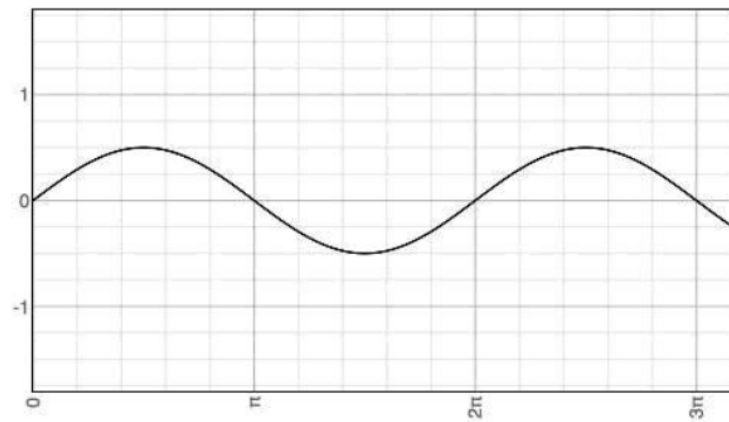


Figura 2-5: Señal Moduladora

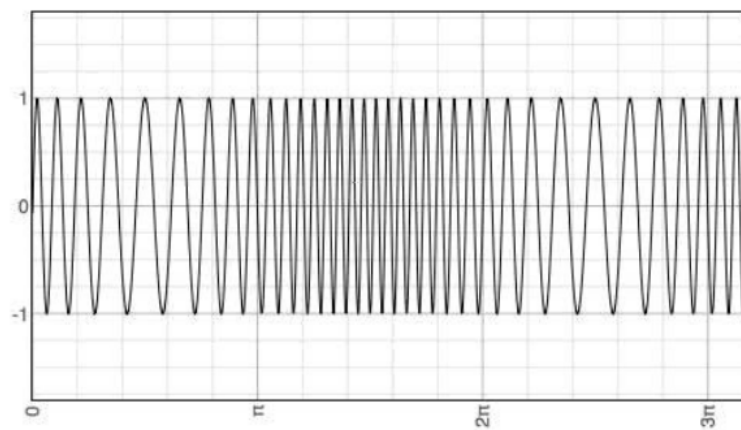


Figura 2-6: Señal Modulada por modulación FM

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

En este capítulo se presenta todo el desarrollo realizado para esta experiencia, donde el principal tema es la modulación. Como detalle inicial, es importante mencionarle al lector, que para esta experiencia se utiliza la demodulación AM.

Al inicio de cada subsección de este capítulo se muestra una figura, con tres señales, una moduladora, una portadora y una modulada. Para temas de visualización y mejor observación de los efectos de modular, se opta por mostrar solo un rango de los datos de las señales, para así obtener un mejor análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados, apoyándose también, con las figuras que vienen después.

Para la creación de las figuras que se mostrarán a lo largo de este capítulo, se usó el lenguaje de programación *Python* en su versión 3, usando librerías matemáticas que facilitaron bastante el desarrollo de esta experiencia. Las librerías utilizadas fueron:

1. *Matplotlib*: Librería encargada de mostrar gráficamente los resultados desarrollados en el código.
2. *Numpy*: Librería matemática que ayuda a la manipulación de matrices, creación de vectores y también funciones matemáticas, que en este caso se usaron trigonométricas.
3. *Scipy*: Esta librería facilita la lectura de audios con extensión *.wav*, entre otras cosas, como el uso de integrales.

En la implementación del código, existen cuatro funciones principales que permiten cumplir correctamente el objetivo de esta experiencia. Estas funciones son: *getData*, *modulationFM*, *modulationAM*, *demodulatorAM*.

El código que está en conjunto con este informe, contiene las descripciones de estas funciones, si es necesario un mayor entendimiento.

3.1 MODULACIÓN AM

En esta sección se muestran los resultados obtenidos, mediante gráficos de todas las modulaciones AM, con distintos porcentajes de modulación, que para esta experiencia son, 15 %, 100 % y 125 %.

3.1.1 Modulación al 15 %

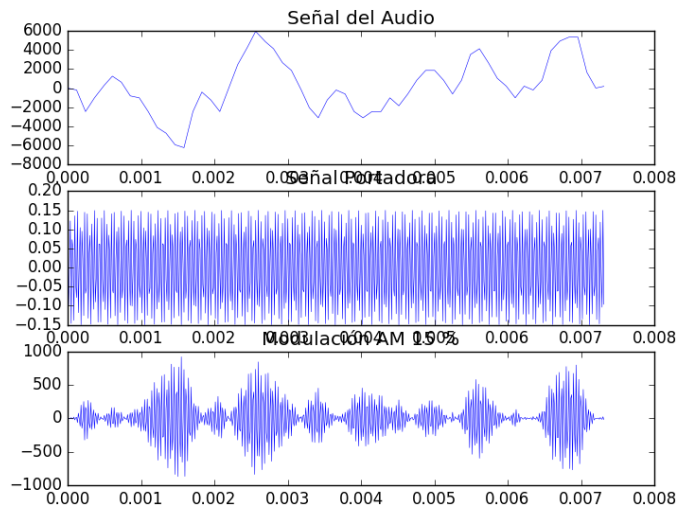


Figura 3-1: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 15 %

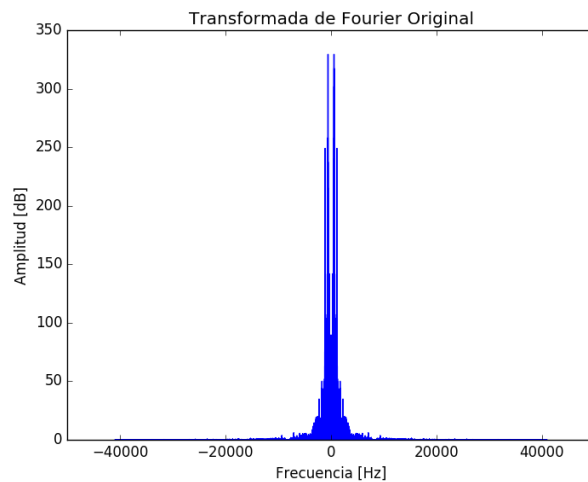
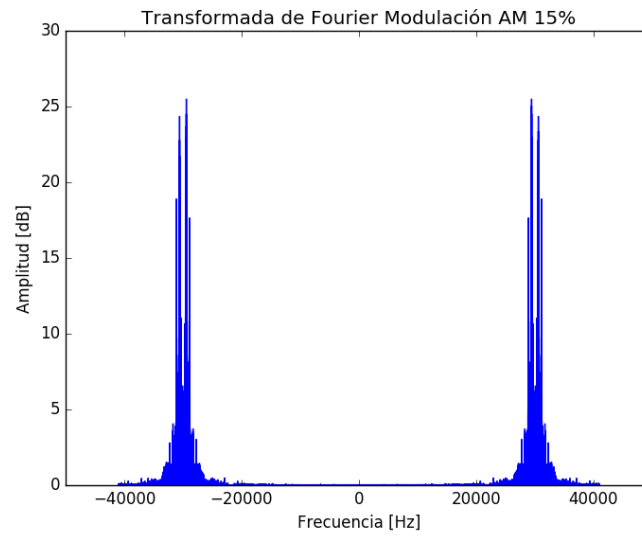
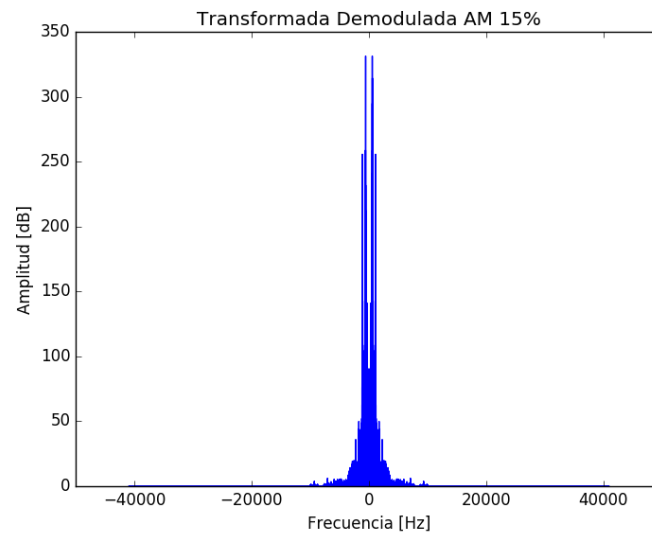


Figura 3-2: Transformada de Fourier original*Figura 3-3: Transformada de Fourier Modulación AM al 15 %**Figura 3-4: Transformada de Fourier Demodulada AM al 15 %*

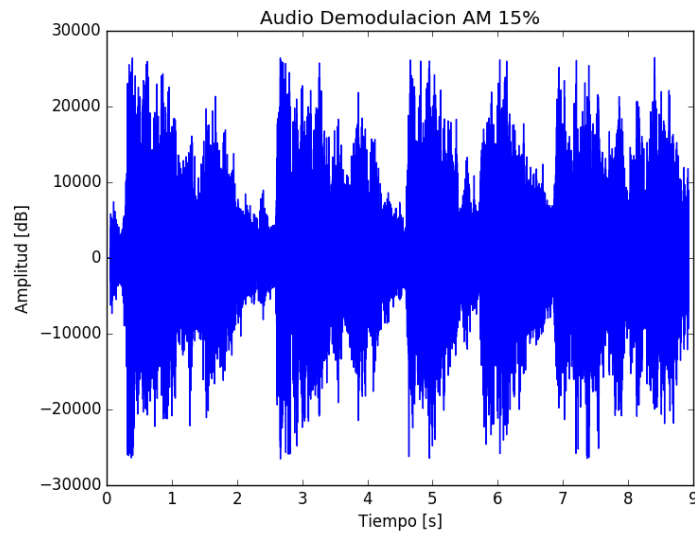


Figura 3-5: Audio Demodulado AM al 15 %

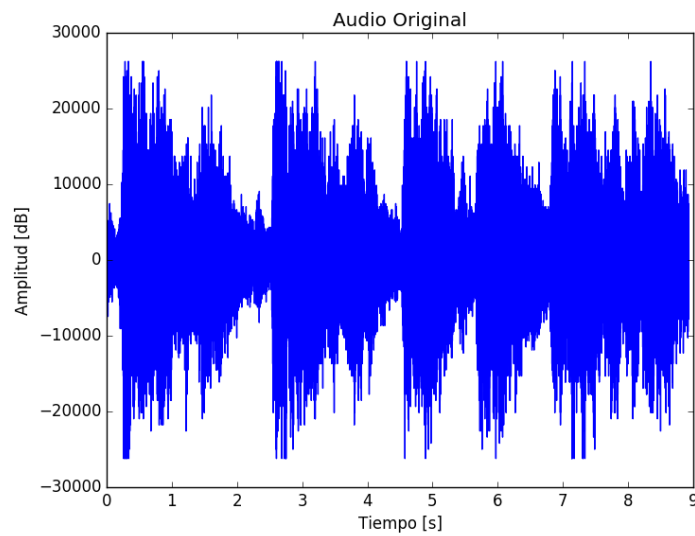


Figura 3-6: Audio Original

3.1.2 Modulación al 100 %

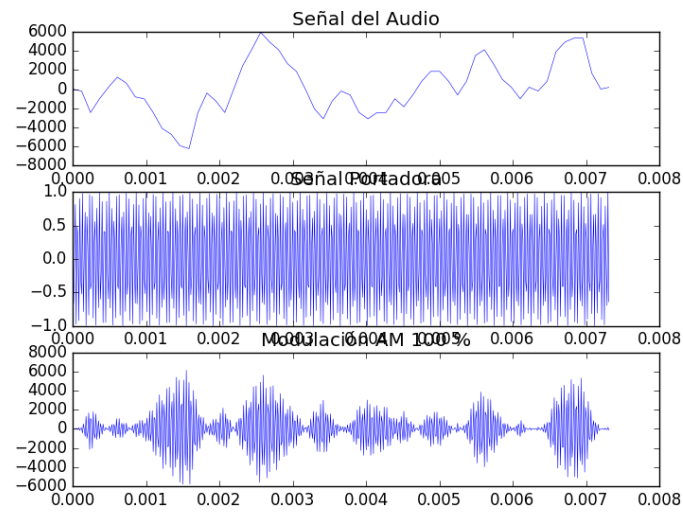


Figura 3-7: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 100 %

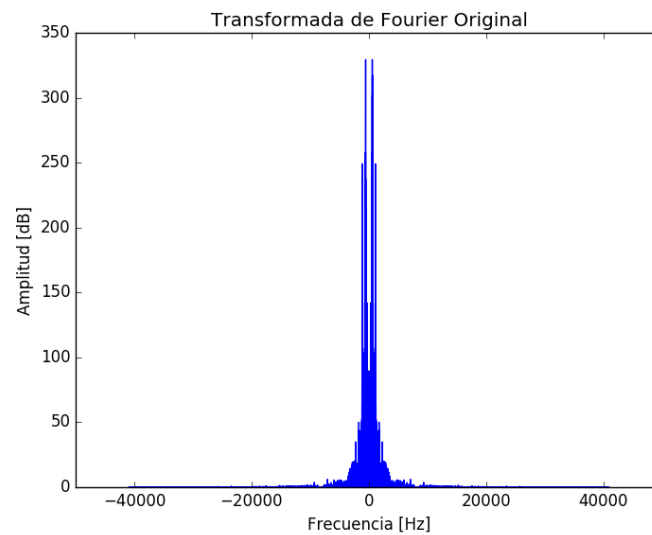


Figura 3-8: Transformada de Fourier original

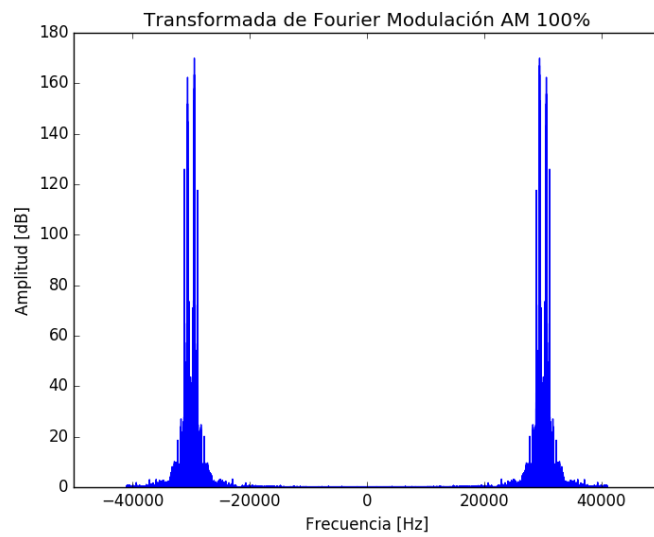


Figura 3-9: Transformada de Fourier Modulación AM al 100 %

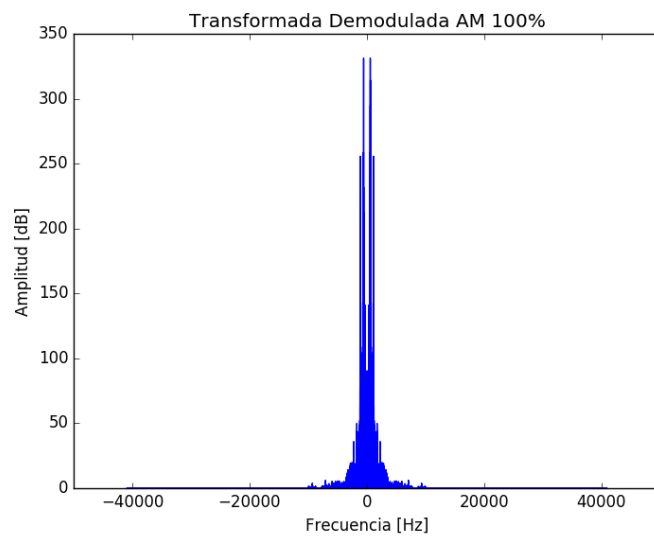


Figura 3-10: Transformada de Fourier Demodulada AM al 100 %

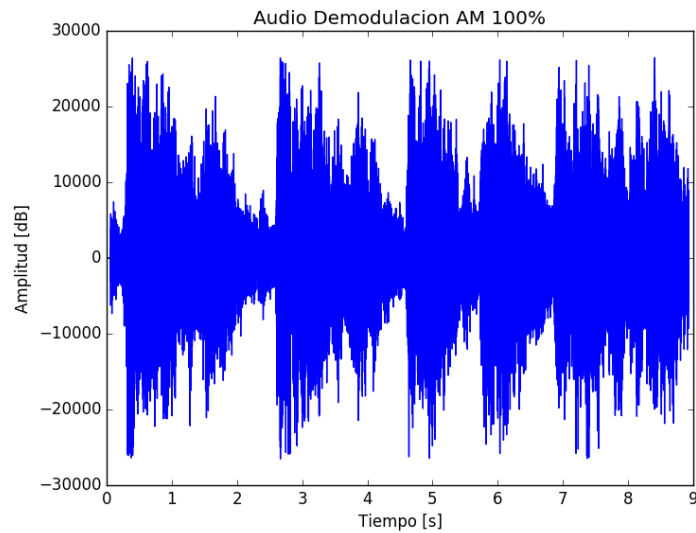


Figura 3-11: Audio Demodulado AM al 100 %

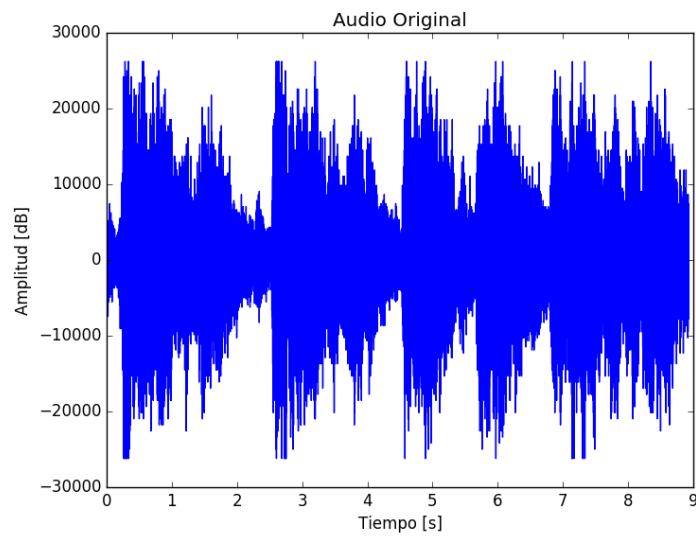


Figura 3-12: Audio Original

3.1.3 Modulación al 125 %

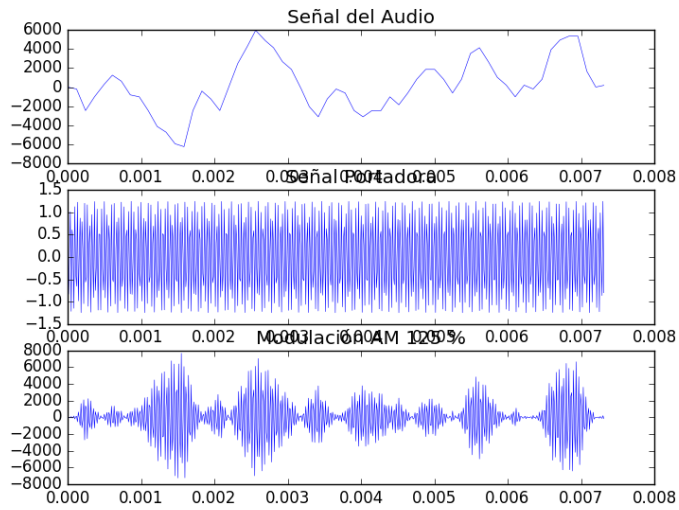


Figura 3-13: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para AM al 125 %

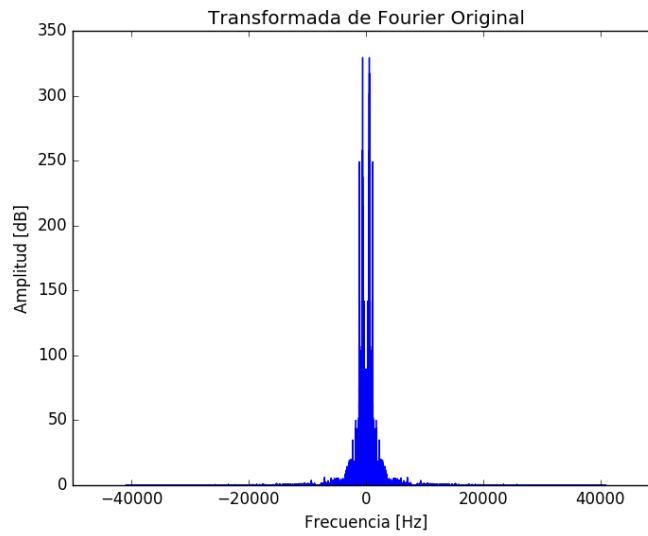


Figura 3-14: Transformada de Fourier original

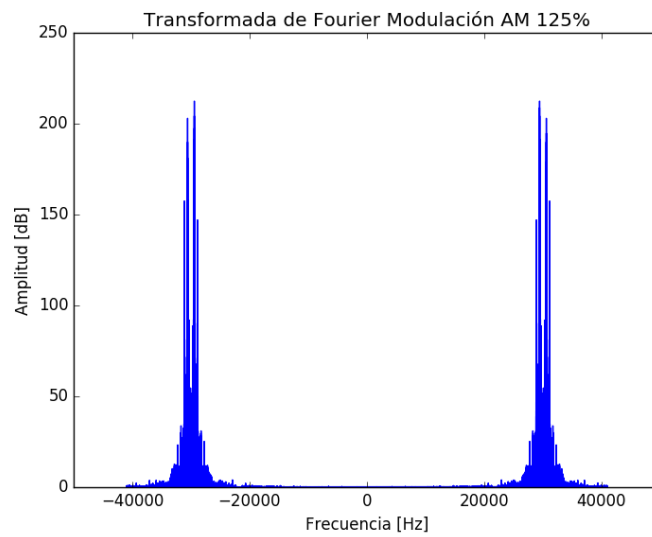


Figura 3-15: Transformada de Fourier Modulación AM al 125 %

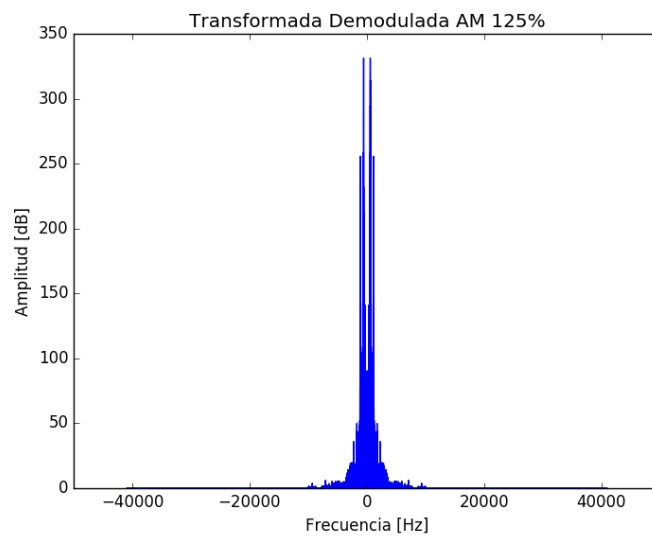


Figura 3-16: Transformada de Fourier Demodulada AM al 125 %

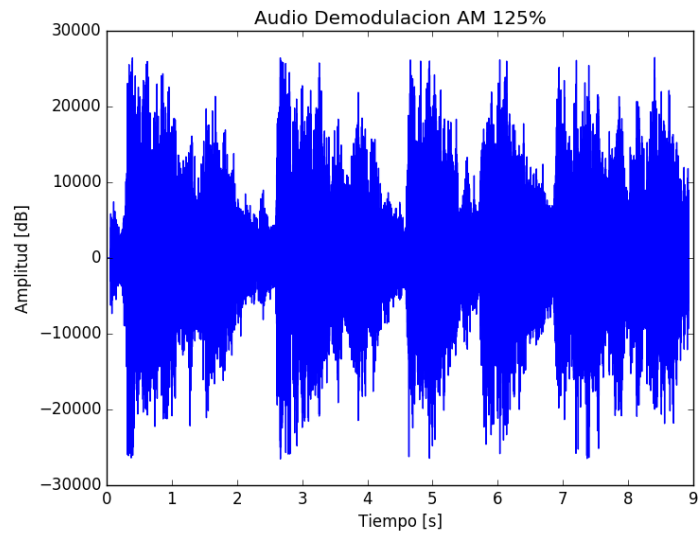


Figura 3-17: Audio Demodulado AM al 125 %

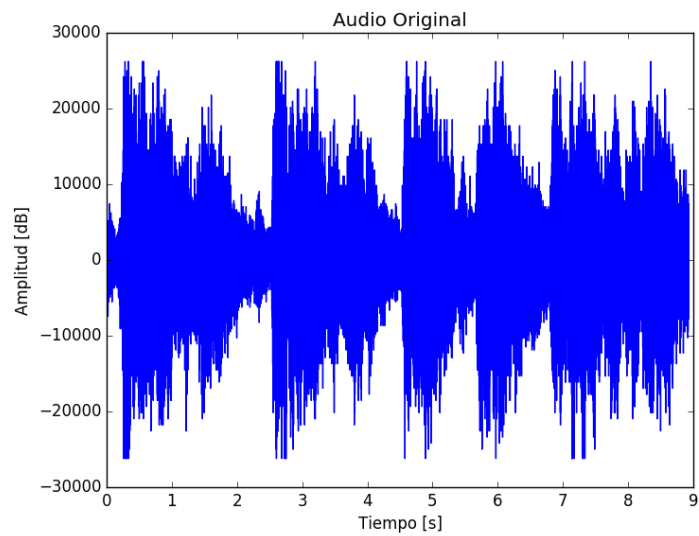


Figura 3-18: Audio Original

3.2 MODULACIÓN FM

En esta sección es posible observar cada una de las figuras obtenidas al realizar la modulación FM con sus respectivos porcentajes de modulación.

3.2.1 Modulación al 15 %

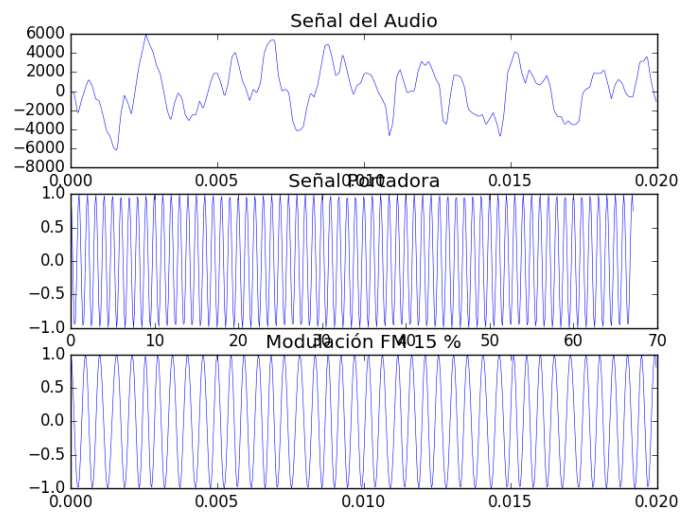


Figura 3-19: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 15 %

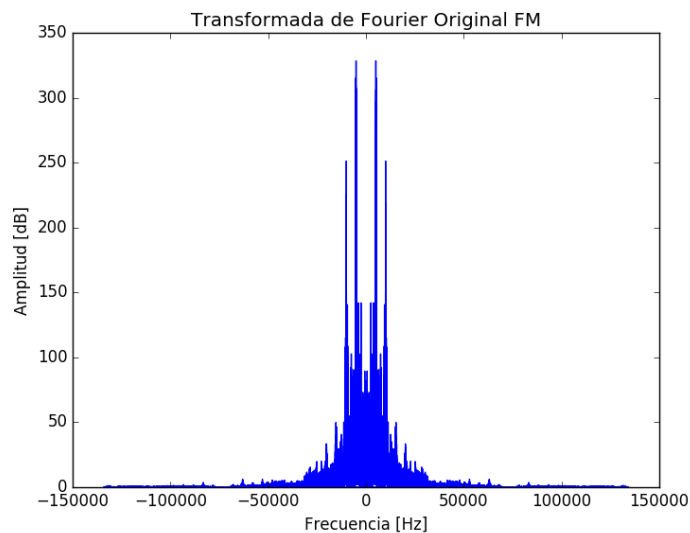


Figura 3-20: Transformada de Fourier original

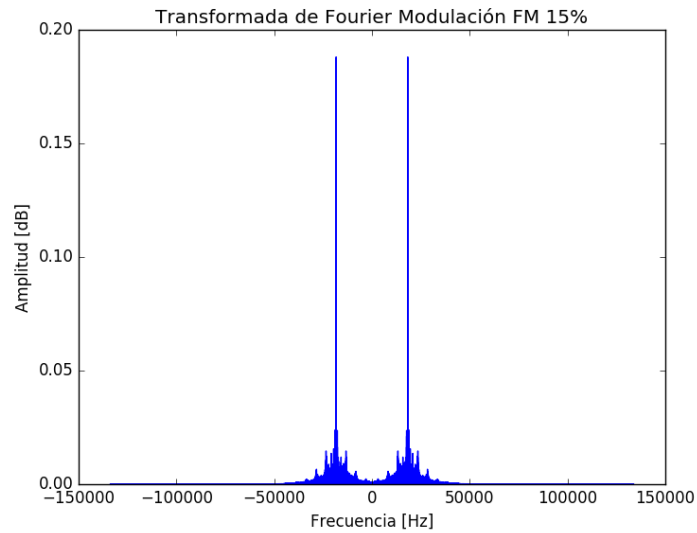


Figura 3-21: Transformada de Fourier Modulación FM al 15 %

3.2.2 Modulación al 100 %

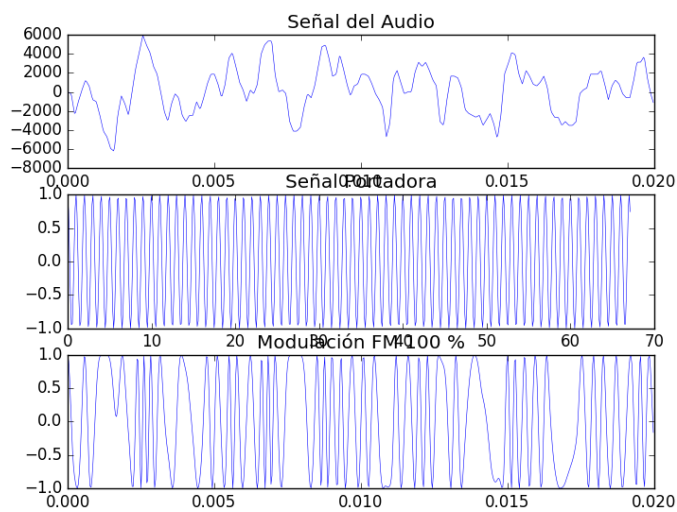


Figura 3-22: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 100 %

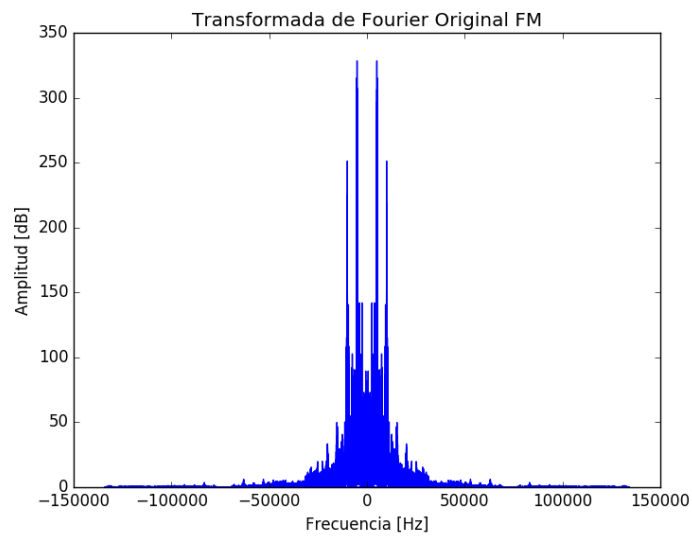


Figura 3-23: Transformada de Fourier original

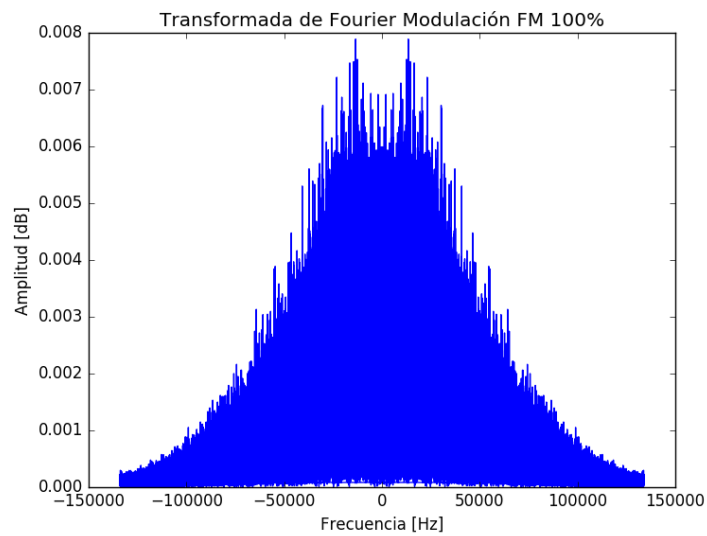


Figura 3-24: Transformada de Fourier Modulación FM al 100 %

3.2.3 Modulación al 125 %

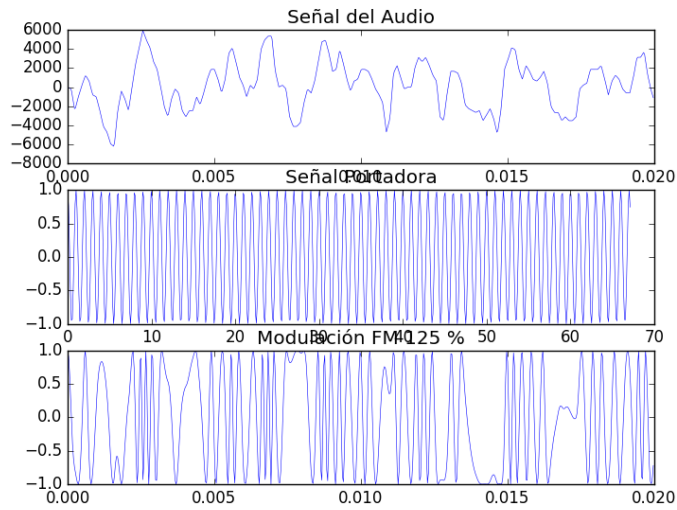


Figura 3-25: Señales Moduladora, Portadora y Modulada para FM al 125 %

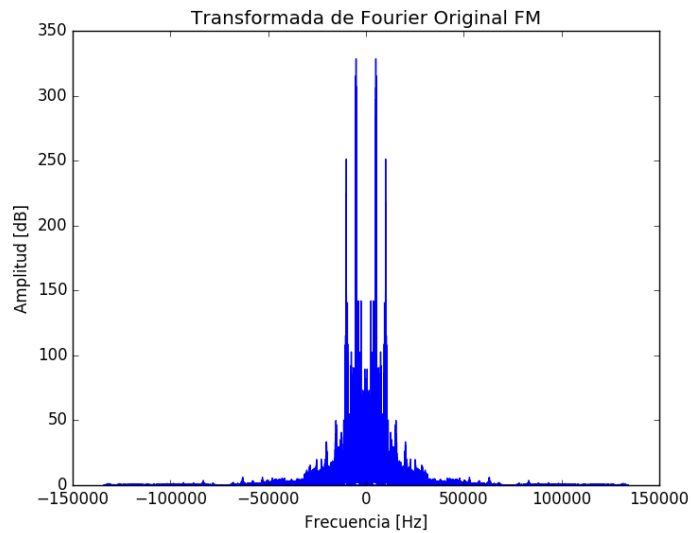


Figura 3-26: Transformada de Fourier original

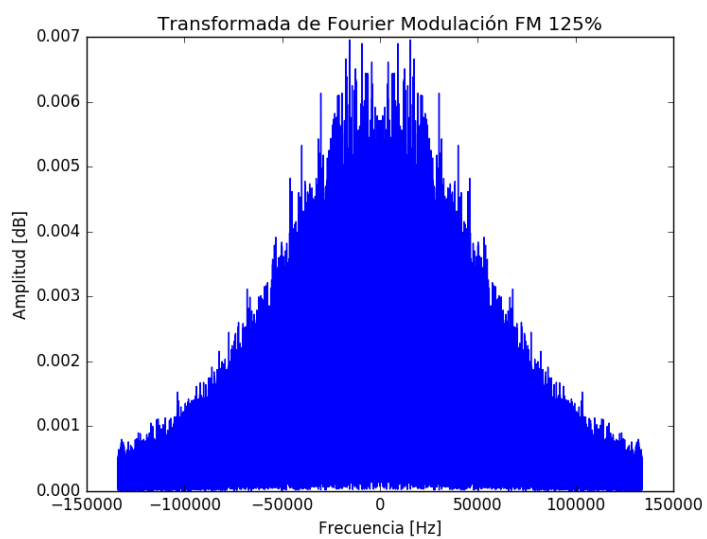


Figura 3-27: Transformada de Fourier Modulación FM al 125 %

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 MODULACIÓN AM

En las figuras 3-1, 3-7, 3-13 se pueden observar tres señales, la primera de ellas es la señal original, luego se tiene la señal portadora y finalmente la señal modulada. Estudiando estas figura se puede decir que el porcentaje de modulación es proporcional a la amplitud de la señal resultante, ya que, si se usa un porcentaje del 15 % la amplitud que se muestra al modular será un 15 % de la amplitud original de la señal y así mismo ocurre con otros porcentajes. Por otro lado, la señal modulada, tiene la misma forma que la señal original o moduladora. Esto, es debido a que la señal moduladora, envuelve la señal portadora. Cabe recalcar que el porcentaje de modulación puede afectar, provocando pérdida de información de la señal, como se explica mas adelante.

En las figuras 3-3, 3-9 y 3-15, se puede observar la transformada de *Fourier* de la modulación AM con los diferentes porcentajes. Es importante mencionar que, que la amplitud de las frecuencias difieren proporcionalmente al porcentaje de modulación. Además, como se utilizó la función coseno como señal portadora, esta genera una división a la mitad en la energía, en este caso, se refleja en la amplitud de la señal, ya que esta considera la parte negativa de las frecuencias al ser una función real. Por último, cabe recalcar, que se utilizó una frecuencia moduladora de 30.000 [Hz], por lo tanto la señal modulada se encuentra centrada en esta frecuencia, tanto en la parte positiva como negativa de las frecuencias.

Por temas prácticos y para demostrar el correcto desarrollo de las modulaciones y demodulaciones para los diferentes porcentajes de modulación, se graficaron las señales demoduladas obtenidas además de la señal original. Esto se puede observar en las figuras 3-5, 3-11 y 3-17, las cuales corresponden a las señales demoduladas y que se asemejan demasiado, por no decir, del todo a lo que se observa en las figuras 3-6, 3-12 y 3-18.

4.2 MODULACIÓN FM

Se puede observar en cada una de figuras 3-19, 3-22 y 3-25 tres gráficos, el primero de ellos, corresponde a la señal moduladora, la segunda a la señal portadora y la tercera a la señal modulada. De estos gráficos, se puede decir que, a medida que la amplitud de la señal moduladora es mayor, la frecuencia de la señal modulada es mayor. En otras palabras, la amplitud de la señal moduladora es proporcional a la frecuencia de la señal modulada.

En este caso, el porcentaje de modulación afecta a la frecuencia de la señal modulada. Siendo mas específico, este porcentaje afecta en que tanto cambia la frecuencia en la señal modulada, cuando aumenta o disminuye la amplitud de la señal moduladora, ya que si se observa la figura 3-22, en los peaks de la señal moduladora, las frecuencias de la señal modulada son mayores en comparación a la figura 3-19.

Cabe recalcar que para el caso de modulación FM, la amplitud de la señal modulada es constante y lo que varía es la frecuencia.

Un problema que puede ocurrir en esta técnica de modulación, es que al aumentar la frecuencia por sobre el 100 % existe el peligro de que se interfiera con frecuencias contiguas a ella, provocando así, pérdida de información o ruido. Esto se puede observar prácticamente en la figura 3-27, la cual tiene un ancho de banda mayor al que se puede representar, provocando perdida de información.

Es importante mencionar que el ancho de banda para modulación AM, es mucho menor en comparación a la modulación FM, esto se ve reflejado en las figuras 3-9 (Tranformada de Fourier de la señal modulada por AM al 100 %) y la figura 3-24 (Tranformada de Fourier de la señal modulada por FM al 100 %). Claramente, el ancho de banda es bastante diferente comparando estas figuras anteriormente mencionadas, donde para el caso de AM, utiliza un ancho de banda de aproximadamente 20.000 [Hz], mientras que para el caso de modulación FM el ancho de banda es mayor a 250.000 [Hz].

4.3 PREGUNTAS

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

Los principales usos de las señales AM son para radios de información y además para radios existentes en montañas. Esto se debe a la naturaleza de las señales moduladas por amplitud. Se usan para radios que transmiten información, donde no importa demasiado la resolución del sonido, porque las señales AM son más propensas al ruido y al mismo tiempo más baratas (comparando con las señales FM), esto provoca que no se usen cuando se requiere demasiada calidad en el sonido. Las señales AM fueron las primeras usadas en las radios, pero con la llegada de las señales FM (y la mejora en la calidad del sonido) se fue dejando de lado. Por otro lado, estas señales son requeridas en lugares donde existen demasiados obstáculos para que la señal viaje. Debido a la naturaleza de las señales AM esta tiene una propagación ionosférica, por lo cual puede ser transmitida desde largas distancias e incluso pasar montañas.

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

Las señales FM son las que actualmente se usan en las radios. En comparación con las señales AM son relativamente caras de producir, pero la calidad del sonido es mucho mayor y es por eso que se asume el costo. Por la naturaleza de las señales FM, solo es posible usarlas en lugares “planos”, estas señales tienen una longitud de onda muy pequeña y es por eso que las señales al chocar con un obstáculo (montaña, edificios, etc.) no es posible que lo pase y se pierde.

4.3.3 ¿Cuáles son los problemas de una sobremodulación?

La sobremodulación ocurre cuando el porcentaje de modulación es mayor a 100 por ciento. Esto trae consigo problemas, por ejemplo, si se está trabajando en las señales FM y existe un canal con sobremodulación, es posible que dicho canal se tope en las frecuencias con otro canal y provoquen entre si interferencia. Dicha interferencia puede distorsionar la señal emitida, provocar ruido o hasta que se pierda la señal original. Si se analiza los gráficos en el dominio de la frecuencia de las modulaciones realizadas con AM, es posible apreciar que la amplitud en cada frecuencia es mayor acorde se aumente el porcentaje de modulación; tal fenómeno aclara de cierto modo lo que sucede cuando se modula a una escala mayor al 100 por ciento, ya que al existir sobremodulación, existe el peligro de que la señal pierda información.

4.3.4 ¿Por qué no modular siempre en un 100 %?

Puede que no siempre sea posible modular al 100 por ciento debido a lo mismo que se mencionó en el punto anterior, “las interferencias entre señales”. Si se imagina que la señal moduladora tiene una amplitud de frecuencia muy alta, puede ser necesario modular de tal forma que se disminuya un poco dicha amplitud y la señal modulada no interfiera con otra señal. Por otro lado, puede que ocurra lo mismo para señales con amplitud de frecuencia muy bajas, puede que se requiera mayor amplitud en la señal moduladora y en ese caso se module a un porcentaje mayor a 100.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

A lo largo de este informe se fue aplicando y desarrollando las técnicas de modulación para señales analógicas. Usando *Python3* se pudo implementar ambas modulaciones (AM y FM) permitiendo así, el entendimiento de la base de esta experiencia. El objetivo principal de esta experiencia fue cumplido satisfactoriamente, ya que fue necesario identificar las técnicas de modulación para señales analógicas para poder desarrollar correctamente la experiencia, por lo que implica también, que los tres objetivos específicos fueron cumplidos, aplicando así la modulación AM, FM y finalmente la demodulación AM, que en la práctica resulta ser más sencilla.

En base al análisis propuesto en esta experiencia, para la modulación de señales analógicas, se puede decir que la modulación FM posee una mejor calidad que la modulación AM, ya que estas últimas son señales de bajas frecuencias, por lo que son más vulnerables al ruido. A pesar de que la modulación FM, supere en calidad a AM, FM resulta ser más costosa en cuanto a las herramientas que se necesitan o las propiedades necesarias, además, que al tener longitudes de onda menores, en superficies no "planas" pueden sufrir mayor interferencia.

Finalizando esta experiencia, se espera obtener una retroalimentación positiva, para mejorar en trabajos futuros, ya que el desarrollo de estas experiencias, ayudan a comprender de mejor manera los conceptos y aplicaciones enseñadas en la asignatura.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

[Sam05] J Samaniego. «Módulo de enseñanza para modulación analógica y digital basada en microcontrolador (PIC) y asistida por PC (MA/D-PC)». En: *Revista Concytec. Mosaico Cient. Vol.(2)* (2005).