

LABORATORIO 4 : MODULACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL
REDES DE COMPUTADORES

MAURICIO ROJAS
FRANCISCO MUÑOZ

Profesor: Carlos González

Ayudantes:

- Maximiliano Pérez
- Pablo Reyez
- Kevin Canales

Santiago - Chile
26 de junio de 2016

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	7
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)	12
CAPÍTULO 3. DESARROLLO Y RESULTADOS	17
3.1 PARTE 1: MODULACIÓN ANALÓGICA	17
3.1.1 Pregunta 1	17
3.1.2 Pregunta 2	17
3.1.3 Pregunta 3	21
3.1.4 Pregunta 4	25
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
4.1 PARTE 1 : MODULACIÓN ANALÓGICA	29
4.1.1 ¿Cuáles son los principales usos para la modulación AM? ¿Por qué?	29
4.1.2 ¿Cuáles son los principales usos para la modulación FM? ¿Por qué?	29
4.1.3 ¿Cuáles son los problemas de una sobremodulación?	29
4.1.4 ¿Por qué no modular siempre en un 100 %?	30

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN	31
-------------------------------------	-----------

CAPÍTULO 6. REFERENCIAS Y DOCUMENTACIÓN	33
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Señal Portadora	10
Figura 2-2: Señal Moduladora (Datos)	10
Figura 2-3: Señal Modulada	11
Figura 2-4: Ecuación de la Señal modulada en amplitud AM	11
Figura 2-5: Espectro de Frecuencias AM	12
Figura 2-6: Señal Portadora	13
Figura 2-7: Señal Moduladora (Datos)	13
Figura 2-8: Señal Modulada (en la Frecuencia)	14
Figura 2-9: Ecuación de la señal modulada en la Frecuencia (FM)	14
Figura 2-10: Espectro de Frecuencias FM	15
Figura 3-1: Modulación AM al 15 %	18
Figura 3-2: Modulación FM al 15 %	18
Figura 3-3: Modulación AM al 100 %	19
Figura 3-4: Modulación FM al 100 %	19
Figura 3-5: Modulación AM al 125 %	20
Figura 3-6: Modulación FM al 125 %	20
Figura 3-7: Espectro de Frecuencia Señal Original	21
Figura 3-8: Espectros vía AM al 15 %	22
Figura 3-9: Espectros vía FM al 15 %	22
Figura 3-10: Espectros vía AM al 100 %	23
Figura 3-11: Espectros vía FM al 100 %	23
Figura 3-12: Espectros vía AM al 125 %	24
Figura 3-13: Espectros vía FM al 125 %	24

Figura 3-14: Señal de Audio respecto al tiempo, Sin Demodular	25
Figura 3-15: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 15 %	26
Figura 3-16: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 100 %	26
Figura 3-17: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 125 %	27

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Este documento trata sobre la experiencia 4 del laboratorio del ramo Redes de Computadores. Dicho laboratorio trata sobre la transmisión de información analógica 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 des-modulaciones analógicas y digitales, 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.

Dentro de los objetivos que nos desafía esta experiencia de laboratorio es de identificar y analizar el funcionamiento de las diferentes técnicas existentes para la transmisión de señales a través del medio, técnica de modulación analógicas que han dominado el mundo por un largo tiempo y la evolución propia de la era digital, la modulación digital. La modulación en nuestros tiempos 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, son solo algunas ventajas que presentan las diferentes técnicas de modulación, cada una con sus particularidades.

Una parte importante de la modulación de señales es la des-modulación de esta, actividad que nos permite extraer la información de la onda modulada y reconstruir la señal original para obtener la información que se deseaba transmitir, este punto también será un objetivo de esta experiencia el cual es abordado con eficacia.

El presente documento presenta una conclusión que representa una motivación y un prefacio a los objetivos trabajados en esta experiencia, luego un marco teórico que nos permite reforzar contenidos y conceptos que se utilizarán durante el desarrollo y análisis de la experiencia, el capítulo de desarrollo y resultados corresponde donde se presentan las técnicas utilizadas para el desarrollo de los objetivos propuestos y los resultados obtenidos a través de estas, el análisis de resultados corresponde a la mirada crítica y a resolver las preguntas propuestas en el enunciado de la experiencia utilizando los resultados obtenidos, conclusiones donde destacaremos el conocimiento descubierto, abarcando las ideas

principales, juzgando los resultados obtenidos y contrastando con los objetivos esperados.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El objetivo de este marco teórico es el de repasar y reforzar ciertos contenidos y conceptos que son importantes en el desarrollo de este laboratorio.

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.

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.

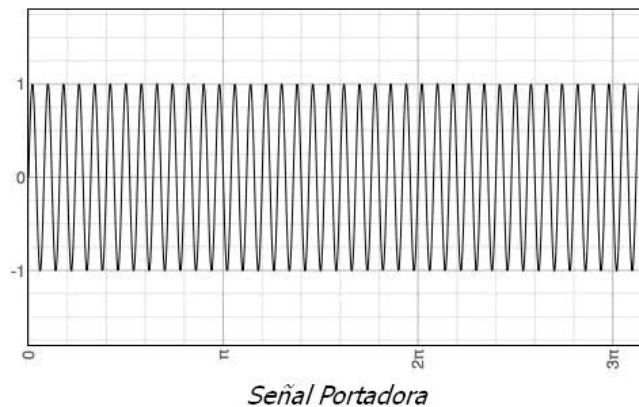


Figura 2-1: Señal Portadora

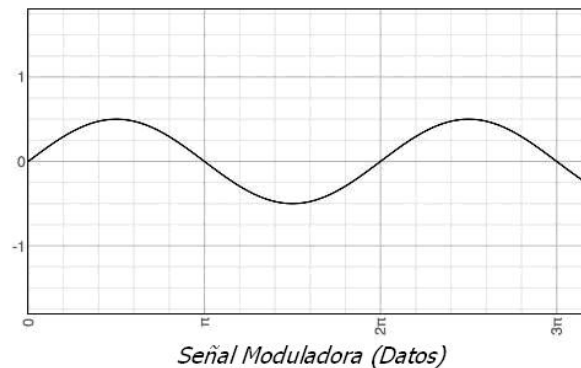


Figura 2-2: Señal Moduladora (Datos)

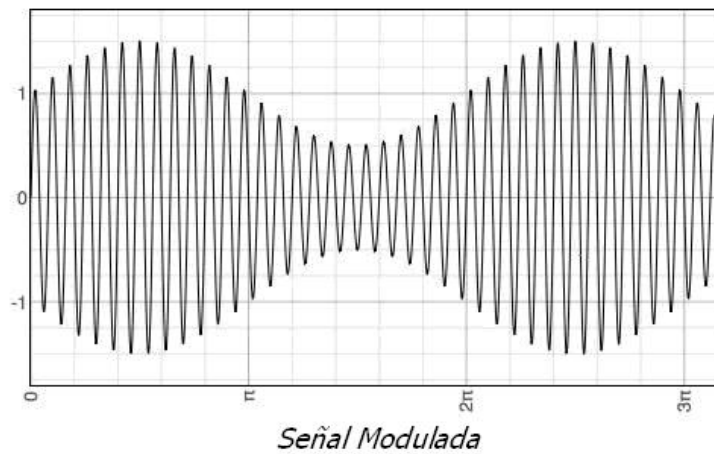


Figura 2-3: Señal Modulada

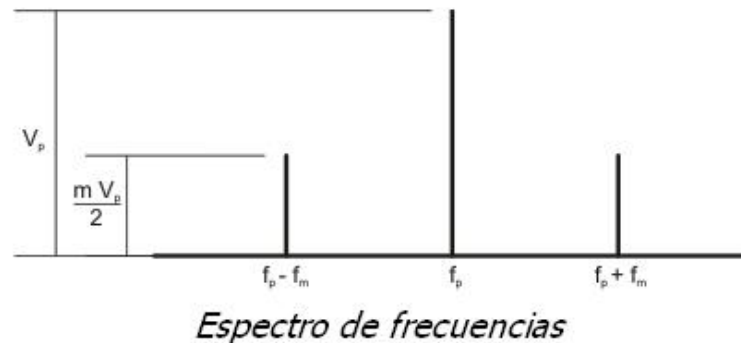
Fuente:modul.galeon.com

Consideremos que la expresión matemática de la señal modulada en amplitud está dada por:

$$v(t) = V_p \sin(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p - f_m)t] - \frac{mV_p}{2} \cos[2\pi(f_p + f_m)t]$$

Figura 2-4: Ecuación de la Señal modulada en amplitud AM

De la ecuación anterior que describe a una señal modulada en amplitud, se observa que tiene tres términos. El primero de ellos corresponde a una señal cuya frecuencia es la de la portadora, mientras que el segundo corresponde a una señal cuya frecuencia es diferencia entre portadora y moduladora y el tercero a una frecuencia suma de las frecuencias de la portadora y moduladora. Todo este conjunto da lugar a un espectro de frecuencias de las siguientes características.



f_p - Frecuencia de la portadora

$f_p - f_m$ - Frecuencia diferencia de la portadora y la moduladora

$f_p + f_m$ - Frecuencia suma de la portadora y la moduladora

Figura 2-5: Espectro de Frecuencias AM

Fuente:modul.galeon.com

Debido a que en general una señal analógica moduladora no es sinusoidal pura, sino que tiene una forma cualquiera, a la misma la podemos desarrollar en serie de Fourier y ello da lugar a que dicha señal esté compuesta por la suma de señales de diferentes frecuencias. De acuerdo a ello, al modular no tendremos dos frecuencias laterales, sino que tendremos dos conjuntos a los que se denomina banda lateral inferior ($f_p - f_m$) y banda lateral superior ($f_p + f_m$).

Como la información está contenida en la señal moduladora, se observa que en la transmisión dicha información se encontrará contenida en las bandas laterales, ello hace que sea necesario determinado ancho de banda para la transmisión de la información.

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.

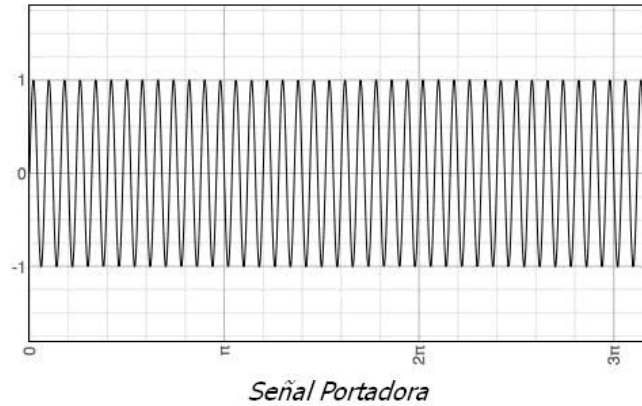


Figura 2-6: Señal Portadora

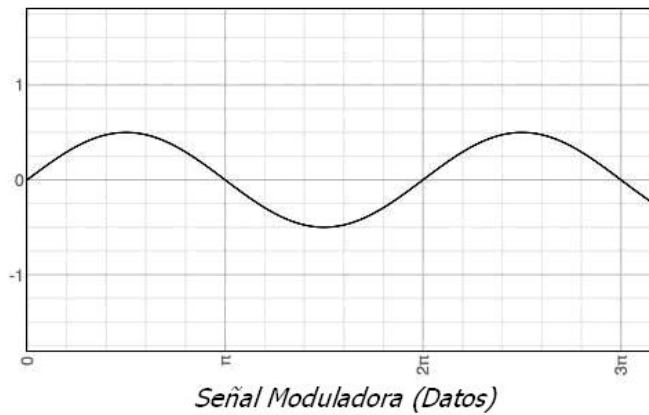


Figura 2-7: Señal Moduladora (Datos)

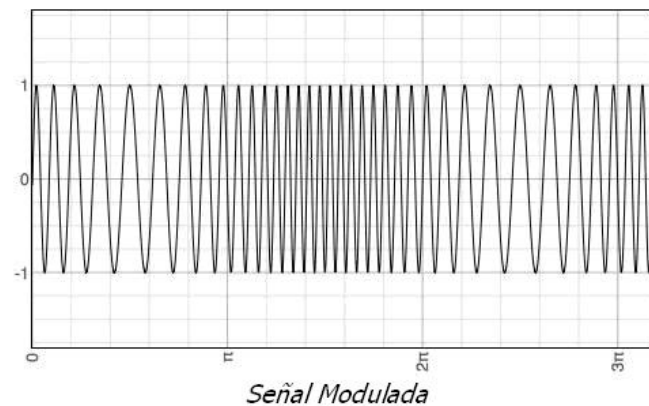


Figura 2-8: Señal Modulada (en la Frecuencia)

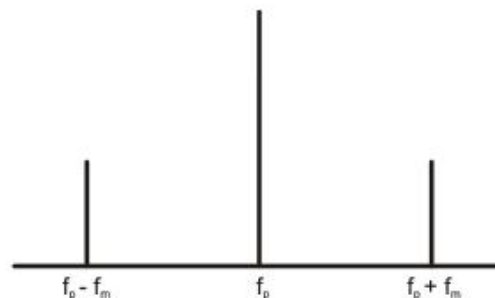
La expresión matemática de la señal modulada en frecuencia, está dada por:

$$v(t) = V_p \sin \left(2\pi f_p t + \frac{\Delta f}{f_m} \cos(2\pi f_m t) \right)$$

Figura 2-9: Ecuación de la señal modulada en la Frecuencia (FM)

La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente, según la onda moduladora, esto es, si aplicamos una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central, que es la portadora; además el grado de esta variación dependerá del volumen con que modulemos la portadora, a lo que denominamos *índice de modulación*.

Al analizar el espectro de frecuencias de una señal modulada en frecuencia, observamos que se tienen infinitas frecuencias laterales, espaciadas en FM, alrededor de la frecuencia de la señal portadora FP; sin embargo la mayor parte de las frecuencias laterales tienen poca amplitud, lo que indica que no contienen cantidades significativas de potencia.



Espectro de frecuencia

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m}$$

Donde:

m_f - Índice de modulación

Δf - Variación de la frecuencia de la portadora

f_m - Frecuencia de la portadora

*Figura 2-10: Espectro de Frecuencias FM**Fuente:modul.galeon.com*

El análisis de Fourier indica que el número de frecuencias laterales que contienen cantidades significativas de potencia, depende del índice de modulación de la señal modulada, y por lo tanto el ancho de banda efectivo también dependerá de dicho índice.

De igual forma el contenido de potencia de la señal portadora disminuye conforme aumenta m_f , con lo que se logra poner la máxima potencia en CAP donde está la información, es decir en las bandas laterales.

Como consecuencia de estas características de modulación podemos observar cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando modulamos en frecuencia que cuando lo hacemos en amplitud. Además al no alterar la frecuencia de la portadora en la medida que aplicamos la información, podemos transmitir señales sonoras o información de otro tipo (datos o imágenes), que comprenden mayor abanico de frecuencias moduladoras, sin por ello abarcar mayor ancho de banda. Éste es el motivo por el que las llamadas “radiofórmulas” utilizan la frecuencia modulada, o dicho de otro modo, el nacimiento de las estaciones que a mediados de los sesenta eligieron este sistema para emitir sus programas con mayor calidad de sonido lo cual dio origen a la radiodifusión musical.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO Y RESULTADOS

3.1 PARTE 1: MODULACIÓN ANALÓGICA

A continuación se presenta el desarrollo y los resultados obtenidos al trabajar con modulaciones analógicas.

3.1.1 Pregunta 1

Para leer la señal *handel.wav* simplemente se usó la función *read*. Para verificar la implementación de este punto es posible revisar el código adjunto en la entrega.

3.1.2 Pregunta 2

Esta petición fue posible realizarla, usando las formulas definidas para modular en AM y FM fue posible generar algoritmos en Python de tal forma que se simulaban ambas modulaciones. Cabe destacar que variando el porcentaje de modulación (al incrementarlo de 15 a 125) fue posible apreciar que en la modulación AM variaba la amplitud de la señal modulada (incrementaba), y por su parte la modulación FM también variaba, pero en este caso variaba la frecuencia (incrementaba).

A continuación se muestran los gráficos obtenidos por tipo de modulación y porcentaje del mismo se presentaran a la par para hacer mas efectiva la comparación, es decir según un porcentaje de modulación se presentan los tipos de modulación analógica.

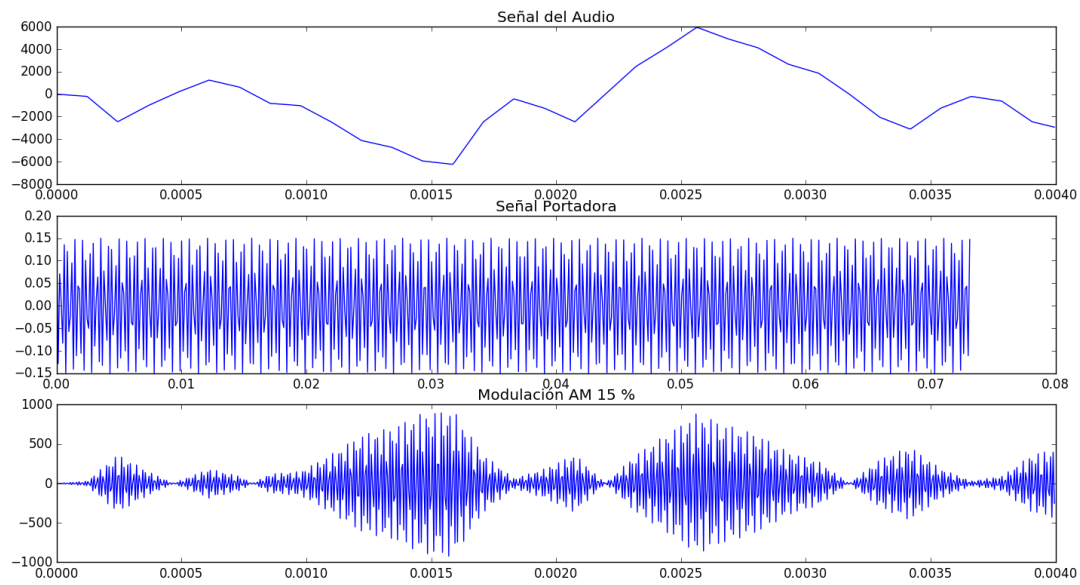


Figura 3-1: Modulación AM al 15 %

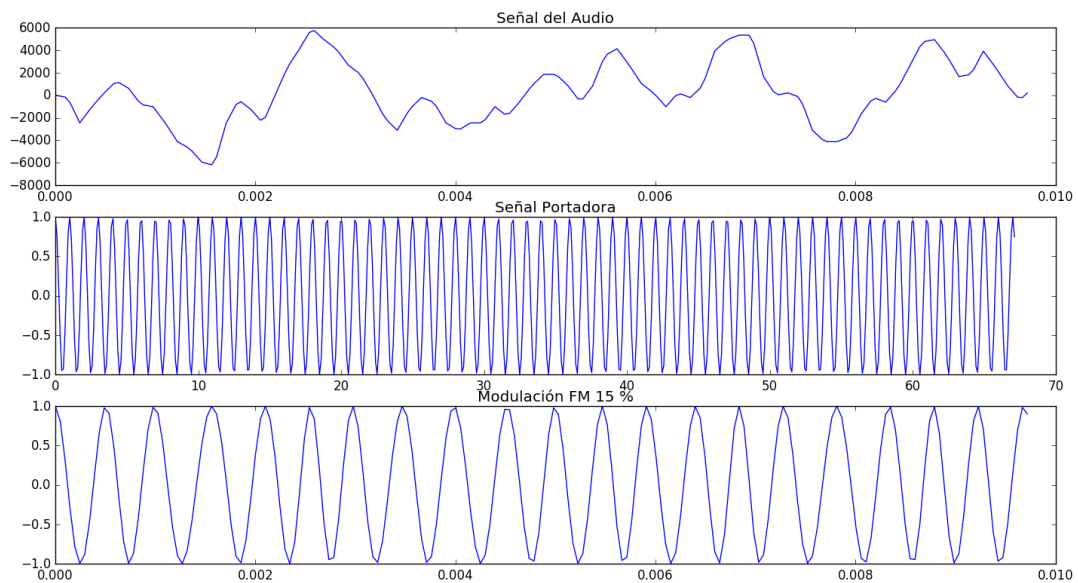


Figura 3-2: Modulación FM al 15 %

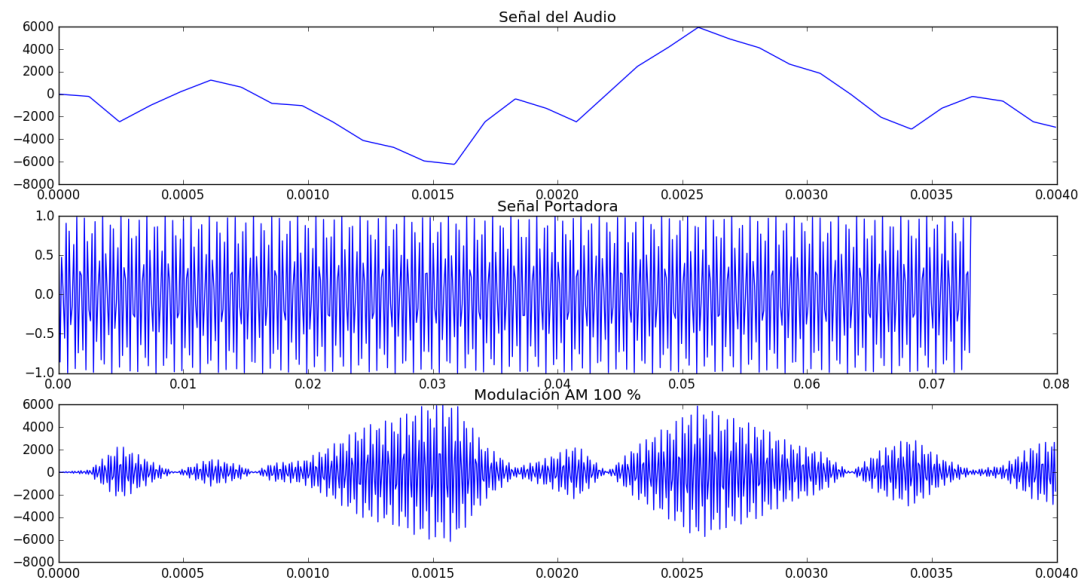


Figura 3-3: Modulación AM al 100 %

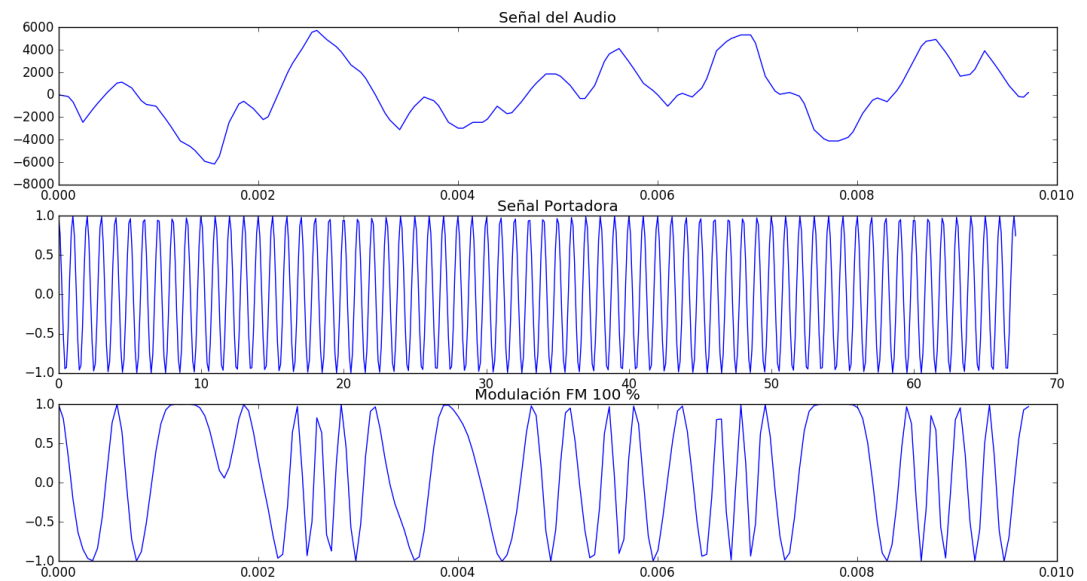


Figura 3-4: Modulación FM al 100 %

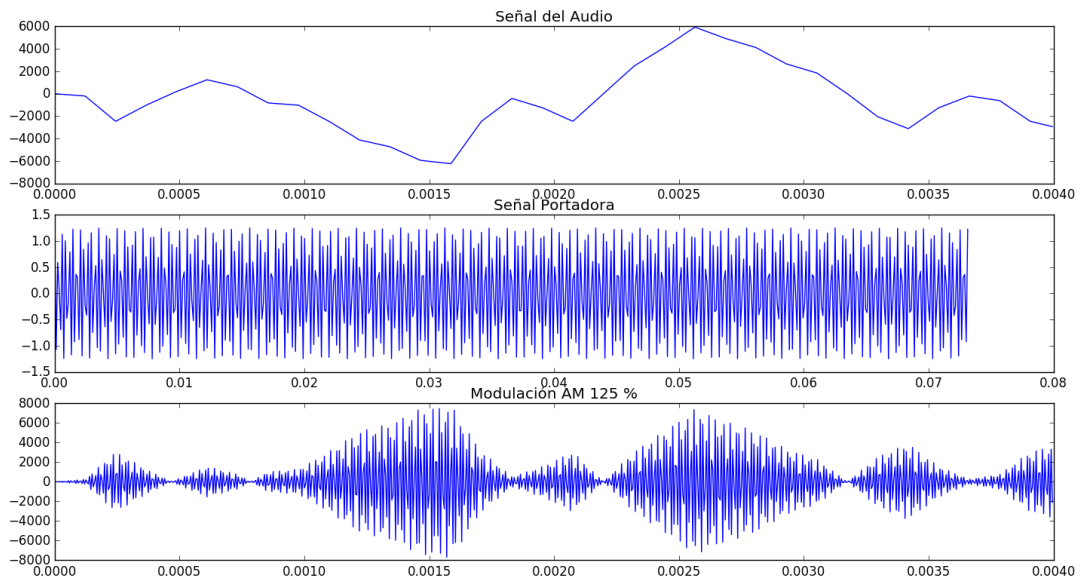


Figura 3-5: Modulación AM al 125 %

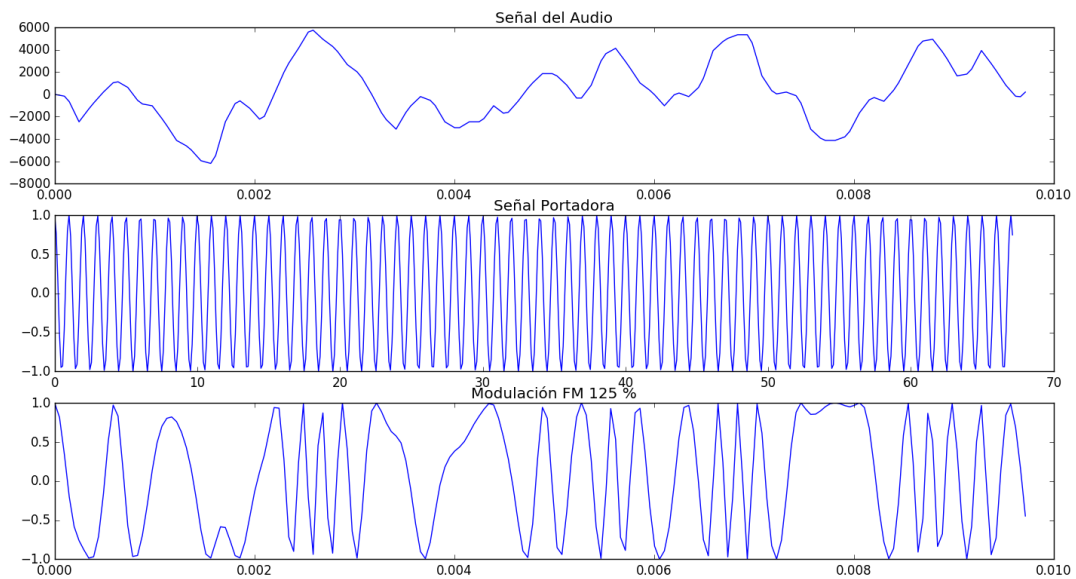


Figura 3-6: Modulación FM al 125 %

3.1.3 Pregunta 3

Este punto fue simple de obtener, ya que en laboratorios anteriores fue posible trabajar en el dominio de la frecuencia con la transformada de Fourier. Es por ello que se obtuvieron todos los gráficos, de los cuales es posible apreciar (comparando con el gráfico en el dominio de la frecuencia de la señal original) que para las modulaciones AM se tiene la misma frecuencia (que no tiene que ver con la frecuencia original) la cual aumenta su amplitud acorde aumenta el porcentaje de modulación. Por su parte, las frecuencias de las modulaciones por frecuencia corresponden a las mismas que las de la señal original, las cuales aumentan su amplitud acorde aumenta el porcentaje de modulación.

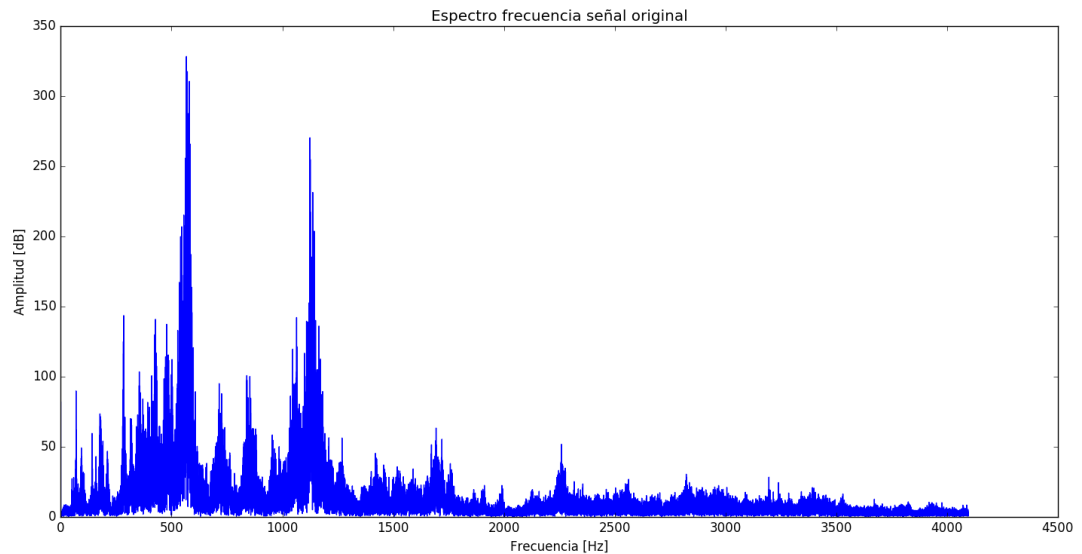


Figura 3-7: Espectro de Frecuencia Señal Original

Aquí mostraremos los resultados de las señales aplicando las respectivas modulaciones y porcentajes de modulación para observar la señal resultante.

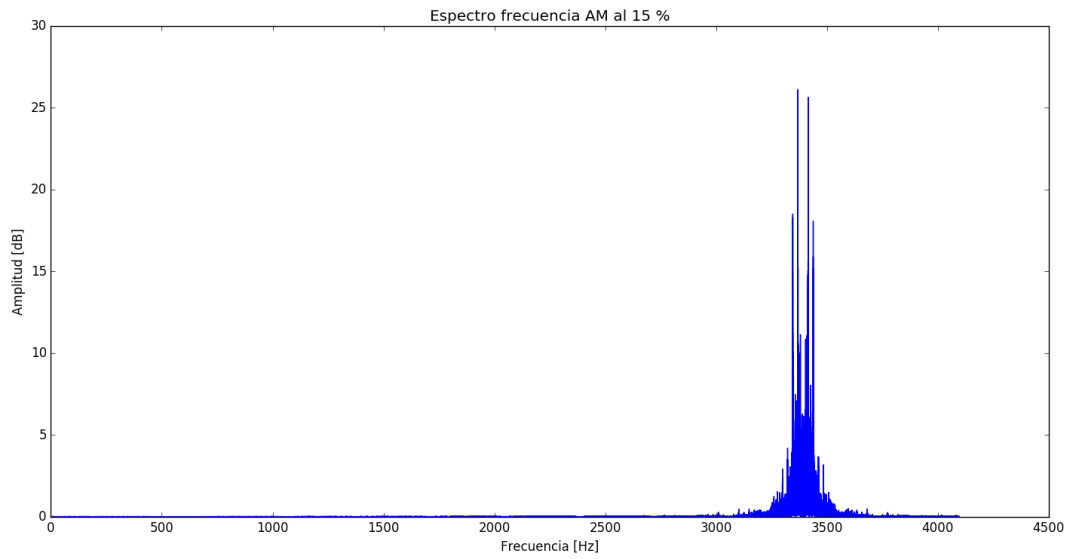


Figura 3-8: Espectros vía AM al 15 %

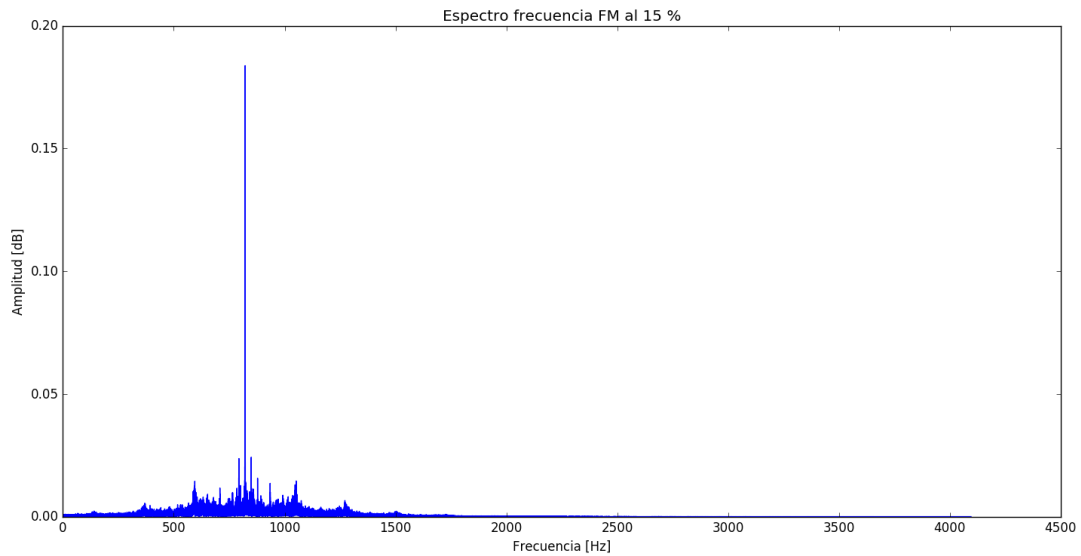


Figura 3-9: Espectros vía FM al 15 %

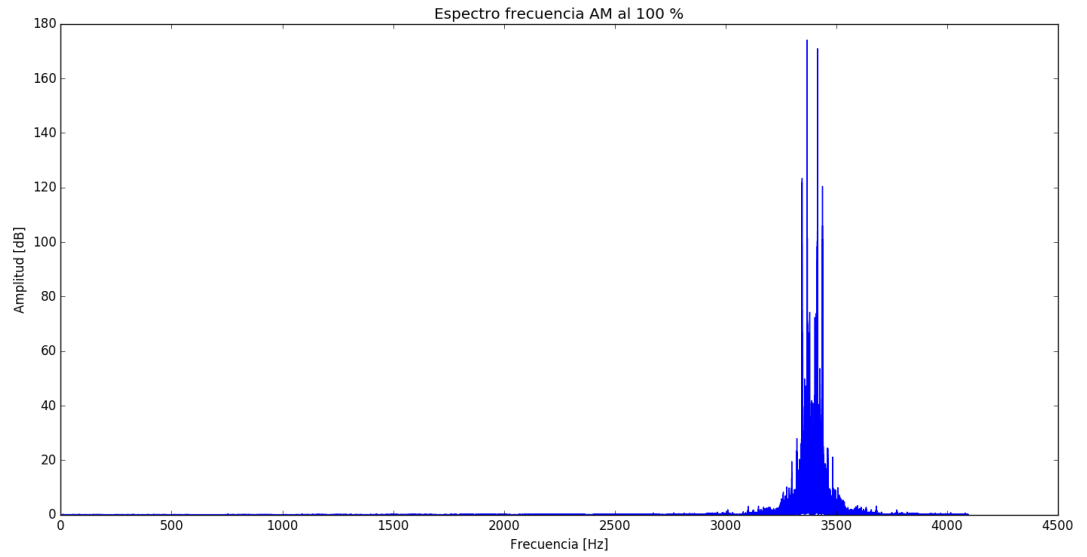


Figura 3-10: Espectros vía AM al 100 %

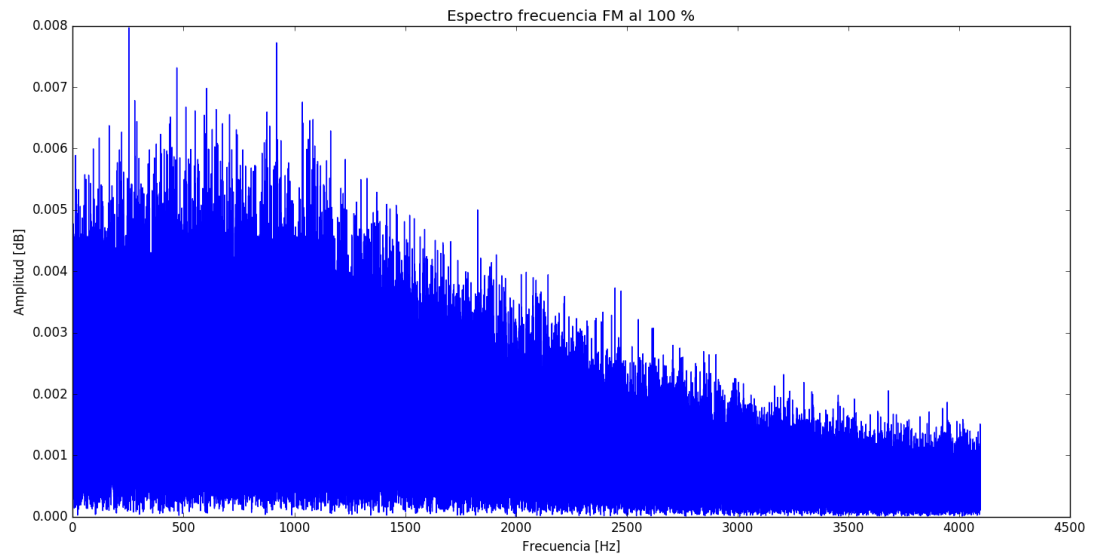


Figura 3-11: Espectros vía FM al 100 %

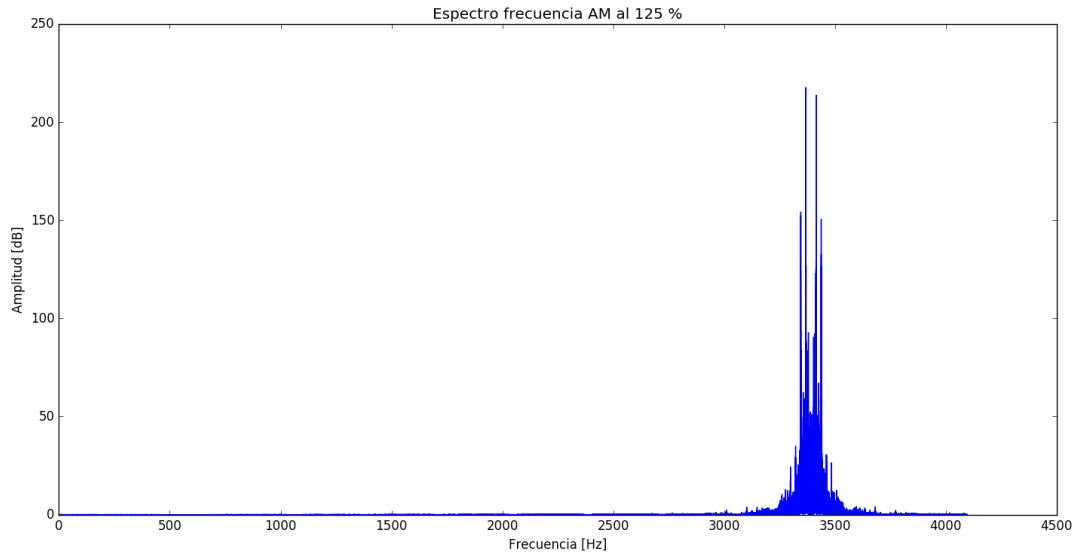


Figura 3-12: Espectros vía AM al 125 %

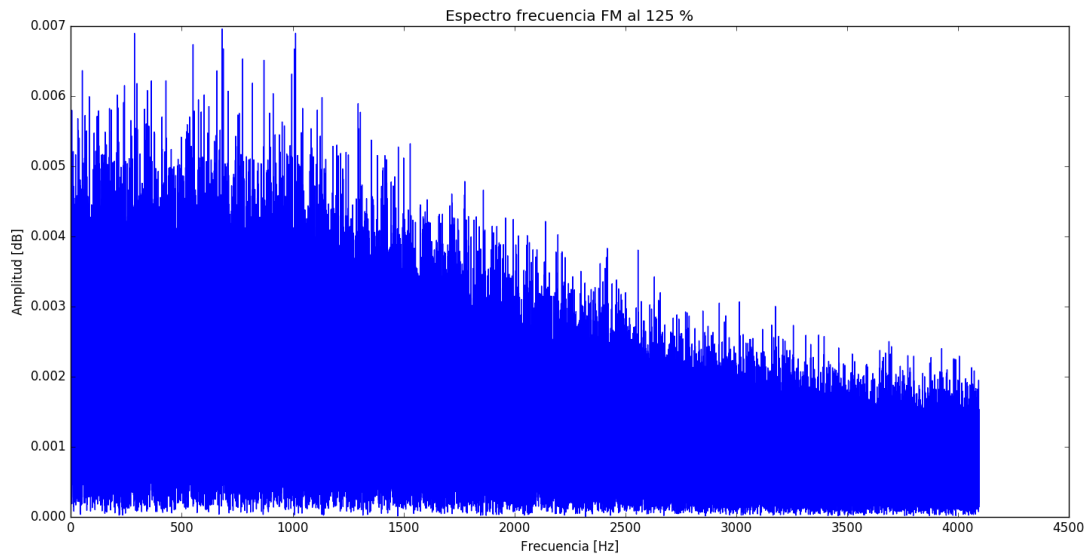


Figura 3-13: Espectros vía FM al 125 %

3.1.4 Pregunta 4

En este punto se logró realizar una demodulación para la modulación por amplitud acorde a la teoría investigada, esto debido a que se considera que dicha modulación es un poco más fácil y se entiende que por consecuencia su demodulación también lo es. Por su parte, no fue posible obtener la señal tal cual se mandó. Si se analizan los gráficos es posible notar que existe una distorsión en el tiempo de la señal y también una distorsión en las amplitudes. Esto indica que existe un mal proceso de demodulación y que algo está fallando, por lo que se cree que esto tiene que ver con el hecho de que se interpolaron los puntos de la señal para mandarla y no se logra trabajar bien con lo que llega. Se obtiene algo parecido, pero no tal cual a la enviada.

Primero se observa la señal de audio respecto al tiempo sin demodular y luego las diferentes señales demoduladas con los porcentajes hasta ahora estudiados:

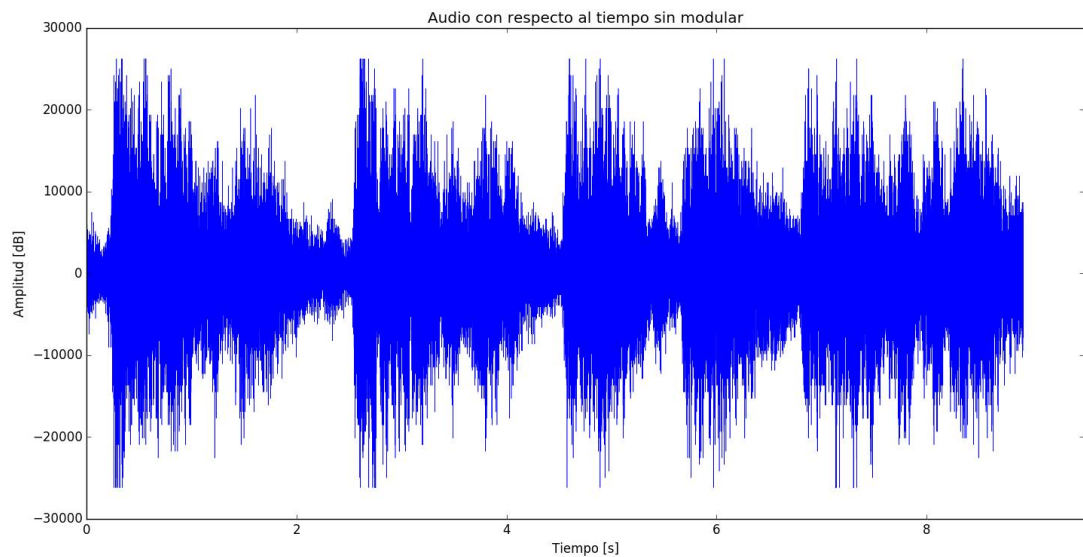


Figura 3-14: Señal de Audio respecto al tiempo, Sin Demodular

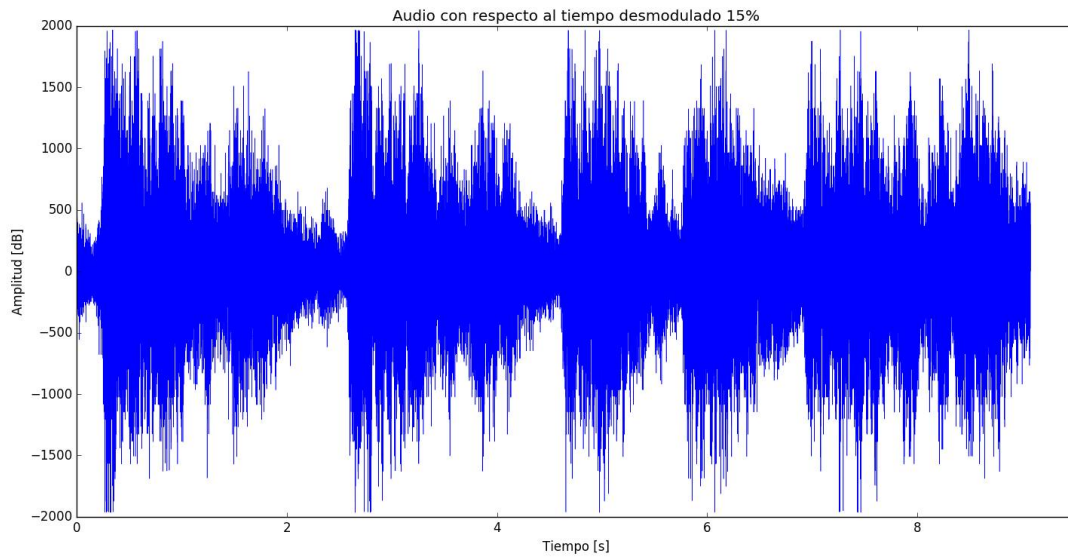


Figura 3-15: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 15 %

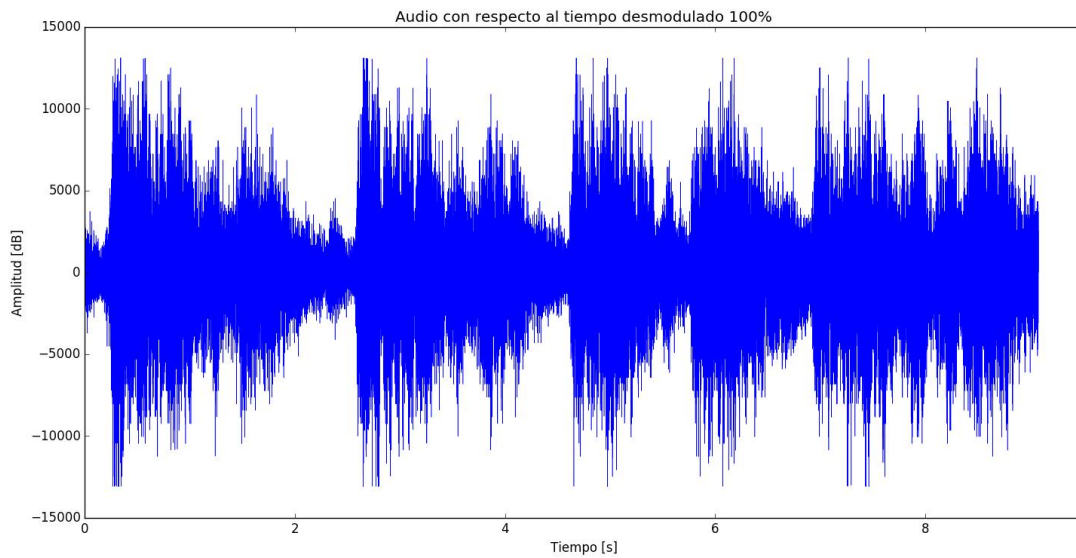


Figura 3-16: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 100 %

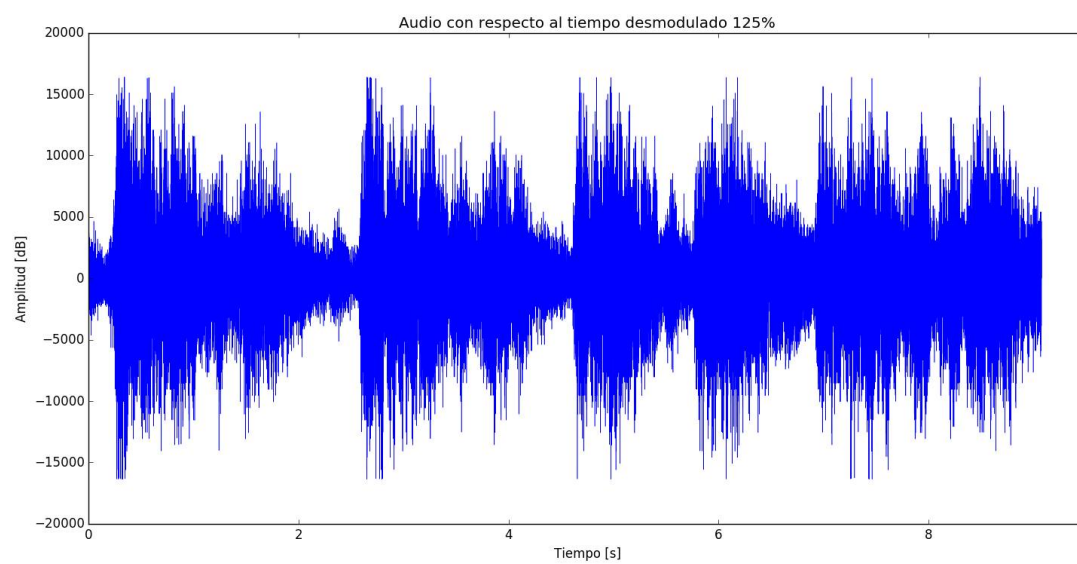


Figura 3-17: Señal de Audio respecto al tiempo, Demodulado al 125 %

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar un análisis de resultados consistente a los resultados y objetivos propuestos del laboratorio, utilizaremos como guía las preguntas que se proponen en el enunciado para resolver el análisis esperado de esta experiencia.

4.1 PARTE 1 : MODULACIÓN ANALÓGICA

4.1.1 ¿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.

4.1.2 ¿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.

4.1.3 ¿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 sí interferencia. Dicha interferencia puede distorsionar

la señal emitida, provocar ruido o hasta que se pierda la señal original. Si analizamos los gráficos en el dominio de la frecuencia de las modulaciones realizadas con FM y 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.

4.1.4 ¿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”. Imaginemos 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

Es posible afirmar en base a la evidencia y la información recopilada en el proceso de investigación de este laboratorio que la modulación por amplitud es más simple, y en base a aquello podemos decir que probablemente es más barata. Dentro del análisis mencionamos que una ventaja de este tipo de modulación es que se puede enviar información en grandes distancias y hasta con obstáculos de por medio. Con respecto a sus desventajas es sabido que es muy propensa al ruido, esto queda en evidencia por su gráfica obtenida en el proceso de modulación, depende totalmente de la amplitud y la frecuencia es constante, por su parte también queda en evidencia con las gráficas de modulación FM que estas señales son constantes en su amplitud, solo la frecuencia define la forma de la señal, por lo cual en el caso de existir una diferencia en las amplitudes de una señal FM, no interferirá con la reconstrucción de la señal. Queda claro también con esta experiencia que realizar la modulación por frecuencia es más complicado, y por obviamente debe ser más caro.

El objetivo de esta experiencia no se cumple en su totalidad, ya que no fue posible realizar lo requerido para la modulación digital. Esto fue debido a complicaciones en el grupo con respecto a los conocimientos necesarios para desarrollar dicho tema. Por su parte también fue posible realizar en su totalidad la parte de modulación analógica y se considera que el aprendizaje obtenido fue bueno.

Para finalizar es posible destacar que aun teniendo clara la teoría de modulación analógica, realizar el código pedido no fue fácil, existieron complicaciones que generaron mucha pérdida de tiempo y que finalmente terminaron desembocando en que no se lograra la parte de modulación digital. Esperamos como grupo la retroalimentación existente en la revisión de este trabajo.

CAPÍTULO 6. REFERENCIAS Y DOCUMENTACIÓN

Modul.galeon.com. (2016). TIPOS DE MODULACIÓN. [online] Disponible en: <http://modul.galeon.com>.
[Recuperado el 26 Junio de 2016].