



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICE RECTORADO ACADÉMICO  
COORDINACIÓN DE PREGRADO  
PROYECTO DE CARRERA: INGENIERIA EN INFORMÁTICA

### **Modulación y demodulación de doble banda lateral**

Informe que se presenta como requisito para la entrega del proyecto final de la materia Telecomunicaciones.

**Autores:**

Jonathan Cuotto

C.I: 21.249.788

Stalin Sánchez

C.I: 24.183.684

**Profesor:**

Lesbia Galíndez

Ciudad Guayana, Abril del 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICE RECTORADO ACADÉMICO  
COORDINACIÓN DE PREGRADO  
PROYECTO DE CARRERA: INGENIERIA EN INFORMÁTICA

### **Modulación y demodulación de doble banda lateral**

Informe que se presenta como requisito para la entrega del proyecto final de la materia Telecomunicaciones.

**Autores:**

Jonathan Cuotto

C.I: 21.249.788

Stalin Sánchez

C.I: 24.183.684

**Profesor:**

Lesbia Galíndez

Ciudad Guayana, Abril del 2016

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
-------------------	----

INTRODUCCION	VI
--------------	----

### CAPITULOS

<b>1. EL PROBLEMA</b>	
Planteamiento del problema.....	8
Objetivo general y específicos.....	11
<b>2. MARCO TEORICO</b>	
Definiciones.....	12
Fundamentos matemáticos.....	22
<b>3. RESULTADOS Y ANÁLISIS Y RESULTADOS</b>	
Programas.....	31
Simulaciones.....	92
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>99</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tonos individuales.....	33
Figura 2. Tonos simultáneos.....	35
Figura 3. Espectro de frecuencias tonos simultáneos.....	38
Figura 4. Señal información, portadora y modulada tres tonos.....	41
Figura 5. Espectro de frecuencias de señal modulada 3. Tonos.....	43
Figura 6. Señal desmodulada tres tonos.....	46
Figura 7. Señal información, portadora y modulada 3 tonos con ruido....	49
Figura 8. Señal desmodulada con ruido.....	50
Figura 9. Espectro de frecuencia señal inf, modulada y desm. Con ruido.	52
Figura 10. Tonos individuales con frecuencia aumentada.....	58
Figura 11. Tonos simultáneos con frecuencia aumentada.....	59
Figura 12. Espectro de frecuencias de tonos simultáneos aumentados....	60
Figura 13. Señal de información, portadora y modulada tonos aumen...	61
Figura 14. Espectro de frecuencias de señal modulada aumentada.....	62
Figura 15. Señal desmodulada frecuencias aumentadas.....	64
Figura 16. Señal de inf, portadora y moduladas frecuencias aumentadas.	65
Figura 17. Señal desmodulada con frecuencias aumentadas.....	66
Figura 18. Espectro de frecuencias señal inf, mod y desm aumentadas....	67
Figura 19. Señal modulada con índice modulación de 0.25.....	68
Figura 20. Espectro de frecuencias para m 0.25.....	69
Figura 21. Señal desmodulada para índice de m 0.25.....	69
Figura 22. Señal modulada con ruido para m 0.25.....	69
Figura 23. Señal Desmodulada con ruido con m 0.25.....	70
Figura 24. Espectro de frecuencias señal con ruido m 0.25.....	70
Figura 25. Señal modulada para m 0.5.....	71
Figura 26. Espectro de frecuencias de señal para m 0.5.....	71
Figura 27. Señal desmodulada con m 0.5.....	71
Figura 28. Señal Modulada con ruido para m 0.5.....	72
Figura 29. Señal desmodulada con ruido para m 0.5.....	72
Figura 30. Espectro de frecuencias para m 0.5.....	72
Figura 31. Señal modulada para m 0.85.....	73
Figura 32. Espectro de frecuencias para m 0.85.....	73
Figura 33. Señal desmodulada con m 0.85.....	74
Figura 34. Señal modulada con ruido para m 0.85.....	74
Figura 35. Señal desmodulada con ruido para m 0.85.....	74
Figura 36. Espectro de frecuencias con ruido para m 0.85.....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 37. Señal modulada para $m = 1.5$ .....	75
Figura 38. Espectro de frecuencias para $m = 1.5$ .....	75
Figura 39. Señal desmodulada con $m = 1.5$ .....	76
Figura 40. Señal modulada con ruido para $m = 1.5$ .....	76
Figura 41. Señal desmodulada con ruido para $m = 1.5$ .....	76
Figura 42. Espectro de frecuencias con ruido para $m = 1.5$ .....	76
Figura 43. Señal de voz capturada.....	78
Figura 44. Espectro de voz capturada.....	79
Figura 45. Voz modulada.....	80
Figura 46. Espectro de voz modulada.....	82
Figura 47. Voz desmodulada.....	83
Figura 48. Espectro de voz desmodulada.....	84
Figura 49. Voz modulada y desmodulada con ruido.....	87
Figura 50. Espectros de voz modulada y desmodulada con ruido.....	88
Figura 51. Espectro de frecuencia comprobando teóricamente.....	91
Figura 52. Circuito Simulink para los tonos sumados sin ruido.....	92
Figura 53. Señal moduladora tres tonos Simulink, Osciloscopio.....	93
Figura 54. Señal modulada tres tonos Simulink, Osciloscopio.....	93
Figura 55. Señal desmodulada tres tonos Simulink, Osciloscopio.....	94
Figura 56. Circuito Simulink para modulación con ruido.....	95
Figura 57. Señal moduladora sin ruido Simulink, osciloscopio.....	95
Figura 58. Señal moduladora con ruido Simulink, Osciloscopio.....	96
Figura 59. Señal modulada con ruido Simulink, Osciloscopio.....	96
Figura 60. Señal desmodulada con ruido Simulink, Osciloscopio.....	97

## INTRODUCCIÓN

Cuando se desea transmitir señales de información son requeridas ciertas técnicas que permitan el transporte eficiente de la misma desde un origen hasta un destino, lo cual se ve obstaculizado por el proceso de tener que transportar la señal a través de un canal siendo este una limitación. Lo lógico viene siendo buscar poder adaptar las características de la señal a las características de dicho canal, pero esto no soluciona todo, debido a que estando en proceso de transmisión, el canal puede verse reducido en cierta manera por interferencias.

Para poder solucionar el problema de adaptación antes mencionado, tenemos la modulación que busca que tanto la señal a transmitir y el canal de transmisión tengan adecuación acorde a sus características, aclarando claro que es la señal quien se adapta a las características del canal, y para ello se requiere realizar una modificación, un cambio en algún parámetro de una función, que vendría siendo una función portadora, quien se encarga de transportar a la señal de información, y dicha modificación se realiza en función de la señal de información, llamada señal moduladora. Con esto se asegura que la información a transmitir esté en condiciones aptas pero ocurre un problema similar entre el canal de transmisión y el destino.

Si tenemos que la señal de entrada debe modificarse para ser transportada por el canal, por consiguiente tenemos un proceso inverso a la hora de transportar la señal desde el canal hacia el destino, por lo que hacemos uso de la técnica de demodulación, donde se debe volver la señal a su forma original, y en ese caso, donde cabe destacar es la única función de la señal portadora.

El proceso de modulación, o bien pudiera ser descrita como una operación en los transmisores, pudiera darse variando alguno de los parámetros de la señal portadora, estos parámetros son: la amplitud, la frecuencia o la fase.

Para este caso práctico, se hace uso de la técnica de modulación de amplitud, que como dice su nombre, el parámetro a ser variado es la amplitud que corresponde al voltaje de la onda.

Al igual que hay varios tipos de modulación ya antes mencionados, de acuerdo a los parámetros de la portadora que se desee variar, igual ocurre con la modulación de amplitud. Se tienen la modulación de amplitud con banda lateral única, con doble banda lateral y máxima potencia que a su vez viene siendo la modulación convencional en amplitud, también se tienen banda lateral con portadora única suprimida, banda lateral única con portadora reducida, por nombrar algunos.

En este tipo de modulación cada una de las bandas laterales contiene toda la información necesaria para recuperar la señal, aunque esto lleva a que por tener dos bandas, cuando la señal es modulada, se duplica su ancho de banda en la banda de paso, desperdiciando así mucha potencia, ya que la potencia importante no es la de la señal total, sino la de porción utilizada para transmitir información, y cabe destacar que la potencia de cada una de las dos bandas, son iguales.

# **CAPÍTULO 1**

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del problema**

Para modular una señal que contiene información, hace falta una portadora que ayude al proceso. En un simple contexto, deduciendo que cada señal posee una frecuencia, podemos denotar que la salida un grupo de frecuencias laterales, esto debido a poseer solo una frecuencia moduladora. El caso de que sea un grupo lateral de frecuencia, viene dada porque al ser una modulación am doble banda lateral, se trabaja con una banda lateral inferior y una banda lateral superior, ambas conteniendo toda la información para recuperar la señal.

Según Santa Cruz (2010), en la práctica, una señal moduladora por lo general es una forma de onda compleja compuesta de muchas ondas sinusoidales con diferentes amplitudes y frecuencias, por lo que si una señal moduladora posee tres frecuencias, la onda se salida, es decir la señal ya modulada, tendrá la portadora en conjunto con dos grupos de frecuencias laterales espaciadas simétricamente sobre la portador.

Si en lugar de dos frecuencias, tenemos tres frecuencias, no haría gran diferencia. Por lo que se nos da a disposición el manejo de tres tonos musicales, que vendrían siendo frecuencias que actúan como moduladoras, con lo que se busca diseñar un sistema de modulación y demodulación AM de doble banda lateral con la herramienta de programación MATLAB, bajo las siguientes especificaciones:



1. Modulación y demodulación AM de tres tonos simultáneos utilizando Matlab.

- a. Realice el programa en Matlab para la Modulación AM.
- b. Grafique cada tono individual.
- c. Grafique los tres tonos simultáneos.
- d. Determine el espectro de frecuencia de los tres tonos simultáneos.
- e. Grafique el espectro de frecuencia de los tres tonos Simultáneos.
- f. Module en Am la señal.
- g. Muestre gráficamente.
- h. Determine el espectro de frecuencias.
- i. Muestre gráficamente.
- j. Desmodule la señal.
- k. Muestre gráficamente.
- l. Compare resultados.
- m. Agregue ruido y realice la modulación (muestre resultados tal como en los pasos indicados anteriormente).
- n. Analice los resultados obtenidos.
- o. Modifique la frecuencia de cada tono (incremente) y compare los resultados.

2. Realice variaciones para el índice de modulación y determine la potencia para cada caso (debe considerar al menos 4 variaciones del índice de modulación). Grafique para cada caso.

Destacando para este punto que es necesario realizar correctamente todos los modelos matemáticos correspondientes para la solución de la alternativa a cuestión y que igual manera, si se considera necesario, es posible la utilización de filtros que ayuden a solución la problemática planteada.

3. Modulación y demodulación de una captura de audio: música y voz.

- a. Realice una captura de audio de música y voz en Matlab y guarde.
- b. Realice el programa en Matlab para la Modulación AM.
- c. Grafique la señal de entrada.
- d. Determine el espectro de frecuencia.

- e. Grafique el espectro de frecuencia.
- f. Module en Am la señal.
- g. Muestre gráficamente.
- h. Determine el espectro de frecuencias.
- i. Muestre gráficamente.

- j. Desmodule la señal.
- k. Muestre gráficamente.
- l. Determine el espectro de frecuencias.
- m. Muestre gráficamente.
- n. Compare resultados.
- o. Agregue ruido y realice la modulación (muestre resultados tal como en los pasos indicados anteriormente).
- p. Analice los resultados obtenidos.

4. Compruebe teóricamente los resultados obtenidos por sus programas Matlab, calculando para cada tipo de modulación, portadora y señal moduladora la potencia de la señal modulada, el espectro de la señal modulada y el espectro de la señal desmodulada.

Al igual que para el apartado 1 y 2, es necesario realizar correctamente todos los modelos matemáticos correspondientes para la solución de la alternativa a cuestión y que igual manera, si se considera necesario, es posible la utilización de filtros que ayuden a solución la problemática planteada.

5. Para cada punto de Modulación AM y demodulación AM planteados realice la Simulación del sistema integrado de modulación y demodulación utilizando la herramienta de Matlab Simulink.

- a. Mostrar resultados.
- b. Compare con los resultados obtenidos: simulación, programas y los teóricos. Analice.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Diseñar un sistema de modulación y demodulación AM de doble banda lateral, con tres tonos simultáneos utilizando la herramienta de programación MATLAB y una simulación en Simulink.

### **Objetivos Específicos:**

1. Modular y desmodular una señal utilizando tres tonos simultáneos, demostrando el conocimiento adquirido durante el semestre en curso acerca de las debidas técnicas de transmisión de señales.
2. Demostrar capacidades de acuerdo al análisis de resultados obtenidos de problemas propuestos y soluciones a través de la aplicación.
3. Comprobar teóricamente resultados obtenidos por el programa.
4. Conocer efectos de aspectos técnicos como la agregación de ruido a las señales, respecto al comportamiento de los resultados.
5. Manejar correctamente la herramienta informática Matlab.

### **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### ***Bases teóricas***

#### **Abs**

Es una función de MATLAB cuyo comportamiento es el valor absoluto de un elemento, Álvarez (2009).

#### **Aleatorio**

Según la real academia española, aleatorio es proceso que depende del azar.

#### **Amplitud**

Es la magnitud del voltaje de una señal, Tomasi (2004).

#### **Amdemod**

Es un comando para la demodulación de amplitud de una señal, cuya función es la de desmodular una señal, es decir, volverla lo más posible a su estado original, y para ello necesita de la frecuencia de una señal portadora y una frecuencia de muestreo, en conjunto a la señal a modular, según lo que explica Rodríguez (2009).

#### **Ammod**

Es un comando para la modulación de amplitud, cuya función es la de modular una señal moduladora, haciendo uso de la frecuencia de una señal portadora y una frecuencia de muestreo, dando lugar a un mensaje o señal modulada, según lo que explica Rodríguez (2009).

#### **Ancho de banda**

Puede ser de dos tipos y Tomasi (2004) dice que

- El ancho de banda de una señal de información es la diferencia entre las frecuencias máximas y mínima contenida en la información.
- El ancho de banda de un canal de comunicaciones es la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que pueden pasar por el canal, siendo esta su banda de paso.

### **Axis**

Es un comando de MATLAB que permite cambiar el rango y la apariencia de los ejes de una grafica, indica Rodríguez (2009).

### **Capacidad de información**

Es una medida de cuanta información se puede transferir a través de un sistema de comunicaciones en determinado tiempo, dice Tomasi (2004).

### **Clear**

Es una comando de MATLAB que elimina todas las variables que existan en ese momento, Echevarría (2005).

### **Demodulación**

Tomasi (2004) explica que es el proceso inverso de la modulación, el cual reconvierte a la portadora modulada en la información original, es decir, quita la información de la portadora volviéndola lo más posible a su estado original.

### **Disp**

Es una función de MATLAB que permite imprimir en la pantalla un mensaje de texto o el valor de una variable sin imprimir su nombre, Echevarría (2005).

## **Espectro de frecuencias**

Es un espectro formado por las frecuencias laterales y la frecuencia de la portadora, más específicamente, por la suma y diferencia de la frecuencia de portadora con la frecuencia de moduladora, las cuales están desplazadas respecto a la frecuencia de la portadora una cantidad igual a la frecuencia de la señal moduladora, explica Tomasi (2004). Este espectro de frecuencias va desde la diferencia de la frecuencia de portadora con la frecuencia de la moduladora, hasta la suma de las mismas.

## **FFT**

El autor Ninness en su informe "Spectral Analysis using the FFT", explica que es una función de MATLAB que emula el comportamiento de la Transformada discreta de Fourier de una manera eficiente, y es llamada Transformada Rápida de Fourier, en ingles Fast Fourier Transform y por ello sus siglas, esta función maneja un vector de tiempo muestras de dominio, y retorna un vector de muestras, es decir encontrar los componentes de frecuencia de una señal.

## **FFTSHIFT**

Ninness también explica el funcionamiento de la función FFTSHIFT, la cual reorganiza las salidas de la función FFT moviendo el componente de frecuencia cero hasta el centro de la matriz, útil para la visualización de la transformada de Fourier.

## **Figure**

Es una función de MATLAB que crea una nueva ventana grafica, la activa y la trae al frente, delante e todas las ventanas abiertas, Echevarría (2005).

## **Frecuencia**

No es más que la cantidad de veces que sucede un movimiento periódico, como puede ser una onda Sinusoidal de voltaje, durante un determinado periodo, esto según Tomasi (2004). Cabe acotar que la unidad básica de la frecuencia es el Hertz (Hz).

## **Frecuencia de muestreo**

Es la velocidad de muestreo, es decir las muestras por segundos de una señal, la cual es la inversa del periodo de muestreo que es el intervalo de tiempo entre dos muestras sucesivas, esto según lo explica Morales en su explicación del Teorema del Muestreo.

## **Grafica**

La real academia española indica que es una representación mediante figuras o signos, para el caso práctico del proyecto, son representaciones de funciones y sus componentes.

## **Grosor**

Según la real academia española, representa el grueso de un cuerpo, en el caso práctico de este proyecto, a nivel de código en MATLAB, utilizado para darle un grosor predeterminado a las líneas de las graficas.

## **Help**

Es un comando de ayuda de MATLAB que provee una lista de tópicos sobre los que se puede pedir ayuda, arrojando así la información necesaria para comprender el comportamiento de los comandos y funciones que trae MATLAB, Echevarría (2005).

**Hold on**

Es una función predeterminada de MATLAB que permite dibujar más de una grafica en una misma ventana, manteniéndola activa, Álvarez (2009).

**Índice de modulación**

También llamado como coeficiente de modulación según Tomasi (2004), es un valor que describe la cantidad de cambio de amplitud que hay en una forma de onda de modulación de amplitud.

**Legend**

Es una función de MATLAB que permite escribir una leyenda asociando un nombre a cada grafica, Martínez y Acosta (2004).

**Length**

Es un comando de MATLAB, que devuelve la mayor dimensión de una matriz, explican Martínez y Acosta (2004).

**Líneas de comentarios de MATLAB**

Son líneas de código que comienzan con el carácter %, que vienen siendo comentarios, es decir, son ignoradas cuando se esta en ejecución un script, Echevarría (2005).

**Linspace**

Martínez y Acosta (2004) indican que es una función que genera un vector de puntos, estando estos componentes espaciados linealmente

**MATLAB**

Según Martínez y Acosta (2004), Es un sistema interactivo basado en matrices para cálculos científicos y de ingeniería que puede



Ser considerado un entorno matemático de simulación que puede ser utilizado para modelar y analizar sistemas, bien sean continuos, discretas lineales o no lineales.

### **Matriz**

Es el dato principal de MATLAB, puesto que todos los datos son matrices, de esto proviene MAT, de MATrix, y LAB, LABoratory, Echevarría (2005).

### **Modulación**

Como nos explica Tomasi (2004), no es más que el proceso de cambiar una o más propiedades de una señal portadora, en proporción con la señal de información o también llamada señal moduladora.

### **Modulación de Amplitud**

Siguiendo la explicación de Tomasi (2004), la modulación de amplitud es el proceso de cambiar la amplitud de una señal portadora la cual es de frecuencia muy alta, en proporción con el valor instantáneo de la señal moduladora.

### **Onda periódica**

Son ondas repetitivas de una sola frecuencia que se repiten con rapidez uniforme, es decir, cada ciclo sucesivo de la señal tarda exactamente el mismo tiempo y tiene exactamente las mismas variaciones de amplitud que en cualquier otro ciclo, es decir cada ciclo tiene exactamente la misma forma, esto según nos explica Tomasi (2004).

### **Onda periódica no Sinusoidal**

Es toda onda repetitiva formada por más de una onda Sinusoidal relacionada armónicamente, Tomasi (2004).

### **Periodo**

Es el tiempo que demora en completarse un ciclo y viene siendo el inverso de la frecuencia, Tomasi (2004).

### **Pi**

Es una constante predefinida en el entorno de MATLAB, cuyo valor es el 3.14, explican Martínez y Acosta (2004)

### **Porcentaje de modulación**

Es el coeficiente de modulación expresado como porcentaje. Tomasi (2004).

### **Potencia**

Es la rapidez con la cual se disipa, se entrega o se usa la energía y no es más que una función del cuadrado del voltaje o de la corriente, explica Tomasi (2004).

### **Plot**

Es una función que permite realizar gráficos en MATLAB, dibujando un vector Y frente a un vector X, dicen Martínez y Acosta (2004)

### **Rand**

Martínez (2004), indica que es una función de MATLAB que genera números aleatorios entre 0 y 1 que son distribuidos uniformemente.

### **Ruido**

Es cualquier energía eléctrica indeseable que se encuentra entre la banda de paso de la señal, que producen perturbaciones en la transmisión, según lo explicado por Tomasi (2004).

## **Scripts**

Martínez y Acosta (2004) explican que son ficheros.m, es decir, de extensión MATLAB, en los que se ponen secuencialmente comandos que se ejecutan en ese orden.

## **Señal Moduladora**

Tomasi (2004) indica que es la señal que contiene la información de la fuente y es quien modula a la señal portadora, cambiando alguno de sus parámetros, como la amplitud, frecuencia o fase.

## **Señal Modulada**

Tomasi (2004) especifica que es una señal portadora sobre la que ha actuado una señal de información o moduladora, es decir se combinan.

## **Señal Portadora**

Tomasi (2004) explica que es una señal analógica de mayor frecuencia que la señal moduladora, y su trabajo es transportar la información a través del sistema.

## **Serie de Fourier**

Es una serie que se utiliza para el análisis de señales de manera que se pueda representar los componentes Sinusoidal es de una onda periódica no Sinusoidal, es decir para cambiar una señal en el dominio del tiempo a una señal en el dominio de la frecuencia, explica Tomasi (2004).

## **Simulink**

Según Rodríguez (2009), es un entorno grafico de MATLAB, que sirve como herramienta potente para realizar simulaciones de modelos de sistemas.

**Sin**

Es una función básica elemental de MATLAB, cuyo comportamiento es el seno de sus parámetros, Álvarez (2009).

**Size**

Es un comando de MATLAB que devuelve el número de filas y columnas de una matriz o un vector, indican Martínez y Acosta (2004)

**Stem**

Según explica Rodríguez (2009), Es un comando que permite representar la contribución de las armónicas al desarrollo en serie de Fourier de una función.

**Subplot**

Es un comando de MATLAB que permite dividir la ventana gráfica en una matriz  $m \times n$  de sub ventanas gráficas, Echevarría (2005).

**Tiempo**

La real academia española brinda una variedad de definiciones para este término por lo que tomamos dos como referencia

- Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo
- Parte de la secuencia de los sucesos.

**Title**

Es una función que permite colocarle título a una figura en MATLAB, Martínez y Acosta (2004).

### **Valor absoluto**

La real academia española indica que es el valor de un número sin tener en cuenta su signo.

### **Variables en MATLAB**

Son identidades dentro de un código las cuales pueden tener como máximo 19 caracteres, letras y números, siendo el primero una letra, y no se pueden utilizar caracteres especiales (+, -, =, ^, <, >), y no necesitan ser declaradas, pudiendo así almacenar datos de diferentes tipos, Echevarría (2005).

### **Wavrecord**

Es una función de MATLAB que permite capturar una señal, la cual necesita de una frecuencia de muestreo y el tipo de canal, explica Rodríguez (2009)

### **Wavwrite**

Es una función de MATLAB que permite guardar una señal capturado en formato wav, la cual necesita como parámetro a la señal grabada, una frecuencia de muestreo y el nombre del archivo que se creara según lo que indica Rodríguez (2009).

### **Xlabel**

Es una función que permite colocarle un titulo al eje de las abscisas X de una figura en MATLAB, Martínez y Acosta (2004).

### **Ylabel**

Es una función que permite colocarle un titulo al eje de las ordenadas Y de una figura en MATLAB, Martínez y Acosta (2004).

## **Modulación de Amplitud de doble banda lateral – AM**

Cuando se desea transmitir información de un punto de origen a un punto destino, se busca realizar dicha operación a través de una señal, solamente con encontrarse con la dificultad de que casi nunca estas señales de información poseen una forma adecuada para ser transmitidas por lo que se deben transformar a una forma adecuada, adaptándola al medio de transmisión, explica Tomasi (2004).

Como ya se explico, la modulación se trata de cambiar algún parámetro de una señal portadora encargada de portar a la moduladora, y entrando en lo específico, con el uso de la modulación de amplitud, el parámetro a variar será el mencionado, la amplitud. Como sabemos que esta modulación opera con dos entradas para obtener una salida, sigue explicando Tomasi (2004), entendemos que dichas entradas vienen siendo las señales mencionadas anteriormente, una portadora y una de información o también llamada moduladora.

Una señal portadora consta de una única frecuencia, pero en el caso de la moduladora, esta puede o tener una única frecuencia, en el caso contrario, vendría siendo una onda compleja formada por muchas frecuencias, consistiendo en este caso un intervalo de frecuencias. Para el caso práctico del proyecto, al contar con tres tonos, que vienen siendo frecuencias diferentes, se puede deducir que se tiene una señal moduladora con un intervalo de 3 frecuencias, pero como solución, en vista de la definición de la operación de la modulación, donde se dice que son dos entradas, procedemos a sumar los tres tonos (frecuencias) obteniendo así una sola frecuencia, dando lugar a una entrada de portadora y otra entrada de señal moduladora con una frecuencia única, proveniente de las sumas de los tonos.

Si bien hay varias técnicas de modulación de amplitud, el método convencional es el de portadora de máxima potencia y doble banda lateral, en sus siglas en ingles DSBFC. Con esta modulación, se tienen dos bandas laterales que brindan al proceso, dos frecuencias laterales que se suman con la portadora, indica Tomasi (2004). Estas dos bandas laterales contienen la información necesaria para transportar la señal, por lo tanto cada banda tendrá su determinada potencia que viene siendo la misma para ambas bandas.

### **Espectro de Frecuencias**

Conociendo que se tienen dos bandas y frecuencias laterales, se puede proceder a hablar del espectro de frecuencia, que representa la distribución de los diferentes puntos de una señal. Este espectro posee sus límites, si existe una banda y frecuencia lateral inferior y una superior, entendemos que estos límites vienen siendo los extremos de dicha distribución, que va desde la banda lateral inferior hasta la banda lateral superior, teniendo las siguientes ecuaciones.

$$BLI \text{ (Banda Lateral Inferior)} = [Fc - Fm] - Fc$$

$$BLS \text{ (Banda Lateral Superior)} = Fc + [Fc + Fm]$$

Teniendo como parámetros a:

Fc = Frecuencia de la portadora.

Fm = Frecuencia de la moduladora.

Un espectro de frecuencias, en consecuencia, contiene los componentes de frecuencia Fm a ambos lados de la frecuencia de la portadora la cual actúa como centro del espectro, indica Tomasi (2004). Cabe mencionar que tanto las frecuencias de suma y de diferencia se encuentran separadas de la frecuencia de portadora por una cantidad igual a la frecuencia de la moduladora.

Una vez conocidas las frecuencias laterales, es posible conocer el ancho de banda de la onda de AM de portadora máxima con doble banda lateral, para la cual tenemos dos ecuaciones posibles:

$$B = [F_c + F_m] - [F_c - F_m] \quad \text{Ó} \quad B = 2 * F_m(\text{max})$$

### Índice de modulación

Hace falta conocer un término importante que viene siendo el índice de modulación, o coeficiente de modulación. Este término indica la cantidad de cambio de amplitud que hay en una forma de onda de AM cuando una señal moduladora está actuando sobre la portadora, y viene a ser representada con la letra m, dando lugar a la ecuación siguiente:

$$m = \frac{E_m}{E_c}$$

Con lo que ahora tenemos dos valores nuevos:

m = Coeficiente de modulación (Adimensional)

E<sub>m</sub> = Cambio pico de amplitud de la fonda de onda de voltaje de salida, en volts.

E<sub>c</sub> = Amplitud máxima de voltaje de la portadora no modulada, en volts.

También encontramos el porcentaje de modulación M como,

$$M = \frac{E_m}{E_c} * 100, \text{ o simplemente como } m * 100$$

El porcentaje de modulación llega al 100% cuando E<sub>m</sub> = E<sub>c</sub>, esta da como resultado una amplitud mínima de la envolvente igual a 0 V, guiándonos por lo que explica Tomasi (2004). El índice de modulación llega hasta 1, puesto que en caso de que sea mayor, la señal comienza a distorsionarse, causando error en la modulación.



Conociendo estas amplitudes anteriores, también podemos calcular las amplitudes máximas y mínimas de una onda de salida DBSFC:

$$\begin{aligned} +V_{max} &= E_c + E_m \\ +V_{min} &= E_c - E_m \\ -V_{max} &= -E_c - E_m \\ -V_{min} &= -E_c + E_m \end{aligned}$$

Si recordamos la ecuación del índice de modulación,

$$m = \frac{E_m}{E_c}$$

Para el caso de que nos falte un valor de las amplitudes pico, podemos despejar la ecuación anterior para encontrarlo, dejando así las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} E_m &= m * E_c \\ E_c &= \frac{E_m}{m} \end{aligned}$$

Para calcular el cambio pico en la amplitud de la onda de salida, también contamos con otra ecuación, siendo esta la suma de las amplitudes de las frecuencias laterales:

$$E_m = E_{fls} + E_{fli}$$

### **Amplitud de frecuencias laterales**

Donde además tenemos que  $E_{fls} = E_{fli}$ , por lo que sus ecuaciones vienen dadas por:

$$E_{fls} = E_{fli} = \frac{E_m}{2} = \frac{\frac{(V_{max} - V_{min})}{2}}{2} = \frac{(V_{max} - V_{min})}{4}$$

Donde:

$E_{fls}$  = Amplitud de la frecuencia lateral superior.

$E_{fli}$  = Amplitud de la frecuencia lateral inferior.

Otra manera de calcular las amplitudes pico de la portadora y moduladora es través de:

$$E_m = \frac{(V_{max} - V_{min})}{2}$$
$$E_c = \frac{(V_{max} + V_{min})}{2}$$

### **Distribución de Potencia en Am**

Sabemos que en cualquier sistema electrónico, especialmente en uno de comunicaciones, la potencia es de suma importancia, tomando en cuenta la relación señal a ruido que se tiene en los receptores, la cual depende de que tan grande sea la potencia de la señal así como también de que sea pequeña la potencia del ruido.

Cuando el índice de modulación es igual a 0, la potencia en las bandas laterales es igual, puesto que no se tienen potencia que distribuir, solo se tendría la potencia de la portadora, pero tenemos que la potencia que importa en este tipo de modulación es la porción que se usa para transmitir la información y no la potencia total. La portadora en una señal modulada en amplitud no sufre cambio ya que esta no contiene la información, puesto que su única función es la de ayudar a desmodular la señal en el receptor. Por lo que nos encontramos con que en la modulación AM se desperdicia mucha potencia.

Como ya mencionamos, las bandas laterales también poseen potencia, y es que la potencia total de una onda de AM es la suma de la potencia de la portadora con las potencias de dichas bandas, por lo que se nos presentan las siguientes ecuaciones para potencias:

$$P_c = \frac{E_c^2}{2R}$$

Donde:

$P_c$  = Potencia de la portadora, en watts

$E_c$  = Amplitud pico de la portadora, en volts

$R$  = Resistencia de carga, en ohms

Para las bandas laterales, tenemos:

$$P_{b ls} = P_{b li} = \frac{\frac{m E_c^2}{2}}{2R} = \frac{(m E_c)^2}{8R}$$

Combinando con la ecuación de la potencia de portadora, obtenemos una ecuación más reducida para las bandas laterales:

$$P_{b ls} = P_{b li} = \frac{P_c * m^2}{4}$$

Donde:

$P_{b ls}$  = Potencia de la banda lateral superior.

$P_{b li}$  = Potencia de la banda lateral inferior.

$P_c$  = Potencia de la portadora.

$m$  = Índice de modulación.

Una vez conocidos estos valores, se puede proceder a calcular la potencia total, que como ya dijimos, es la suma de la potencia de la portadora con la suma de las potencias de las bandas laterales, con lo que se nos presenta la siguiente ecuación:

$$P_t = P_c + P_{b ls} + P_{b li}$$

La cual podemos seguir produciendo a:

$$P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{4} + \frac{P_c * m^2}{4}$$

Hasta llegar:

$$P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{2}$$

Se puede analizar que con el cambio del índice de modulación, también cambia la potencia de la onda de salida, debido a su uso en el cálculo de las potencias necesarias. Cabe notar también que la potencia de la portadora no modulada es igual a la de la portadora modulada, puesto que como ya se dijo, la portadora permanece sin cambio en la modulación y que, según Tomasi (2004), las potencias de las bandas laterales son proporcionales al cuadrado del coeficiente de modulación. Y es que, la potencia total de transmisión consiste principalmente en la potencia de la portadora.

### **Distribución de Voltaje de AM**

Las diferentes señales tratadas en la modulación de AM se pueden describir matemáticamente de la siguiente manera:

#### Portadora:

$$V_c(t) = E_c * \text{Sen}(2\pi * F_c * t)$$

Donde:

$V_c(t)$  = Forma de onda de voltaje de la portadora. En volts.

$E_c$  = Amplitud máxima de la portadora. En volts.

$F_c$  = Frecuencia de la portadora. En Hertz.

#### Moduladora:

$$V_m(t) = E_m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)$$

Donde:

$V_m(t)$  = Forma de onda de voltaje de la moduladora. Volts.

$E_m$  = Amplitud máxima de la moduladora. En volts.

$F_m$  = Frecuencia de la moduladora. En Hertz.

Estas ecuaciones dan resultado a la amplitud instantánea de la onda modulada, la cual puede expresarse según dicta Tomasi (2004), como:

$$V_{am}(t) = (E_c + E_m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)) \text{Sen}(2\pi * F_c * t)$$

Donde:

$(E_c + E_m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t))$  = Amplitud de la onda modulada.

$E_m$  = Cambio máximo de amplitud de la envolvente (volts).

$F_m$  = Frecuencia de la moduladora. En Hertz.

$F_c$  = Frecuencia de la portadora. En Hertz.

Si se sustituye  $E_m$  por  $mE_c$ , quedaría:

$$V_{am}(t) = [E_c + mE_c * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)][\text{Sen}(2\pi * F_c * t)]$$

Quedando ahora como la amplitud de la modulada:

$$[E_c + mE_c * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)]$$

Si se saca a  $E_c$  como factor común y se reorganiza la ecuación, nos quedaría:

$$V_{am}(t) = [1 + m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)][E_c * \text{Sen}(2\pi * F_c * t)]$$

Donde:

$[1 + m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)]$  = Voltaje constante + Señal moduladora

$[E_c * \text{Sen}(2\pi * F_c * t)]$  = Voltaje de la portadora no modulada.

Si se realiza el producto que se tiene en la ecuación anterior, obtenemos:

$$V_{am}(t) = E_c \text{Sen}(2\pi F_c * t) + [mE_c * \text{Sen}(2\pi F_m * t)][\text{Sen}(2\pi F_c * t)]$$

Y siguiendo la producción nos queda:

$$V_{am}(t) = E_c \sin(2\pi F_c * t) - \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(F_c + F_m)t] + \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(F_c - F_m)t]$$

Donde:

$E_c \sin(2\pi F_c * t)$  = Señal portadora. Volts

$- \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(F_c + F_m)t]$  = Señal de la frecuencia lateral superior.

Volts.

$+ \frac{mE_c}{2} \cos[2\pi(F_c - F_m)t]$  = Señal de la frecuencia lateral inferior.

Volts.

Se nota que el componente constante 1, produce el componente de la portadora en la onda modulada mientras que el componente Sinusoidal con la frecuencia de la moduladora se encarga de producir las frecuencias laterales, Tomasi (2004). Aquí se nota que la amplitud de la portadora no cambia luego de la modulación, quedándose así, sin alteraciones. También que la amplitud de las frecuencias laterales dependen tanto de la amplitud de la portadora como del coeficiente de modulación.

Como dependen del coeficiente de modulación, el autor sigue explicando que, para un índice de modulación  $m=1$ , es decir 100%, las amplitudes de las bandas laterales de frecuencias son iguales a  $E_c/2$ , siendo la mitad de la amplitud de la portadora, dejando por consiguiente a:

$$V_{max} = E_c - \frac{E_c}{2} - \frac{E_c}{2} = 2E_c$$

$$V_{min} = E_c - \frac{E_c}{2} - \frac{E_c}{2} = 0 \text{ V}$$

### **CAPÍTULO III**

#### **Resultados y Análisis**

Los resultados obtenidos en el sistema planteado a desarrollar, van de la mano con el manejo de los siguientes datos básicos:

- Tono 1: 394Hz. Tomada como una frecuencia para una señal moduladora. Con amplitud de 1 V. Representa La nota musical SOL.
- Tono 2: 440Hz. Tomada como una frecuencia para una señal moduladora. Con amplitud de 1 V. Representa La nota musical LA.
- Tono 3: 494Hz. Tomada como una frecuencia para una señal moduladora. Con amplitud de 1 V. Representa La nota musical SI.
- Frecuencia de muestreo: 44100Hz.
- Tiempo: 0:1/Frecuencia de Muestreo:1
- N=5, como el número de veces que se repite un periodo en una grafica
- Portadora: Con amplitud de 3 V y una frecuencia cuatro veces mayor a de la señal moduladora.
- xMax = 0.02 segundos: Representado el límite de muestro en las graficas, necesario para mostrar solo un pedazo de la señal en el tiempo

#### **Programas:**

Los resultados son presentados en el orden que cada inciso se encuentra especificado en el enunciado del proyecto, por lo que cada explicación se procede a realizarse por orden según sea su letra correspondiente en las especificaciones.

## 1- Modulación y Demodulación de tres tonos simultáneos utilizando MATLAB.

### A) Realice el programa en MATLAB para modulación AM.

Este inciso no lleva resultado, por lo que queda para explicar, que las soluciones a los problemas dados, están dados bajo una solución programada en MATLAB.

### B) Grafique cada tono individual:

#### Programa – Código:

```
figure('Name','Tonos Individuales','NumberTitle','off');
```

#### **% TONO 1**

```
Vm1 = 1;  
Fm1 = 394;  
T1 = 1/Fm1;  
Wm1 = 2*pi*Fm1;  
Vt1 = Vm1*sin(Wm1*t);  
subplot(3, 1, 1);  
plot(t, Vt1, 'r', 'linewidth', grosor);  
axis([0, xMax, -Vm1, Vm1]);  
title('\bfTono 1: G');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');
```

#### **% TONO 2**

```
Vm2 = 1;  
Fm2 = 440;  
T2 = 1/Fm2;  
Wm2 = 2*pi*Fm2;  
Vt2 = Vm2*sin(Wm2*t);  
subplot(3, 1, 2);  
plot(t, Vt2, 'g', 'linewidth', grosor);  
axis([0, xMax, -Vm2, Vm2]);  
title('\bfTono 2: A');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');
```

#### **% TONO 3**

```
Vm3 = 1;  
Fm3 = 494;  
T3 = 1/Fm3;  
Wm3 = 2*pi*Fm3;  
Vt3 = Vm3*sin(Wm3*t);  
subplot(3, 1, 3);  
plot(t, Vt3, 'b', 'linewidth', grosor);  
axis([0, xMax, -Vm3, Vm3]);  
title('\bfTono 3: B');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');
```



### Resultados:

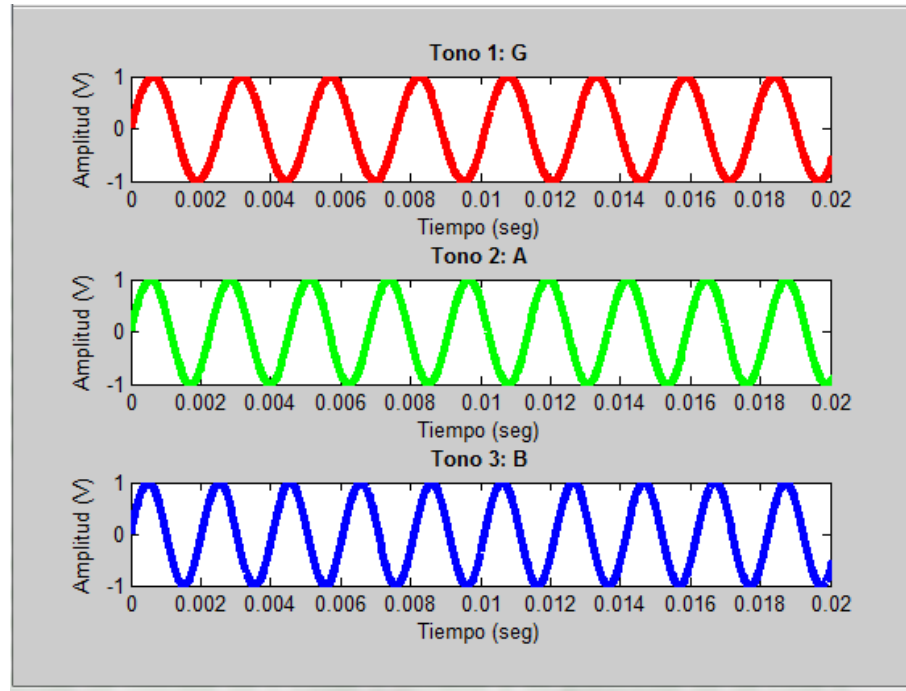


Figura 1.

### Explicación:

Como se puede ver, el código está dividido en tres bloques, los cuales cada uno corresponde a un tono distinto. Al ser un código idéntico para cada tono, se procede a explicar solo uno de ellos, haciendo nota de las variaciones en cada caso.

Variable	Valor	Significado de la variable.
Vm1	1	Amplitud del tono
Fm1	394	Frecuencia del tono
T1	$1/Fm1$	Periodo del tono
Wm1	$2\pi \cdot Fm1$	Frecuencia angular
Vt1	$Vm1 \cdot \sin(Wm1 \cdot t)$	Función Seno del Tono, que corresponde a una Señal moduladora

Como ya sabemos, la función de la señal moduladora se describe como:

$$Vm(t) = Em * Sen(2\pi * Fm * t)$$

Como cada tono es una frecuencia distinta, los consideramos como una señal moduladora distinta para cada uno. Por ello, a cada tono se le aplica la ecuación de la señal moduladora antes plasmada, para convertirla en una onda periódica de una sola frecuencia.

Cada tono está especificado con un color distinto para diferenciarlos, pero observar la diferencia entre cada tono, más allá del color, se puede notar el límite de cada gráfica en el eje de las abscisas “x”, ya que al colocar la gráfica en un axis el cual cambia el rango de la gráfica a un máximo de 0.02 segundos, siendo este como un límite de un pedazo de la gráfica.

### Observaciones

Mientras mayor sea la frecuencia del tono, o en el caso dado, de una señal, tendrá más ciclos en un determinado tiempo a comparación a otra señal con menor frecuencia.

En el proyecto, solo graficamos un pedazo de la señal, pero se nota que para el Tono 1 con frecuencia de 394 Hz, cuando llega a 0.02 segundos, solo se ha cumplido 8 ciclos, para el Tono 2 con frecuencia de 440 Hz, al llegar a los mismos 0.02 segundos se han cumplido 8 ciclos y medio, y ya para el Tono 3, de frecuencia 494, al llegar a los 0.02 segundos, se han cumplido 9 ciclos. Aunque es un ejemplo muy pequeño, es suficiente para entender la diferencia que puede marcar el tamaño de las frecuencias en las señales.

<b>TONOS</b>	Frecuencia	Ciclos terminados en 0.02 S
Tono 1	394 Hz	8 Ciclos
Tono 2	440 Hz	8 y medio Ciclos
Tono 3	494 Hz	9 Ciclos

### C) Grafique los tres tonos simultáneos

#### Programa – Código

```
figure('Name','Tonos Simultaneos','NumberTitle','off');
```

#### **% Tonos Simultaneos sin sumarlos**

```
subplot(2, 1, 1);  
plot(t, Vt1, 'r', 'linewidth', grosor);  
hold on;  
plot(t, Vt2, 'g', 'linewidth', grosor);  
hold on;  
plot(t, Vt3, 'b', 'linewidth', grosor);  
title('\bfTonos simultaneos');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');  
axis([0, xMax, -Vm3, Vm3]);
```

#### **% Tonos simultaneos sumandolos**

```
Vmt = Vm1+Vm2+Vm3;  
Vt = Vt1 + Vt2 + Vt3;  
Fmt = (Fm1+Fm2+Fm3)/3;  
Tt = 1/Fmt;  
subplot(2, 1, 2);  
plot(t, Vt, 'r', 'linewidth', grosor);  
axis([0, xMax, -Vmt, Vmt]);  
title('\bfSeñal: Tonos sumados');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');
```

#### Resultados:

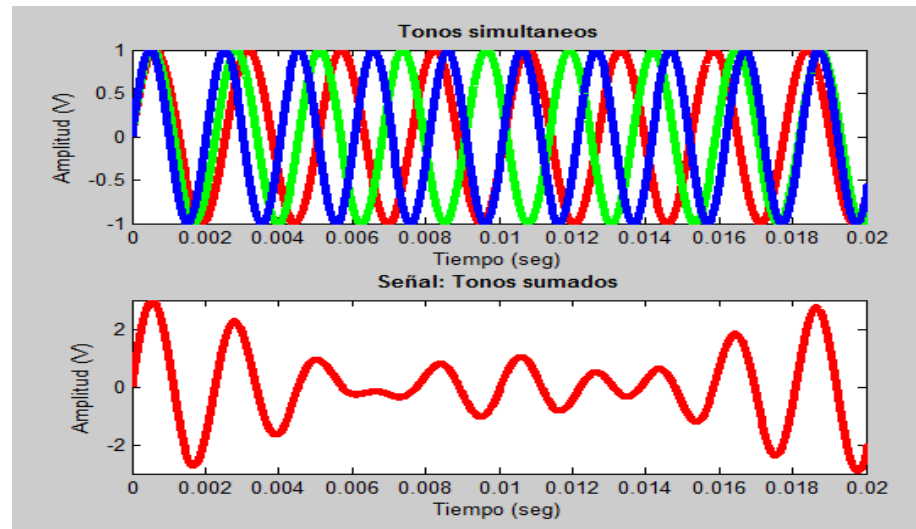


Figura 2

### Explicación:

Procedemos a graficar los tonos simultáneos de dos maneras. Primeramente, en la grafica superior, graficamos los tonos en una misma grafica, pero de manera separada, para notar la diferencia entre ellos, y cada tono denotado por un color por separado, siguiendo las graficas del inciso anterior, pudiéndose notar las diferencias en cada ciclo.

En la grafica inferior, sumamos los tres tonos, buscando así obtener señal con las frecuencias de cada tono sumadas, delineado de un solo color.

## **D) Determine el espectro de frecuencia de los tres tonos simultáneos**

### Programa – Código

```
Mut = length(Vt);  
Fut = fft(Vt, Mut);  
Frt = linspace(-Fs/2, Fs/2, Mut);  
Ampt = fftshift( abs( Fut ) );  
  
subplot(2, 1, 2);  
stem(Frt, Ampt, 'b','linewidth',grosor/2);  
hold on;  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal: Tonos sumados');  
xlabel('Frecuencia (Hz)');  
ylabel('Amplitud (V)');  
axis([Fm1-30, Fm3+30, 10, 400]);
```

### Resultados

Determinando el espectro de frecuencias de los tres tonos simultáneos, procedemos a tener los tonos sumados en una función, siendo esta nuestra señal moduladora de tres frecuencias.

Una vez que se tiene esta señal, se puede obtener el numero de muestras de ella a través de la función `length()`, la cual guardamos en una variable, este numero de muestras nos sirve para encontrar los componentes de la frecuencia de una señal, a través de la transformada rápida de Fourier usando la función que trae MATLAB “`fft`”. Ahora que se tienen los componentes de la frecuencia, hace falta generar  $n$  puntos para la grafica para que correspondan a los de la señal, y esto lo realizamos a través de la función `linspace`. Y ya para luego poder graficar los componentes, hacemos primeramente uso de la función `fftshift` para reorganizar los componentes de la frecuencia, moviendo el componente de frecuencia 0 hasta el centro.

Queda claro que para calcular el espectro de frecuencia hace falta utilizar la transformada rápida de Fourier, pero ello solo no es suficiente para poder representarla a través de una grafica, sino que hacen falta una serie de pasos los cuales ya explicamos para luego poder proceder a plasmarla en una grafica, cuya explicación sigue en el siguiente inciso.

#### **E) Grafique el espectro de frecuencia de los tres tonos simultáneos**

##### *Programa – Código*

```
subplot(2, 1, 2);  
stem(Frt, Ampt, 'b','linewidth',grosor/2);  
hold on;  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal: Tonos sumados');  
xlabel('Frecuencia (Hz)');  
ylabel('Amplitud (V)');  
axis([Fm1-30, Fm3+30, 10, 400]);
```

### Resultados:

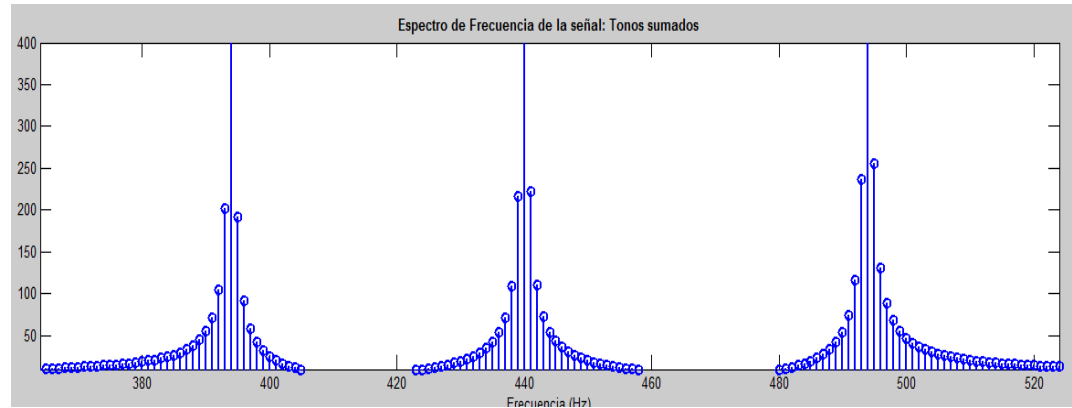


Figura 3

### Explicación:

Como nuestra señal moduladora ahora es la suma de tres tonos de frecuencias, nos encontramos con un espectro donde se muestran las frecuencias de cada tono. El centro de cada tono, es su frecuencia, como se nota, en el primer componente del espectro, el centro es 394Hz, que vendría siendo la frecuencia para el primer tono, quedando que el primer componente del espectro corresponde al primer tono.

Contiguamente, el segundo componente tiene como centro 440Hz, que viene siendo la frecuencia del segundo tono y para el último componente que queda, tiene como centro a 494Hz, el cual corresponde a la frecuencia del tercer tono.

Se nota que cada componente tiene elementos a ambos lados de su frecuencia, y eso es ya que, al usar la Transformada rápida de Fourier a través de la función “fft”, logramos obtener los componentes de una frecuencia. Una vez obtenido estos componentes, y haciendo uso de la función “fftshift”, reorganizamos los componentes de la frecuencia moviendo el componente 0 hasta el centro de la frecuencia, y aplicándole valor absoluto, obtenemos los elementos a ambos lados de la frecuencia.

La grafica la obtenemos a través de la función “stem”, con un axis para reorganizar los límites de la grafica que va en el eje de las abscisas X desde la frecuencia del tono 1 “Fm1” restándole 30Hz, hasta la Frecuencia del tono 2, sumándole 30Hz. Esta suma y resta de Hz a las frecuencias, se realiza para poder observar los componentes a ambos lados de la frecuencia de los tonos.

#### **F) Module en AM la señal**

##### Programa – Código

```
Vc = 3;  
MultC = 4;  
Fc = Fmt*MultC;  
Tc = 1/Fc;  
Wc = 2*pi*Fc;  
Vac = Vc*sin(Wc*t);  
Vam_C = (Vc+Vt).* sin(2*pi*Fc.*t);
```

```
Vam = ammod(Vt, Fc, Fs);
```

##### Resultados:

Sabemos, en la modulación AM la señal de salida, es decir la señal modulada, es la combinación de una señal portadora y una moduladora, específicamente, es el resultado de que una señal moduladora actúe sobre la portadora. Por lo tanto, para obtener una señal modulada, hacemos uso de nuestra señal moduladora ya calculada anteriormente, siendo denotada por la variable Vt, también de la frecuencia de la portadora, y una frecuencia de muestreo para los valores exactos de una señal a través de sus muestras discretas. Cabe destacar que la frecuencia de la portadora, aunque ya antes explicado, es cuatro veces mayor a la frecuencia de la señal moduladora.

Por lo tanto con todos estos valores, podemos hacer uso de la ecuación para modulación:

$$V_{am}(t) = (E_c + E_m * \text{Sen}(2\pi * F_m * t)) \text{Sen}(2\pi * F_c * t),$$

La cual produce una señal modulada en AM, que con un modificada a nivel de código, nos queda la ecuación programada de la manera:

Modulada:  $V_{am\_C} = (V_c + V_t) * \sin(2 * \pi * F_c * t);$

Donde:

$V_c = 3$	Amplitud de la Portadora
$V_t = V_{t1} + V_{t2} + V_{t3};$	Señal Moduladora
$\sin(2 * \pi * F_c * t);$	Señal Portadora

Ademas:

$V_{t1} = V_{m1} * \sin(2 * \pi * F_{m1} * t);$	Tono 1
$V_{t2} = V_{m2} * \sin(2 * \pi * F_{m2} * t);$	Tono 2
$V_{t3} = V_{m3} * \sin(2 * \pi * F_{m3} * t);$	Tono 3

Obteniendo así nuestra Onda Modulada, cuando el índice de modulación es igual a 1, es decir  $m=1$ , a partir de:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{3v}{3v} = 1$$

## G) Muestre gráficamente

### Programa – Código

```
Vam = ammod(Vt, Fc, Fs);
subplot(3,1,1);
plot(t, Vt,'r','linewidth',grosor);
axis([0, xMax, -Vmt-Vc, Vmt+Vc]);
ylabel('Informacion');

subplot(3,1,2);
plot(t, Vac,'g','linewidth',grosor);
axis([0, xMax, -Vmt-Vc, Vmt+Vc]);
ylabel('Portadora');
```



```

subplot(3,1,3);
plot(t, Vam_C,'g', t, Vt+Vc, 'r', t, (Vt+Vc)*(-1),
'r','linewidth',grosor/2);
axis([0, xMax, -Vmt-Vc, Vmt+Vc]);
ylabel('Modulada');

```

### Resultados:

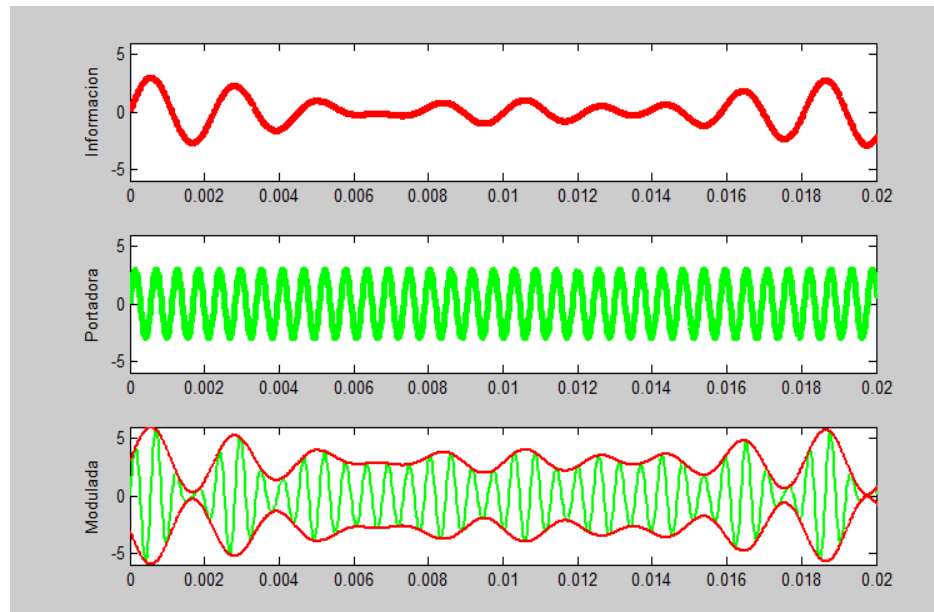


Figura 4

### Explicación:

Para entender mejor el proceso de la modulación de manera grafica, procedemos a graficar tanto la señal moduladora, la señal portadora y la señal ya modulada. Como se puede notar, la onda modulada, es de hecho la combinación de las dos señales, donde la moduladora es quien actúa sobre la portadora y la amplitud de onda de salida es proporcional a la amplitud de la onda moduladora.

Para graficar cada señal, se hace uso de la función plot, haciendo uso de ella una vez para cada señal,

haciendo uso del periodo para graficarla, pero solo mostrando una parte al organizar los límites de la grafica usando un axis.

## H) Determine el espectro de frecuencias

### Programa – Código

```
C2_Vam = (Vc+Vt).* sin(2*pi*Fc.*t);  
C2_N = length(C2_Vam);  
C2_Fourier = fft(C2_Vam, C2_N);  
C2_Lin = linspace(-Fs/2, Fs/2, C2_N);  
C2_Amp = fftshift( abs( C2_Fourier ) );
```

### Resultados:

Determinando el espectro de frecuencias de la señal modulada, primeramente obtenemos la señal modulada a través de la función  $C2\_Vam = (Vc+Vt) \cdot \sin(2\pi \cdot Fc \cdot t)$ ; la cual contiene 3 frecuencias, procedemos a obtener el numero de muestras de ella a través de la función `length()`, la cual guardamos en una variable, este numero de muestras nos sirve para encontrar los componentes de la frecuencia de una señal, a través de la transformada rápida de Fourier usando la función que trae MATLAB “fft”. Ahora que se tienen los componentes de la frecuencia, hace falta generar n puntos para la grafica para que correspondan a los de la señal, y esto lo realizamos a través de la función `linspace`. Y ya para luego poder graficar los componentes, hacemos primeramente uso de la función `fftshift` para reorganizar los componentes de la frecuencia, moviendo el componente de frecuencia 0 hasta el centro.

## I) Muestre gráficamente

### Programa – Código

```
stem(C2_Lin, C2_Amp, 'b');  
axis([Fc-Fmt-100, Fc+Fmt+100, 500, 50000]);  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal modulada: Tonos  
sumados');  
xlabel('Frecuencia (Hz)');
```

### Resultados:

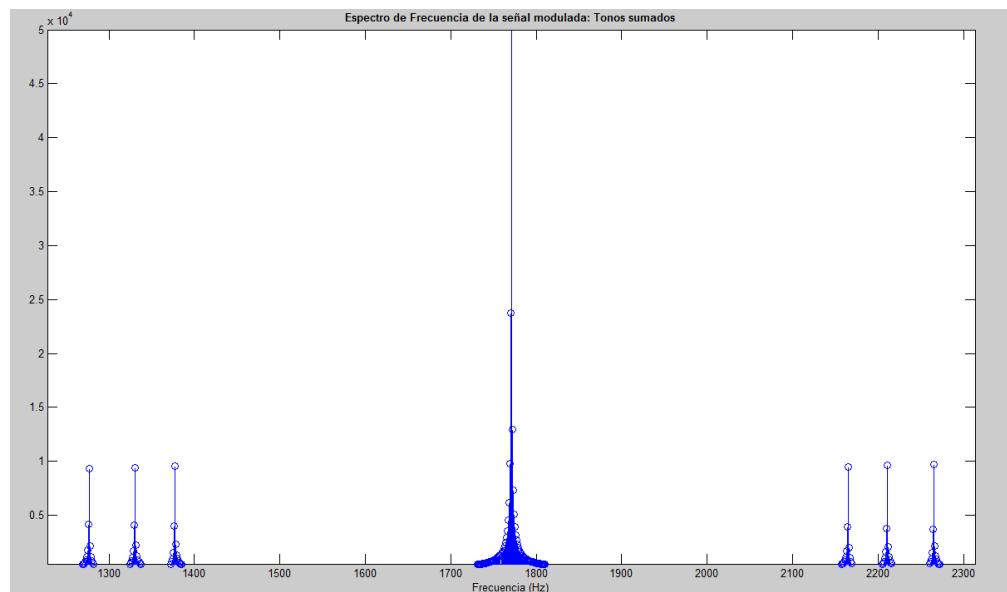


Figura 5

### Explicación

Procedemos a graficar el espectro de frecuencias con los  $n$  puntos obtenidos de la señal a través de las muestras obtenidas de las mismas en conjunto con los puntos reorganizados de la transformada de Fourier que correspondan a cada punto que devuelve la función `length()`.

El centro del espectro es la frecuencia de la portadora, la cual es de 1765Hz, ya que, como sabemos la frecuencia de la portadora debe ser mayor que la de la moduladora,

nos aseguramos que sea cuatro veces mayor a la de la moduladora, multiplicando la pseudo frecuencia de la moduladora la cual obtenemos sumando las frecuencia de los tres tonos y la dividimos entre 3, y este resultado es el que multiplicamos por cuatro, siendo el resultado:

Pseudo frecuencia de la moduladora:  $(390+440+494)/3 = 1324\text{Hz}/3$

Pseudo frecuencia de la moduladora =  $441,33\text{Hz}$

Frecuencia de la portadora = Pseudo frecuencia moduladora \* 4

Frecuencia de la portadora =  $441,33\text{ Hz} * 4 = 1765.33\text{ Hz}$

Frecuencia de la portadora =  $1765.33\text{Hz}$ .

Así obtenemos nuestro centro del espectro a través de la frecuencia de la portadora. Ahora para cada componente del espectro para cada banda lateral, puesto que estamos trabajando con modulación AM de doble banda lateral, hacemos uso de la función valor absoluto para obtener los elementos de la frecuencia a ambos lados.

Como se ve, cada banda lateral posee tres componentes los cuales corresponden a cada tono. Como sabemos el primer tono tiene una frecuencia de 390, si se la sumamos a la frecuencia de la portadora, obtenemos una frecuencia de  $2155,33\text{Hz}$ , como se ve en la pagina, esto para la banda lateral superior, en el caso de la banda inferior, al ser idénticos elementos cambiándoles el signo con el valor absoluto, restándole 390 a la frecuencia de la portadora obtenemos la frecuencia de,  $1375,33\text{Hz}$  como se ve en el espectro.

	Operación USB	USF	Operación LSB	LSF
Elemento 1	$390\text{Hz} + 1765\text{Hz}$	$2155\text{Hz}$	$1765\text{ Hz} - 390\text{Hz}$	$1375\text{Hz}$
Elemento 2	$440\text{Hz} + 1765\text{Hz}$	$2205\text{Hz}$	$1765\text{ Hz} - 440\text{Hz}$	$1325\text{Hz}$
Elemento 3	$494\text{Hz} + 1765\text{Hz}$	$2259\text{Hz}$	$1765\text{Hz} - 494\text{Hz}$	$1271\text{Hz}$

## J) Desmodule la señal

### Programa – Código

```
Wn = Fc*2/Fs;  
[numerador,denominador] = butter(10,Wn);  
VtDemod = amdemod(Vam,Fc,Fs,0,0 ,numerador,denominador);
```

### Resultados:

Sabemos que un filtro de butterworth es un filtro pasa bajas el cual pasa solamente las bajas de una frecuencia. Por consiguiente, al hacer uso del filtro butter, el cual recibe el orden 10 de pasa baja digitales, y también la frecuencia de corte normalizada la cual corresponde a la variable Wn. Luego esto, el filtro se encarga de devolver los coeficientes de la función de transferencia de corte, los cuales son necesarios para poder aplicar la demodulación a través de la función predeterminada de MATLAB “amdemod”, la cual necesita obviamente la señal modulada, la frecuencia de la portadora, la frecuencia de muestreo, y los coeficientes obtenidos del filtro.

Variable	Explicación
Wn	Frecuencia de corte normalizada
Numerador, denominador	Guarda los coeficientes que se obtienen del filtro pasa baja butter.
VtDemod	Es la señal desmodulada.

## K) Muestre gráficamente

### Programa – Código

```
plot(t,Vt,'c',t,VtDemod,'r--','linewidth',grosor*2);  
legend('Señal Original (Tonos Sumados)','Señal (Tonos Sumados)  
Demodulada');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Amplitud (V)');  
title('\bfDemodulacion de la señal: Tonos sumados');  
axis([0, n*Tt*2, -Vmt, Vmt]);
```

### Resultados:

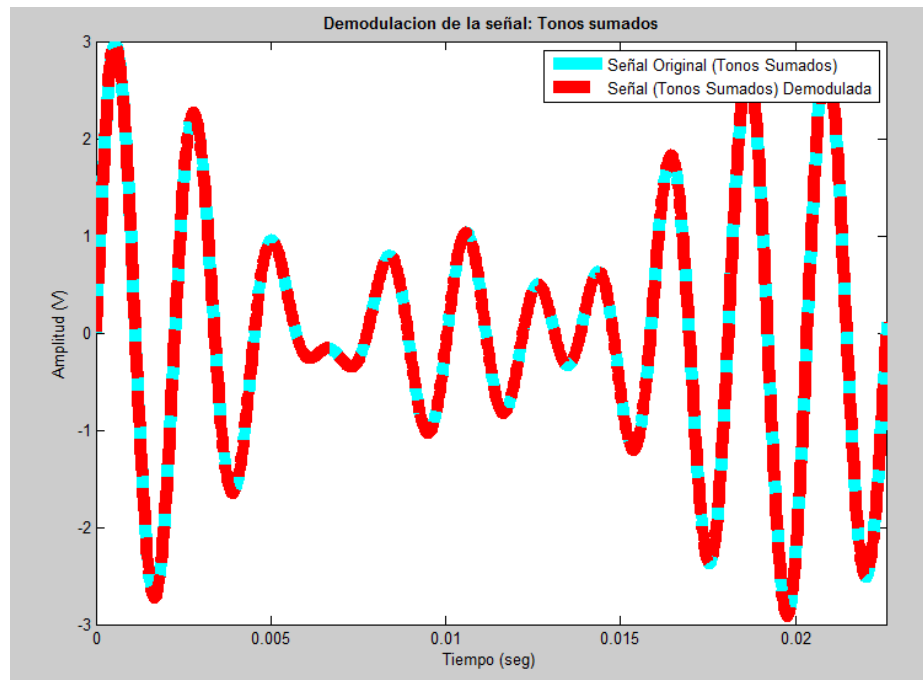


Figura 6

### Explicación:

Una vez que tenemos nuestra señal desmodulada, procedemos a graficarla a través de la función plot, la cual en nuestro caso esta graficada por color rojo, observando su forma, viene siendo igual a la señal original, es decir a la señal moduladora que en la grafica está colocada en color azul entrecortada para poder comparar aunque eso se explica a continuación en el siguiente inciso.

## L) Compare resultados

Sabemos que para poder transmitir una información de un origen a otro hace falta transportar una señal de información a través de un canal, pero nos encontramos con el problema que la mayoría de las veces esta señal no se encuentra en la forma más adecuada para poder ser transmitida, por lo tanto hace falta usar otra señal, una señal portadora, para que pueda adaptarse a las características del canal, siendo este proceso la modulación. Por lo tanto entendemos que tenemos una señal moduladora, de información, por lo tanto, al hacer el proceso inverso, del llevar la señal modulada que sale del canal hacia el destino, hace falta desmodular la señal, dejando la señal original en su estado original, lo más posible, aunque en la práctica, casi nunca la señal que llega al destino no es exactamente igual a la señal que sale del origen.

Por lo que para comparar resultados hacemos uso de la grafica anterior donde tenemos la señal original y la señal ya desmodulada a través de un filtro.

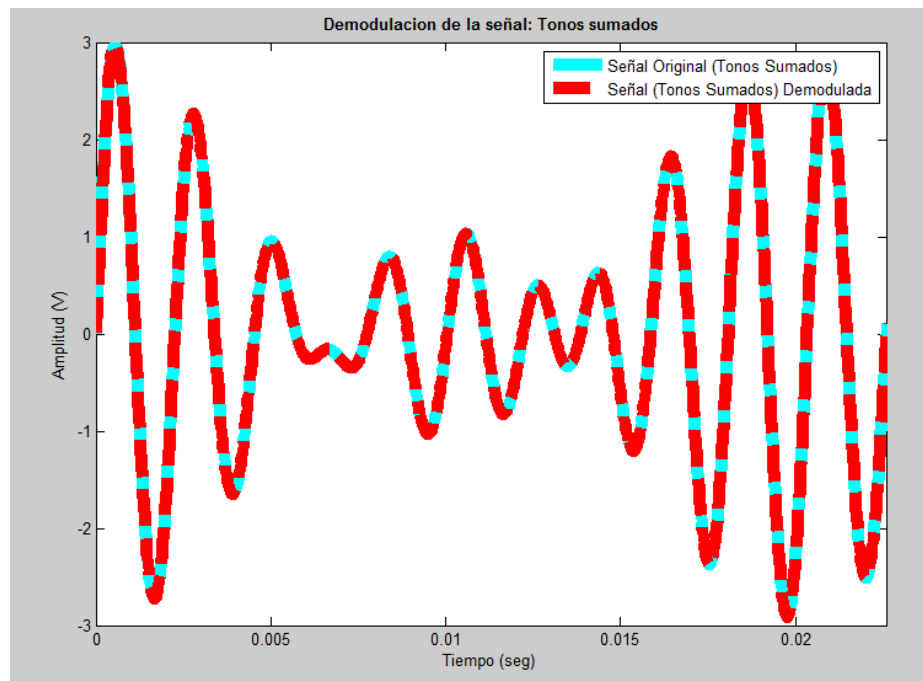


Figura 6

La grafica posee una leyenda donde se lee que la señal de información original es la de color azul mientras que la señal desmodulada es la de color rojo, pero para notar las diferencias o en este caso, similitudes, la señal desmodulada se grafica encima de la original y de manera entrecortada para que en los espacios que deje en blanco, en el fondo se note la señal original de color azul.

Quedan exactamente iguales, mas allá de tener diferencias tan pequeñas que no se logren ver a simple vista, pero el hecho de que queden tan exactamente igual es por el hecho de haber utilizado el filtro de butterworth el cual hace que la señal salga lo más limpia posible, pareciendo en su gran medida a la señal original.

## M) Agregue ruido y realice la modulación.

### Modulando

#### Programa – Código

```
figure('Name','Agregando Ruido a la señal: Tonos
sumados','NumberTitle','off');
```

```
subplot(3, 1, 1);
k = 2;
VmtR = Vmt+k;
ruido = k*rand(size(t));
VtR = Vt + ruido;
VamR = ammod(VtR, Fc, Fs);
plot(t,VtR,'red', 'linewidth',2);
axis([0, xMax, -VmtR-k-Vc, VmtR+k+Vc]);
ylabel('Señal con ruido');
xlabel('Tiempo (seg)');
```

```
Vam_CR = (Vc+VtR).* sin(2*pi*Fc.*t);
subplot(3,1,2);
plot(t, Vam_CR,'b','linewidth',grosor/2);
axis([0, xMax, -VmtR-k-Vc, VmtR+k+Vc]);
ylabel('Modulada');
```



```
subplot(3,1,3);
plot(t, Vam_CR,'b', t, VtR+Vc, 'r', t, (VtR+Vc)*(-1),
'r','linewidth',grosor/2);
axis([0, xMax, -Vmt-Vc-k, VmtR+Vc+k]);
```

### Resultados:

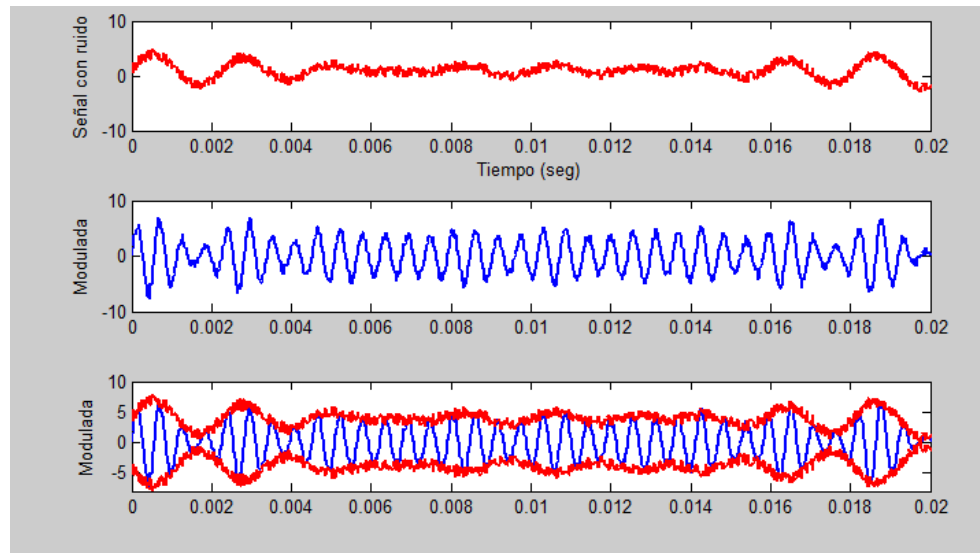


Figura 7

### Explicación

En el primer paso, nos aseguramos de agregarle ruido a la señal moduladora a través de la función  $\text{ruido} = k \cdot \text{rand}(\text{size}(t))$ , la cual genera algún ruido aleatorio con una desviación estándar de  $k$  para producir una señal de ruido, donde esta desviación es de 2. Una vez obtenido este ruido, se procede a agregárselo a la función moduladora  $V_t$ . La representación gráfica de esta función, es la primera de la figura plasmada anteriormente.

La segunda gráfica corresponde a la modulación de la señal con ruido, donde se nota que el proceso es igual para el caso de una señal sin ruido, usando la misma función solamente desplazando dicha función por la que posee el ruido.

La tercera gráfica de la figura, corresponde a la señal modulada, pero ya con la señal de información montada (gráficamente a diferencia de la anterior donde no se mostraba completamente el efecto), sobre la señal portadora. Se nota que la envolvente está algo distorsionada por el ruido que posee.

## Demodulación

### Programa – Código

```
figure('Name','Demodulacion de la señal con ruido: Tonos  
sumados (Filtro Butterworth)','NumberTitle','off');
```

```
WnR = Fc*2/Fs;  
[numeradorR,denominadorR] = butter(10,WnR);  
%Devuelve los coeficientes de la función de transferencia de un  
filtro de paso bajo Butterworth digitales de orden 10 con  
frecuencia de corte normalizado Wn.  
VtDemodR = amdemod(VamR,Fc,Fs,0,0  
,numeradorR,denominadorR);  
plot(t,Vt,'c',t,VtDemodR,'r--','linewidth',grosor);  
legend('Señal Original (Tonos Sumados)','Señal Demodulada  
(Butterworth)');  
xlabel('Tiempo (seg)');  
ylabel('Demodulacion');  
axis([0, n*Tt*2, -VmtR, VmtR]);
```

### Resultados

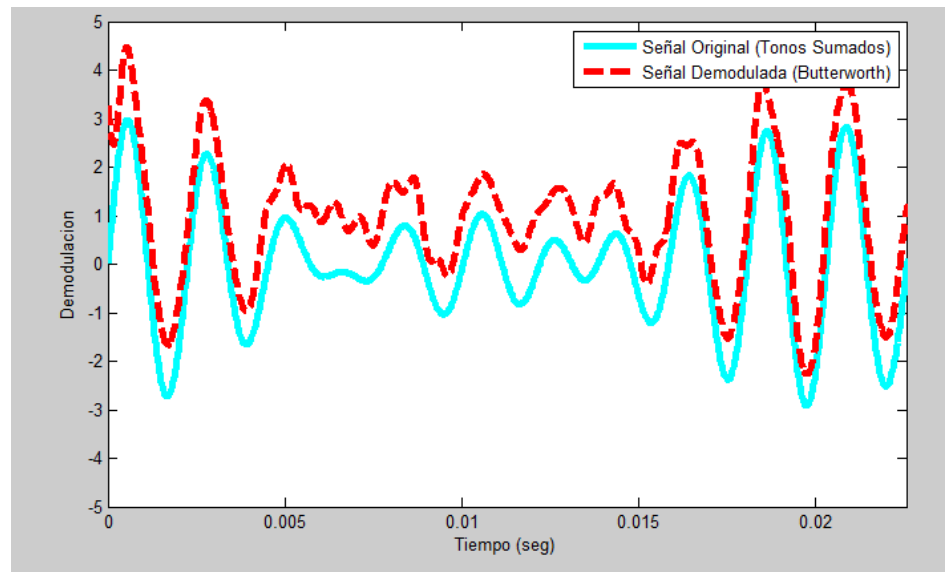


Figura 8

### Explicación

El proceso de la demodulación para una señal con ruido, es idéntico para el de una señal sin ruido. Necesitamos una frecuencia de corte normalizada a través de la función de  $W_n = F_c \cdot 2 / F_s$ .

Al hacer uso del filtro de butterworth de pasa bajas el cual pasa solamente las bajas de una frecuencia, logramos obtener los coeficientes de la función de transferencia de corte, los cuales son necesarios para poder aplicar la demodulación a través de la función predeterminada de MATLAB “amdemod”, la cual necesita obviamente la señal modulada, la frecuencia de la portadora, la frecuencia de muestreo, y los coeficientes obtenidos del filtro.

Para apreciar las diferencias entre la señal con ruido desmodulada con la señal original (diferenciar con el proceso de demodulación de la señal sin ruido), a la amplitud de la señal con ruido le agregamos 2 v, para notar mejor la diferencia. Las diferencias son muy pequeñas, pero son más notables a cuando se realiza la demodulación cuando la señal no tiene ruido.

### **Espectros de frecuencias**

#### Programa – Código de la señal con Ruido

```
figure('Name','Espectros de la señal con ruido: Tonos  
sumados','NumberTitle','off');
```

```
CR_N = length(VtR);  
CR_Fourier = fft(VtR, CR_N);  
CR_Lin = linspace(-Fs/2, Fs/2, CR_N);  
CR_Amp = fftshift( abs( CR_Fourier ) );
```

```
subplot(3, 1, 1);  
stem(CR_Lin, CR_Amp, 'r','linewidth',grosor/2);  
hold on;  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal con ruido: Tonos  
sumados');  
xlabel('Frecuencia (Hz)');  
axis([Fm1-30, Fm3+30, 10, 400]);
```

### Programa – Código para la señal modulada con Ruido

```
CR_Vam = (Vc+VtR).* sin(2*pi*Fc.*t);
CR_NVam = length(CR_Vam);
CR_FourierVam = fft(CR_Vam, CR_NVam);
CR_LinVam = linspace(-Fs/2, Fs/2, CR_NVam);
CR_AmpVam = fftshift( abs( CR_FourierVam ) );
subplot(3, 1, 2);
stem(CR_LinVam, CR_AmpVam, 'g');
axis([Fc-Fmt-100, Fc+Fmt+100, 500, 50000]);
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal con ruido modulada');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
```

### Programa – Código para la señal desmodulada con Ruido.

```
CR_VamDemod = (Vc+VtDemodR).* sin(2*pi*Fc.*t);
CR_NDemod = length(CR_VamDemod);
CR_FourierDemod = fft(CR_VamDemod, CR_NDemod);
CR_LinDemod = linspace(-Fs/2, Fs/2, CR_NDemod);
CR_AmpDemod = fftshift( abs( CR_FourierDemod ) );
subplot(3, 1, 3);
stem(CR_LinDemod, CR_AmpDemod, 'b');
axis([Fc-Fmt-100, Fc+Fmt+100, 500, 50000]);
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal con ruido demodulada');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
```

### Resultados

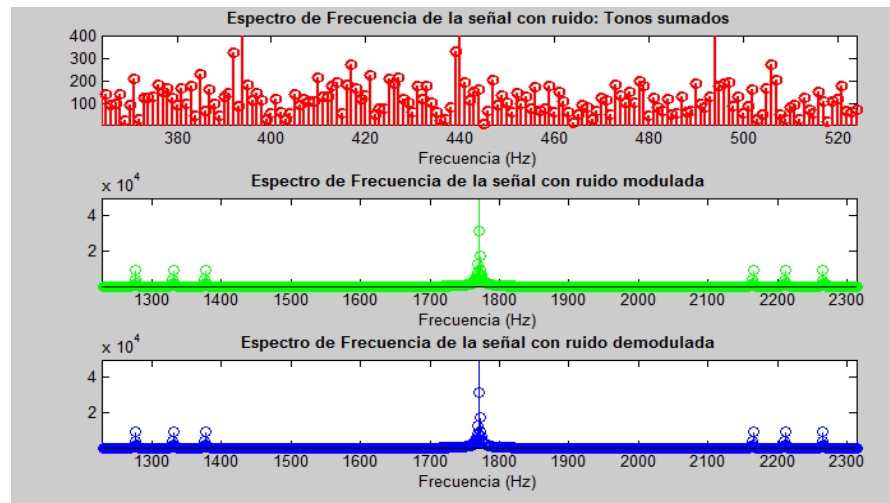


Figura 9

### Explicación

Como ya explicamos el proceso de realizar los espectros de frecuencias, haciendo uso de la transformada rápida de Fourier a través de la función `fft` de MATLAB, la cual nos devuelve los componentes de la frecuencia gracias a las muestras de la señal a modular, y haciendo uso de la función `linspace` para obtener  $n$  puntos para la grafica que correspondan a los puntos de la señal, procedemos a explicar unas pequeñas partes del espectro. Como se nota, en el espectro de la señal con ruido hay muchas frecuencias con valores pico las cuales se dan por la suma de ruido a la señal. En el espectro de la señal modulada, se nota la distorsión en el espectro debido al ruido claramente, e igual ocurre para el espectro de la señal desmodulada con ruido.

### **N) Analice los resultados obtenidos**

Cuando agregamos ruido a las señales, conseguimos ciertas diferencias a la hora de graficarlas, en el caso de graficar una señal sin ruido, como es el caso de la siguiente grafica.

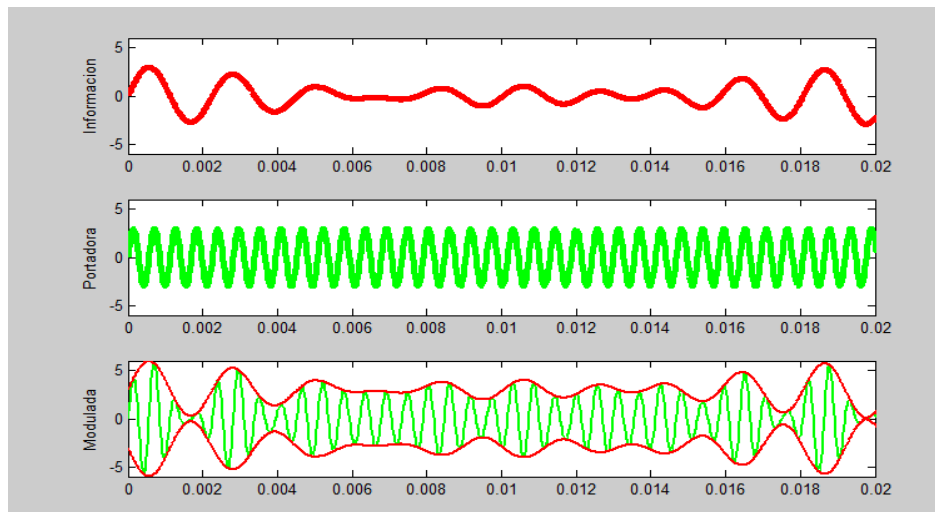


Figura 4

Encontramos que son limpias, es decir, no contienen errores que perturben la transmisión de la señal. Se nota la diferencia con la imagen de abajo, cuando a la señal moduladora se le agrega ruido, esta presentara irregularidades, por lo tanto a la hora de obtener la señal modulada, el efecto del ruido se aprecia en la envolvente de la señal. Por lo tanto deducimos que cuando se presenta el ruido que, por cierto siempre se encuentra en la transmisión, sea en pequeña o en gran escala, la señal de salida será diferente según la cantidad de ruido que reciba, a mayor ruido, mayor será la distorsión de la señal a transmitir.

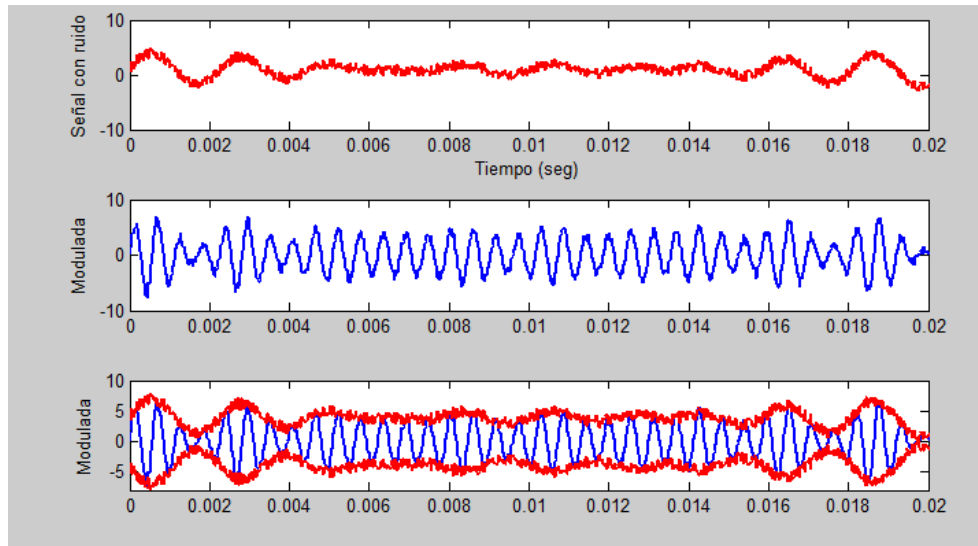


Figura 7

Para notar las diferencias respecto a las señales desmoduladas, mostramos las graficas de la señal sin ruido desmodulada y la de la señal con ruido, con el efecto que cuando se le agrega ruido, también se le aumenta la amplitud a la señal para notar ciertas diferencias.

Señal sin ruido desmodulada.

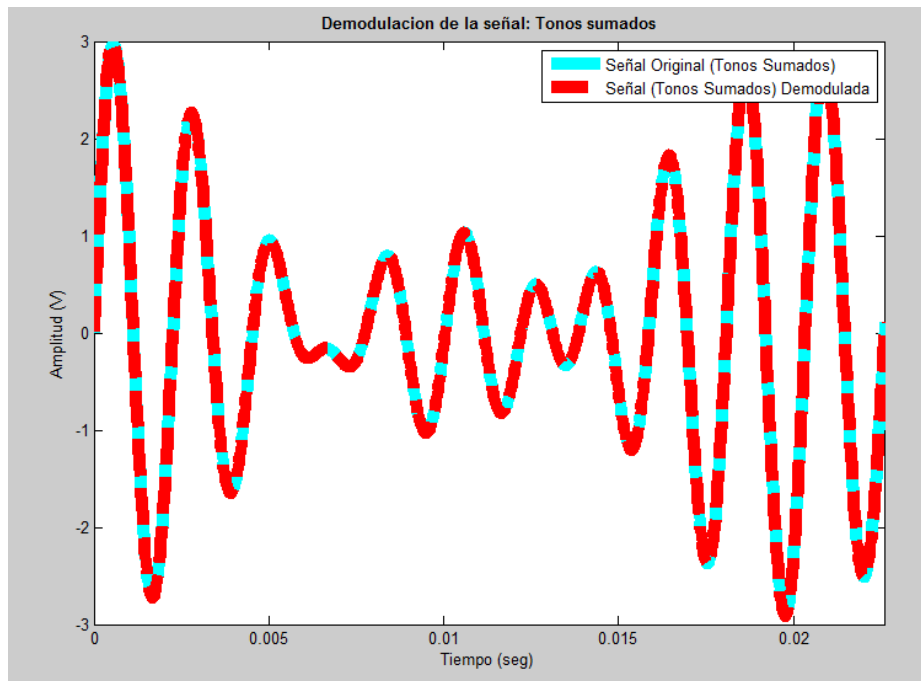


Figura 6

Señal con ruido desmodulada

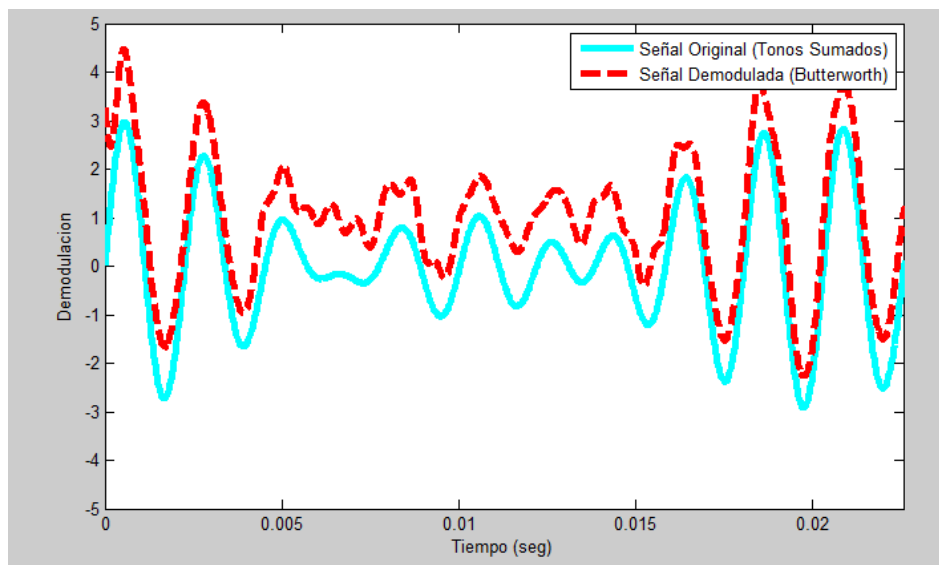


Figura 8

Se nota que cuando se desmodula una señal que tenga ruido, tendrá ciertas diferencias a la señal original sin ruido, y es que en efecto, mostramos la señal moduladora original sin ruido ya que, el ruido se genera en el canal de transmisión, por lo tanto cuando mostramos la señal con ruido desmodulada, notamos discrepancias en ciertas partes de la grafica que se notan al detallar la imagen.

Para el caso de los espectros de frecuencias, es donde se nota mayor diferencia mas allá de los ruidos mostrados en la señal modulada gráficamente.

Espectro de los tonos sumados sin ruido

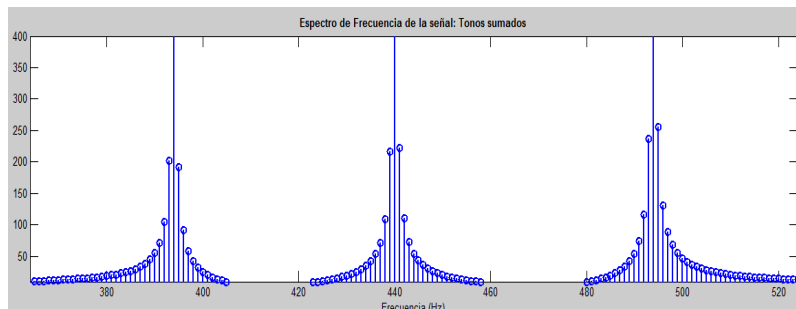


Figura 3

Espectro de frecuencia de señal modulada sin Ruido

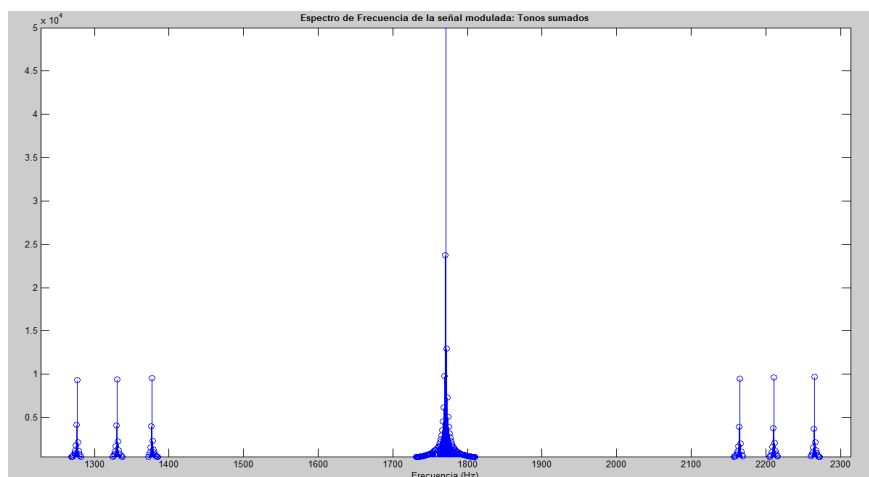


Figura 5



Espectro de frecuencia de señal modulada con ruido y los tonos con ruido.

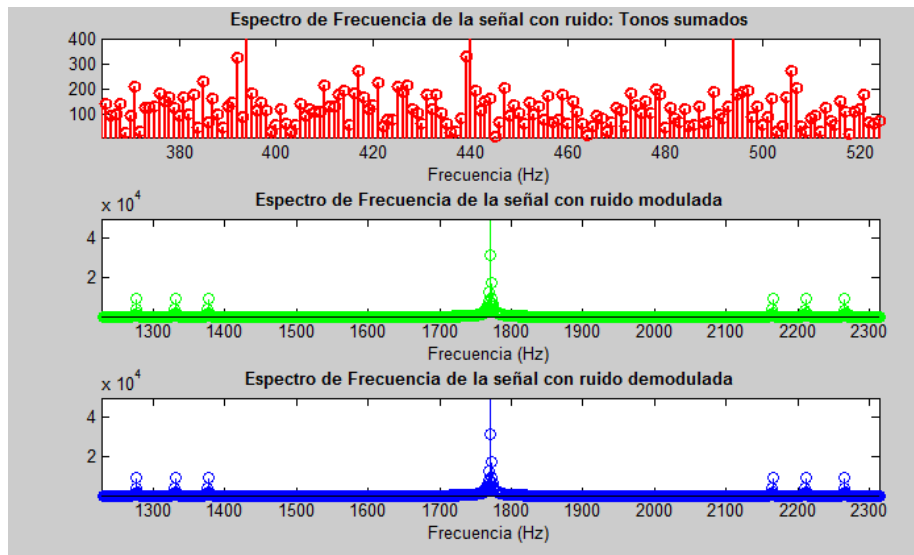


Figura 9

Cuando graficamos los tonos con ruido, se nota la gran diferencia en el espectro de frecuencia, el ruido genera muchas discrepancias en los voltajes en comparación a cuando no se encuentra el ruido, que el espectro es limpio y simétrico.

Para el caso del espectro de la señal modulada, cuando colocamos ruido, notamos que en todo el fondo del espectro, nos encontramos con una barra horizontal, la cual es la influencia del efecto que causa el ruido, siempre distorsionando la señal.

El ruido siempre se encuentra presente, algunas veces en mayor medida que otras, pero es donde se nota la importancia de la relación de potencia de señal a ruido donde, la demodulación depende mucho, en el caso de las potencias, de cuán grande sea la potencia de la señal y que tan pequeña sea la potencia del ruido que se encuentre en los transmisores, puesto que lo ideal es siempre tratar de disminuir el ruido posible para tener una transmisión de señal lo más limpia y filtrada posible.

**O) Modifique la frecuencia de cada tono, incrementándolos y compare los resultados**

Nuevas frecuencias de los tonos.

Tono 1: 523Hz.

Tono 2: 587Hz.

Tono 3: 659Hz.

**- Grafique cada tono individual**

Tonos con frecuencia aumentada:

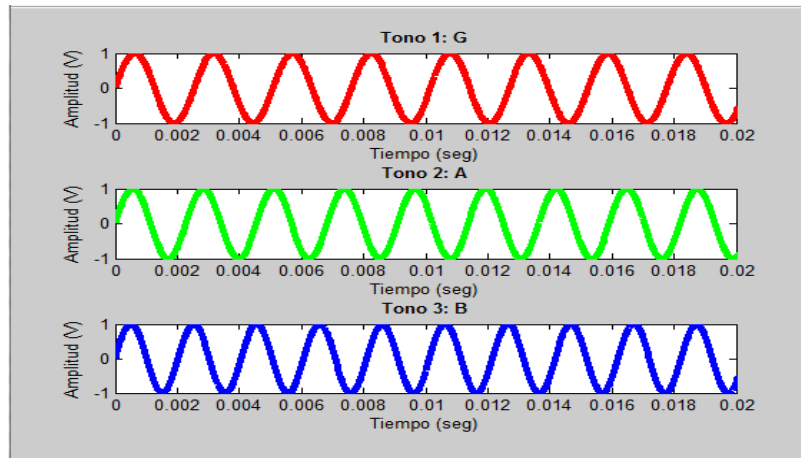


Figura 10

Tonos con frecuencia normales (Sin aumentar)

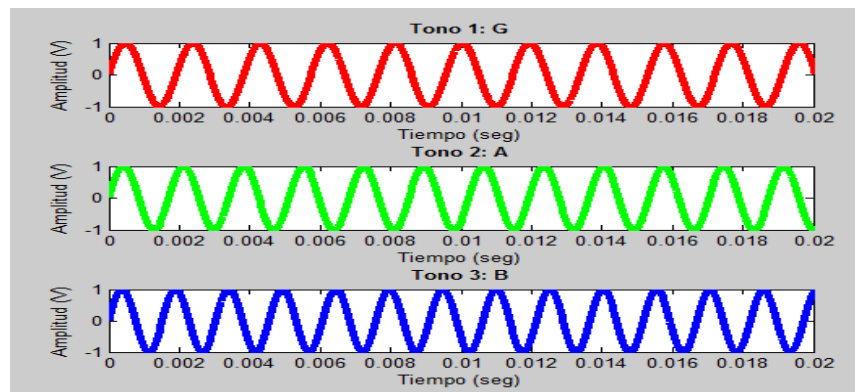


Figura 1

Como se ve, al aumentar las frecuencias de los tonos, se tendrán más ciclos al llegar a los 0.02 segundos, más detallado en la siguiente tabla:

TONOS	Frecuencia	Ciclos terminados en 0.02 S
Tono 1	394 Hz	8 Ciclos
Tono 2	440 Hz	8 y medio Ciclos
Tono 3	494 Hz	9 Ciclos

TONOS	Frecuencia	Ciclos terminados en 0.02 S
Tono 1	523 Hz	10 y medio Ciclos
Tono 2	587 Hz	11 y medio Ciclos
Tono 3	659 Hz	13 Ciclos

- **Grafique los tres tonos simultáneos**

Tonos nuevos

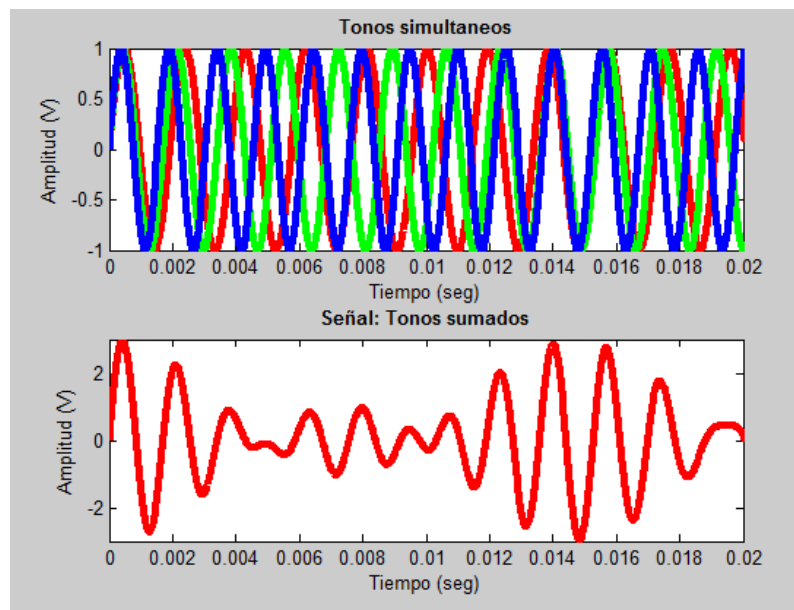


Figura 11

## Tonos originales

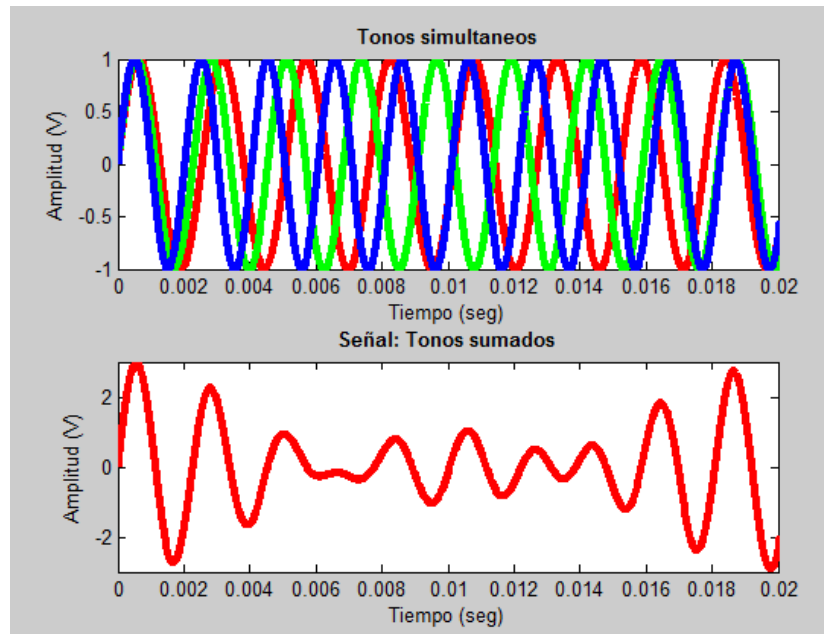


Figura 2

Al sumar los tres tonos nuevos, como todos son mayores que los originales, es obvio que el nuevo tono, tendrá una mayor frecuencia que la original, y se observa en las graficas.

## - Espectro de frecuencia de los tonos simultáneos

### Tonos nuevos

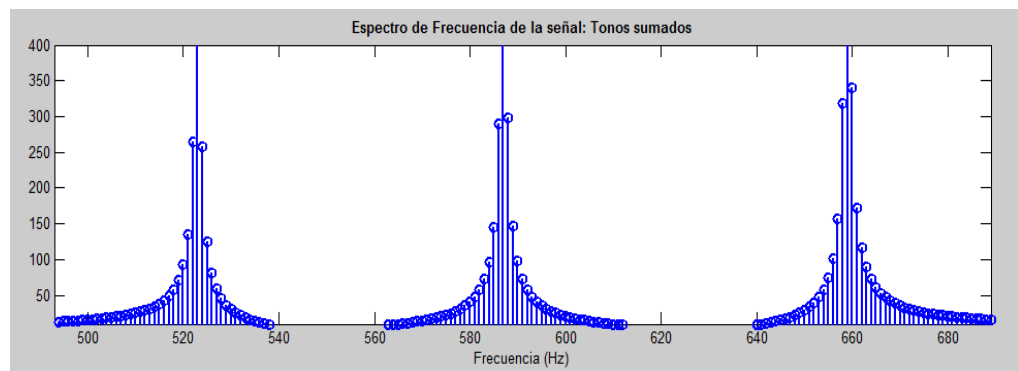


Figura 12

## Tonos originales

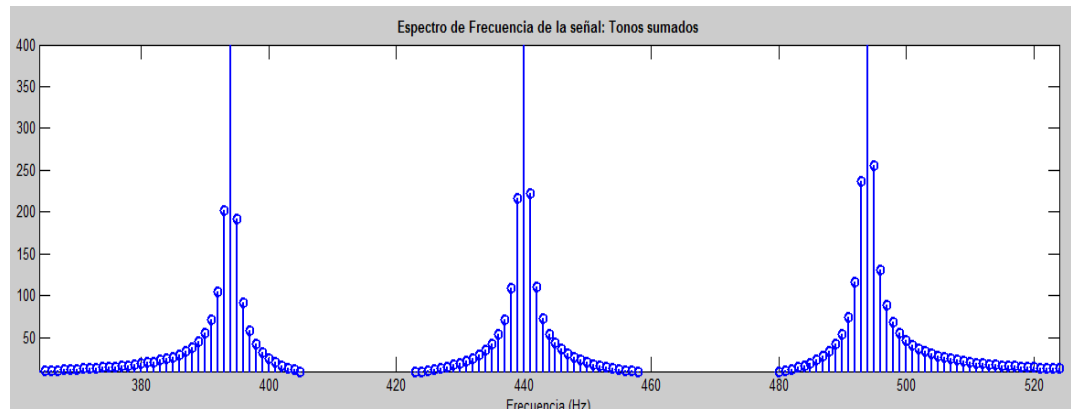


Figura 3

Un tono al tener mayor frecuencia, tendrá más componentes para dicha frecuencia, por lo tanto, por ello es que en el espectro de los tonos nuevos se ve como mas relleno los componentes laterales de las frecuencias de los tonos.

## - Modulación de la señal

Señal nueva con tonos nuevos

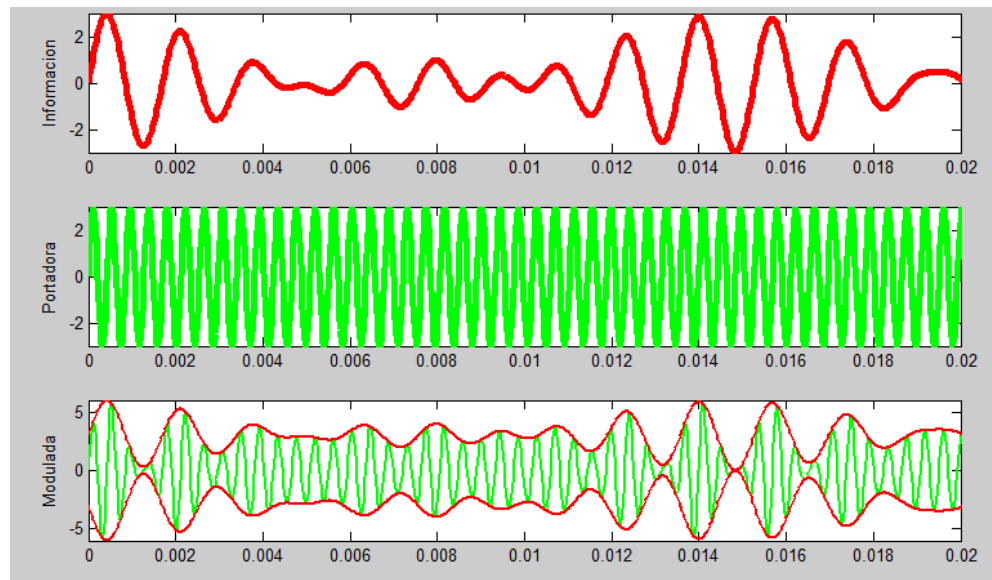


Figura 13

## Señal Original

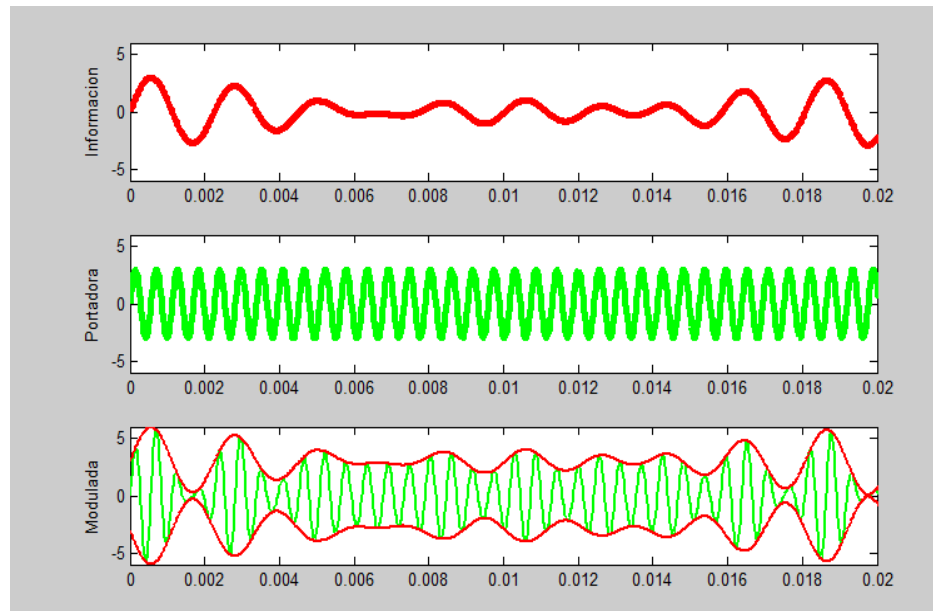


Figura 4

Obviamente, al cambiar las frecuencias, también cambiara la señal de información y la onda modulada, notándose que con la nueva señal modulada con los nuevos tonos, aparecen nuevos cambios en las frecuencias debido a su nuevo valor como frecuencia de la modulada. Como dejamos las mismas amplitudes, no encontramos grandes diferencias en este aspecto en las graficas.

### - Espectro de frecuencia de la señal modulada

#### Espectro de frecuencias de la señal modulada nueva

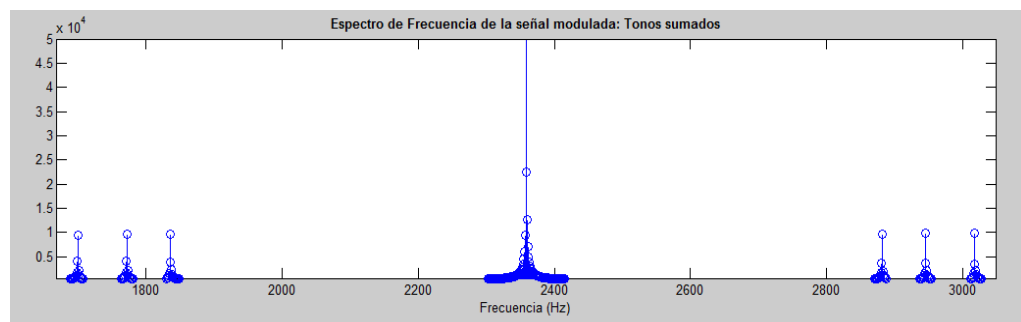


Figura 14

## Espectro de frecuencias de la señal modulada original

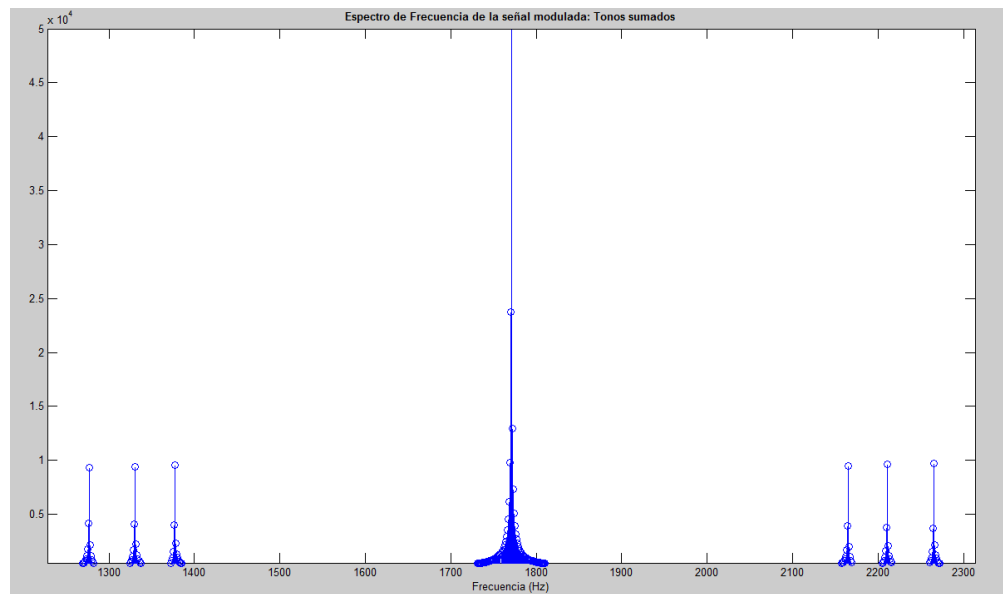


Figura 5

Primeramente hay que aclarar que la frecuencia de la portadora, la calculamos de manera que sea 4 veces mayor a la de la moduladora, por lo tanto nuestra nueva frecuencia de portadora es,  $F_c = 2358\text{Hz}$ .

$$F_c = [(523 + 587 + 659) / 3] * 4 = F_c = 2358\text{Hz}.$$

Con Tonos de frecuencias originales

	Operación USB	USF	Operación LSB	LSF
Elemento 1	390Hz + 1765Hz	2155Hz	1765 Hz - 390Hz	1375Hz
Elemento 2	440Hz + 1765Hz	2205Hz	1765 Hz - 440Hz	1325Hz
Elemento 3	494Hz + 1765Hz	2259Hz	1765Hz – 494Hz	1271Hz

Con Tonos de frecuencias nuevas

	Operación USB	USF	Operación LSB	LSF
Elemento 1	523Hz + 2358Hz	2811Hz	2358 Hz - 523Hz	1835Hz
Elemento 2	587Hz + 2358Hz	2945Hz	2358 Hz - 587Hz	1771Hz
Elemento 3	659Hz + 2358Hz	3017Hz	2358Hz – 659Hz	1699Hz

- **Desmodule la señal**

Demodulación de la señal con frecuencias nuevas

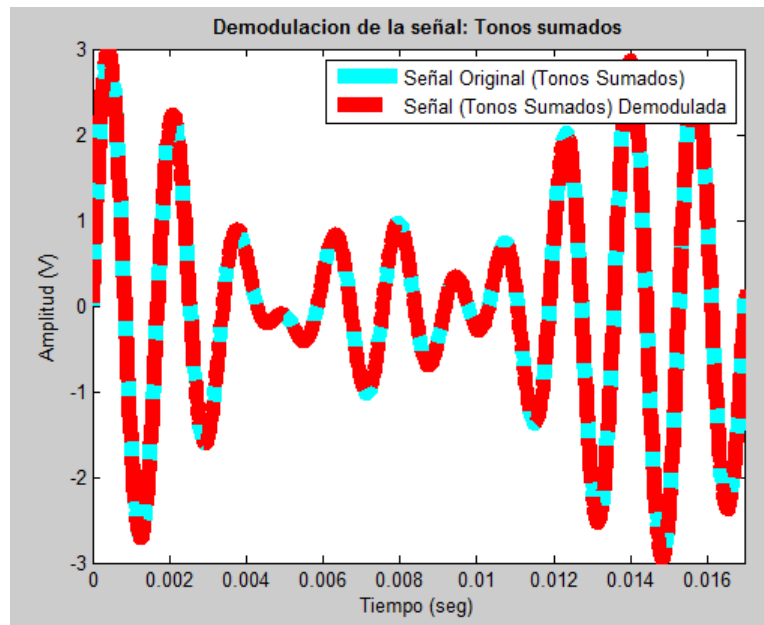


Figura 15

Demodulación de la señal original.

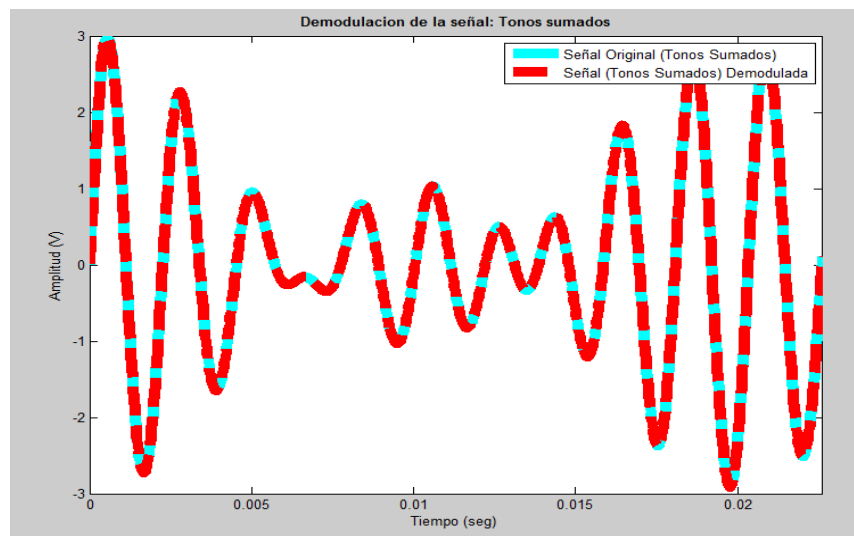


Figura 6

La demodulación es muy parecida en ambos casos siguiendo el ejemplo de la modulación muy parecida exceptuando las frecuencias.



- **Agregando Ruido**

Modulando las señales:

Modulación de la señal nueva con ruido

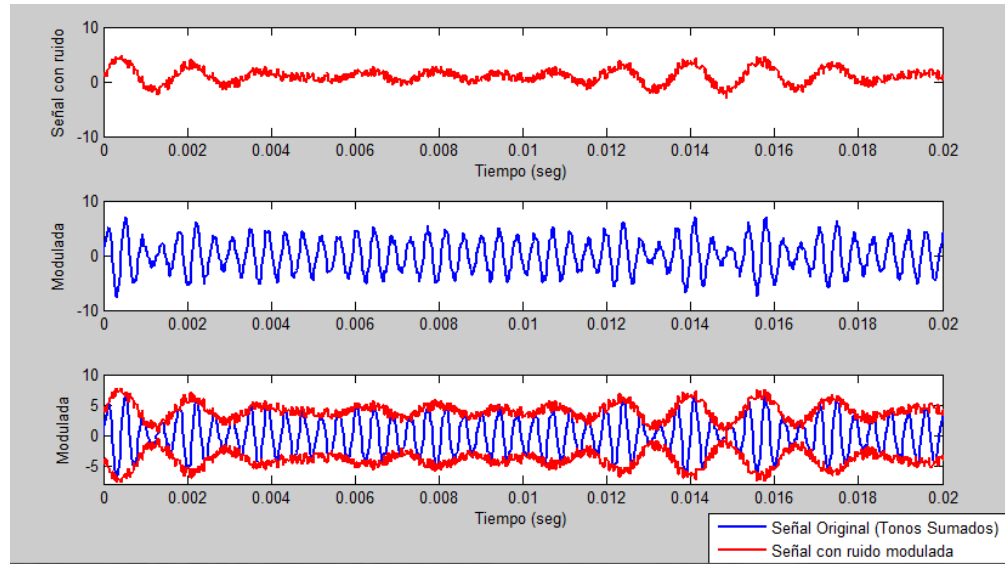


Figura 16

Modulación de la señal original con ruido

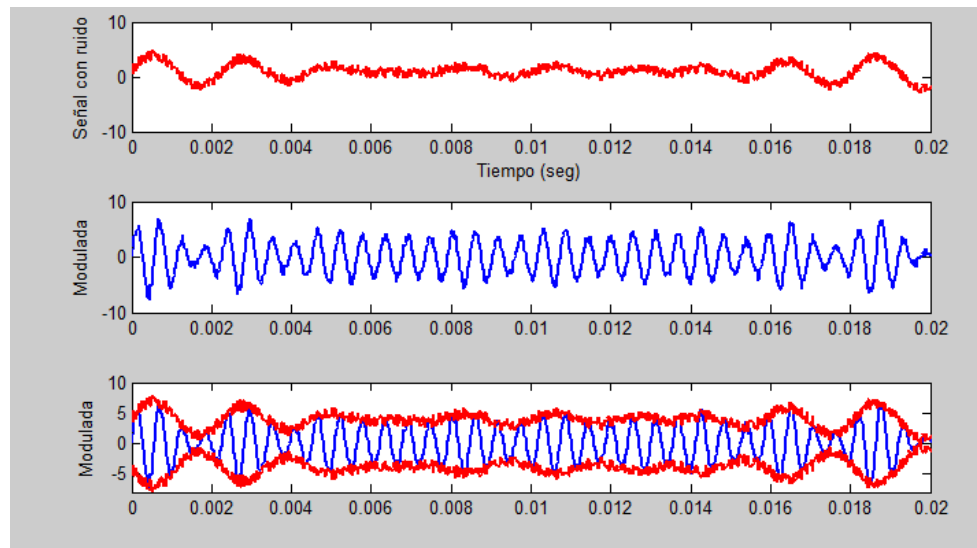


Figura 7

Bastante parecido en ambos casos, pero al igual que como ocurre en la modulación sin ruido, el efecto es el mismo, simplemente agregándole el ruido que distorsiona la transmisión.

- Demodulación

Demodulación de la señal nueva con ruido

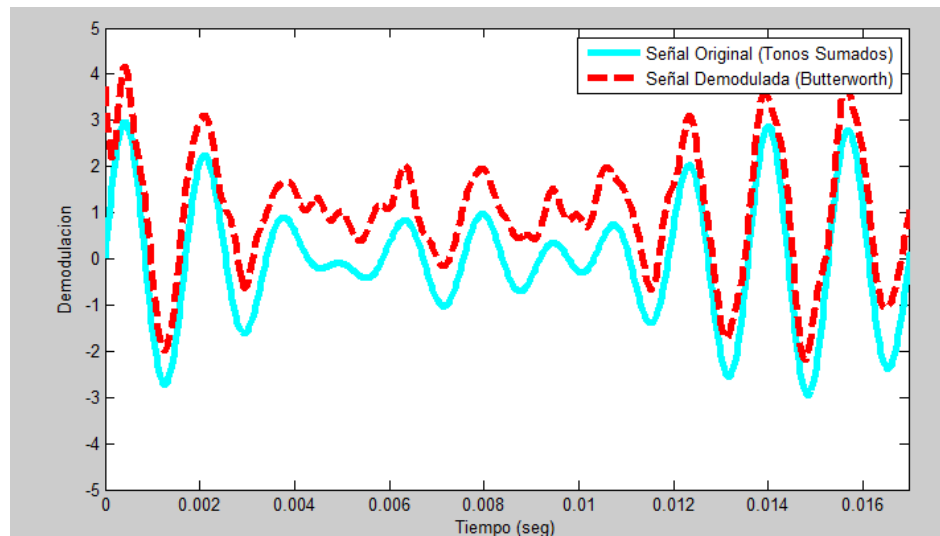


Figura 17

Demodulación de la señal original con ruido.

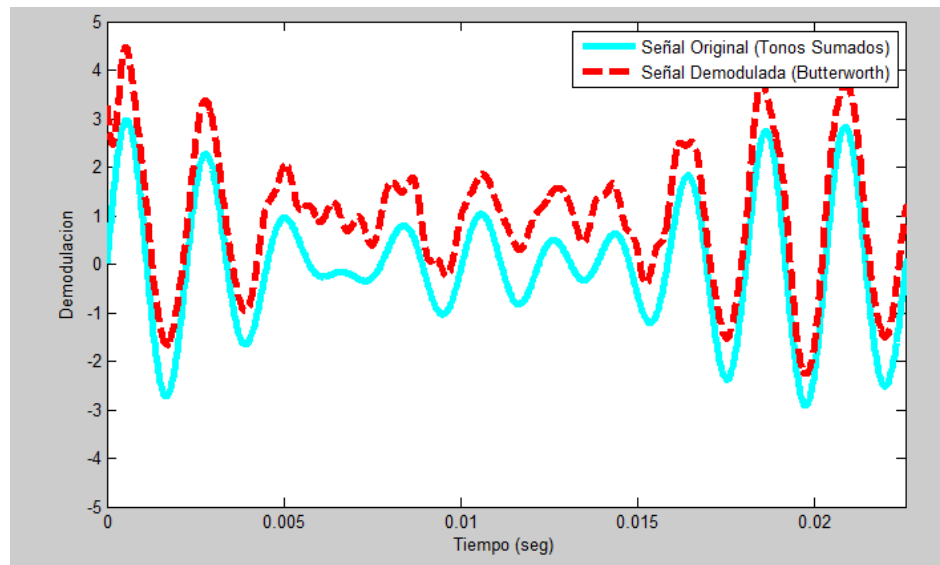


Figura 8

De igual manera que pasa con la modulación, en la demodulación ocurre el mismo caso de obtener como resultado muy parecidos. Al no tener una gran diferencia en las nuevas frecuencias, obtendremos que los resultados sean bastante parecidos como es en este caso.

- Espectros de frecuencia con ruido

Espectro de frecuencias de la señal nueva con ruido

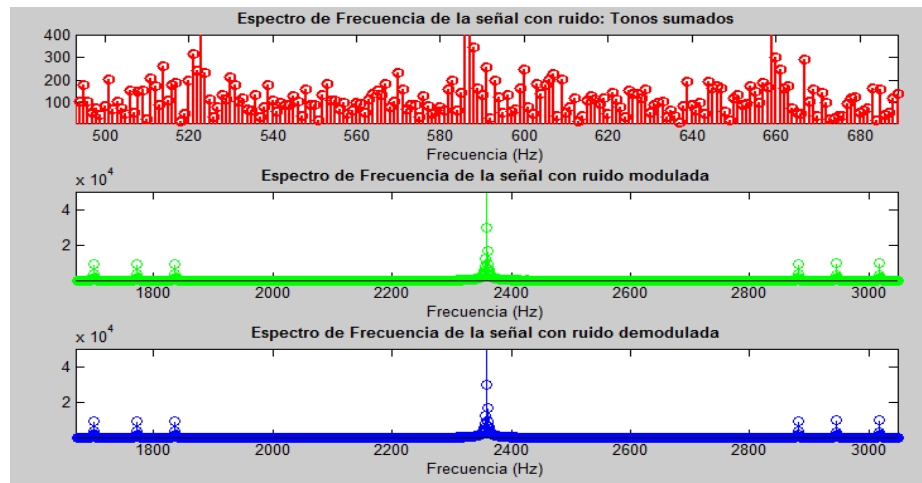


Figura 18

Espectro de frecuencias de la señal original con ruido.

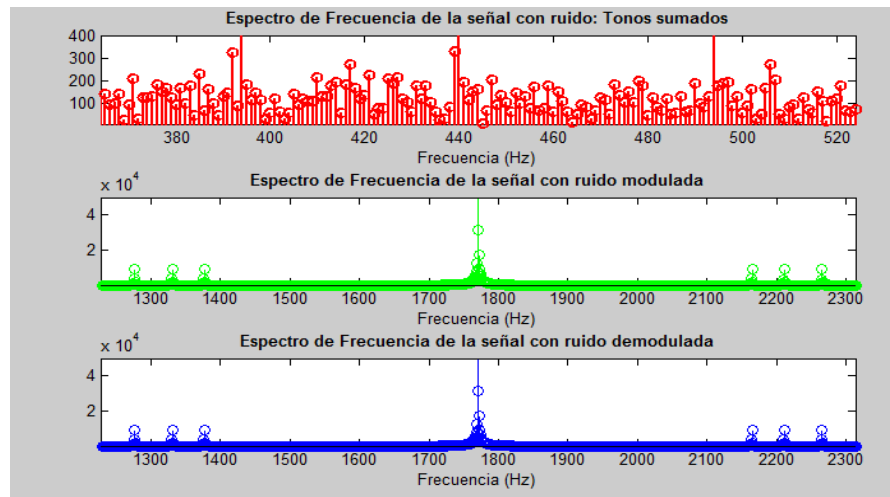


Figura 9

Como hemos venido observando con los resultados anteriores que son bastante parecidos, de igual manera ocurre en los espectros de frecuencia con ruido, notando la mayor diferencia en el espectro de frecuencia de la señal con tonos sumados, puesto que en la señal nueva al tener unas frecuencias mayores los tonos, en el espectro se podrán notar mayores componentes laterales.

- 2- Realice variaciones para el índice de modulación y determine la potencia para cada caso (debe considerar al menos 4 variaciones del índice de modulación).

Formulas a usar,

$$\text{Índice de modulación: } m = \frac{E_m}{E_c}$$

$$\text{Potencia de la portadora: } P_c = \frac{E_c^2}{2R}$$

$$\text{Potencia de las bandas laterales: } P_{bls} = P_{bli} = \frac{P_c * m^2}{4}$$

$$\text{Potencia total: } P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{2}$$

**Para un índice de modulación de m=0.25,**

$$m = \frac{3v}{12v} = 0.25$$

$$P_c = \frac{12^2}{2R} = \frac{144}{2(1)} = 72 \text{ Watts}$$

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{P_c * m^2}{4} = \frac{72 \text{ watts} * (0.25)^2}{4} = 1.125 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{2} = 72 \text{ watts} + \frac{72 \text{ Watts} * (0.25)^2}{2} = 74.25 \text{ watts}$$

Graficas para m=0.25

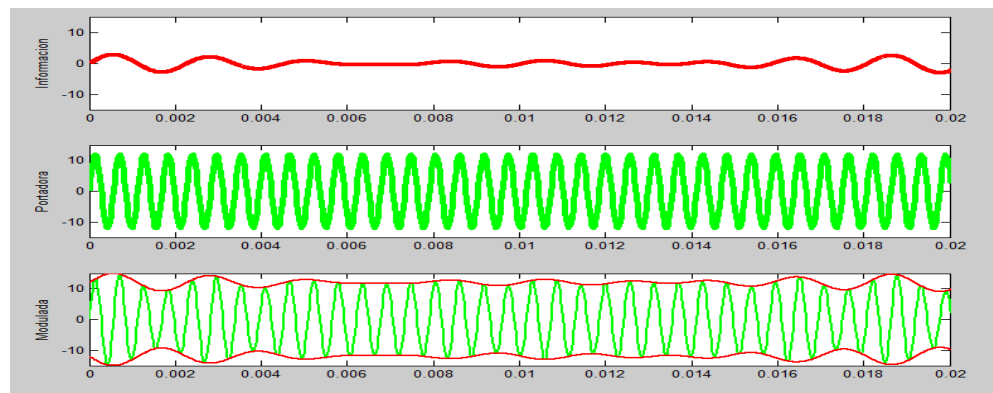


Figura 19

Se puede notar que mientras más bajo sea el índice de modulación, mayor será el voltaje mínimo de la envolvente.

Espectro de frecuencias.

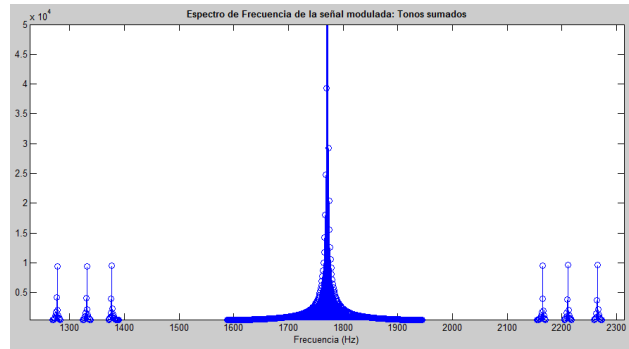


Figura 20

Demodulación

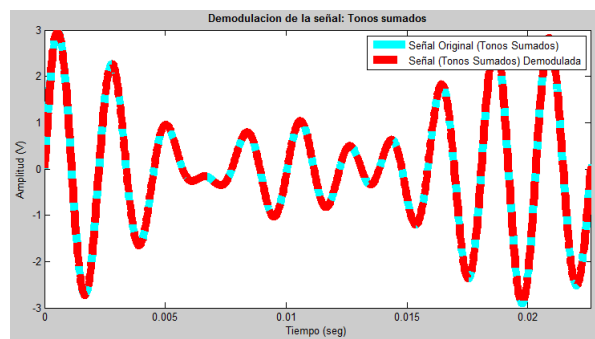


Figura 21

Modulación de la señal con ruido

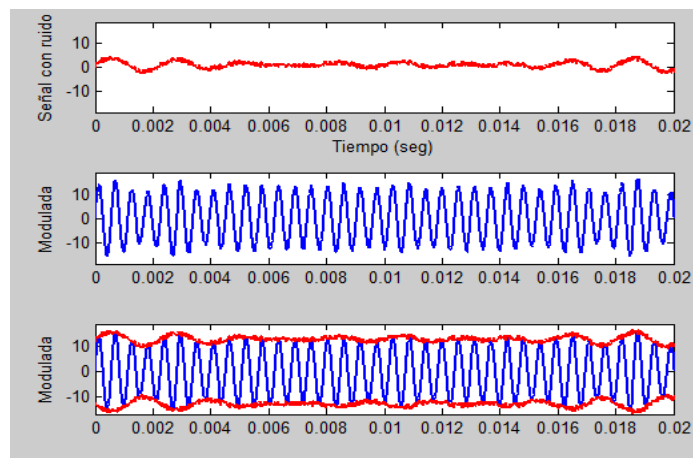


Figura 22

Demodulación de la señal con ruido.

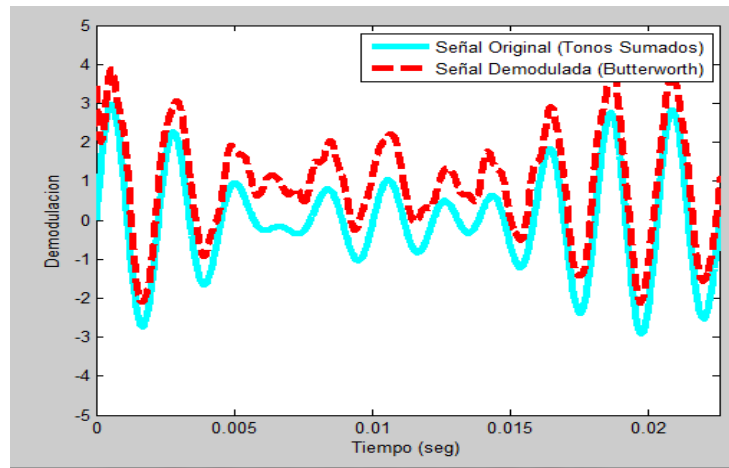


Figura 23

Espectro de frecuencias de la señal con ruido.

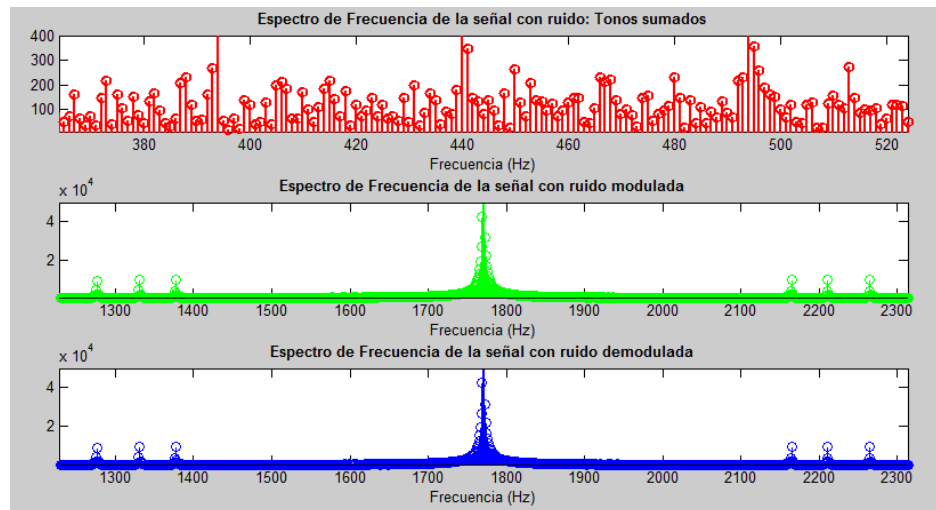


Figura 24

Para un índice de modulación de  $m=0.5$ ,

$$m = \frac{3v}{6v} = 0.5$$

$$P_c = \frac{6^2}{2R} = \frac{36}{2(1)} = 18 \text{ Watts}$$

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{P_c \cdot m^2}{4} = \frac{18 \text{ watts} \cdot (0.5)^2}{4} = 1.125 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_c + \frac{P_c \cdot m^2}{2} = 18 \text{ watts} + \frac{18 \text{ Watts} \cdot (0.5)^2}{2} = 20.25 \text{ watts}$$

### Graficas para $m=0.5$

#### Modulación

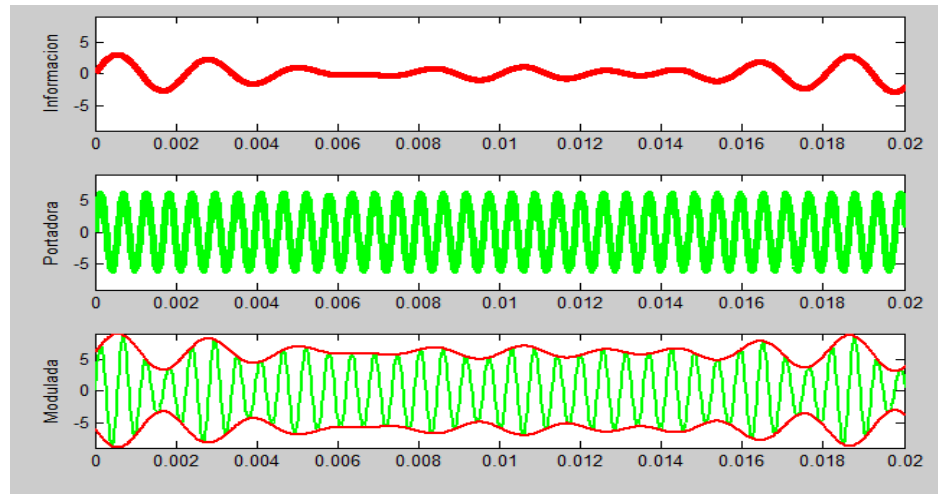


Figura 25

#### Espectro de frecuencias

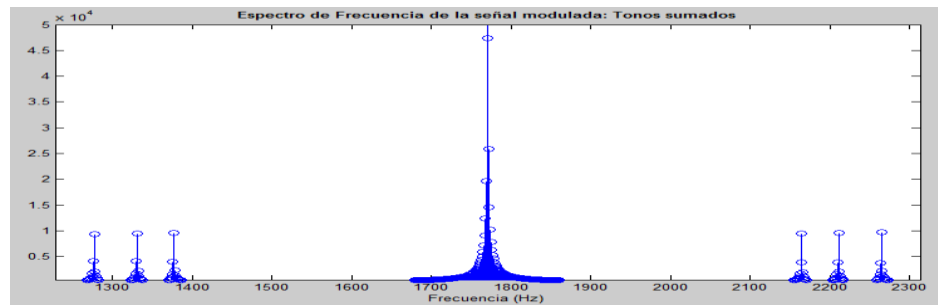


Figura 26

#### Demodulación

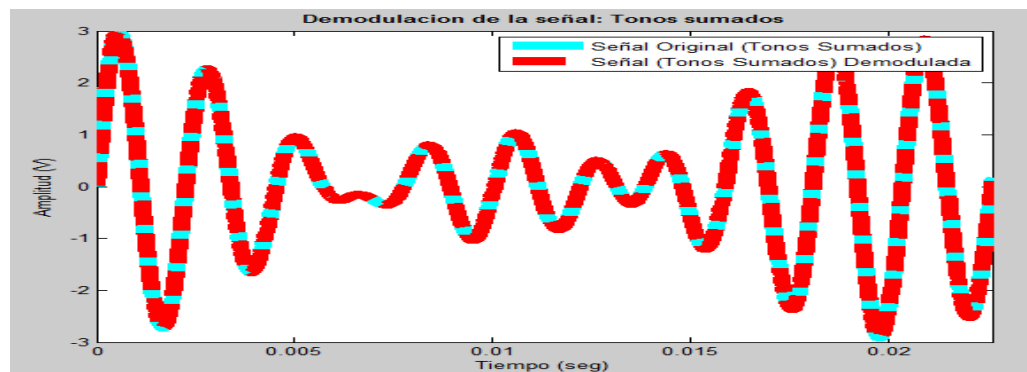


Figura 27

## Modulación de la señal con Ruido

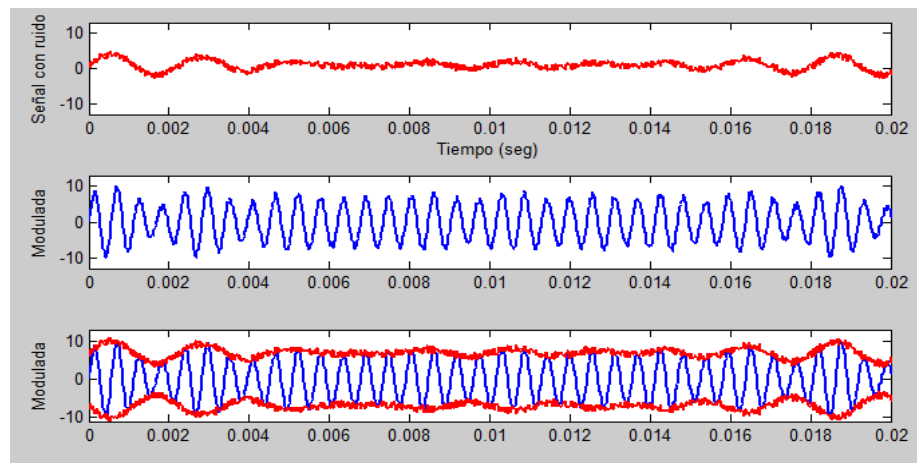


Figura 28

## Demodulación de la señal con ruido

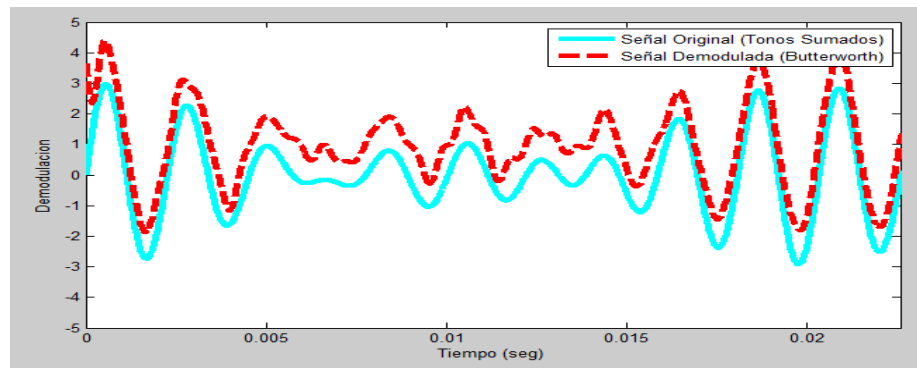


Figura 29

## Espectro de frecuencias de la señal con ruido.

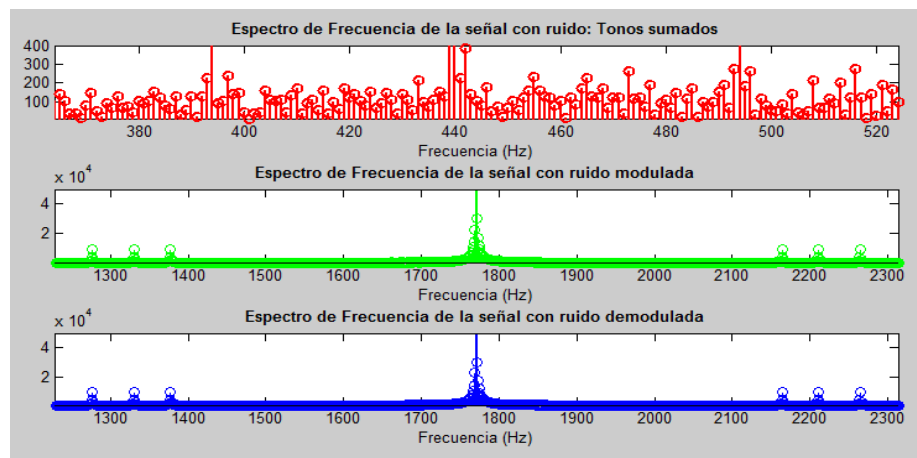


Figura 30



Para un índice de modulación de  $m=0.85$ ,

$$m = \frac{3v}{3.5v} = 0.85$$

$$P_c = \frac{3.5^2}{2R} = \frac{12.25}{2(1)} = 6.125 \text{ Watts}$$

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{P_c * m^2}{4} = \frac{6.125 \text{ watts} * (0.85)^2}{4} = 1.106 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{2} = 6.125 \text{ watts} + \frac{6.125 \text{ Watts} * (0.85)^2}{2} = 8.337 \text{ watts}$$

Graficas para  $m=0.85$

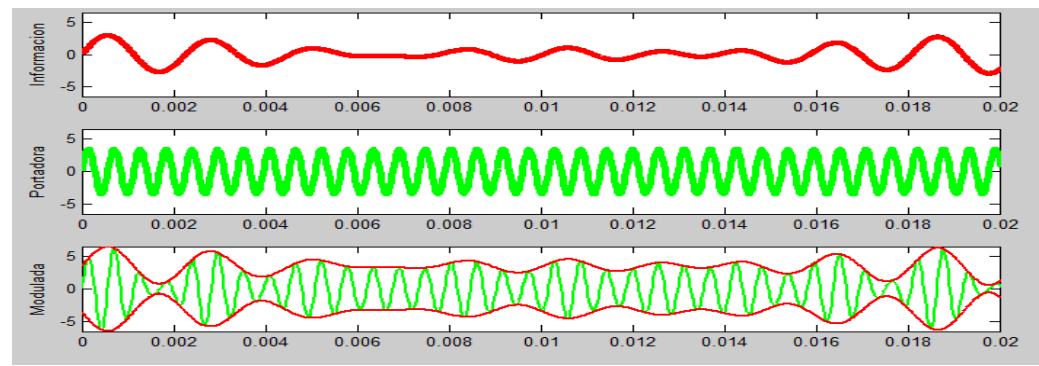


Figura 31

Se puede notar que mientras más cercano sea el índice de modulación a 1, es decir llegando al porcentaje de modulación a 100%, el voltaje mínimo de la onda modulada se acerca a 0.

Espectro de frecuencias

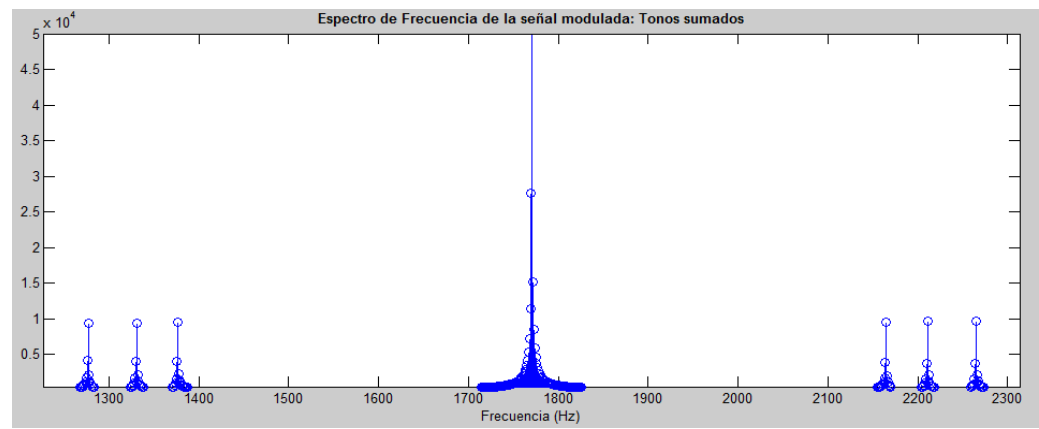


Figura 32

## Demodulación

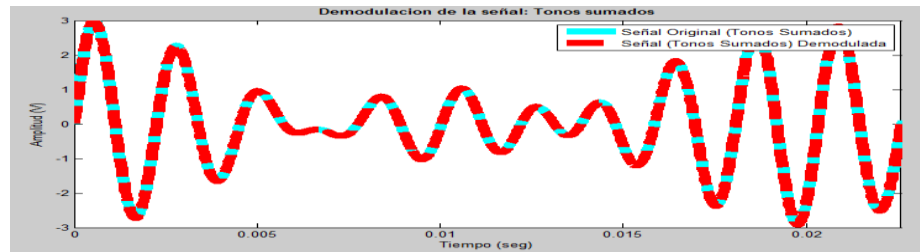


Figura 33

## Modulación con ruido

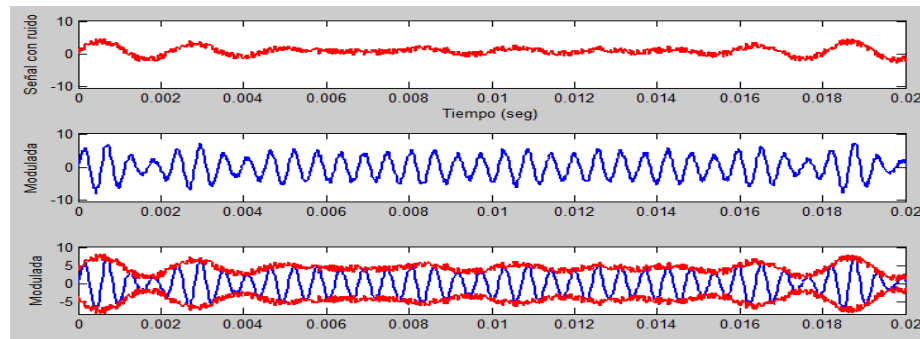


Figura 34

## Demodulación con ruido

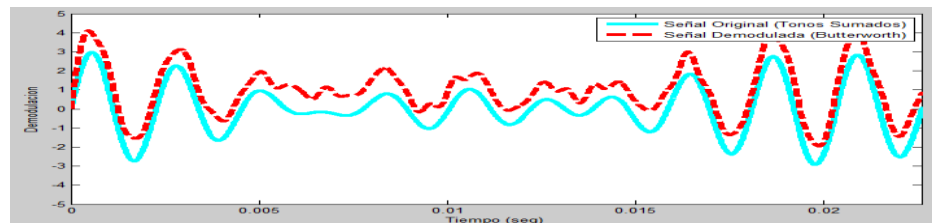


Figura 35

## Espectro de frecuencia con ruido

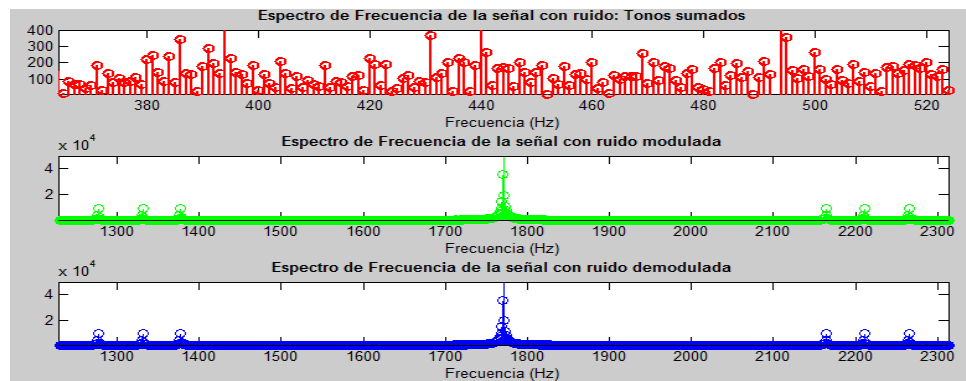


Figura 36

**Para un índice de modulación de  $m=1.5$ , (Sobre modulación)**

$$m = \frac{3v}{2v} = 1.5$$

$$P_c = \frac{2^2}{2R} = \frac{4}{2(1)} = 2 \text{ Watts}$$

$$P_{bls} = P_{bli} = \frac{P_c * m^2}{4} = \frac{2 \text{ watts} * (1.5)^2}{4} = 1.125 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_c + \frac{P_c * m^2}{2} = 2 \text{ watts} + \frac{2 \text{ Watts} * (1.5)^2}{2} = 4.25 \text{ watts}$$

Graficas para  $m=1.5$

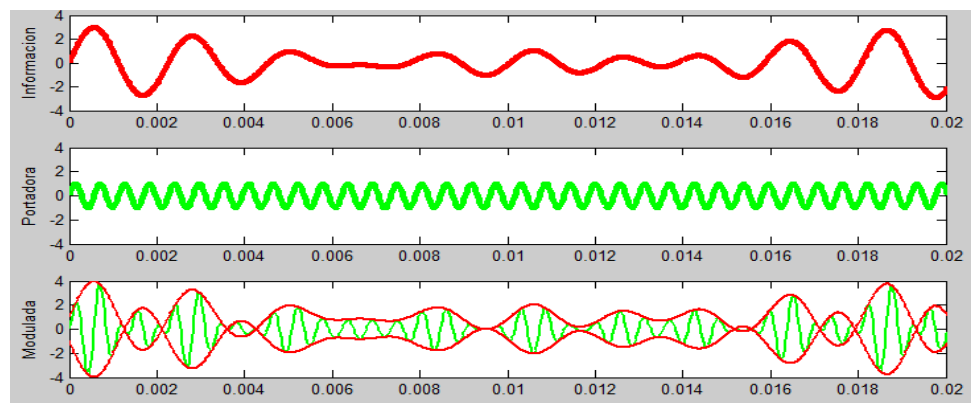


Figura 37

Se nota claramente la sobre modulación en la señal, causando una distorsión en la misma.

**Espectro de frecuencias**

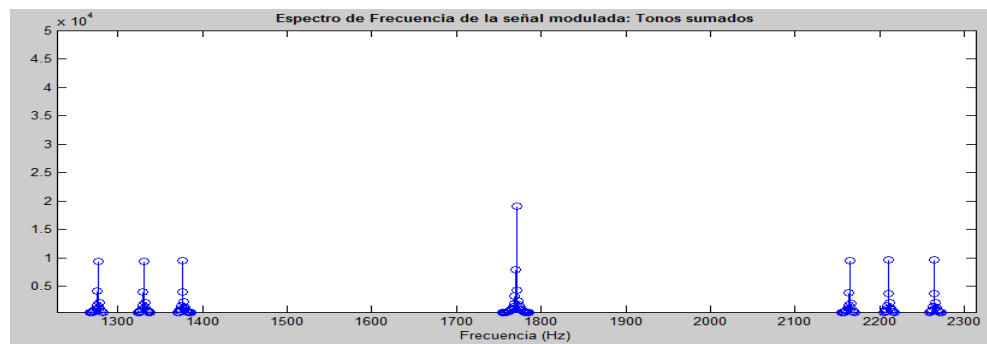


Figura 38

## Demodulación

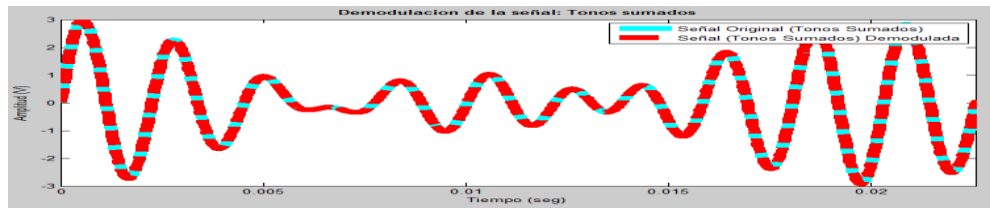


Figura 39

## Modulación con ruido (Con zoom para apreciar mejor el efecto)

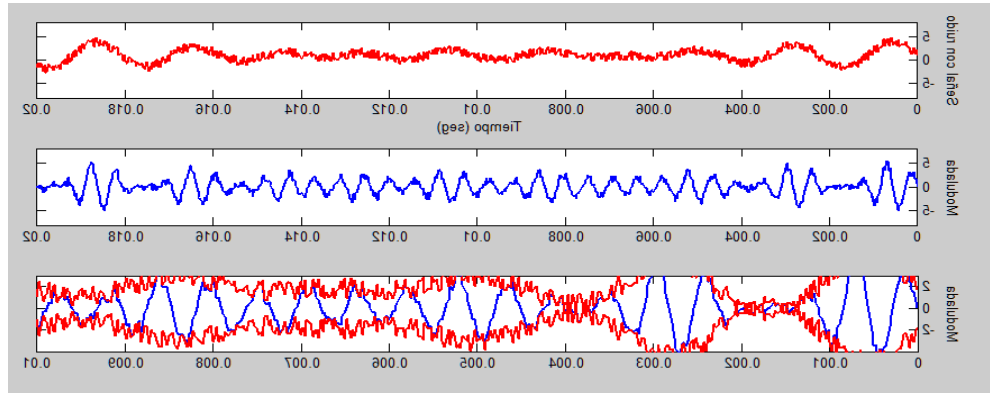


Figura 40

## Demodulación con ruido

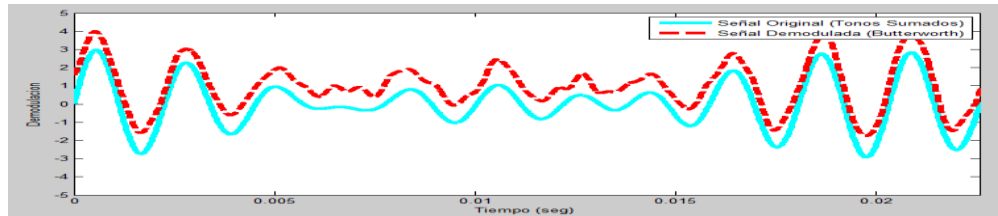


Figura 41

## Espectro de frecuencias con ruido

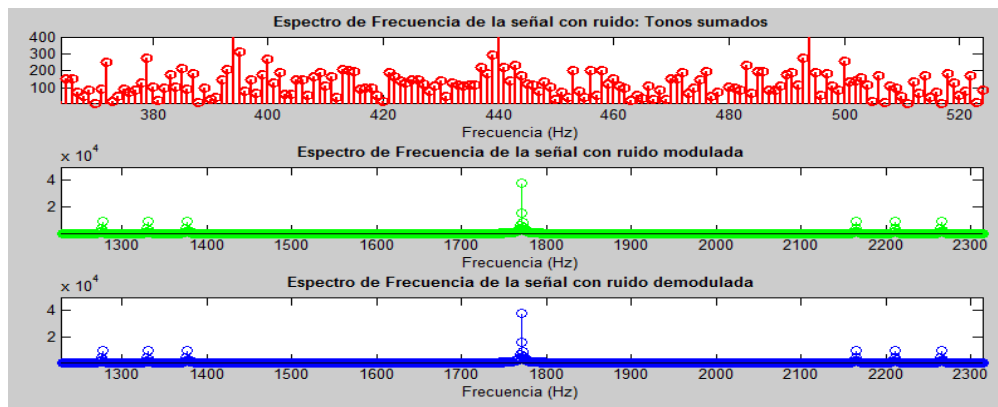


Figura 42

### 3- Modulación y demodulación de una captura de audio: música y voz.

Para este apartado, utilizamos los siguientes datos

$F_s = 44100\text{Hz}$  , La frecuencia de muestreo  
Duración = 3, Duración de la grabación de la captura del audio  
Grosor = 4, que indica el grosor de las líneas en las graficas  
 $x_{\text{Max}} = 300$ , El pedazo de la grafica para el axis.

#### A) Realice una captura de audio de música y voz en Matlab y guarde.

##### Programa – Código

```
disp('Ha comenzado la grabacion shhh...');  
nombreC = 'captura'; %Nombre predeterminado  
de la captura  
senalC = wavrecord(duracion*Fs,Fs); %Capturando el  
audio  
Vm = 1;  
wavwrite(senalC, Fs, nombreC); %Guardando el archivo  
disp('El audio ha sido guardado exitosamente. '); %Muestra un  
mensaje en pantalla  
input('Pulse Enter para reproducir');  
sound(senalC,Fs);
```

##### Explicación

Para poder capturar un audio en MATLAB, hacemos uso de la función wavrecord, el cual necesita un tiempo de duración de la grabación, y la frecuencia de muestro para capturar el numero muestras por unidad de tiempo que se toma de la señal continua que estamos grabando para convertirla en discreta, haciendo la conversión de de analógico digital.\_Una vez capturada la señal, o el audio, procedemos a escribirla, es decir guardarla, a través de la función wavwrite, en el cual se le pasa la señal capturada, con la frecuencia de muestreo y el nombre que se quiera ponerle a la grabación.

#### B) Realice el programa en Matlab para la Modulación AM.

El programa ha sido realizado en la herramienta de programación MATLAB.

### C) Grafique la señal de entrada.

#### Programa – Código

```
figure('Name','Audio capturado','NumberTitle','off');  
  
plot(senalC,'g');  
title('\bfAudio capturado');  
xlabel('Tiempo');  
grid on;
```

#### Resultados

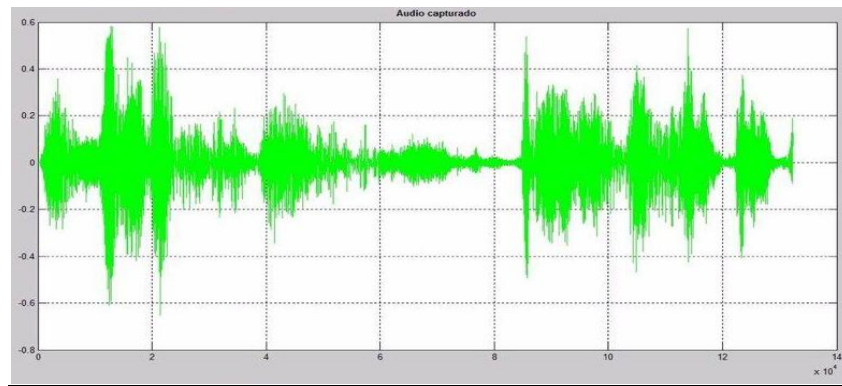


Figura 43

#### Explicación:

Como se puede notar, se grafica el audio capturado en un color verde a través de la función plot, pasándole simplemente la variable donde está guardada la señal capturada.

### D) Determine el espectro de frecuencia.

#### Programa – Código

```
figure('Name','Espectro de frecuencias del Audio  
capturado','NumberTitle','off');  
  
MuSenalC = length(senalC);  
FuSenalC = fft(senalC, MuSenalC);  
FrSenalC = linspace(-Fs/2, Fs/2, MuSenalC);  
AmpSenalC = fftshift( abs( FuSenalC ) );
```

### Explicación

Para poder determinar el espectro de frecuencias, necesitamos utilizar la transformada rápida de Fourier haciendo uso de la función “fft” que trae MATLAB consigo, pero para ello necesitamos obtener las muestras de la señal modulada a través de la función length. Con la transformada rápida de Fourier obtenemos los componentes de la frecuencia de la señal, pero para poder graficarla también necesitamos obtener n puntos para la grafica a través de la función linspace para que correspondan con los componentes de la frecuencia. Una vez todo esto, reorganizamos las muestras de la señal y le aplicamos valor absoluto para obtener frecuencias a ambos lados.

### **E) Grafique el espectro de frecuencia.**

#### Programa – Código

```
stem(FrSenalC, AmpSenalC, 'g','linewidth',grosor/4);  
  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal: Audio Capturado');  
xlabel('Frecuencia (Hz)');  
axis([0, 1000, 10, 1000]);
```

### Resultados

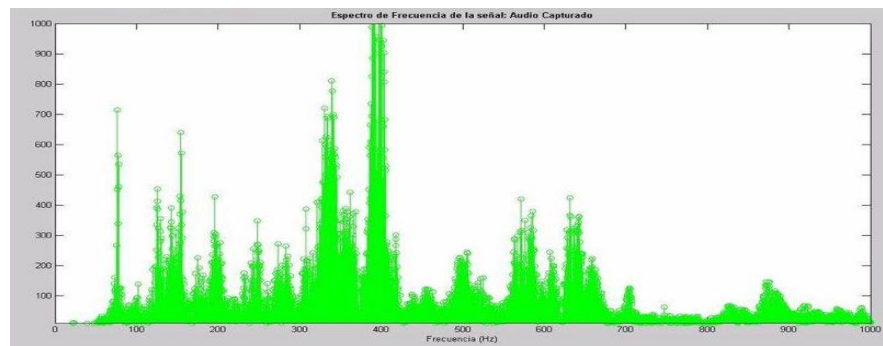


Figura 44

### Explicación

Como se ve, una vez determinado todo el espectro, es fácil proceder a graficarlo, a través la función stem, que grafica señales discretas, utilizamos las muestras de la frecuencia reorganizadas junto a los puntos de la grafica.

## F) Module en Am la señal.

### Programa – Código

```
figure('Name','Modulacion en Am de Señal: Audio  
Capturado','NumberTitle','off');
```

```
Vc = 1;  
Fc = 15000;  
Tc = 1/Fc;  
Wc = 2*pi*Fc;
```

```
Vam = ammod(senalC, Fc, Fs);
```

### Explicación

Al igual que en el inciso 1, cuando queríamos modular, necesitamos la señal, la frecuencia de la portadora y la frecuencia de muestro, una vez esto, utilizamos la función para modular predeterminada de MATLAB, “ammod”, pasándole dichos valores, y el resultado que obtenemos lo guardamos en una variable.

## G) Muestre gráficamente.

### Programa – Código

```
subplot(2,1,1);  
plot(senalC,'r','linewidth',grosor/4);  
ylabel('Informacion');  
subplot(2,1,2);  
plot(Vam,'b','linewidth',grosor/4);  
ylabel('Modulada');
```

### Resultados

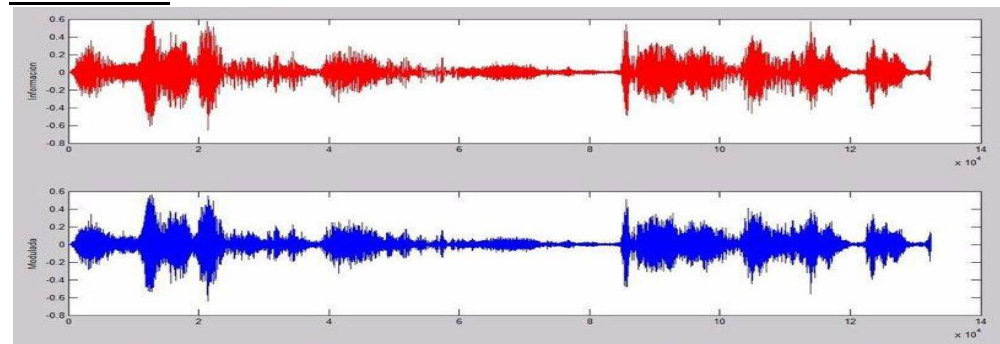


Figura 45



#### Explicación:

Una vez obtenida la señal modulada, procedemos a graficar tanto la señal de la captura, como la señal ya modulada, siendo prácticamente iguales.

#### **H) Determine el espectro de frecuencias.**

##### Programa – Código

```
figure('Name','Espectro de frecuencias de la Señal Modulada: Captura  
de audio','NumberTitle','off');
```

```
NMod = length(Vam);           %Muestras  
FourierMod = fft(Vam, NMod);   %Espectro mediante fft  
LinMod = linspace(-Fs/2, Fs/2, NMod); %Genera n puntos para la  
grafica  
AmpMod = fftshift( abs( FourierMod ) );
```

##### Explicación

Sabemos que, para poder determinar el espectro de frecuencias, necesitamos utilizar la transformada rápida de Fourier haciendo uso de la función “fft” que trae MATLAB consigo, pero para ello necesitamos obtener las muestras de la señal modulada a través de la función length. Con la transformada rápida de Fourier obtenemos los componentes de la frecuencia de la señal modulada, con lo que procedemos a continuación a generar n puntos para la grafica con la función linspace. Solo falta reorganizar los componentes obtenidos con la función fft, para poder graficar.

#### **I) Muestre gráficamente.**

##### Programa – Código

```
stem(LinMod, AmpMod, 'b');  
axis([1e4, 2.5e4, 0, 400]);  
title("\bfEspectro de Frecuencia de la señal modulada: Audio  
Capturado");  
xlabel('Frecuencia (Hz)');
```

## Resultados

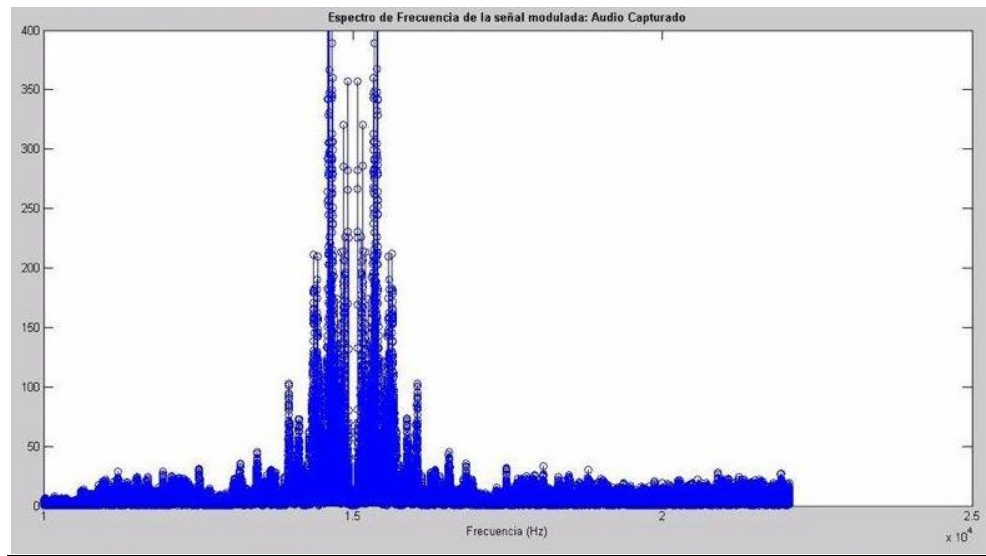


Figura 46

### Explicación

Como nuestra frecuencia de portadora es 15000Hz, la encontramos a la mitad, y con los componentes de la frecuencia que obtuvimos con la transformada rápida de Fourier, aplicándole valor absoluto, obtenemos componentes a ambos lado de la frecuencia de la portadora.

## **J) Desmodule la señal.**

### Programa – Código

```
figure('Name','Demodulacion de la señal: Captura de  
audio','NumberTitle','off');
```

```
senalCDemod = amdemod(Vam,Fc,Fs);
```

### Explicación

Matlab, trae consigo una función predeterminada para la demodulación, llamada “amdemod”, la cual nada mas necesita la señal modulada, en este caso Vam, la frecuencia de la portadora, y la frecuencia de muestreo. Una vez listos todos estos parámetros podemos hacer uso de la función.

## K) Muestre gráficamente.

### Programa – Código

```
plot(senalCDemod,'r','linewidth',grosor);  
hold on;  
plot(senalC,'black--','linewidth',grosor);  
legend('Señal Original (Audio)','Señal (Audio) Demodulada');  
ylabel('Amplitud (V)');  
title('\bfDemodulacion de la señal: Audio Capturado');  
axis([10000, 12000, -0.8, 0.6]);
```

### Resultados:

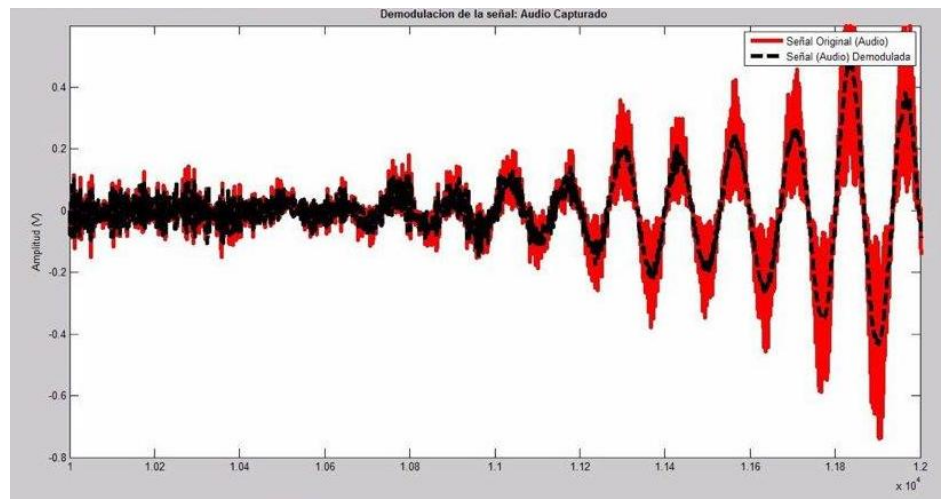


Figura 47

### Explicación

Se coloca la señal original de un color rojo, mientras que la señal desmodulada se grafica de color negro y entrecortada para verificar las coincidencias y diferencias entre ellas. Se nota el parecido bastante entre ellas, pero al no usar filtro, la señal sufre bastantes cambios aunque de igual manera, casi siempre la señal que llega a destino no es la misma que sale desde el origen.

## L) Determine el espectro de frecuencias.

### Programa – Código

```
figure('Name','Espectro de frecuencias de la Señal Dmodulada:  
Captura de audio','NumberTitle','off');
```

```
NDemod = length(senalCDemod);  
FourierDemod = fft(senalCDemod, NDemod);  
LinDemod = linspace(-Fs/2, Fs/2, NDemod);  
AmpDemod = fftshift( abs( FourierDemod ) );
```

### Explicación

Al igual que en los demás casos de espectros de frecuencia, Aquí hacemos uso de la transformada rápida de Fourier para obtener los componentes de la señal desmodulada, haciendo uso de las muestras obtenidas de ella. De igual manera necesitamos n puntos para graficar los cuales corresponden a los componentes de la frecuencia de la señal, y reorganizamos los componentes y le aplicamos valor absoluto para tener componentes a ambos lados.

## M) Muestre gráficamente.

### Programa – Código

```
stem(LinDemod, AmpDemod, 'b');  
axis([0, 1000, 0, 1000]);  
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal Demodulada: Audio  
Capturado');
```

### Resultados:

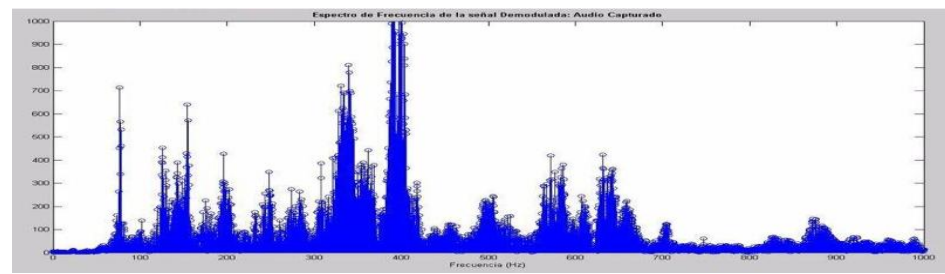


Figura 48

### Explicación

Como se puede ver, para graficar el espectro solo hacen falta los componentes de la señal obtenida con la transformada rápida de Fourier y la n puntos necesarios para graficar.

## **N) Compare resultados.**

### Señal modulada

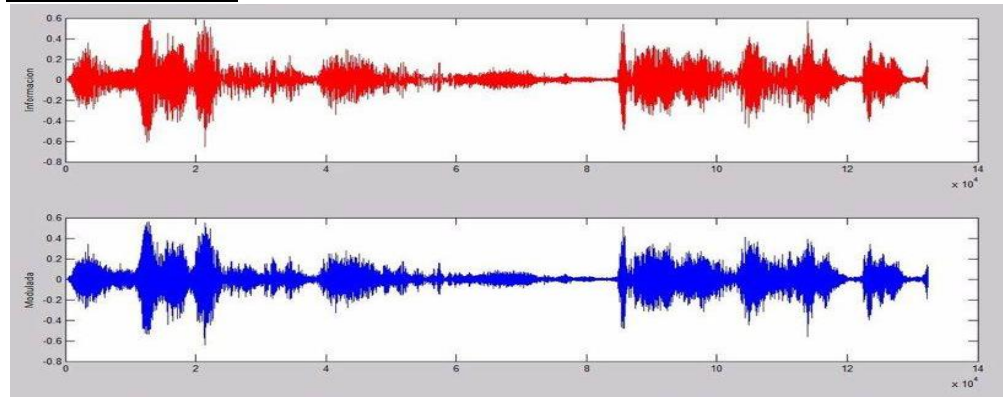


Figura 45

### Señal original

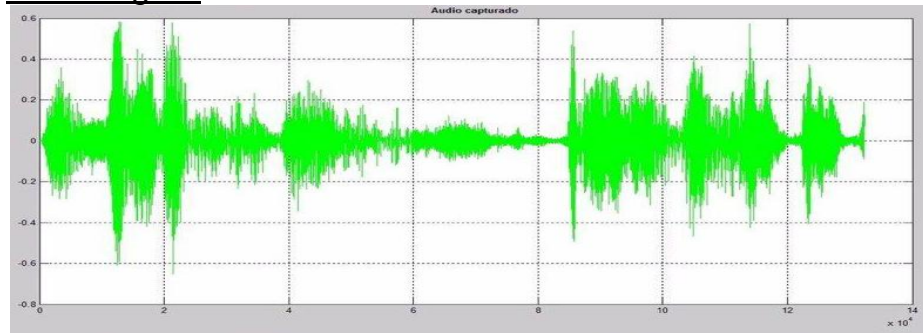


Figura 43

### Señal desmodulada

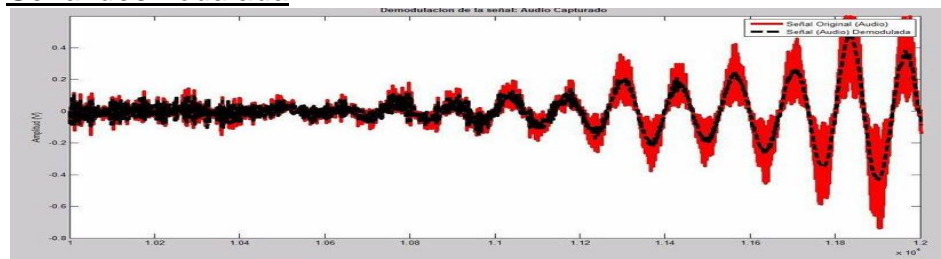


Figura 47

Notamos que hay bastantes discrepancias con respecto a los resultados obtenidos, se supone que al desmodular la señal, esta debe volver a su estado original, y comparando las tres imágenes, la señal desmodulada no se parece casi en nada a la señal original. Podemos asumir que es causa del no uso de filtros pasa bajas para poder obtener una señal más limpia con respecto a la señal original, la cual es la esperada.

**O) Agregue ruido y realice la modulación (muestre resultados tal como en los pasos indicados anteriormente).**

*Programa – Código de Modulación – Demodulación con ruido*

```
figure('Name','Agregando Ruido a la señal: Audio Capturado',  
'NumberTitle','off');
```

```
subplot(3, 1, 1);  
k = 2;  
VmR = Vm+k;  
ruido = k*rand(size(duracion));  
senalCR = senalC + ruido;  
plot(senalCR,'r');  
ylabel('Señal con ruido');
```

```
VamR = ammod(senalCR, Fc, Fs);  
subplot(3,1,2);  
plot(VamR,'b','linewidth',grosor/2);  
ylabel('Modulada');
```

```
WnR = Fc*2/Fs;  
senalCDemodR = amdemod(VamR,Fc,Fs);  
subplot(3,1,3);  
plot(senalCDemodR,'g','linewidth',grosor/2);  
ylabel('Demodulacion');
```

*Resultados y explicación*

Al aplicarle ruido a la señal original, lo hacemos de manera aleatoria, generando un aleatorio multiplicado por una desviación de 2, el cual luego se lo sumamos a la señal, obteniendo así ruido en la señal. Una vez esto, procedemos a modular la señal y por consiguiente, a la demodulación de la misma

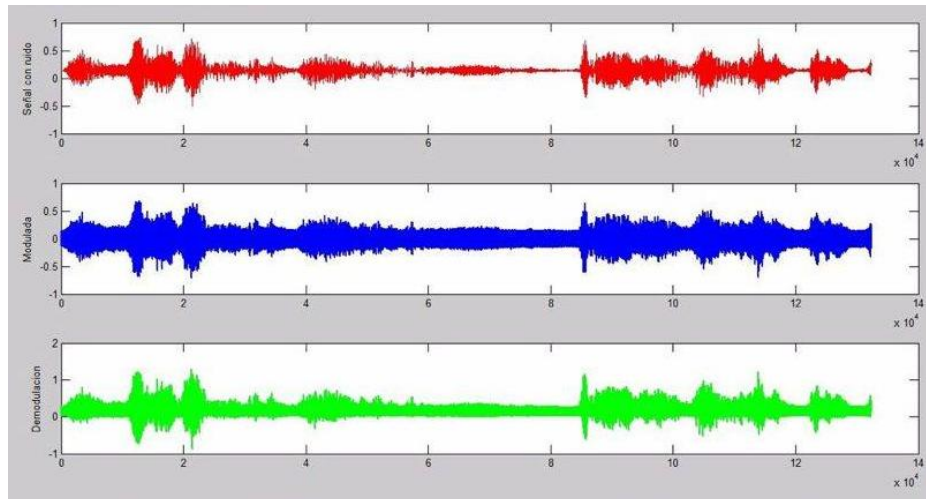


Figura 48

Aquí notamos cada una de las señales nombradas, la original, es decir la de información, la modulada, y la desmodulada, donde notamos el bastante parecido entre ellas, mas en la original y la desmodulada como debe ser.

### Programa – código de espectros de frecuencia con ruido

```
figure('Name','Espectros de la señal con ruido: Audio
Capturado','NumberTitle','off');

subplot(3, 1, 1);
NR = length(senalCR);
FourierR = fft(senalCR, NR);
LinR = linspace(-Fs/2, Fs/2, NR);
AmpR = fftshift( abs( FourierR ) );
stem(LinR, AmpR, 'b');
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal con ruido: Audio
Capturado');
xlabel('Frecuencia (Hz)');

subplot(3, 1, 2);
NRMod = length(VamR);
FourierRMod = fft(VamR, NRMod);
LinRMod = linspace(-Fs/2, Fs/2, NRMod);
AmpRMod = fftshift( abs( FourierRMod ) );
stem(LinRMod, AmpRMod, 'b');
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal Modulada con ruido: Audio
Capturado');
xlabel('Frecuencia (Hz)');
```

```

subplot(3, 1, 3);
NRDemod = length(senalCDemodR);
FourierRDemod = fft(senalCDemodR, NRDemod);
LinRDemod = linspace(-Fs/2, Fs/2, NRDemod);
AmpRDemod = fftshift( abs( FourierRDemod ) );
stem(LinRDemod, AmpRDemod, 'b');
title('\bfEspectro de Frecuencia de la señal Demodulada con ruido: Audio Capturado');
xlabel('Frecuencia (Hz)');

```

### Resultados y explicación

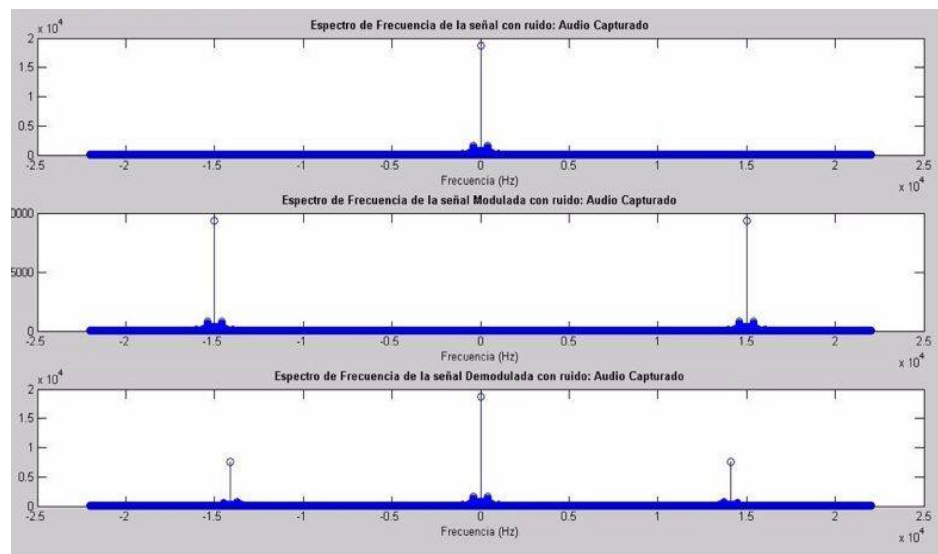


Figura 49

Para el espectro de frecuencia de cada señal con ruido, realizamos el mismo procedimiento a cuando se determina el espectro cuando la señal no tiene ruido, haciendo uso de la transformada de Fourier, obteniendo así los componentes de la frecuencia de la señal, generando n puntos para la grafica y reorganizando estos puntos para que correspondan con los de los componentes de la frecuencia de la señal.



**P) Analice los resultados obtenidos.**

Los procedimientos para modular y desmodular una señal capturada por audio, son los mismo a si se estuvieran ingresando a través de datos sus propiedades, haciendo uso de las mismas funciones como la función ammod y amdemod, o en el caso de los espectros de frecuencias, siempre es necesario utilizar la transformada de Fourier para poder obtener los componentes de la frecuencia de la señal, y como estamos trabajando con modulación de amplitud de doble banda lateral, es necesario que los componentes de la frecuencia se encuentren a ambos lados.

El hecho de agregar ruido a las señales implica mucho en su procesamiento, puesto que al tener dichas interferencias, perturba en la transformación de las mismas a la hora de intentar transmitirse una señal de un origen a un destino, es decir, si tenemos desde un principio este ruido el cual puede implicar en errores en la transmisión, nos encontramos con dificultades mas allá de la misma modulación, puesto que podemos perder más información en el proceso, si ya de por si al modular y desmodular una señal siempre se pierde un poquito de información, así sea mínima, y es que la señal de origen casi nunca es la misma que llega a destino, el hecho de agregarle más ruido, puede influenciar mayor pérdida de la información, tomando en cuenta el impacto que pueda tener la cantidad del mismo en el canal.

Algo si es seguro, que aunque los procedimientos para trabajar con capturas de audio son los mismos, los resultados no son iguales a si se ingresan los datos de las señales. Resulta algo mas engorroso capturando la señal, pero en la práctica, cuando se capturan señales analógicas, ese es el proceso a realizar.

- 4- Compruebe teóricamente los resultados obtenidos por el programa MATLAB, calculando para cada modulación, las potencias y los espectros de frecuencias.

Modulación con  $m=1$ , tonos simultáneos de 390Hz, 440Hz, 494Hz.

$$F_{m1} = 390\text{Hz}, \quad E_{m1} = 1\text{v}$$

$$F_{m2} = 440\text{Hz}, \quad E_{m2} = 1\text{v}$$

$$F_{m3} = 494\text{Hz}, \quad E_{m3} = 1\text{v}$$

$$E_m = 1+1+1 = 3\text{v}$$

$$E_c = 3\text{v}$$

$$R = 1 \text{ Ohm, normalizado.}$$

$$F_c = [(390+440+494) / 3] * 4 = 1765\text{Hz. Utilizando una pseudofrecuencia.}$$

Potencias...

$$P_t = \frac{E_c^2}{2R} = \frac{3\text{v}^2}{2(1 \text{ Ohm})} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ Watts}$$

$$P_{usb} = P_{lsb} = \frac{P_c * m^2}{4} = \frac{4.5 \text{ Watts} * (1)^2}{4} = 1.125 \text{ Watts}$$

$$P_t = P_c + \frac{P_c * (1)^2}{2} = 4.5 \text{ Watts} + \frac{4.5 \text{ watts} * 1}{2} = 6.75 \text{ Watts}$$

Espectro de frecuencias de la señal modulada

$$F_{ls1} = F_c + F_{m1} = 1765\text{Hz} + 390\text{Hz} = 20155\text{Hz.}$$

$$F_{ls2} = F_c + F_{m2} = 1765\text{Hz} + 440\text{Hz} = 2205\text{Hz.}$$

$$F_{ls3} = F_c + F_{m3} = 1765\text{Hz} + 494\text{Hz} = 2259\text{Hz}$$

$$F_{li1} = F_c - F_{m1} = 1765\text{Hz} - 390\text{Hz} = 1375\text{Hz}$$

$$F_{li2} = F_c - F_{m2} = 1765\text{Hz} - 440\text{Hz} = 1325\text{Hz}$$

$$F_{li3} = F_c - F_{m3} = 1765\text{Hz} - 494\text{Hz} = 1271\text{Hz}$$

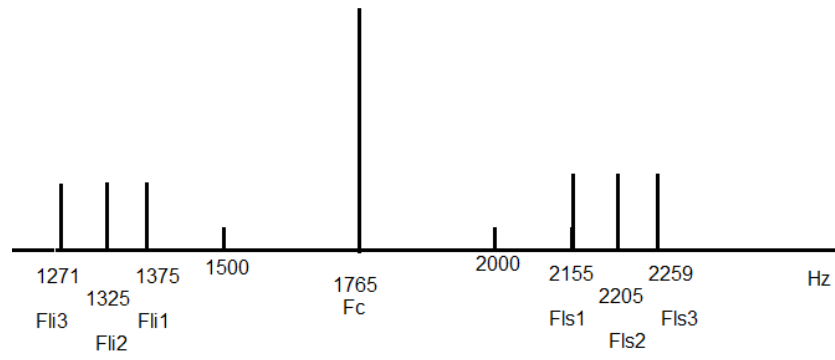


Figura 51

El espectro de frecuencias del primer inciso si da igual con la teoría y ecuaciones aplicadas en clases.

5- Para cada punto de Modulación AM y demodulación AM planteados realice la Simulación del sistema integrado de modulación y demodulación utilizando la herramienta de Matlab Simulink.

- **Mostrar resultados.**

**Para tonos sumados...**

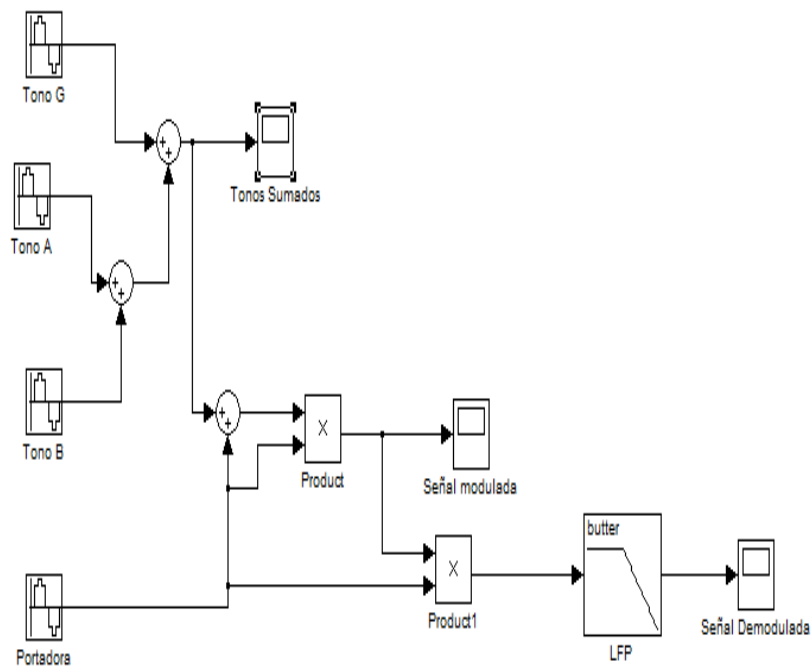


Figura 52

Tenemos tres tonos, los cuales los sumamos y colocamos un oscilador para comprobar la salida de la suma de estos tonos, convirtiéndose así en la señal moduladora.

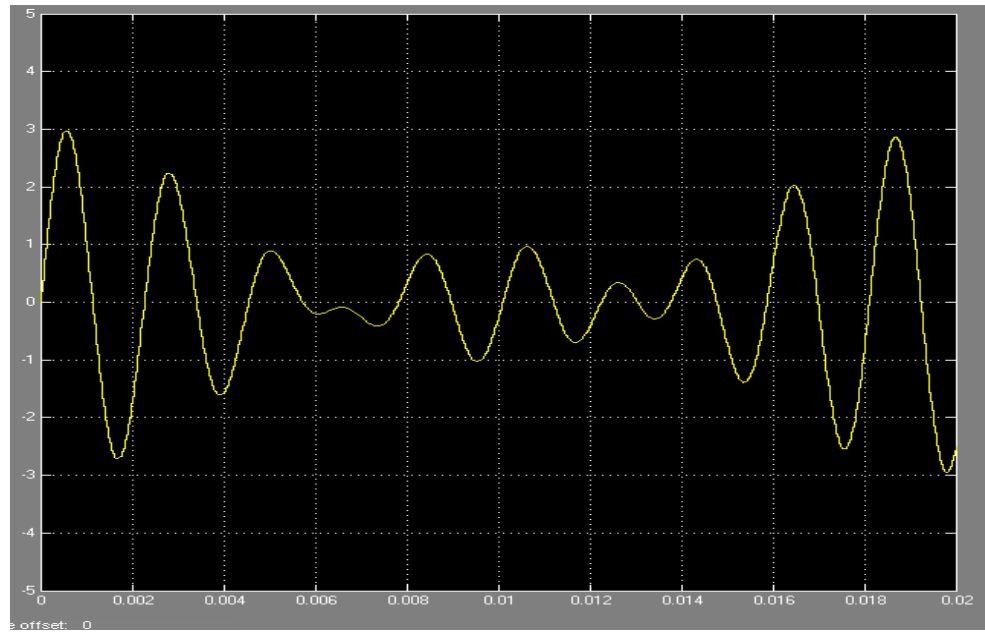


Figura 53

Luego más abajo, tenemos un generador de portadora, el cual va un producto, para poder combinar la señal moduladora con la señal portadora y obtener de esta manera la señal modulada.

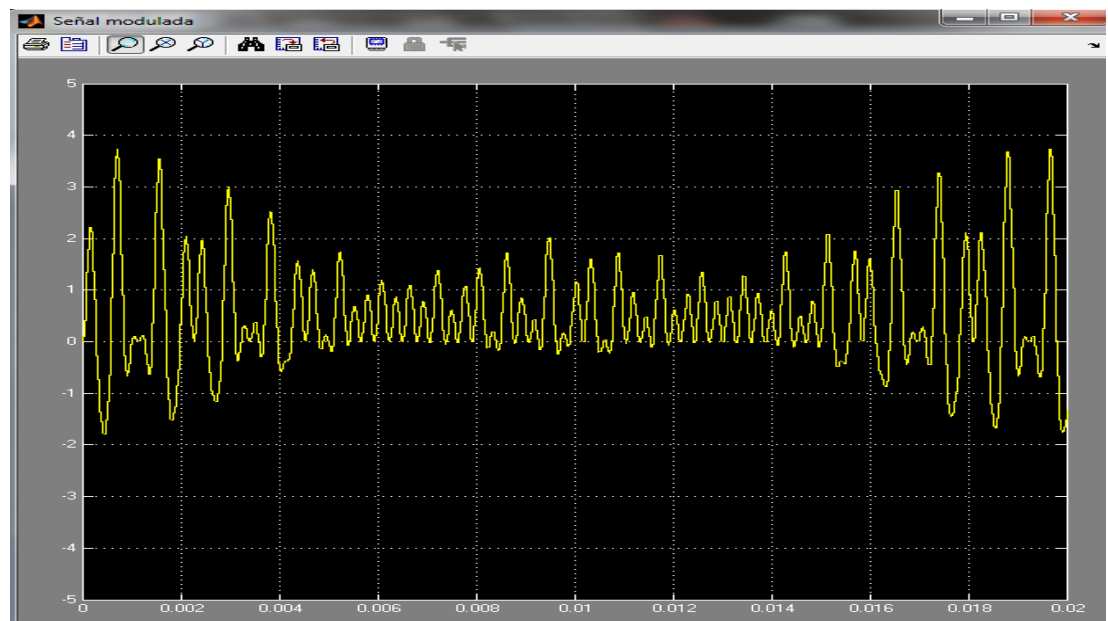


Figura 54

Luego la señal modulada la combinamos con la portadora, para así pasarla por un filtro butter de pasa baja, logrando obtener la señal desmodulada.

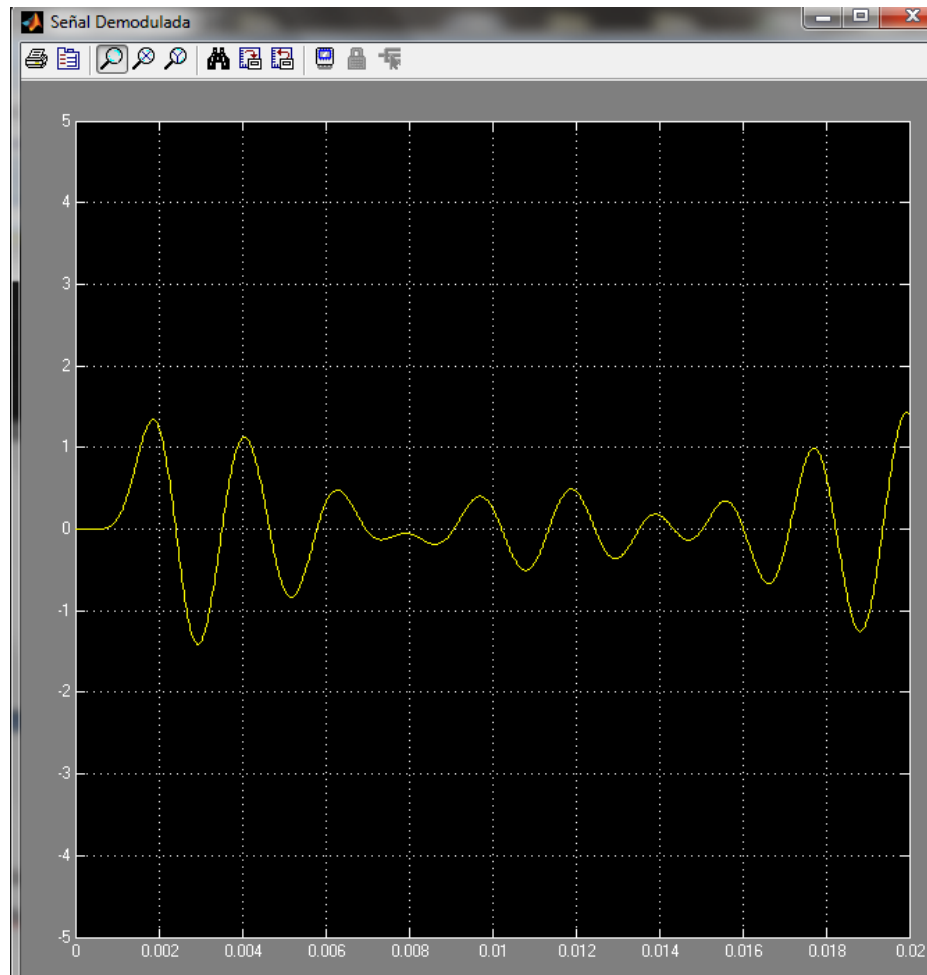


Figura 55

Y comparándola con la señal original, son bastante parecidas.

### Para tonos sumados con ruido.

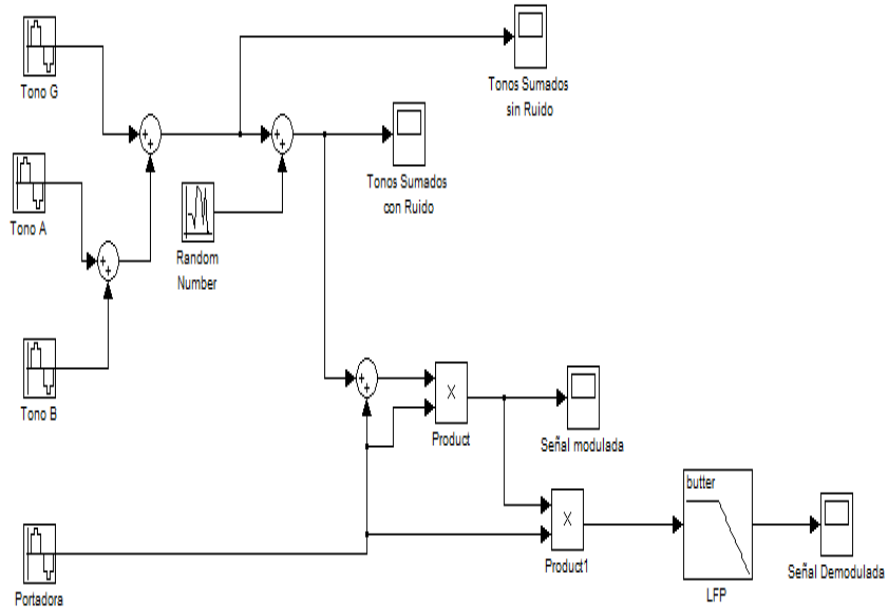


Figura 56

Agregándole ruido a la señal, obtenemos un proceso casi idéntico, solamente con la excepción del agregado del ruido que nos hace además colocar otro osciloscopio para ver cómo queda la señal moduladora luego de haberle sumado el ruido. Comenzamos igual, sumando tres tonos para lograr una señal moduladora sin ruido:

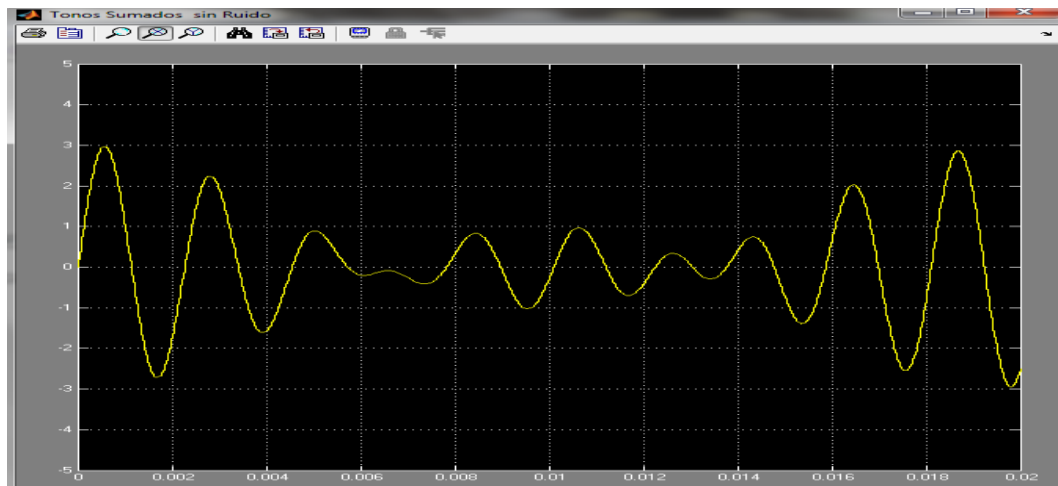


Figura 57

Luego de haberle agregado el ruido, tenemos otro osciloscopio que nos permite ver como queda luego de este proceso.

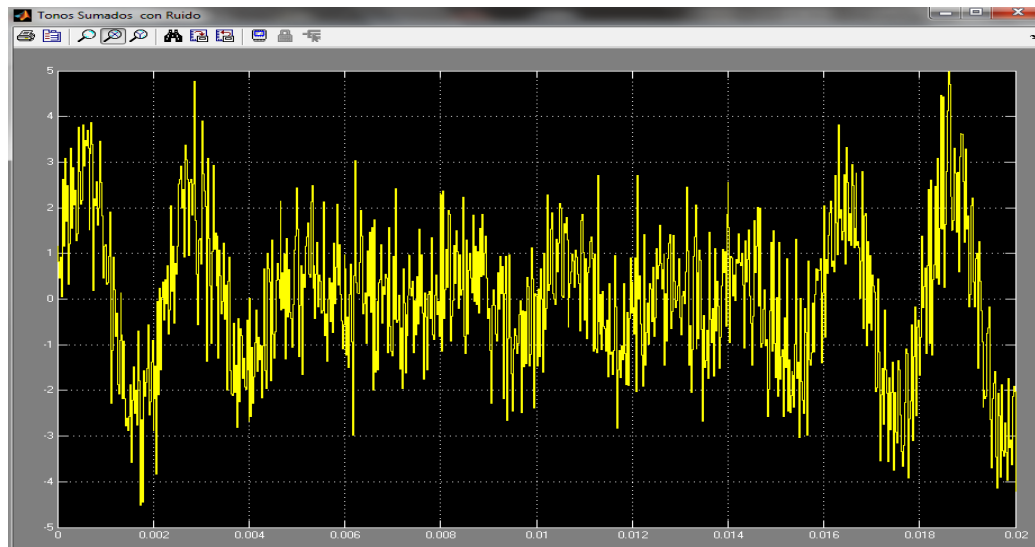


Figura 58

Se nota el efecto del ruido que perturba la señal dejándola algo distorsionada. Una vez teniendo estas señales, procedemos a modularla de la misma manera, en un producto para combinar la señal moduladora con ruido con la señal portadora obteniendo la siguiente señal modulada.

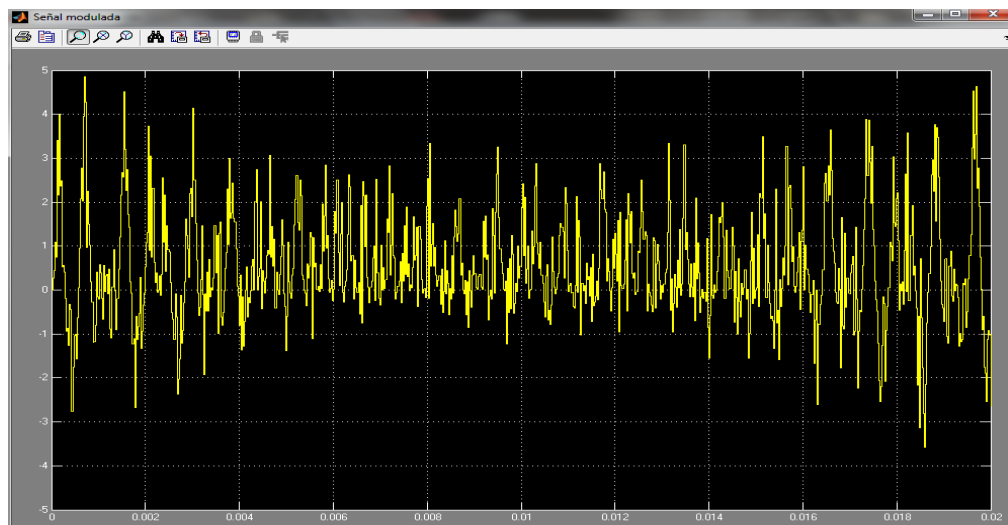


Figura 59



Luego volvemos a combinar la señal portadora, pero en este caso con la señal modulada con ruido, para poder desmodular haciendo uso de un filtro butter de pasa banda quedándonos la señal original luego de haberla modulado de la siguiente manera:

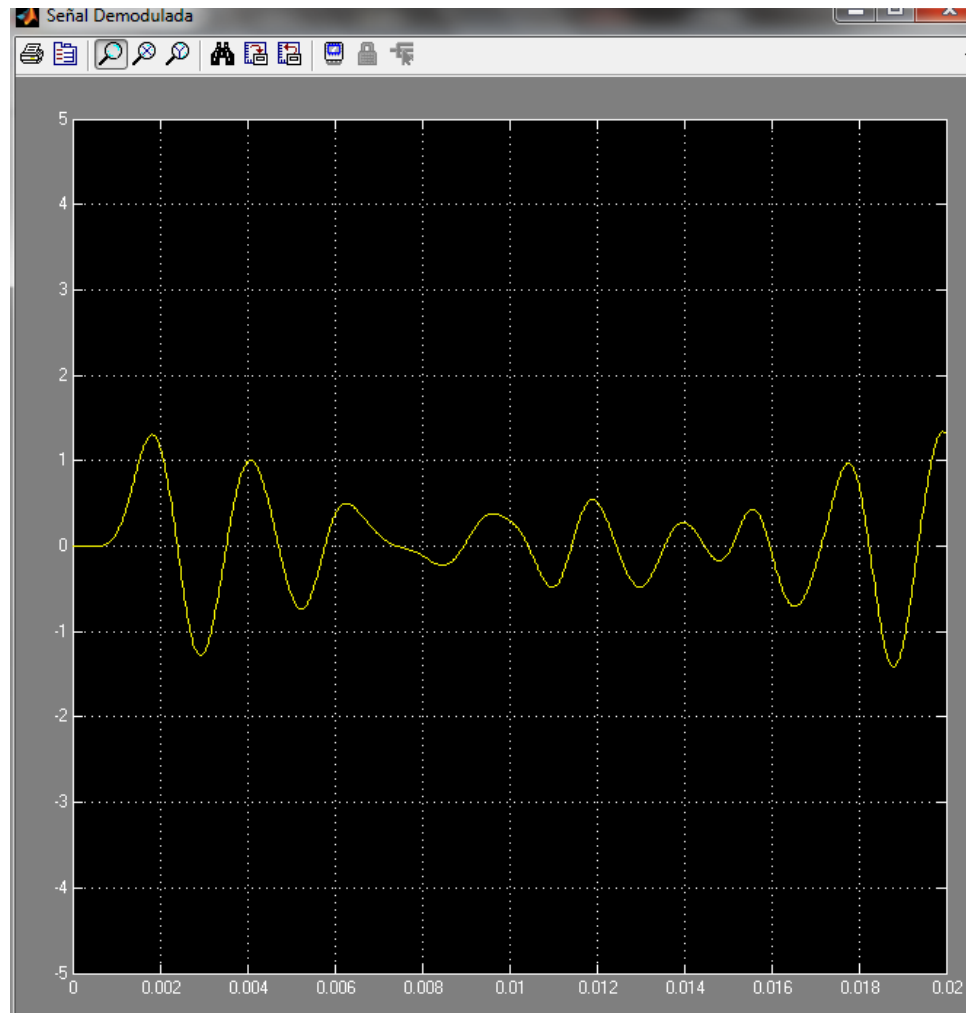


Figura 60

## CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

Para poder transmitir una señal de un punto a otro, hace falta realizar ciertos procesos los cuales a su vez, llevan a otros procesos como es el caso de la modulación. Para poder pasar una señal de origen por un canal de comunicación, esta debe primeramente adaptarse a las características del canal, y como en la mayoría de los casos, y en parte también tomando como ejemplo nuestro proyecto, la señal a transmitir es analógica, y como los canales manejan información digital, es necesario convertir la señal analógica a digital, siendo esta señal analógica la voz. El asunto está en que en plena transmisión y luego de haber modulado, nos encontramos con pequeños problemas como el ruido y la interferencia.

Como no existe dispositivo perfecto, el ruido siempre estará, a pequeña o gran escala, y este factor dificulta en cierta parte la transmisión, haciendo perder información aunque hoy en día la pérdida de ella es muy poca debido a la gran tecnología con que se cuenta hoy en día. En todo este proceso se va perdiendo pequeñas cantidades de información y ya una vez cuando la señal va a salir del canal para llegar al destino, también pierde una leve cantidad de información, y ya sabemos que al realizar el proceso inverso a la modulación, es decir la demodulación, buscando convertir la señal de información a su estado original, la estamos volviendo de manera apta para su destino y casi nunca es igual a la misma señal que salió en un principio dirigida hacia ese punto.

Como recomendación, consideraría primordialmente el uso de filtros que hoy en día es primordial para las diferentes transmisiones de información y es que en los resultados obtenidos, notamos que al usar filtros obtenemos una señal de salida mucha limpia al tratar de convertirla a su estado original.

## REFERENCIAS

Ninness, B. *Spectral Analysis using the FFT*. Universidad de Newcastle, Australia.

Álvarez, E (2009). *MATLAB: Comandos y ejemplos*. Universidad de Cantabria, España.

Echevarría, R (2005). *Breves apuntes para comenzar con MATLAB*. Universidad de Sevilla, España.

Martínez, M. Acosta, J (2004). *Manual de Introducción a MATLAB*. Universidad de Sevilla, España.

Morales, L. *Teorema del Muestreo*. Procesamiento digital de señales. Universidad de Guanajuato, Salamanca, México.

Rodríguez, O (2009). *CAD Avanzado para electrónica*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.

Tomasi, W (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición*. Prentice Hall, México.