

# Laboratorio 2.1: Modulación en Amplitud (DSB-FC)

**Docente:** Cristian Guarnizo-Lemus, PhD.

**Asignatura:** Sistemas de Comunicaciones, Grupo 2, 2020-1. Instituto Tecnológico Metropolitano.

**Descripción:** en esta sesión realizaremos la modulación de señales en Amplitud. En la próxima práctica se abordará su demodulación.

## 1. Programación del modulador

En esta sección se implementará un programa que permita modular en amplitud (DSB-FC *Doble-side band – full carrier*) un tono de frecuencia  $f_m$  sobre una señal portadora de frecuencia  $f_c$ . Entonces, necesitamos plantear las siguientes expresiones

$$v_{AM} = (1 + m v_m(t)) E_c \sin(\omega_c t),$$

$$v_m = E_m \sin(\omega_m t),$$

en bloques de **GNU Radio companion**. Asumimos que las amplitudes de la señal moduladora y la portadora son 1. Ahora solo dependemos de los parámetros  $m$ ,  $\omega_c$  y  $\omega_m$ . El flujograma a implementar es el mostrado en la figura 1.

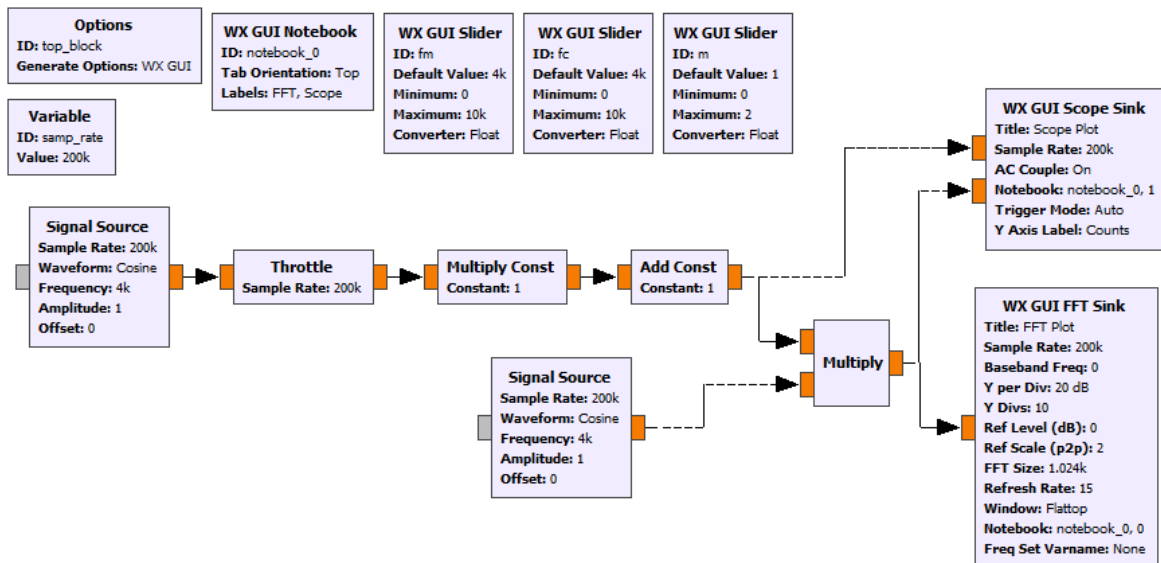


Figura 1. Flujograma de la parte 1 de la práctica.

## **Pasos de Configuración:**

### ***Configuración general del flujograma***

Abrir el programa **GNU Radio Companion**, dar clic en el bloque “Options”, seleccionar del campo “Generate Options” la opción WX GUI.

Diagramar el flujograma presentado en la figura 1.

Configurar el bloque “Variable” para que la variable  $samp\_rate$  tenga una frecuencia de muestreo de 200kHz.

Configurar el bloque “Throttle” de tal forma que su campo “Sample Rate” trabaje al valor dado por  $samp\_rate$ .

Configurar el bloque “GUI Notebook” para que tenga solo dos pestañas, y con etiquetas FFT y Scope. Esto se consigue cambiando el campo de “Labels” por ['FFT', 'Scope'].

### ***Configuración de la señal moduladora***

Configurar el bloque “GUI Slider” para controlar el valor de la frecuencia  $f_m$  de la señal moduladora. Los parámetros que controlan la variable  $f_m$  son: “ID”:  $f_m$ , “Default value”: 4000, “Minimum”: 0, “Maximum”: 10000, “Num. Steps”: 100.

Configurar el bloque “Signal Source” (que está conectado al bloque “Throttle”) con los siguientes parámetros: “Waveform”: Cosine, “Frequency”:  $f_m$ , “Sample Rate”:  $samp\_rate$ .

### ***Configuración de la señal portadora***

Configurar el bloque “GUI Slider” para controlar el valor de la frecuencia  $f_c$  de la señal portadora. Los parámetros para controlar la variable  $f_m$  son: “ID”:  $f_c$ , “Default value”: 32000, “Minimum”: 16000, “Maximum”:  $samp\_rate/2$ , “Num. Steps”: 100.

Configurar el bloque “Signal Source” (de la parte inferior) con los siguientes parámetros: “Waveform”: Cosine, “Frequency”:  $f_c$ , “Sample Rate”:  $samp\_rate$ .

### ***Configuración del índice de modulación***

Configurar el bloque “GUI Slider” para controlar el valor del índice de modulación  $m$  en un rango [0,2]. Los parámetros para definir la variable  $m$  son: “ID”:  $m$ , “Default value”: 1, “Minimum”: 0, “Maximum”: 2, “Num. Steps”: 100.

Configurar el bloque “Multiply Const” para multiplicar el valor del índice de modulación con la señal moduladora. Asignar al campo “Constant”:  $m$ .

### ***Configuración de bloques de visualización***

Configurar el bloque “GUI FFT Sink” en el campo “Notebook”: notebook\_0, 0. Que corresponde a la pestaña de FFT.

Configurar el bloque “GUI Scope Sink” en el campo “Notebook”: notebook\_0, 1. Que corresponde a la pestaña de Scope.

### Análisis de la práctica:

En esta práctica podemos variar el índice de modulación y las frecuencias de la portadora y la moduladora. El objetivo es comprender que efecto tienen estos parámetros sobre el espectro y el comportamiento temporal de la señal modulada  $v_{AM}(t)$ .

Analizar los siguientes casos:

#### *Espectro de la señal modulada (Pestaña FFT)*

- Fijar los valores de  $m = 1$ ,  $f_c = 35kHz$  y  $f_m = 4kHz$ .
- Anotar los valores picos del espectro FFT, Power y las frecuencias.
- Qué ocurre con las amplitudes del espectro de frecuencias cuando se varia el índice de modulación? Anotar los valores de las amplitudes de cada frecuencia para  $m = 0, 0.5, 1.5$  y  $2.0$ .
- Que ocurre con el espectro cuando se varia la frecuencia de la moduladora  $f_m$ ?
- Que ocurre con el espectro cuando se varia la frecuencia de la portadora  $f_c$ ?
- Explicar lo que sucede en los numerales anteriores a partir de las expresiones matemáticas vistas en clase.

#### *Señal modulada en el tiempo (Pestaña Scope)*

- Desactivar la opción de "Autorange" y cambiar la opción de "Coupling" a DC. Ajustar las forma de onda a partir de incrementar o disminuir los valores de Secs/Div y Counts/Div (usando los botones + y -).
- Fijar los valores  $f_c = 35kHz$  y  $f_m = 4kHz$ . Tomar los pantallazos de la forma de onda que se obtienen para  $m = 0, 0.5, 1, 1.5$  y  $2.0$ . Explicar en cada caso por qué se obtiene esas formas de onda.
- Fijar los valores  $m = 1$  y  $f_m = 4kHz$ . Tomar el pantallazos de la forma de onda que se obtiene para  $f_c = 16k, 32k$  y  $64k$ . Explicar por qué se obtiene esas formas de onda.

### Conclusiones

Según la información recolectada: Qué efecto realiza el índice de modulación sobre la amplitud en el tiempo y el espectro de frecuencias de la señal modulada?

## 2. Modulación de Audio en Amplitud (DSB-FC)

En esta parte cambiaremos la señal moduladora  $v_m$  por un archivo de audio con extensión WAV. El archivo se puede descargar de <http://www.grsites.com/archive/sounds/>. Para poder utilizar el archivo de audio se requiere re-muestrearlo a una frecuencia igual a la frecuencia de muestro del flujograma. Definimos frecuencia de muestreo del audio  $f_a$  (11kHz o 22kHz). Calculamos la relación de re-muestreo del bloque Rational Resampler como:

$$\frac{I}{D} = \frac{samp\_rate}{f_a}$$

Donde  $I$  es el valor de "Interpolation" y  $D$  el valor de "Decimation" del bloque.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de re-muestreo de una señal en **GNURadio Companion**.

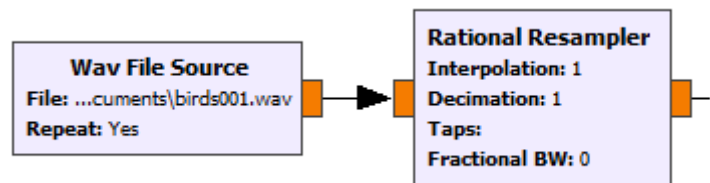


Figura 2. Re-muestreo de señal de audio.

### Pasos de Configuración:

Abrir el archivo de audio con un programa de reproducción musical y anotar el dato de la frecuencia de muestreo  $f_a$ . Usar el bloque "Wav File Source" para utilizar el archivo de audio en GNU Radio, habilitar la opción de repetición.

Configurar el bloque "Rational Resampler" de **tal forma que se re-muestree la señal de audio a un valor igual al de la frecuencia de muestro del flujograma**. Calcular los valores de "Interpolation" y "Decimation" (deben ser enteros).

No se utilizará la variable  $f_m$ , ni su *slider*, debido que el archivo de audio será la señal moduladora.

### Análisis de la práctica:

Analizar que ocurre con la señal de audio al modularla.

Calcular el ancho de banda de la señal modulada a partir del Espectro de frecuencias. Compararlo con la ecuación dada en clase.

### Conclusiones

Según la información recolectada: Por qué es necesario re-muestrear la señal de audio?

Que efecto tiene el valor de "Interpolation" y "Decimation" sobre la señal que entra al bloque de "Rational Re-sampler"?