

# Laboratorio 3: Modulación pasabanda de señales binarias

Felipe Ulloa 1, felipe.ulloa1@mail.udp.cl  
 Alex Parada 2, alex.parada@mail.udp.cl  
 Fernando Vergara 3, fernando.vergara1@mail.udp.cl  
 Escuela de Informática y Telecomunicaciones  
 Universidad Diego Portales

## I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio consistió en transmitir una modulación pasabanda de señales binarias, pero para entender estos conceptos, vamos a plantear las siguientes preguntas.

### ¿Qué es una señal digital binaria?

Es la forma de representar un mensaje  $M$ , con  $N$  datos digitales binarios ( $w_k$ ), mediante una forma de onda  $w(t)$ , dado por la multiplicación de funciones ortogonales ( $\phi_t$ ) por los datos ( $w_k$ ), para este caso datos binarios. [4]

$$w(t) = \sum_{k=1}^N w_k \phi_k(t), \quad 0 < t < T_0 \quad (1)$$

Donde  $T_0$  es el tiempo que se tarda en enviar 1 mensaje  $M$ , osea los  $N$  datos binarios.

### ¿Por qué queremos transmitir una señal digital?

Un sistema de comunicaciones digital, tiene ventajas frente a uno analógico tales como ser implementado por circuitos más económicos, permite encriptación de datos, permitir un mayor rango dinámico, permite reunir voz, vídeo y datos en un mismo flujo, el ruido no se acumula en cada repetidor y por último mayor inmunidad al ruido del canal. Por contraparte utiliza un mayor ancho de banda que sistemas analógicos y requieren sincronización. [3]

Además a estas señales podemos tener una estimación de su límite inferior de ancho de banda, y su ancho de banda si las funciones ortogonales son del tipo  $\frac{\sin(x)}{x}$ .

$$B \geq \frac{N}{2T_0} = \frac{1}{2}D \text{ Hz} \quad (2)$$

### ¿Cómo transmitir una señal analógica representada por una señal digital Pasabanda?

Si se quiere transmitir una señal analógica mediante una señal digital, debemos modular la señal, lo que consiste en pasar la señal analógica a digital banda base (Modulación Banda Base), y luego adaptar las frecuencias a unas apropiadas para el medio de transmisión del canal, resultando en una señal pasabanda denominada señal modulada  $s(t)$ , con frecuencia de portadora  $f_c$ . (Modulación pasabanda).

### ¿Qué es la envolvente compleja y que relación tiene con la modulación pasabanda?

Dado que en la modulación pasabanda queremos representar una señal banda base como pasabanda. Se utiliza el siguiente Teorema que nos permite representar cualquier forma de onda pasabanda física mediante la parte real de señales banda base. [6]

$$v(t) = \Re(g(t) \cdot e^{j\omega_c t}) \quad (3)$$

Donde el operador  $\Re$  denota la parte real del operando.  $g(t)$  se conoce como la envolvente compleja de  $v(t)$  y  $f_c$  es la frecuencia de la portadora asociada (en Hertz), donde  $\omega_c = 2\pi f_c$ .

Relacionándolo con la modulación pasabanda, dado que  $s(t)$  es la señal pasabanda que se quiere lograr a partir de una señal banda base  $m(t)$ .

$$v(t) = s(t) = \Re(g(t) \cdot e^{j\omega_c t}) \quad (4)$$

Donde, para este caso, la envolvente compleja  $g(t)$  es una función de la señal moduladora  $m(t)$ .

$$g(t) = g[m(t)] \quad (5)$$

Por lo anterior, la modulación de señales pasabanda digitales, se generan utilizando las envolventes complejas.

### Entonces ¿En qué consiste la modulación pasabanda de señales binarias?

Consiste en obtener una señal pasabanda (señal modulada  $s(t)$ ), a partir de una señal analógica, representada como una señal digital binaria banda base (señal moduladora  $m(t)$ ), mediante su envolvente compleja  $g(t)$  también banda base, para así adaptar las frecuencias al medio en el cual se desea transmitir.

### Las modulaciones pasabanda de señales binarias que se realizaron en este laboratorio fueron:

**Modulación ASK:** Consiste en la conmutación de una señal portadora sinusoidal a través de un encendido y apagado mediante una señal binaria polar [referencia guía], la señal binaria polar no es más que un tren pulsos cuadrados con valores de amplitud 1, que representa un valor 1 binario, y amplitud -1, que representa el 0 binario.

$$s(t) = A_c m(t) \cos \omega_c t \quad (6)$$

**Modulación FSK:** Consiste en alternar en dos valores la frecuencia de una señal portadora sinusoidal, donde cada frecuencia va a tener un valor de un binario, *e.j.* f1=Representa un 0 binario, f2=Representa un 1 binario, podría ser al revés también.

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + \theta(t)] \begin{cases} A_c \cos(\omega_1 t + \theta_1), & \text{para } t \text{ en el intervalo de tiempo} \\ & \text{en que se envía un 1 binario} \\ A_c \cos(\omega_2 t + \theta_2), & \text{para } t \text{ en el intervalo de tiempo} \\ & \text{en que se envía un 0 binario} \end{cases} \quad (7)$$

$$\theta(t) = \begin{cases} \omega_1 t + \theta_1 - \omega_c t, & \text{para } t \text{ durante el} \\ & \text{intervalo de 0 binario} \\ \omega_2 t + \theta_2 - \omega_c t, & \text{para } t \text{ durante el} \\ & \text{intervalo de 0 binario} \end{cases} \quad (8)$$

Dado las modulaciones anteriores se debe calcular el ancho de banda utilizando la fórmula [2], y se plantea como hipótesis que para modulación ASK el ancho de banda estará más lejano al límite inferior que en la modulación FSK.

## II. METODOLOGÍA

### A. Actividad Previa

La experiencia empezó en determinar el ancho de banda para una señal ASK, que se define como:

$$B_t = 2(\Delta f + f_m) \quad (9)$$

En donde los parámetros anteriormente mencionados se definen como.

- $\Delta f$ = desviación de frecuencia
- $f_m$ = frecuencia de la señal

La ecuación anteriormente establecida, se imparte bajo la regla de Carson que define los requerimientos del ancho de banda aproximados para una señal portadora que está modulada en un espectro de frecuencia. [1] Sin embargo como se está trabajando bajo modulación OOK que es una variante de la modulación ASK, solo se tomara la frecuencia de la señal modulada ya que no hay desviación de frecuencia quedando la fórmula como se muestra a continuación.

$$B_t = 2(f_m) \quad (10)$$

Luego se procede a determinar la envolvente compleja de una señal ASK, donde se determina que se rige bajo la siguiente envolvente compleja.

$$g(t) = A_c m(t) \quad (11)$$

Donde  $m(t)$  es una señal de banda base unipolar.

Para finalizar el apartado previo, se utiliza la herramienta “GNU Radio”, que nos permitirá realizar un transmisor OOK

(On-Off keying), el cual es una variante de modulación ASK que funciona como interruptor. Para realizar tal transmisor, es ideal definir los siguientes bloques de “GNU Radio”, que nos facilitaran la creación de este transmisor que tomara una señal modulante y un tren de pulsos.

- **Signal Source:** Generador de señales que nos permitirá crear la señal que se modulara y el tren de pulsos.
- **QT GUI Time Sink:** Permite graficar en el dominio del tiempo, los valores tanto flotantes como complejos, de la señal que esté pasando.
- **QT GUI Frequency Sink:** Este bloque permite graficar en términos de frecuencia los valores flotantes de la señal que se esté pasando.
- **Usrp Sink:** Bloque que permite transmitir las muestras.

Ya definidos los bloques participantes, el transmisor creado consta de la siguiente manera.

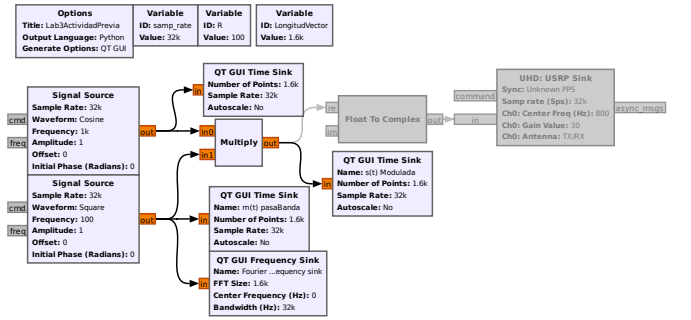


Fig. 1. Transmisor OOK

### B. Actividad Presencial

A continuación se definió la ecuación para el cálculo del ancho de banda de una señal FSK, a diferencia de la modulación ASK, en esta modulación es necesario considerar la desviación de frecuencia ya que la modulación FSK trabaja directamente en esta.

$$\Delta f = \frac{|f_1 - f_2|}{2} \quad (12)$$

Ya definido nuestro delta en la ecuación, se procede a usar la ecuación para determinar el ancho de banda para este caso, FSK.

$$B_t = 2(\Delta f + f_m) \quad (13)$$

Para realizar el transmisor de una modulación FSK, en “GNU-Radio” se utilizan los bloques definidos para la modulación OOK. Además se utilizan los bloques ya definidos en “II-A” se utilizan:

Quedando el transmisor de la siguiente manera:

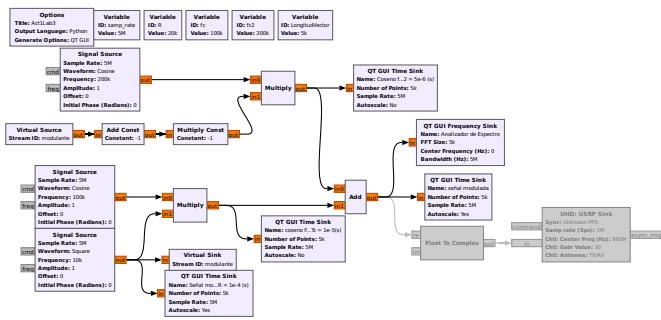


Fig. 2. Transmisor FSK

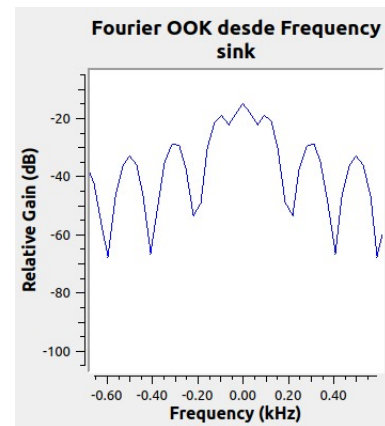


Fig. 3. Fourier OOK desde Frequency sink

### III. RESULTADOS

#### A. Actividad Previa

Para el apartado de resultados, se debe definir los parámetros con los cuales se trabajó cada bloque mencionado, los cuales son:

##### Signal Source

- Señal usada: Coseno
- Sample rate: 5M
- Frecuencia: 200K
- Amplitud: 1

##### Signal Source:

- Señal usada: Cuadrada
- Sample rate: 5M
- Frecuencia: 100Hz
- Amplitud: 1

##### QT GUI Time Sink:

- Número de puntos: 5k
- Sample rate: 5M

Cabe destacar que para todos los bloques de este apartado, se usaron los mismos parámetros.

##### QT GUI Frequency Sink:

- Tamaño FFT: 5k
- Ancho de banda(Hz): 5M

##### USRP SINK:

- Samp rate: 5M
- Valor de Ganancia: 30
- Centro de frecuencia: 800M

A continuación se muestra la transmisión de la señal ASK junto con el ancho de banda de este.

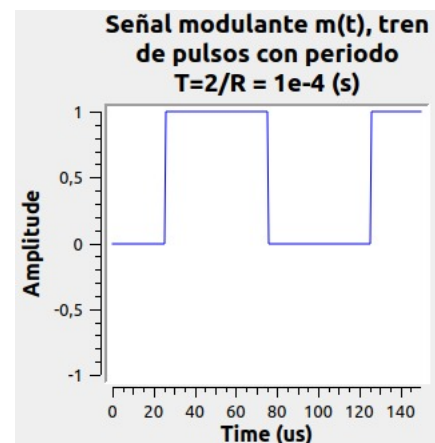


Fig. 4. Señal modulante m(t)

#### B. Actividad Presencial

Para el apartado de resultados correspondiente a transmisor FSK, se debe definir los parámetros con los cuales se trabajó cada bloque mencionado, los cuales son:

##### Signal Source

- Señal usada: Coseno
- Sample rate: 5M
- Frecuencia: 200K
- Amplitud: 1

##### Signal Source

- Señal usada: Coseno
- Sample rate: 5M
- Frecuencia: 100K
- Amplitud: 1

##### Signal Source:

- Señal usada: Cuadrada
- Sample rate: 5M
- Frecuencia: 10K
- Amplitud: 1

### QT GUI Time Sink:

- Numero de puntos: 5k
- Sample rate: 5M

Cabe destacar que para todos los bloques de este apartado, se usaron los mismos parámetros que los definidos en [II-A].

### QT GUI Frequency Sink:

- Tamaño FFT: 5k
- Ancho de banda(Hz): 5M

### USRP SINK:

- Samp rate: 5M
- Valor de Ganancia: 30
- Centro de frecuencia: 800M

Ya definidos los bloques para realizar el transmisor, se procede a transmitir la señal, cuyos resultados fueron los siguientes.

Osciloscopio:

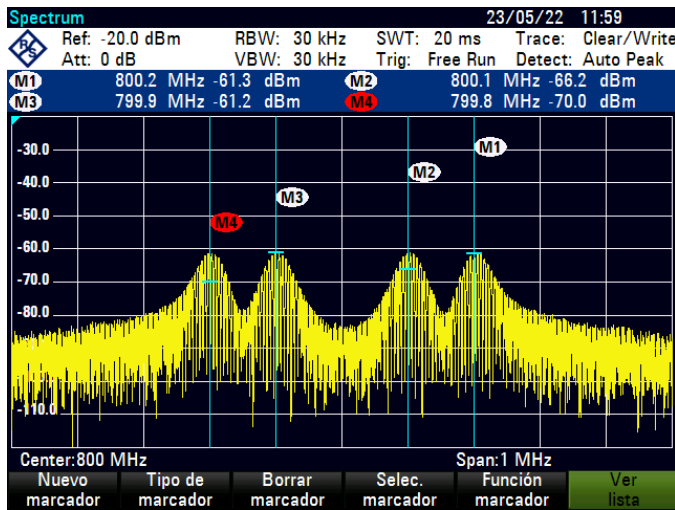


Fig. 5. Centro 800 MHz Span 1MHz

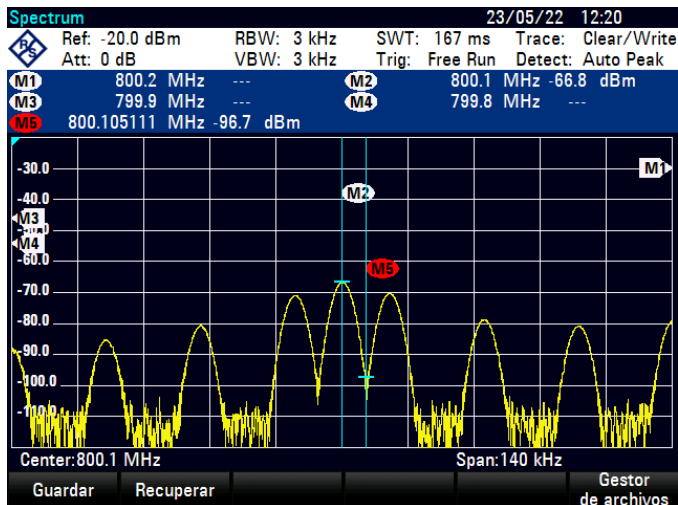


Fig. 6. Centro 800.1 MHz Span 140kHz

### GNU-Radio:

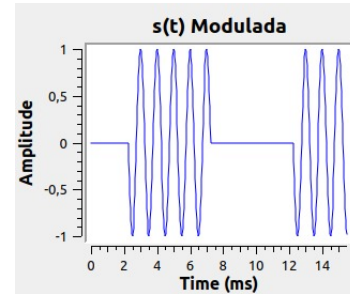


Fig. 7.  $s(t)$  Modulada

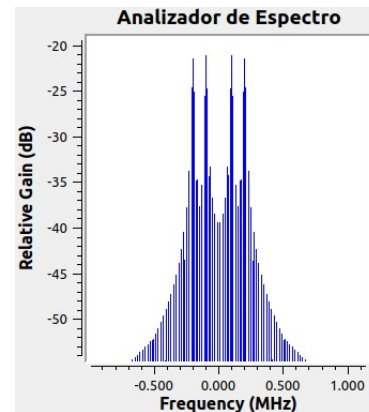


Fig. 8. Analizador de espectro

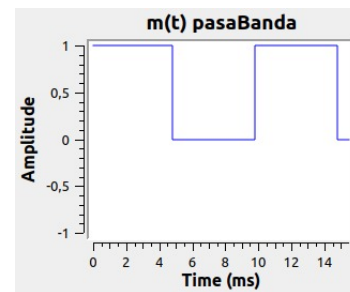


Fig. 9.  $m(t)$  Pasabanda

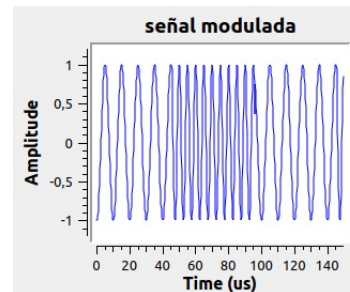


Fig. 10. Señal Modulada

### C. Cuestionario

¿Se cumple el ancho de banda teórico para una señal modulada por OOK?

Al usar la fórmula establecida para calcular el ancho de banda teórico para una señal modulada por OOK, da como resultado 200 Hz, ya que se toma el valor de la señal portadora cuyo valor es de 100 Hz, ahora si se toma algún punto de la gráfica obtenida en el apartado de ASK obtendrá un valor cercano a lo obtenido teóricamente o igual, ya que por Regla de Carson solo se obtiene, bajo la fórmula que se utilizó, el ancho de banda para el 98% de potencia utilizada de la señal portadora [2], por ende puede abarcar un margen de diferencia bajo con respecto al ancho de banda obtenido.

**¿Se cumple el ancho de banda teórico para una señal modulada por FSK?**

Sí se cumple, Dado la formula de calculo de ancho de banda [13] quedaría en:

$$B_t = 2((200[KHz] - 100[KHz]) + 10[KHz]) = 220[KHz]$$

Coincidiendo con los resultados de las imágenes 8 y 5:

$$B_t = (800.22 - 800)[MHz] = 0.22[MHz] = 220[KHz]$$

#### IV. CONCLUSIONES

Las modulaciones pasa banda de señales binarias permiten enviar información binaria representada en una forma de onda pasa banda, para poder adaptar las frecuencias al medio por el cual transmitir, sumado a lo comentado en la introducción, de lo conveniente que es implementar un sistema digital. No obstante, existen diferentes técnicas de modulación pasa banda de señales binarias, con sus diferencias, como una de ellas vista en el laboratorio, que las modulaciones tienen distinto ancho de banda, la FSK tiene un mayor ancho de banda de ASK. Si bien estos procesos se realizan a través de la transmisión, en términos cuantitativos se verificó que la frecuencia de la modulación “pasabanda” sea similar o idéntica a la modulación “banda-base”, lo cual para la modulación OOK se evidencia en el apartado de resultados, donde se obtiene una frecuencia similar tanto teórica como experimental, esto a través de la regla de Carson, sin embargo esta frecuencia no siempre será igual ya que por la regla anteriormente mencionada, se utiliza para el 98% de la potencia utilizada para la señal portadora, lo que para el 2% restante puede abarcar más frecuencia o una frecuencia nula.

## V. ANEXOS

### REFERENCES

- [1] Regla de ancho de banda de carson. [https://hmong.es/wiki/Carson\\_bandwidth\\_rule](https://hmong.es/wiki/Carson_bandwidth_rule).
- [2] Regla de carson. <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/997690>.
- [3] Carlos Enrique García Bujanda. Clase 1: Introducción a los sistemas de comunicación. [https://canvadocs.instructure.com/1/sessions/eyJhbGciOiJIUzUxMiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJjIjoxNjU0MDYwNDU4ODMxLCJkIjoiWnNEeE43MHpmQTBrbDFkSWh6RXFLbU14TDJXcGFHliwiZSI6MTY1NDA5IiwiaWF0IjoiMTY5ODU0PDP1oXzp4z2vszCbO9seDzZSWFEoczZj\\_qCrYNNEqV2SHf5ug1ASdMJK79R6eDTYeLG4CLjiCA\\_hL4vhnQ/view?theme=dark](https://canvadocs.instructure.com/1/sessions/eyJhbGciOiJIUzUxMiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJjIjoxNjU0MDYwNDU4ODMxLCJkIjoiWnNEeE43MHpmQTBrbDFkSWh6RXFLbU14TDJXcGFHliwiZSI6MTY1NDA5IiwiaWF0IjoiMTY5ODU0PDP1oXzp4z2vszCbO9seDzZSWFEoczZj_qCrYNNEqV2SHf5ug1ASdMJK79R6eDTYeLG4CLjiCA_hL4vhnQ/view?theme=dark), 2022. Paginas 4 y 5.
- [4] Leon Couch. *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*, page 152. PEARSON EDUCACIÓN, México, séptima edición edition, 2010.
- [5] H. Kopka and P. W. Daly. A Guide to  $\text{\LaTeX}$ , 3rd ed. Harlow. England: Addison-Wesley, 1999.
- [6] Rodrigo Muñoz. Laboratorio 3: Modulacion pasabanda de sa nales binarias. [https://canvadocs.instructure.com/1/sessions/eyJhbGciOiJIUzUxMiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJjIjoxNjU0MDYxMjA1NDA4LCJkIjoiNWNCbGJESUpkeDMxcTFDcHMxN3pITmdKRzZ6SmRNIiwiaWF0IjoiMTY1NDA5IiwiaWF0IjoiMTY5ODU0PDP1oXzp4z2vszCbO9seDzZSWFEoczZj\\_qCrYNNEqV2SHf5ug1ASdMJK79R6eDTYeLG4CLjiCA\\_hL4vhnQ/view?theme=dark](https://canvadocs.instructure.com/1/sessions/eyJhbGciOiJIUzUxMiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJjIjoxNjU0MDYxMjA1NDA4LCJkIjoiNWNCbGJESUpkeDMxcTFDcHMxN3pITmdKRzZ6SmRNIiwiaWF0IjoiMTY1NDA5IiwiaWF0IjoiMTY5ODU0PDP1oXzp4z2vszCbO9seDzZSWFEoczZj_qCrYNNEqV2SHf5ug1ASdMJK79R6eDTYeLG4CLjiCA_hL4vhnQ/view?theme=dark).