

# TP Modulación

Tecnología de las Comunicaciones

8 ( ocho)

Orsingher Pamela

Riviello Eugenio

Dell Olio Mauro

# Modulación

## Trabajo Práctico

El Objetivo de esta tarea es comprender adecuadamente los principios básicos de la modulación ASK; FSK y PSK

### Bibliografía

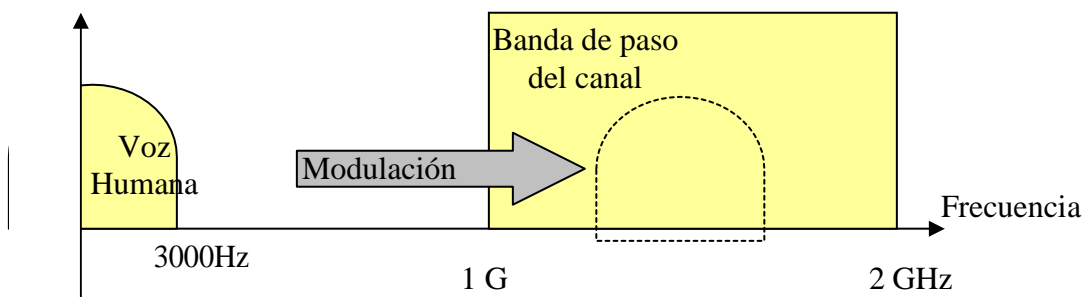
Comunicaciones de Datos, Fred Halsall, Cap 2

---

### Modulación.

Cuando se trata de transmisión de información nos encontramos con el problema de hacer pasar la señal de datos ( *Ej: Voz humana* ) por el canal de comunicaciones ( *ej: canal de Microondas* )

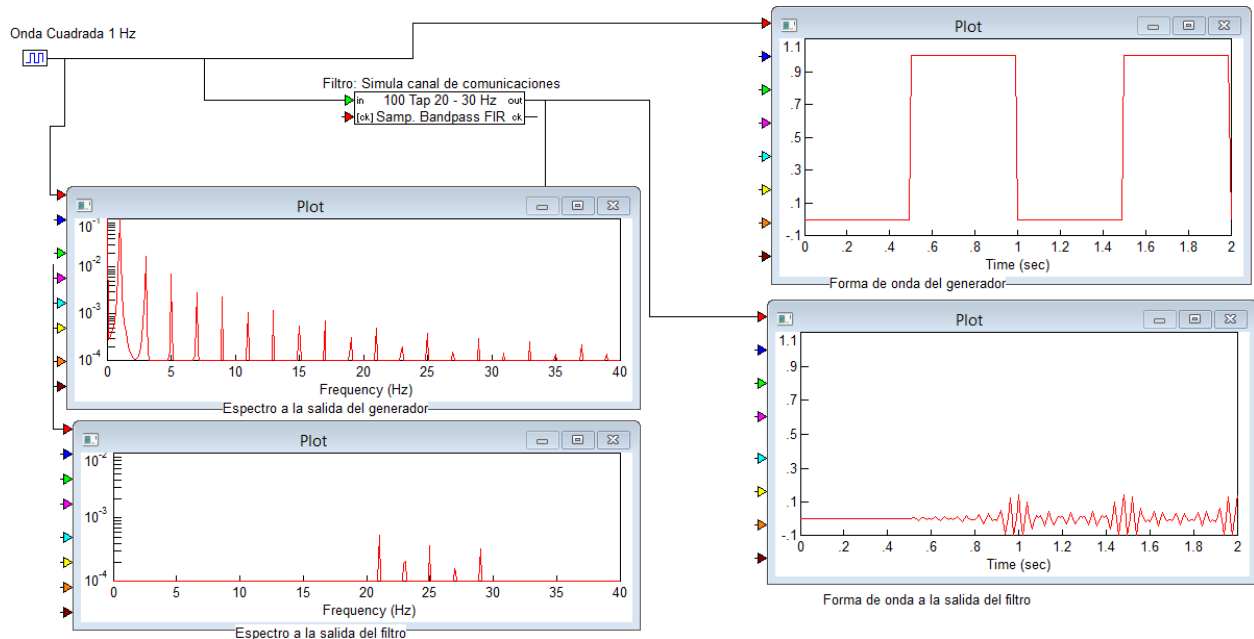
El espectro de la voz humana tiene la máxima cantidad de información hasta los 3000 Hz ( ver la siguiente figura ), Mientras que el canal de comunicaciones permite pasar desde 1GHz a 2GHz ( es solo un ejemplo de las casi innumerables posibilidades de canales). La solución evidente es trasladar el espectro de la señal a transmitir ( voz humana en el ejemplo ) hasta que entre dentro de la banda de paso del canal. El proceso es conocido como “Modulación”



Haremos un análisis práctico (para el análisis teórico nos remitimos al libro de Halsall )

Para ello simularemos con el VisSin. Hagamos pasar una señal de datos de **1Hz** por un canal que permite el paso desde **20 hasta 30 Hz** y analicemos los resultados.

Arme la siguiente maqueta en el simulador.



Si armó todo correctamente, los resultados deberían ser similares a los del gráfico anterior.  
¿Qué conclusión obtiene? Explique en relación a los gráficos visualizados

En los gráficos podemos ver que tenemos 2 gráficos que no pasan por el filtro de 20Hz a 30Hz y 2 gráficos que si pasan por el mismo. En ellos se puede observar que el filtro genera diferencias entre los mismos. En el grafico de frecuencia de arriba el cual no pasa por el filtro tiene su fundamental más sus armónicas desde el 0 hasta los 40Hz. El de abajo pasa por el filtro el cual da un ancho de banda de 10Hz entre los 20Hz a los 30Hz. En este se puede apreciar que solo tiene su fundamental y sus armónicas en el rango de este ancho de banda, siendo idéntico en medidas al de arriba. En los gráficos de tiempo podemos observar que el grafico de arriba, el cual no pasa por el filtro, tiene una señal de 1Hz la cual solo tiene una amplitud pico positiva. En el gráfico de abajo, que si pasa por el filtro, se puede ver que el pico de amplitud positiva es mucho menor que el del grafico de arriba y también que el grafico de abajo tiene amplitud pico negativa.

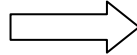
Tal como esperábamos, a la salida del canal de comunicaciones **no tenemos** la onda cuadrada de **1Hz** usada como señal de información. Es decir debemos “modular” la entrada del canal

# Modulación ASK

Comenzamos considerando que la señal de datos es una onda cuadrada (recordar TP anterior)

$$V_d = \sin(x) + (1/3) \sin(3x) + (1/5) \sin(5x)$$

Dibuje en forma de onda aproximada y sin escala como se vería  $V_d$  (a mano)



Para que la anterior sea realmente cuadrada debería tener infinitos términos pero para el ejemplo nos conformamos con llegar hasta la 5ta armónica.

Multipliquemos la señal de datos  $V_d$  con una onda portadora sinusoidal  $V_p$

$$V_p = \sin(10x)$$

Observe que la frecuencia portadora es en este ejemplo **10 veces** superior a la fundamental (Primera armónica o primer término) de  $V_d$

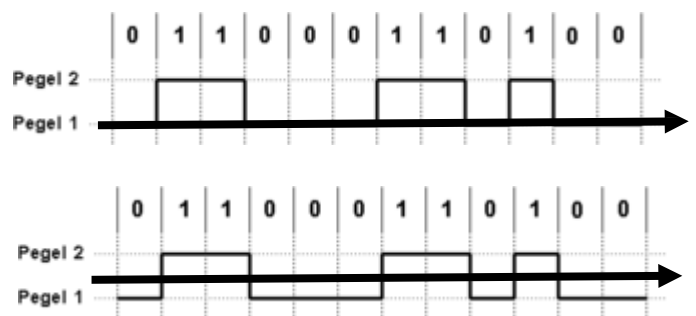
Graficamos con Graphmatica  $V_{ask} = V_d * V_p$ , imprimimos el gráfico y lo pegamos en el recuadro correspondiente de la próxima hoja.

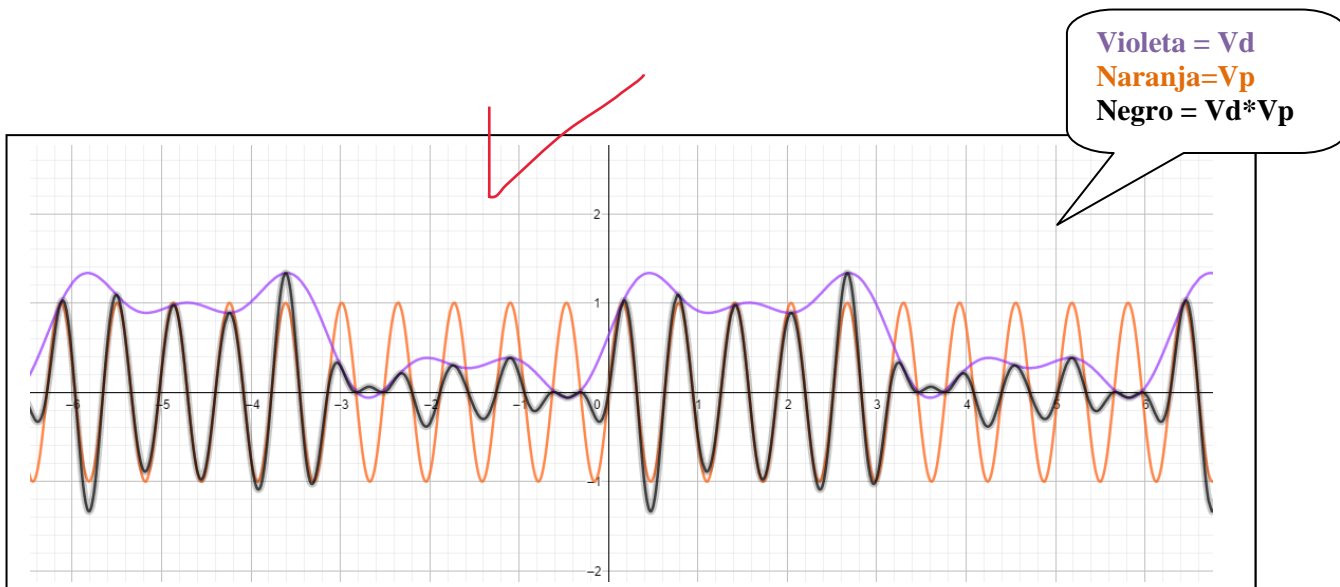
**IMPORTANTE:** La onda de datos ( $V_d$ ) **DEBE** ser retorno a cero (RZ), por lo cual antes de ingresarla en el Graphmatica puede ser necesario transformarla.

NOTA:

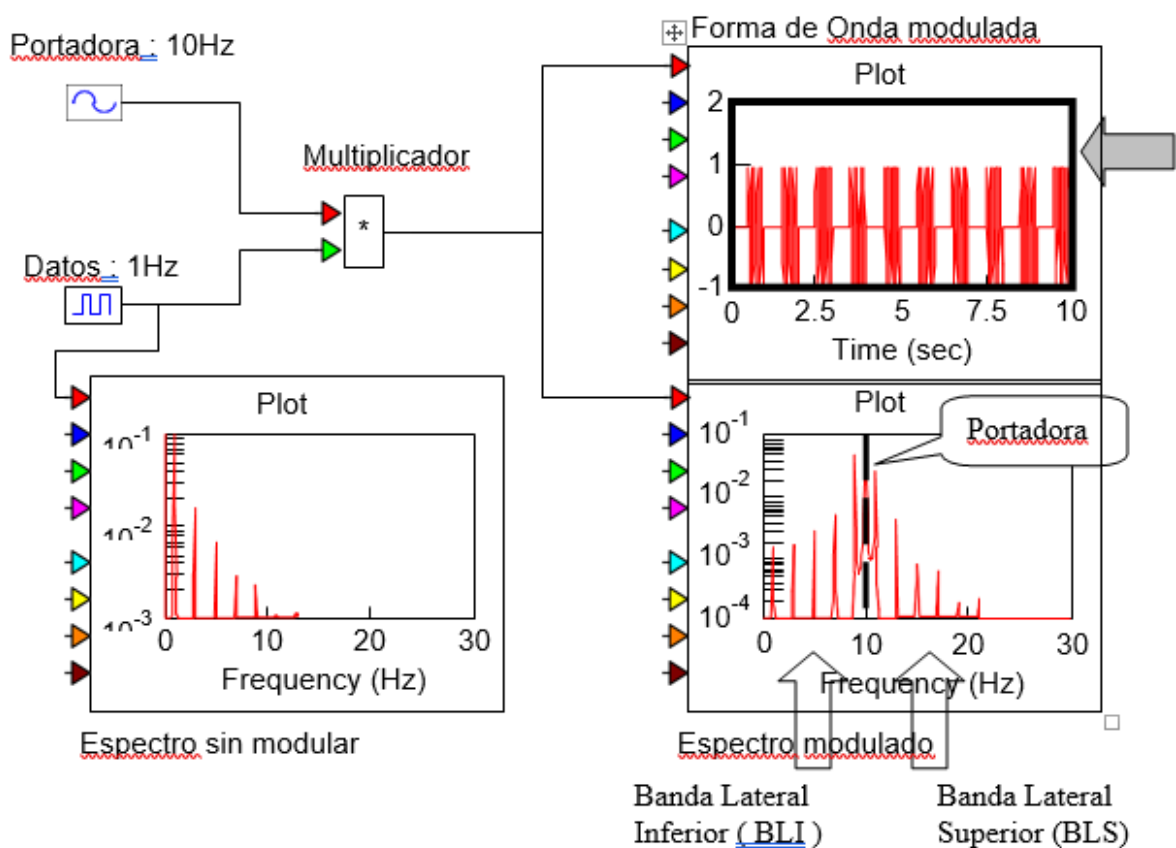
**Retorno a Cero (RZ)** es un sistema de codificación usado en telecomunicaciones en el cual la señal que representa al bit retorna a cero en algún instante.

**No Retorno a cero (NRZ)** es un sistema en el cual la representación de los bits no toma el valor cero





Interesa conocer también el espectro de la señal ask, en el libro de Halsall se tiene el desarrollo matemático, aquí lo obtendremos mediante simulación. Para ello armamos un esquema como el de la figura siguiente y hacemos correr la simulación. Observe que la forma onda (función del tiempo) es similar a la obtenida con el graphmatica y que el espectro de la señal producto (modulada) está desplazado tanto como el valor de la portadora utilizada y se ve doble (una banda lateral a cada lado de la portadora)



Se recomienda comprobar el resultado anterior con el VisSim

Lo obtenido a la salida del multiplicador ya es utilizable para transmitir, pero se suele agregar un filtro *pasa banda* (que deja pasar DESDE una frecuencia de corte inferior HASTA una frecuencia de corte superior dadas) para eliminar la banda no deseable.

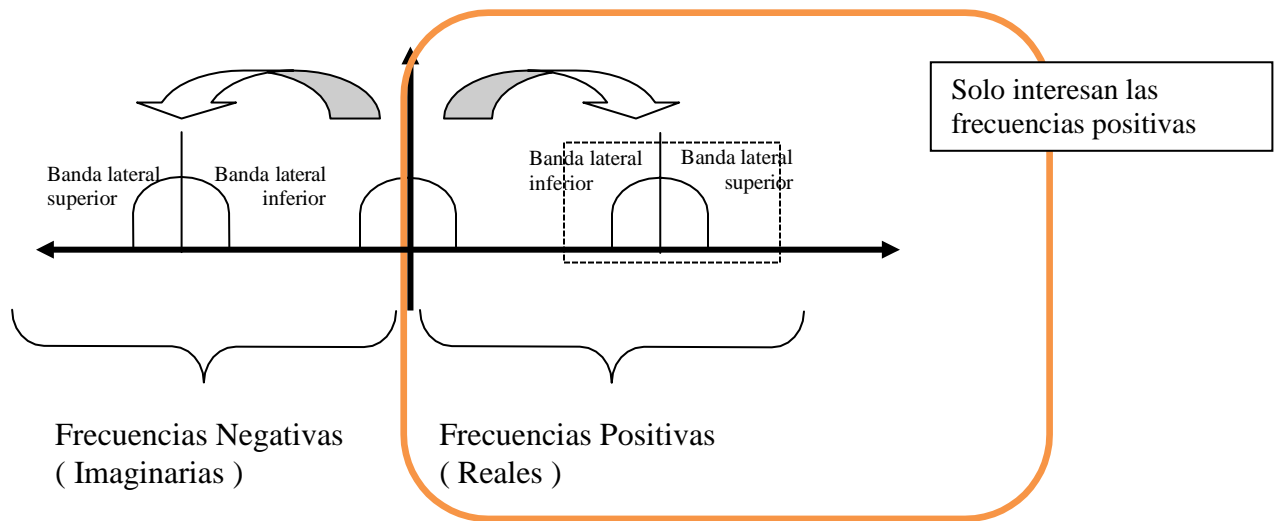
Arme ahora otro ejemplo similar al anterior pero con la señal de datos en **2 Hz** en lugar de 1Hz. Compare dibujando a mano en la tabla siguiente ( indique las escalas horizontales)

	Datos : 1Hz	Datos : 2 Hz
<b>Forma de onda</b> del generador de onda cuadrada (Datos )		
<b>Espectro</b> del generador de onda cuadrada (Datos )		
<b>Forma de onda</b> de salida del multiplicador		
<b>Espectro</b> de salida del multiplicador		

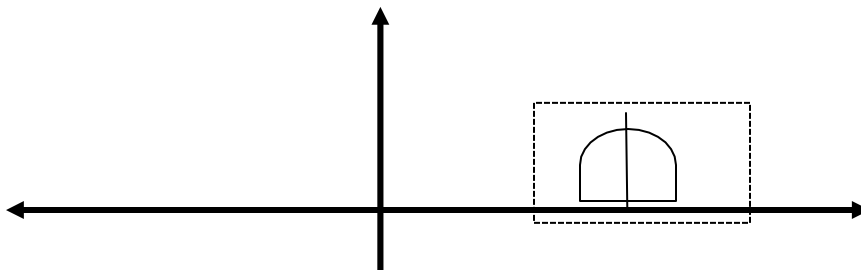
**Hasta ahora:** *Mediante la multiplicación de la señal de datos ( cuadrada RZ ) con la señal portadora ( sinusoidal) se trasladó el espectro de la señal de datos que antes estaba centrado en cero a estar centrado en el valor de la señal portadora.*

La salida del multiplicador será inyectada al canal de comunicaciones ( que representaremos por un filtro pasa banda ) y en el extremo remoto se debe recuperar la señal original

**Algunos conceptos básicos:** Al multiplicar trasladamos el espectro en una cantidad igual a la de la frecuencia de la portadora y HACIA AMBOS LADOS ( En la primera explicación no se tomaron en cuenta las frecuencias negativas ) . O sea que a la salida del multiplicador tenemos , ver dibujo.

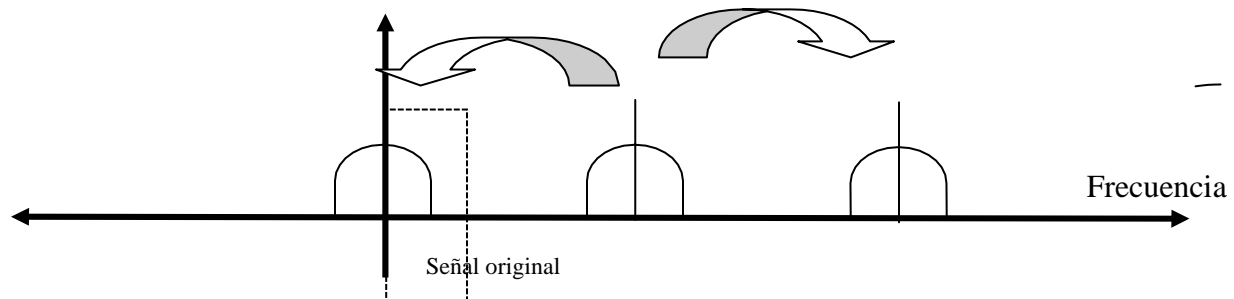


Al pasar por el filtro pasabanda se elimina lo que no fue modulado, ya que no puede atravesar el canal



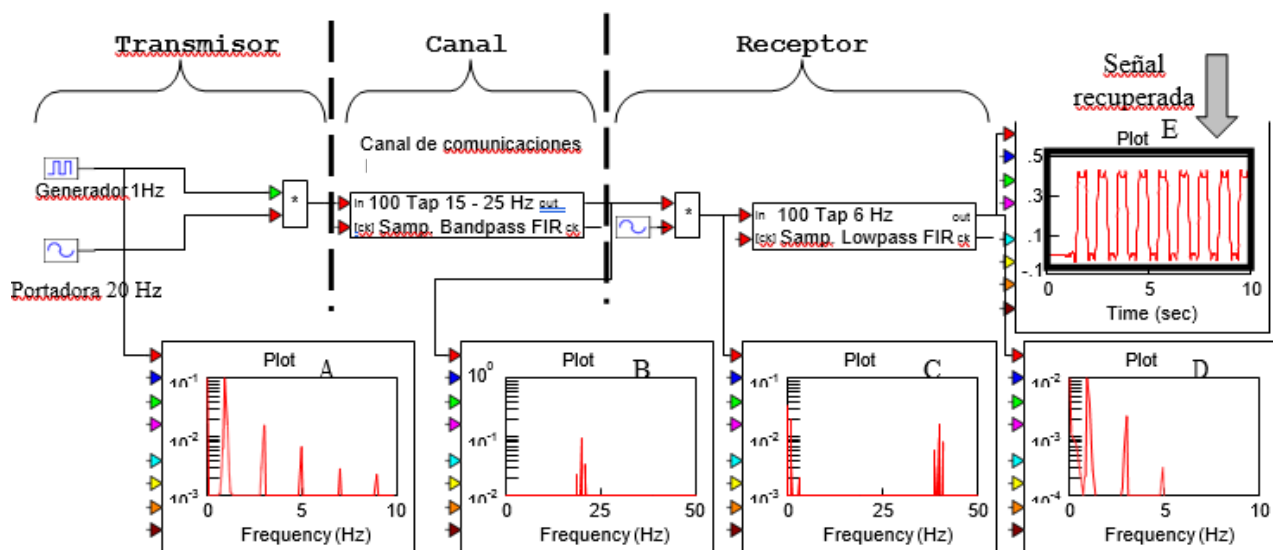


Ya a la salida del canal nos interesa volver a transportar la señal al lugar en que se encontraba originalmente, para ello si volvemos a multiplicar por la misma portadora, se traslada nuevamente el espectro, tanto como la frecuencia portadora.



Notamos que para recuperar la señal original nos basta con filtrar con un filtro pasabajo que tenga el ancho de banda de la señal original ( de tratarse de una onda cuadrada que tiene infinitas armónicas, el ancho de banda del filtro nos dará cuan parecida es la salida a la entrada ).

Comencemos con el simulador. Arme un esquema como el indicado. Hágalo correr y ajuste las escalas de los plots para que se obtengan la mejor visibilidad de las señales.





Si todo anduvo bien se tienen los grafos de la figura anterior, donde se ve que se recupera la señal de datos luego de atravesar el canal de comunicaciones

**Explique Brevemente** porque se ve lo que se ve en los plot A, B, C, D y E

Plot A

En este plot podemos observar el espectro de como sale la frecuencia directamente del generador de onda cuadrada de 1Hz. Este tiene su fundamental y 4 armónicos.

Plot B

En este plot podemos ver la frecuencia luego de pasar por el filtro que da un ancho de banda de 15Hz que van desde los 10Hz a los 15Hz. Del filtro solo sale un armónico.

Plot C

En este plot luego de pasar el primer filtro usamos otra portadora de 20Hz con un multiplicador y de ahí tomamos el espectro de la frecuencia. Podemos observar que el armónico esta por encima de los 25Hz cosa que no era así antes del canal y el multiplicador.

Plot D

En este plot podemos ver que el espectro de la frecuencia ya salió del filtro receptor. En este vemos que tiene su fundamental y 2 armónicos más.

Plot E

En este plot vemos como se genera una onda semi cuadrada, la cual es en definitiva la señal recuperada. Podemos observar que la frecuencia es de 2Hz.

Si se cambia la señal de datos de **1 Hz** a **2 Hz** ¿Qué cambia en cada gráfico y porque?

**Plot A**

En este plot, el cual sabemos que sale directamente de la onda cuadrada directamente, podemos ver que tiene una fundamental que mide lo mismo pero tiene menos armónicas.

**Plot B**

En este plot podemos notar que el espectro de la frecuencia es muy parecido, mas no es idéntica. La diferencia se da en la intensidad de la misma.

**Plot C**

En este plot podemos observar lo mismo, espectros de frecuencia similares, pero de mayor intensidad.

**Plot D**

En este plot podemos ver que esta la misma fundamental pero menos armónicas.

**Plot E**

Se puede observar que al salir la señal receptora deja de ser semi cuadrada para parecer una más sinusoidal, aunque podemos observar que se mantiene la misma frecuencia de 2Hz.

Varíe la frecuencia de corte del **filtro Pasabajos** , diga que pasa y explique el porqué.

Al variar el filtro pasabajo observamos no modifica en la señal portadora. Pero si aumentamos demasiado la frecuencia de corte se genera ruido en la señal original.

### **Conclusiones;**

La modulación ASK traslada la señal de información a la frecuencia de la portadora, genera 2 bandas laterales, una por sobre y otra debajo de la portadora, Cada una es una copia del espectro de la información ( ya sea en forma directa – BLS- o como imagen especular – BLI - ).

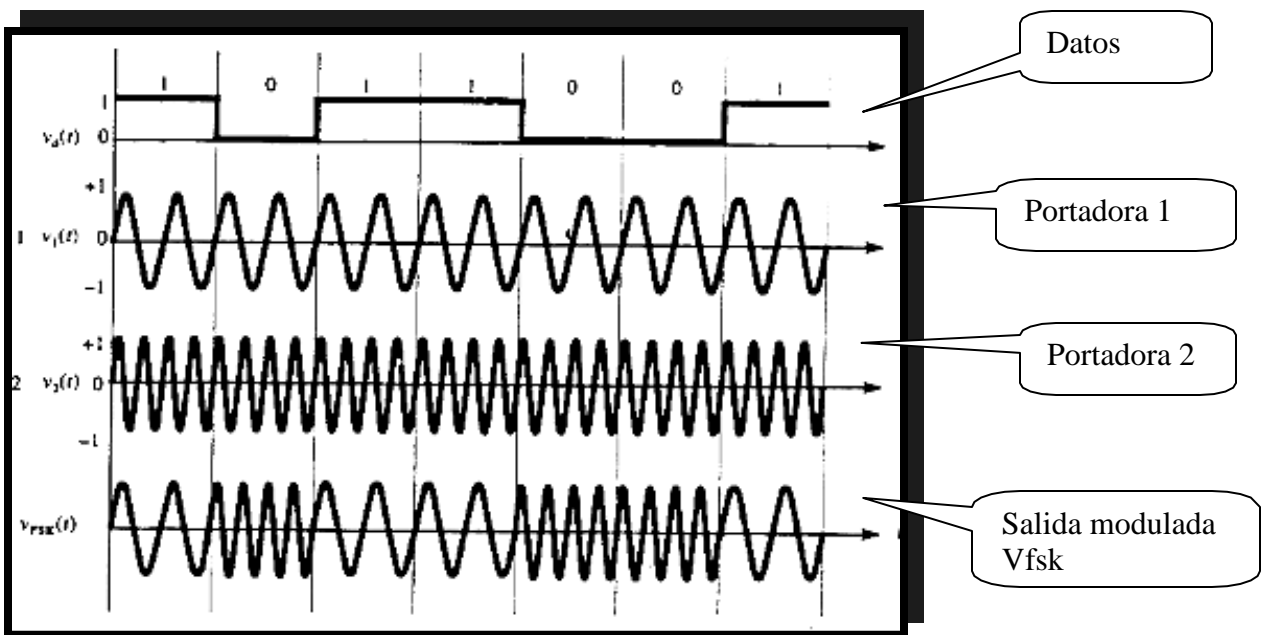
Nótese que la información en **ASK** se encuentra en la **Amplitud** de la señal modulada.

# Modulación FSK

Es este otro tipo de modulación en que la información se encuentra en la **frecuencia** y no en la amplitud de la señal modulada.

NOTA : **Leer previamente** los aspectos teóricos en el Cap 2 del libro de Halsall y ver el video de ayuda del TP

El concepto básico es tener una portadora para transmitir el “1” lógico y otra para el “0” lógico.



La operación a hacer seria : Multiplicar los datos por la portadora 1 y sumarlos a la multiplicación del inverso de los datos por la portadora 2.

En forma similar a lo hecho con ASK comenzaremos con ver la forma de onda con el Graphmatica.

Los datos son entonces :

$$V_d = \text{sen}(x) + (1/3) \text{sen}(3x) + (1/5) \text{sen}(5x)$$

Las portadoras serán

$$V_{c1} = \text{Sen}(10x)$$

$$V_{c2} = \text{Sen}(14x)$$

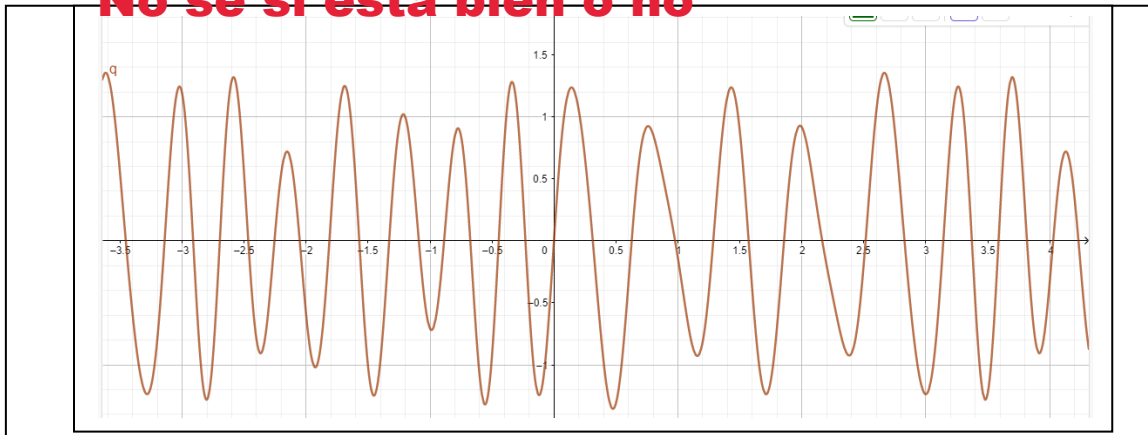
Según lo dicho :

$$V_{fsk} = V_d * V_{c1} + V_{d'} * V_{c2}$$

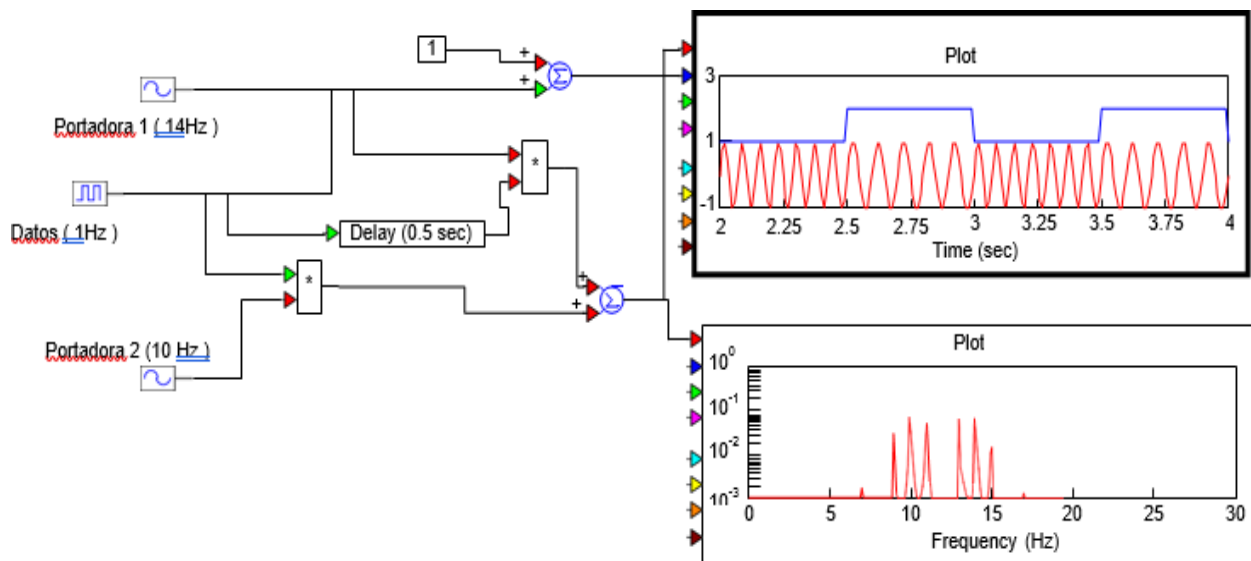
Donde  $V_{d'}$  son el inverso de los datos (recordar que tanto  $V_d$  como  $V_{d'}$  deben ser RZ)

Representamos  $V_{fsk}$  con el graphmatica, lo imprimimos y pegamos a continuación;

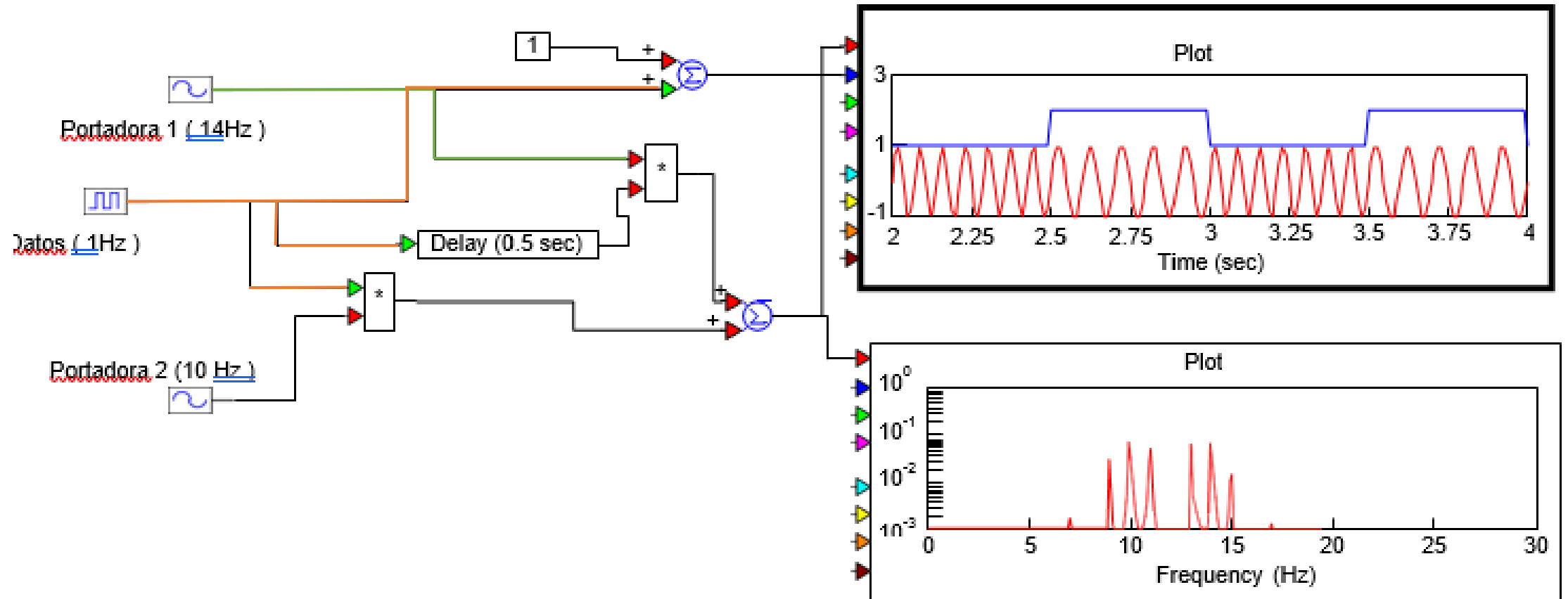
**No se si está bien o no**



Una vez que conocemos la forma de onda continuaremos profundizando el tema mediante la simulación. Armamos el diagrama en bloques en el simulador tal como indica la figura.



# Aclaración de cruce de conectores



Si todo funcionó correctamente los gráficos obtenidos se parecerán a los dados en la figura anterior.

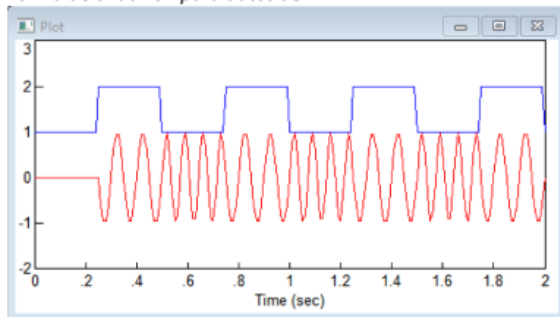
### Responda

¿Qué función cumple el bloque **Delay ( 0.5 seg)**?

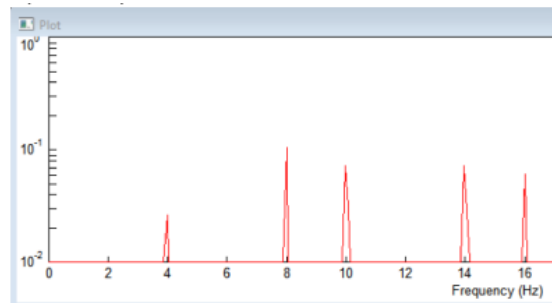
Su función es “retrasar” la señal de onda cuadrada a fin de sincronizar señales y evitar errores en la recepción.

Repita la simulación, pero para una señal de datos de **2Hz**.

**no es 2 Hz**



Forma de onda FSK para datos 2Hz



Espectro FSK para datos 2Hz

Explique que cambió.

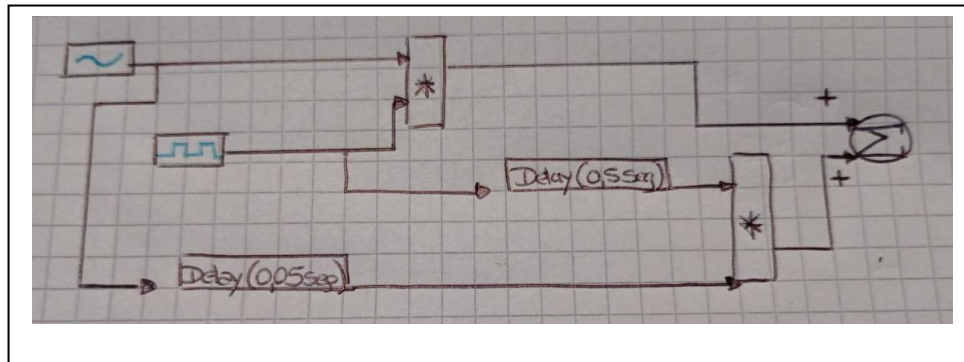
Se presenta una discontinuidad en la señal y para remediarlo se puede establecer que las portadoras sean múltiplo de una frecuencia fundamental evitando así la discontinuidad de la señal cuadrada de 2 Hz.



# Modulación PSK

De forma similar a lo hecho con ASK y FSK, simule una modulación **BPSK**, dibuje el esquema utilizado y las formas de onda y espectro de la señal modulada. Utilice como datos una onda cuadrada de 1Hz y como portadoras dos señales de **12Hz** desfasadas **180** grados

Esquema utilizado (dibuje a mano tal como lo simularía con el VisSim)

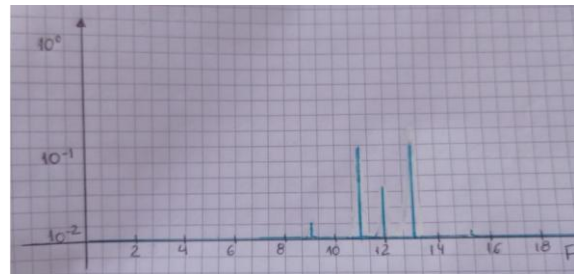


Dibuje a mano la forma de onda y el espectro de la señal modulada.

Forma de onda modulación PSK



Espectro modulación PSK



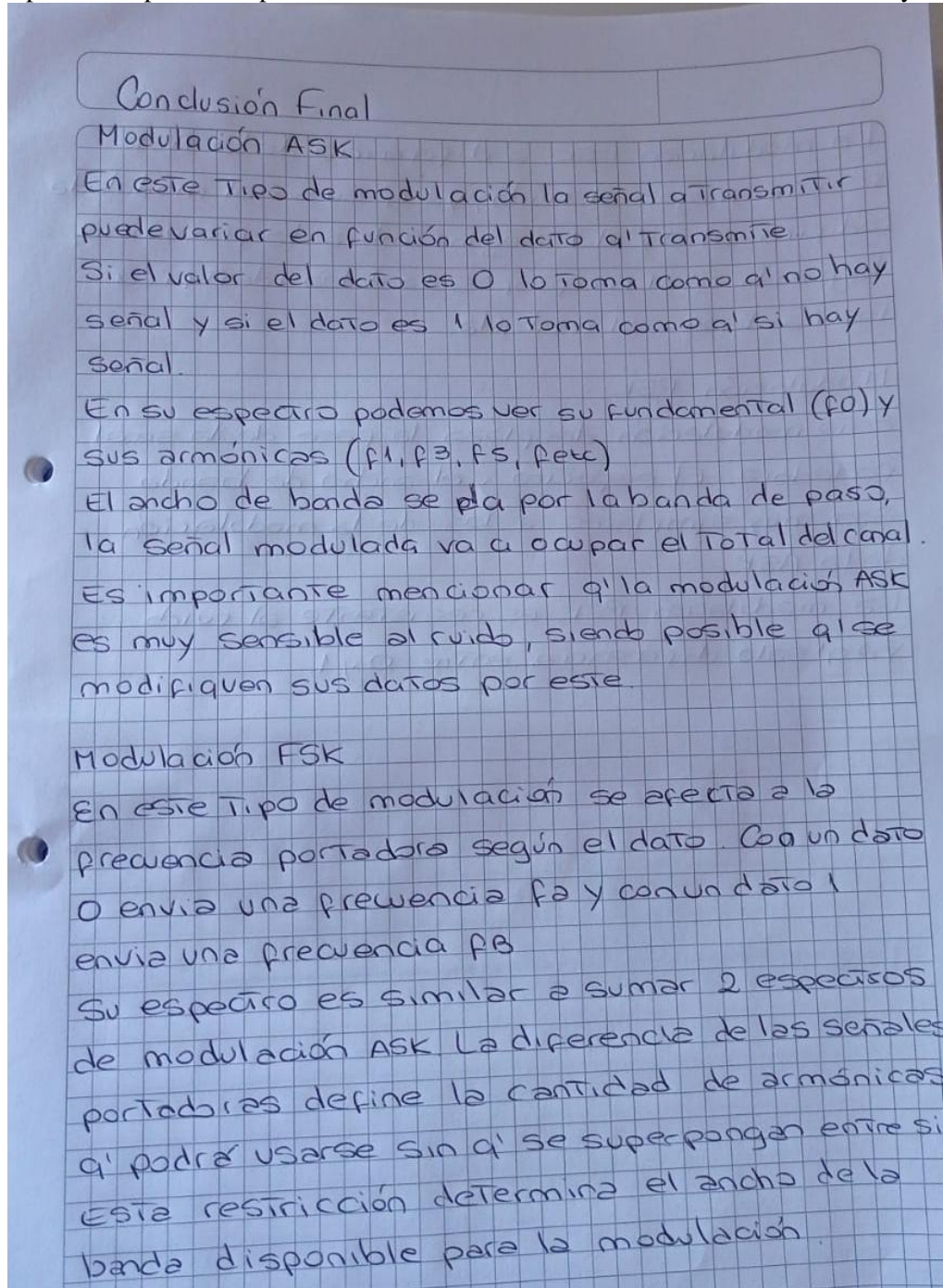
¿Que observa en la portadora modulada PSK en el gráfico espectral? Justifique su respuesta.

Lo primero que se nota es que a pesar de tener 2 portadoras tiene una salida única en los gráficos. También que cumple el desfase de los 180 grados cada medio segundo mostrando en el grafico de frecuencia transmisión de datos entre los 8 a los 12hz

## Conclusiones Generales del TP

Esta es la parte más importante, por lejos, del TP. ( SOLO ESTA HOJA, ESCRITURA A MANO )

Explique con sus palabras (*copiar/ pegar invalida todo el TP*) los tres métodos de modulación trabajados, en especial compare los espectros de cada uno de los métodos, su inmunidad al ruido y su ancho de banda.



La modulación FSK a diferencia de la ASK resiste mejor al ruido, ya q' su señal modulada codifica al 0 y al 1 según cambia la frecuencia, logrando q' el receptor solo deba identificar los cambios al recibirla.

### Modulación PSK

Esta modulación desplaza la fase de la señal portadora. El espectro y el ancho de banda son muy similares a los de la modulación de la ASK.

La modulación PSK es resistente al ruido ya q' solo diferencia entre 0 y 1.