

# Modulación

## Trabajo Práctico

### Integrantes:

Agustín Ariel Di Paolantonio  
Daiana Gisele Campott  
Gerardo Rodolfo Tordoya  
Leticia Gabriela Lenschen

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

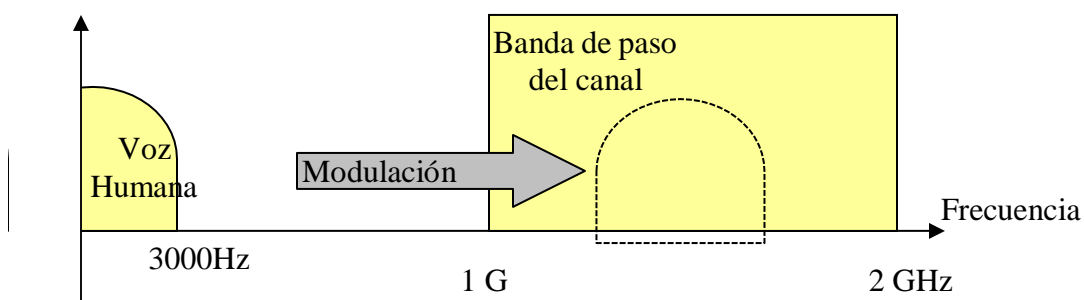
---

## 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* )

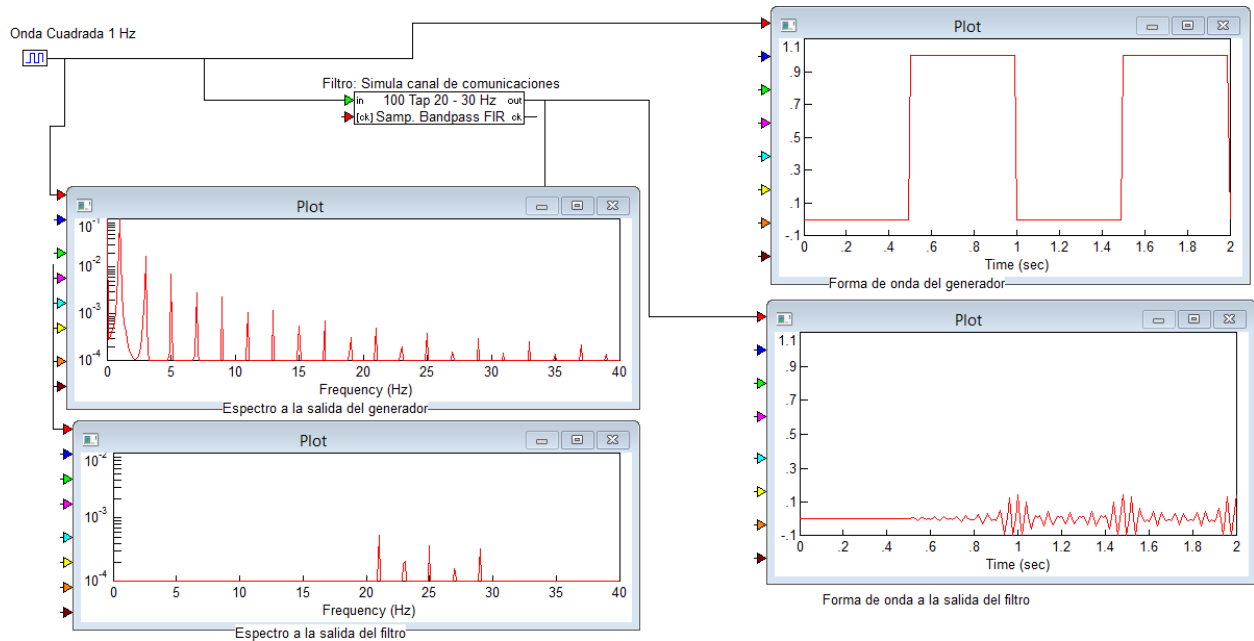
El espectro de la voz humana tiene la máxima cantidad de información hasta los 3000 Hz ( ver la siguiente figura ), Mientras que el canal de comunicaciones permite pasar desde 1GHz a 2GHz ( es solo un ejemplo de las casi innumerables posibilidades de canales).

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 VisSim. Hagamos pasar una señal de datos de **1Hz** por un canalque 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

Lo que podemos apreciar en este punto es que según lo que indican los gráficos de análisis espectrales, es que la señal cuadrada de 1Hz que originalmente posee una cantidad de armónicos infinitos impares pasa a tener únicamente armónicos impares dentro del canal establecido en el filtro pasada banda, en este caso entre los 20hz y los 30hz.  
Por otra parte, podemos ver en el análisis del gráfico de desarrollo temporal vemos que cambia la forma de onda, quedando una onda Vask como resultante de la señal con armónicos entre los 20hz y 30hz a la salida del filtro pasa banda.

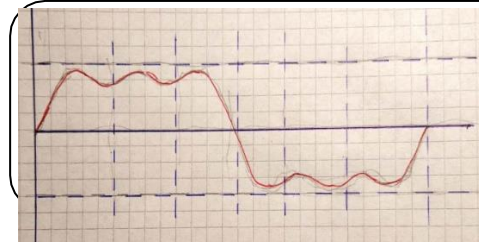
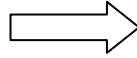
Tal como esperábamos, a la salida del canal de comunicaciones **no tenemos** la onda cuadrada de **1Hz** usada como señal de información. Es decir debemos “modular” la entrada del canal

# 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  $V_p$

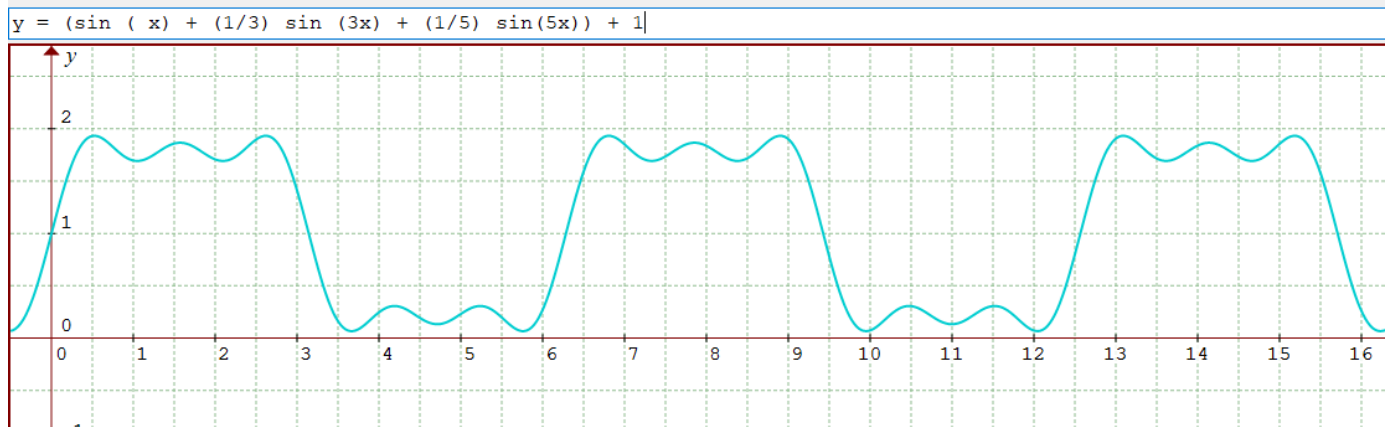
$$V_p = \sin(10x)$$

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.

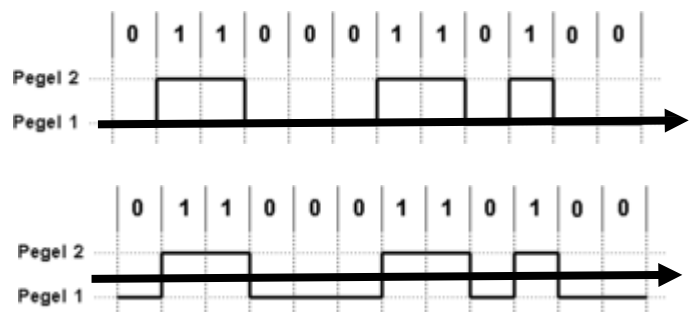
## Vd transformada



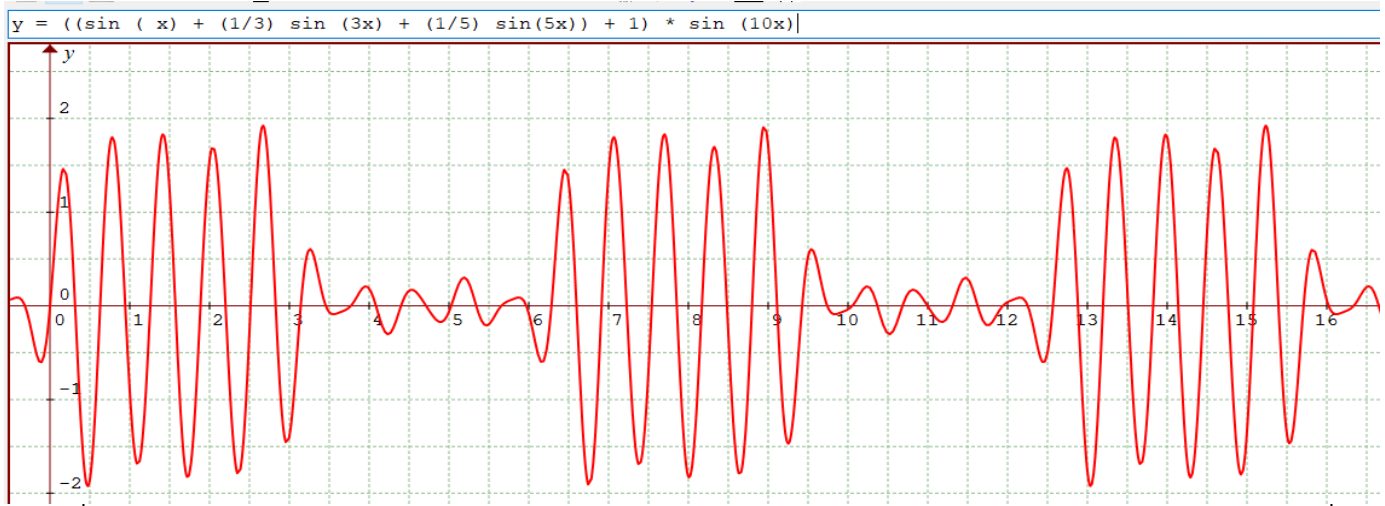
NOTA:

**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.

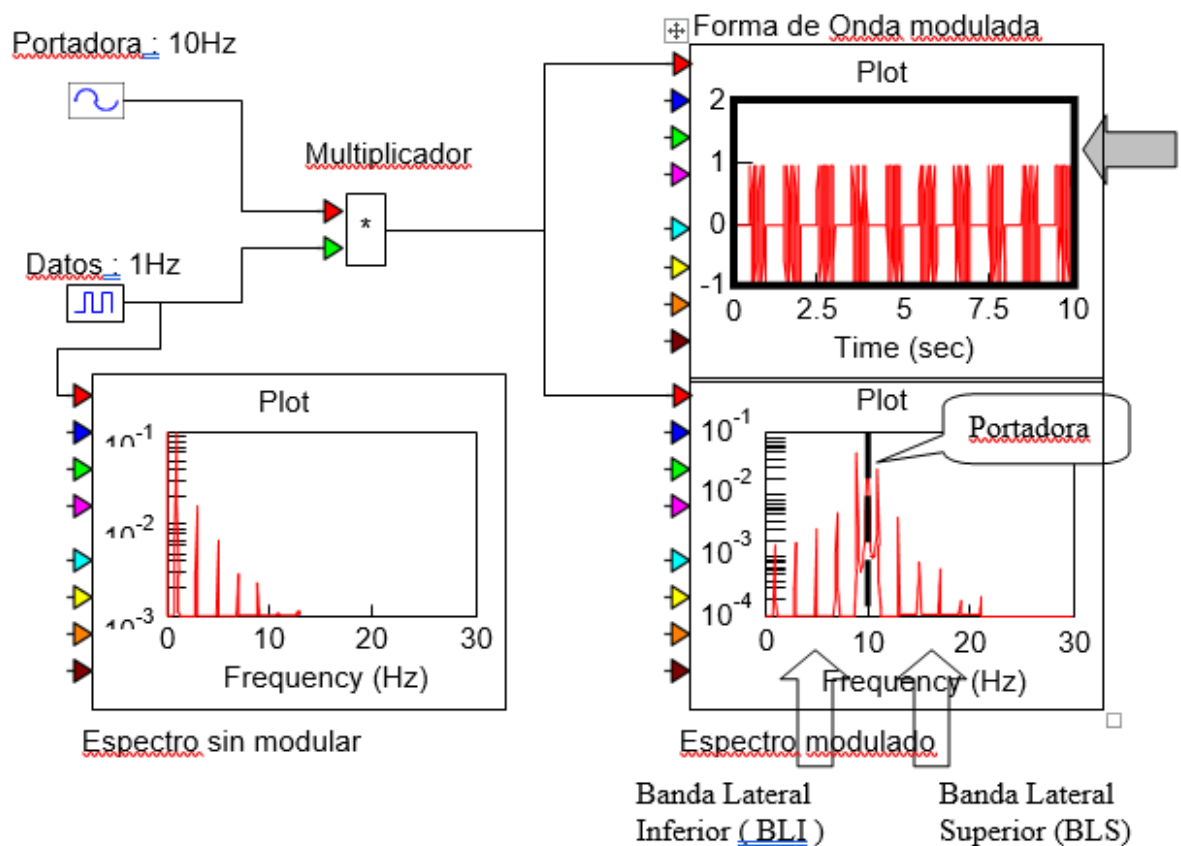
**No Retorno a cero (NRZ)** es un sistema en el cual la representación de los bits no toma el valor cero



$$V_{ask} = V_d * V_p$$



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.

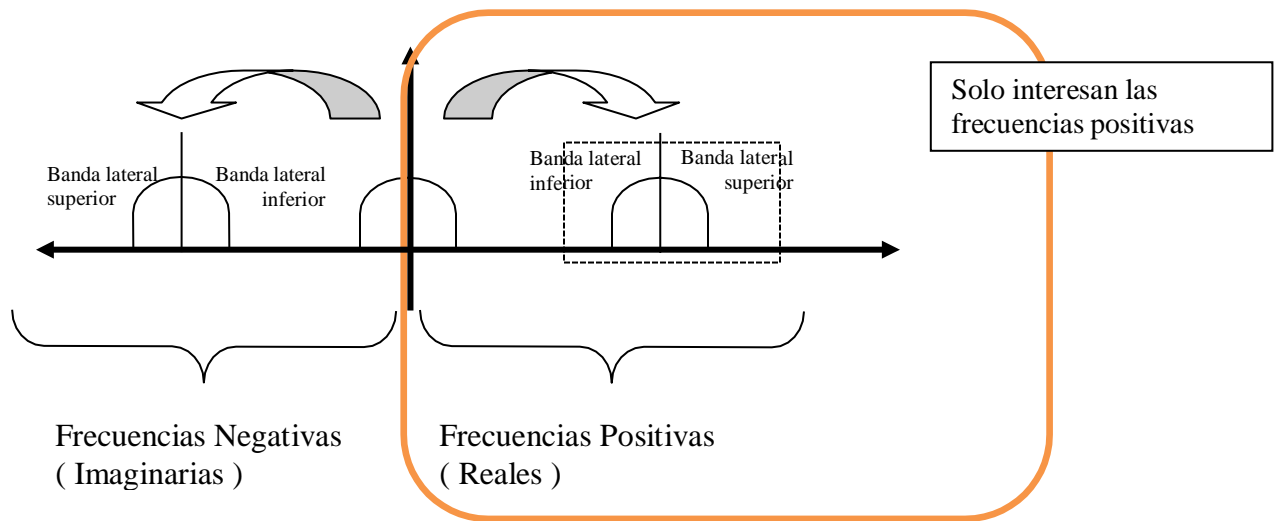
Arme ahora otro ejemplo similar al anterior pero con la señal de datos en **2 Hz** en lugar de 1Hz. Compare dibujando a mano en la tabla siguiente (indique las escalas horizontales)

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

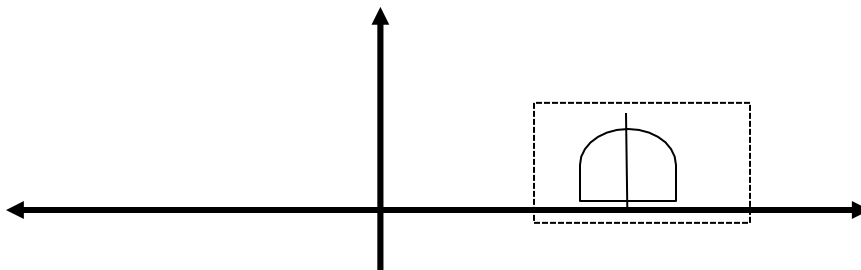
**Hasta ahora:** *Mediante la multiplicación de la señal de datos ( cuadrada RZ ) con la señal portadora ( sinusoidal) se trasladó el espectro de la señal de datos que antes estaba centrado en cero a estar centrado en el valor de la señal portadora.*

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

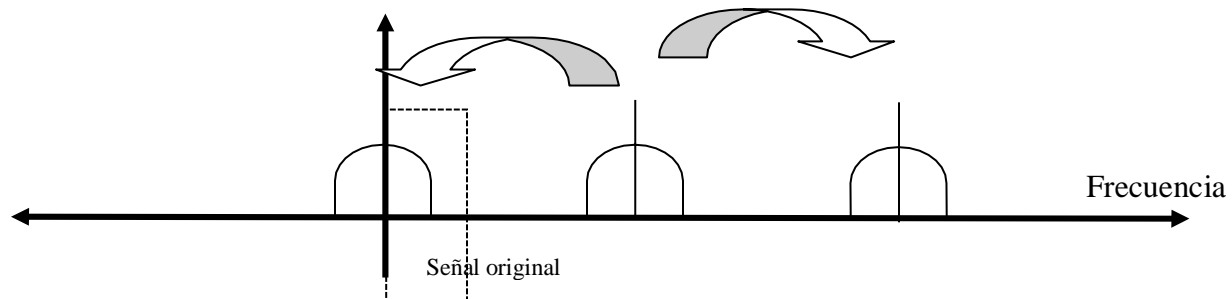
**Algunos conceptos básicos:** Al multiplicar trasladamos el espectro en una cantidad igual a la de la frecuencia de la portadora y HACIA AMBOS LADOS ( En la primera explicación no se tomaron en cuenta las frecuencias negativas ) . O sea que a la salida del multiplicador tenemos , ver dibujo.



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

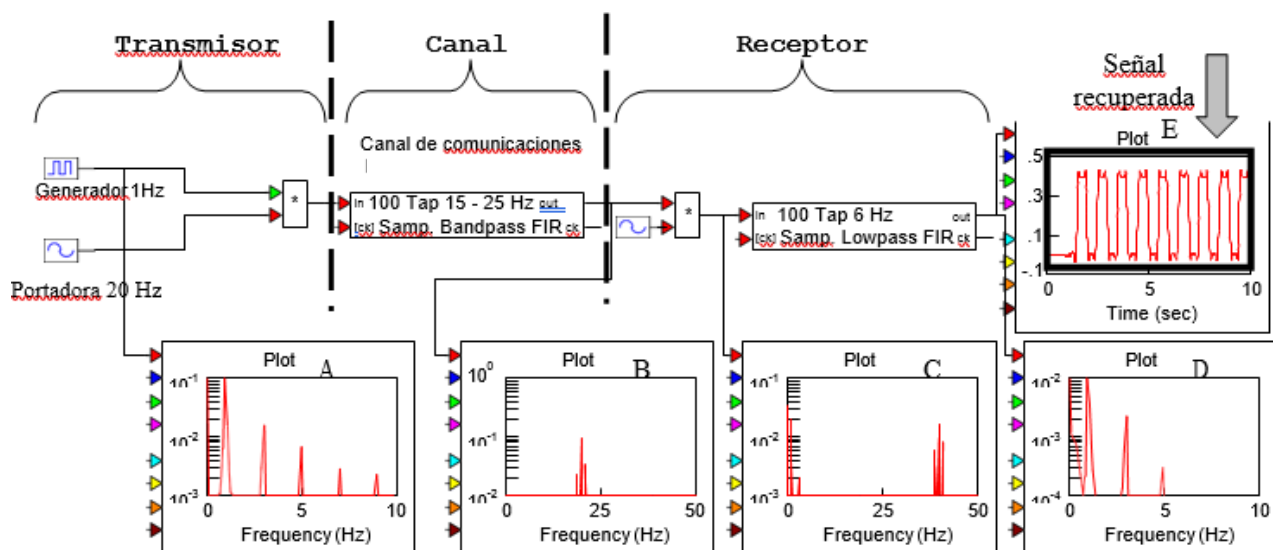


Ya a la salida del canal nos interesa volver a transportar la señal al lugar en que se encontraba originalmente, para ello si volvemos a multiplicar por la misma portadora, se traslada nuevamente el espectro, tanto como la frecuencia portadora.



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

Análisis espectral de la señal transmisora del mensaje, siendo la misma una onda cuadrada RZ de 1 Hz.

En este caso podemos ver que tenemos todo el contenido armónico de frecuencias impares tal cual describe Fourier en base a una onda cuadrada la cual se encuentra compuesta por infinitos armónicos.

En este caso en particular vemos hasta el armónico 9, ya que la escala del plot llega hasta la frecuencia 10 Hz.

#### Plot B

Análisis Espectral de la señal data (cuadrada RZ de 1Hz) multiplicada con una carry (portadora) de 20Hz y pasa por un filtro pasa banda configurado para dejar pasar únicamente frecuencias entre los 15Hz y los 25Hz.

En este análisis espectral podemos notar 2 cosas a grandes rasgos. La primera de ellas es que el contenido espectral de la señal se encuentra únicamente alrededor de los 20Hz, este punto es coincidente con la idea de que es la salida de un filtro pasabanda configurado de manera tal que sólo deje pasar contenido armónico entre los 15Hz y los 20Hz.

La segunda de ellas es que vemos que la frecuencia que posee más amplitud es la de 20Hz (que resulta ser justamente la portadora) y luego tenemos un armónico de cada lado de las mismas equidistante que parecen estar a distancia de 1Hz cada una de ellas de la portadora que se encuentra en 20Hz. Hacemos la aclaración de que parece ser que están a 1Hz de distancia, ya que la escala de la imagen es bastante amplia y se pierde un poco de detalle.

#### Plot C

Análisis Espectral de la señal modulada multiplicada por la misma señal sinusoidal que originalmente se usó para modular. A este proceso se lo conoce como demodulación.

En este plot de análisis espectral lo que podemos denotar es que vemos contenido armónico en dos partes únicamente, primero vemos que a la altura de los 40Hz (aprox) podemos observar un contenido armónico muy parecido al del plot anterior (señal Modulada) y por otra parte podemos observar un par de armónicos concentrados en las frecuencias más bajas (alrededor de 1Hz) que parecen tener una distancia entre ellos de, por lo menos, más de un Hz. En nuestra opinión podría llegar a ser de 3Hz la distancia entre el primer y el segundo armónico, logrando así algo muy similar a la primera señal data.

#### Plot D

Análisis espectral a la salida del filtro Pasa bajos con un corte de 6Hz. Teniendo como entrada la señal analizada en el plot anterior.

En este plot podemos observar cómo se vuelve obtener la señal original (o algo muy parecido) por lo menos en lo referido al contenido armónico. En este caso puntualmente se ve que el contenido de frecuencias va desde una fundamental en 1Hz hasta dos armónicos más con frecuencia de 5Hz. Esto último se debe a que el corte del filtro se encuentra en 6Hz. Posiblemente podría haber más contenido armónico en caso de subir el corte del filtro pasa bajos.

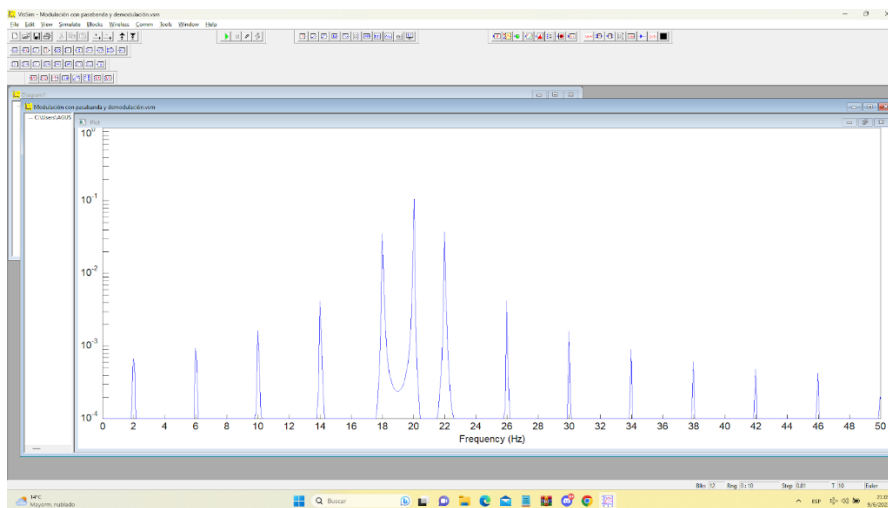
#### Plot E

Análisis en función del tiempo - Forma de Onda. Esto analiza la salida del filtro pasa bajos.

En este caso vemos como la forma de onda se asemeja mucho a una onda cuadrada, sólo que al no tener todo el contenido armónico (o sea de infinitos armónicos impares), se aproxima más a lo llamamos una “muelita” que en realidad en su contorno más general se parece muchísimo a una onda Cuadrada. En conclusión, podemos confirmar que el proceso de modulación y demodulación ha sido exitoso, siendo la forma de onda final muy similar a la forma de onda original.



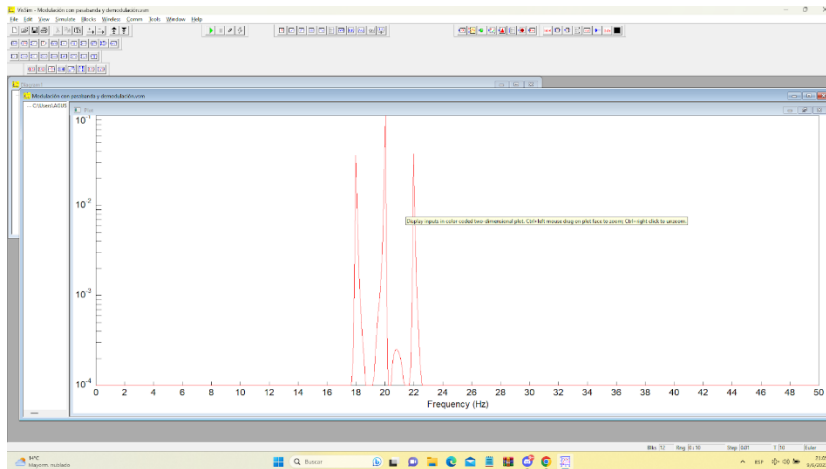
Si se cambia la señal de datos de **1 Hz** a **2 Hz** ¿Qué cambia en cada gráfico y por qué?



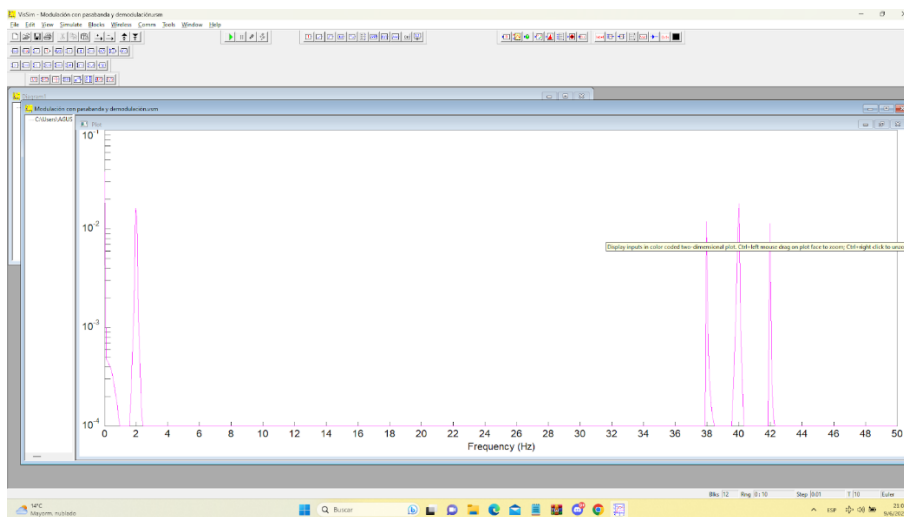
Plot A a 2 Hz, análisis espectral multiplicación de frecuencia 20 hz sinusoidal carry y 2 hz cuadrada data.

En este punto las únicas diferencias que encontramos con respecto a la anterior es la distancia tanto de la fundamental como de los armónicos en base a la carry según la fundamental en ambas bandas laterales.

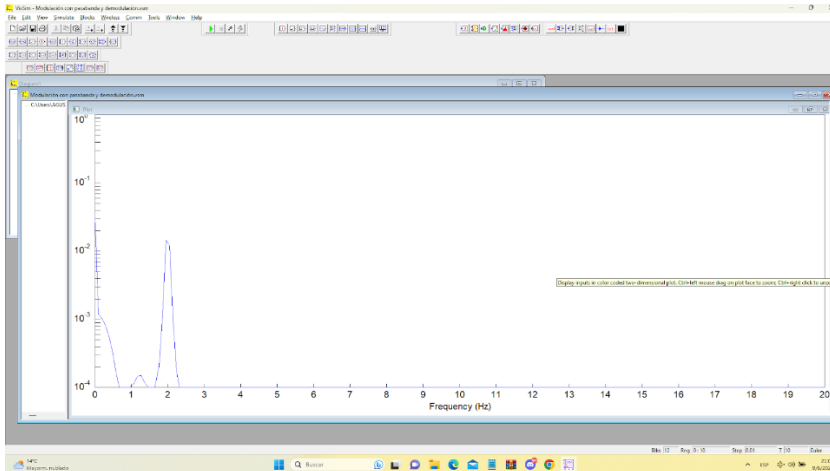
En este caso vemos como a distancia de 2 se encuentra la fundamental de la carry y los armónicos comienzan en distancia de 6 ( $2 \times 3$ ), ( $2 \times 5$ ) 10 y así hasta el ancho de banda visualizado.



Plot B - Salida del filtro pasa banda, siendo la entrada del mismo la frecuencia anterior modulada. En este punto empezamos a ver los cambios. El filtro pasa bandas tiene un ancho de banda de 15hz a 25hz, acá vemos qué a diferencia de la salida del pasa banda con la frecuencia anterior únicamente tenemos la frecuencia portadora y la fundamental expresada en ambas bandas laterales, pero sin ningún otro armónico. Este se debe claramente a que si cortamos el paso en la banda lateral positiva en 25Hz y sabiendo que la portadora está en 20hz, la fundamental en 22hz ( 20hz portadora + 2hz Data) ya el siguiente armónico tendría que estar en los 26hz y así sucesivamente, pero el filtro no permite por su naturaleza. El mismo fenómeno sucede en la otra banda lateral negativa. Para corregir lo sucedido recomendamos cambiar los cortes del filtro pasa bajos en 10hz y 30hz, de esta manera se va a poder recuperar más contenido armónico.



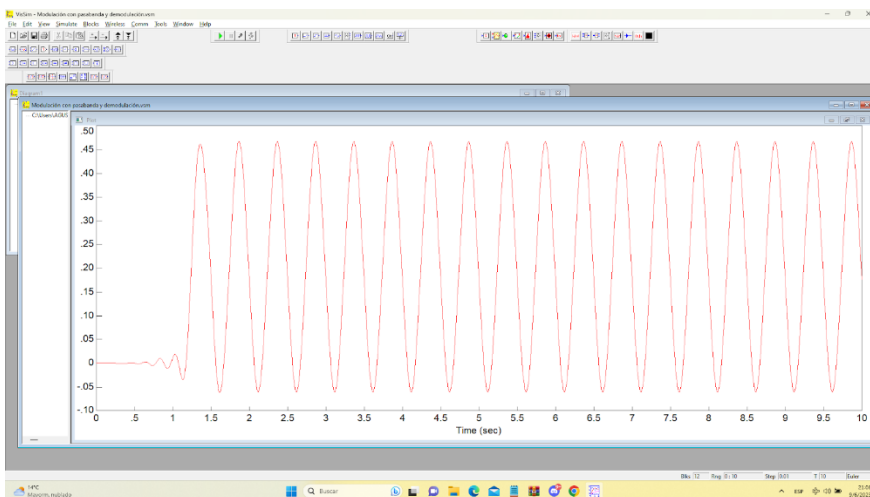
Plot C - Demodulación de la señal modulada - Se le inyecta otra señal de 20 hz nuevamente. En este caso en el análisis espectral podemos observar de que si bien el fenómeno estructuralmente se sucede igual en el plot C de la prueba con frecuencia de 1 hz, es te caso nos sigue faltando todo el contenido armónico, siendo que en la parte de los bajos lo único que nos queda para luego ser recuperado por el filtro pasabajos es la fundamental en 2 hz, el resto de la modulación con la portadora se encuentra alrededor de los 40 hz con la portadora y las bandas laterales con la fundamental a distancia de 2 hz de la portadora. En este punto si se lleva a cabo la recomendación referida en el punto anterior entendemos que en este tendríamos, sin ninguna modificación, el contenido armónico que mencionamos como ausente.



Plot D - Salida del filtro pasabajos con frecuencia de corte en 6 hz. Señal de entrada es la señal demodulada con la falta de contenido armónico en las frecuencias bajas.

Según lo esperado y ya viendo en la imagen anterior de que en las frecuencias bajas sólo había la frecuencia fundamental sin sus respectivas armónicas, podemos observar que el resultado espectral de tal proceso pasabajos de tal señal es una frecuencia fundamental en 2hz, pero sin ningún contenido armónico tampoco.

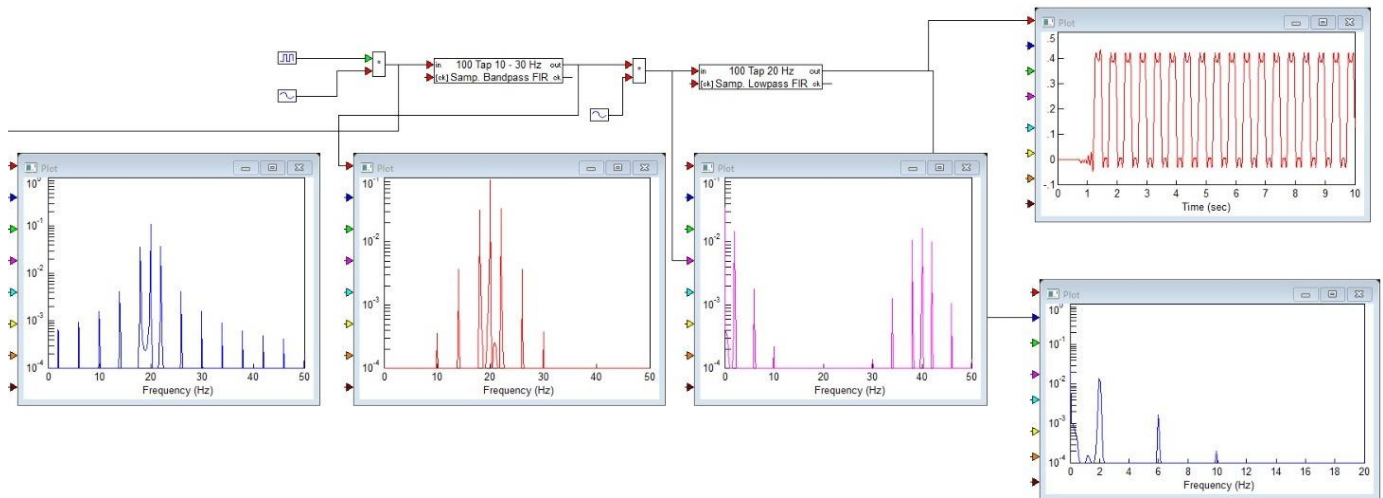
Esto podría evitarse al haber hecho las correcciones oportunas en los pasos anteriores tal como lo hemos mencionado. Ahora bien, además de eso tendríamos que modificar la frecuencia de corte del filtro, ya que en caso de tener una fundamental de 2hz con sus respectivos armónicos, los mismos no tendrían paso debido a que el primero de ellos en este caso es de 6hz justo donde está el corte) y mucho menos todos los demás que se encuentran presenten. Recomendamos hacer un corte en 1hz en este caso, para que en caso de que haya más contenido espectral, el mismo pueda pasar por lo menos hasta la 3 armónica, ya que en una señal cuadrada de 2hz la primera armónica sería en  $2\text{hz} \times 3 = 6\text{hz}$ , la segunda en  $2 \times 5 = 10\text{hz}$  y la tercera en  $2 \times 7 = 14\text{hz}$ .



Plot E - Forma de Onda de la señal resultante modulada y demodulada.

En este caso y debido a todo lo recién mencionado en los pasos anteriores, sólo obtendremos una señal sinusoidal. Este se debe a que sólo hemos llegado a reconstruir la frecuencia fundamental original.

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



En este caso lo que podemos observar en el gráfico del análisis espectral, es que a pesar de que elevemos el corte del filtro por encima de los 20 hz para dejar pasar a todo lo que esté por debajo de esa frecuencia, no aparecen armónicos por encima de los 7 hz (aprox).

Entendemos que en este punto no se podrán reconstruir más armónicos que los que están presentes en el este ejemplo debido que el resto del contenido espectral se ha perdido en pasos posteriores, especialmente en el filtrado en bandas, en donde se elimina adrede una determinada cantidad de información espectral a fin de darle más fiabilidad al proceso de transporte de la misma.

### 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 - ).

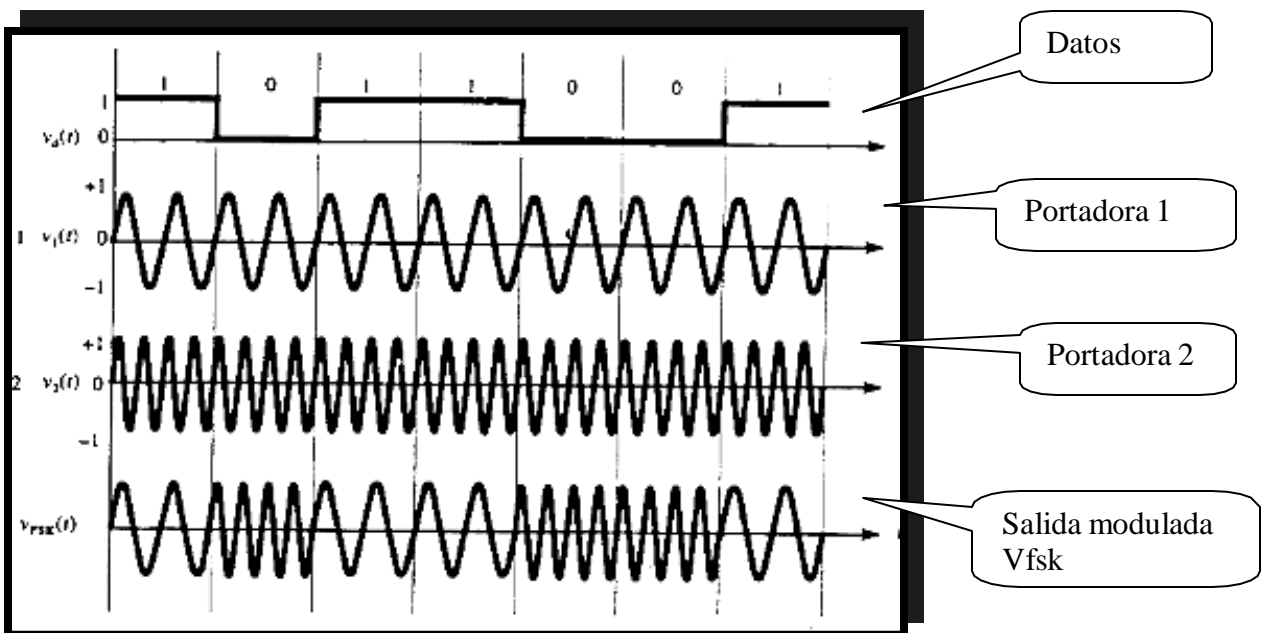
Nótese que la información en **ASK** se encuentra en la **Amplitud** de la señal modulada.

# 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

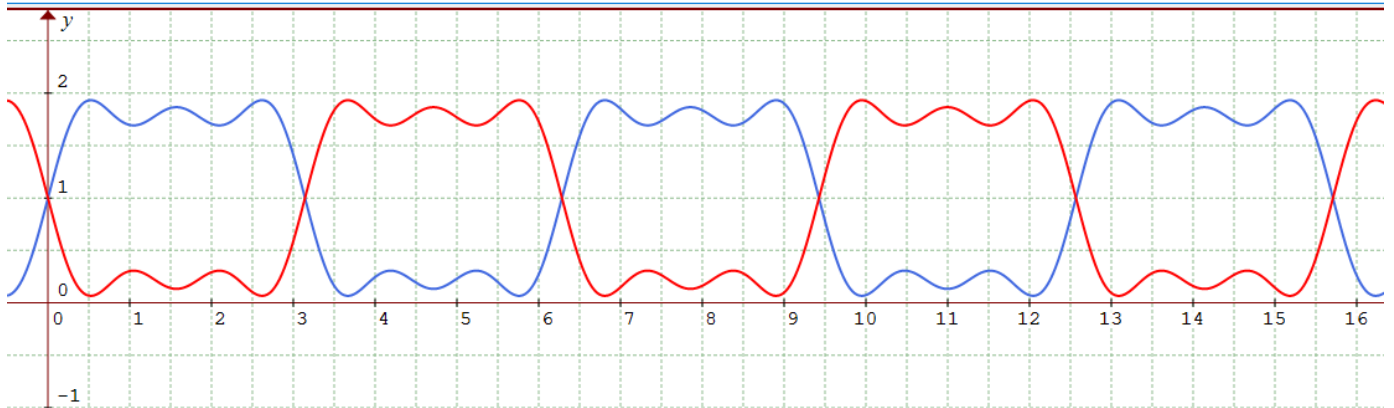
$$V_{c1} = \text{Sen}(10x)$$

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

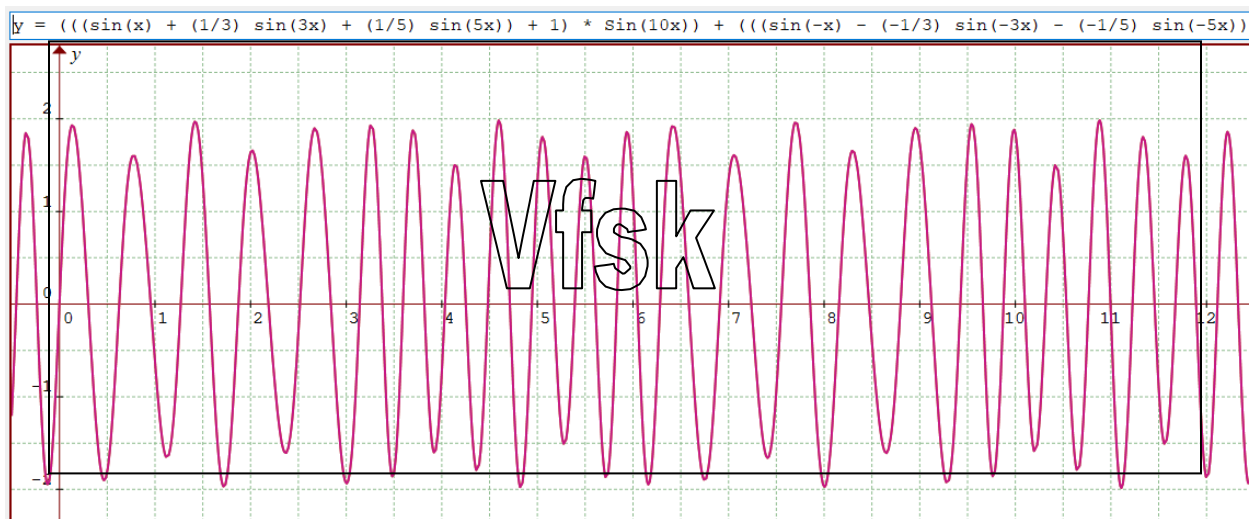
Según lo dicho :

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

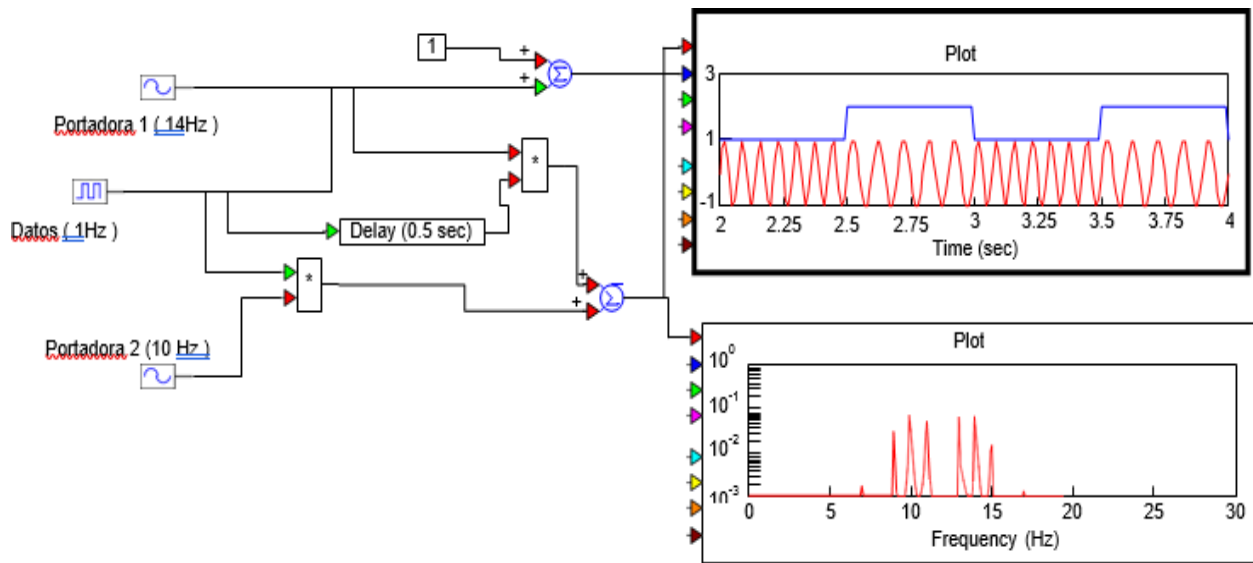
Donde  $V_{d'}$  son el inverso de los datos (recordar que tanto  $V_d$  como  $V_{d'}$  deben ser RZ)



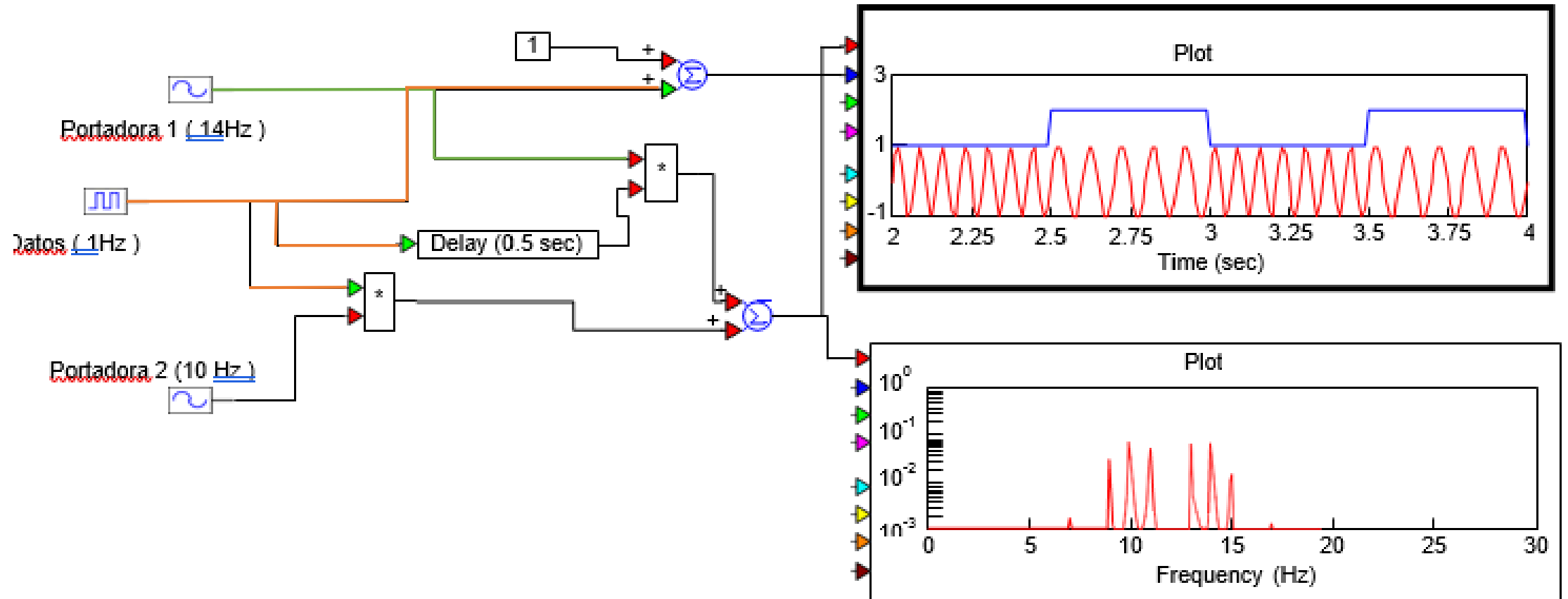
Representamos Vfsk con el graphmatica, lo imprimimos y pegamos a continuación;



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.

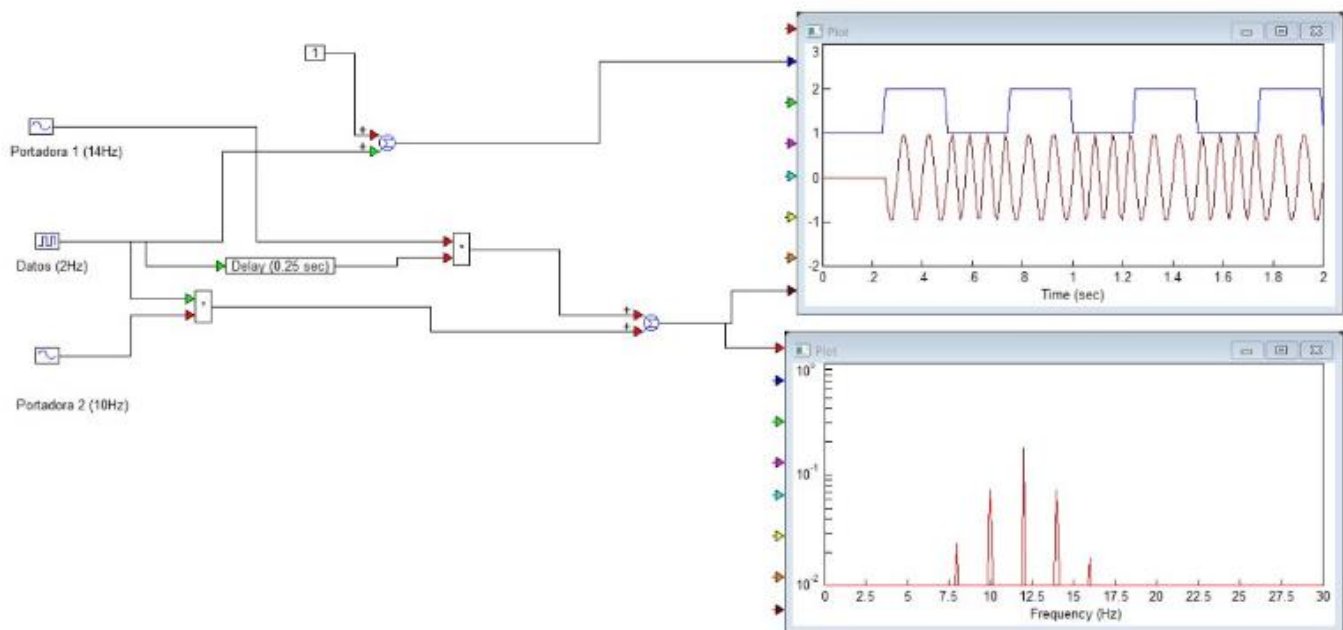
## Responda

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

El delay lo que en realidad está haciendo es cambiando la fase de la señal. Esto se debe a que cuando uno hace una FSK en realidad está haciendo dos ASK, por lo cual lo que resulta necesario es que la una de las ASK transporte los "1" de la señal y la otra ASK transporte los "0", o sea que cada una de las ASK que componen la FSK contenga la mitad de la información de la señal original. Para esto se duplica la señal con el mensaje y una de las dos se la invierte a fin de por representar en una ASK los "0". De ambos resultados de ASK cuando los sumemos, vamos a denotar que van a encastrar perfectamente, debido a que cada una de ellas va a tener la información (en frecuencias) complementaria a la otra en referencia a la señal original.

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

Forma de onda FSK para datos 2Hz



Espectro FSK para datos 2Hz

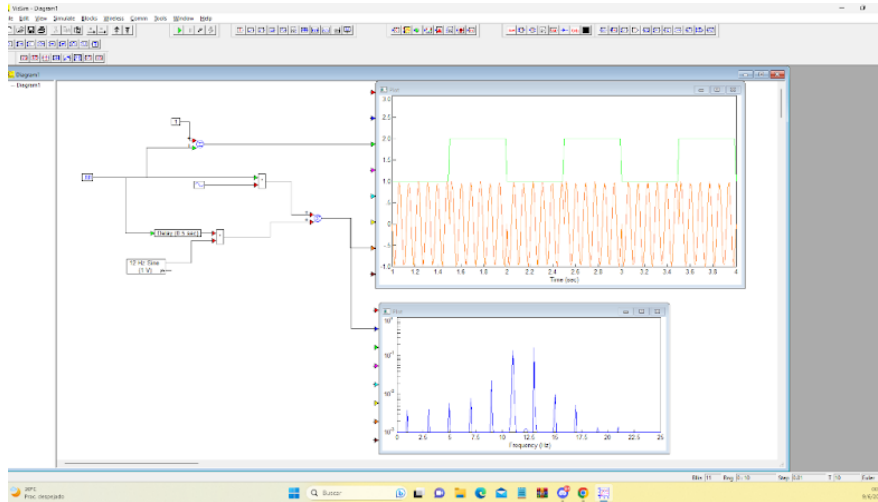
Explique que cambió.

Principalmente lo que cambió al momento de reemplazar por una señal de 2hz es el delay, ya que el mismo estaba configurado en 0.5 seg, porque ese periodo es el que da un desfase de 180 grados exactamente en la frecuencia de 1 hz por justamente tener el total de su periodo en 1seg, por lo tanto mitad de periodo = Inversión de fase ( giro de 180 grados ). Ahora bien, para lograr el mismo efecto en una señal de data, pero de 2hz hay que setear el delay en 0.250 seg, ya que un periodo de 2hz es 0.5 seg y la mitad de eso es 0.250seg. Ese es el primer punto para poder configurar y que funcione. El segundo ítem que se vio modificado son las portadoras, en este caso tuvimos que alejarlas para que no se choquen la banda positiva de la carry inferior con la banda negativa de la carry superior y así dejar que cada una de ellas pueda desarrollar, aunque sea la fundamental como primer frecuencia posterior al carry y que de esa manera la información se conserve. Ese fue el segundo aspecto.

# Modulación PSK

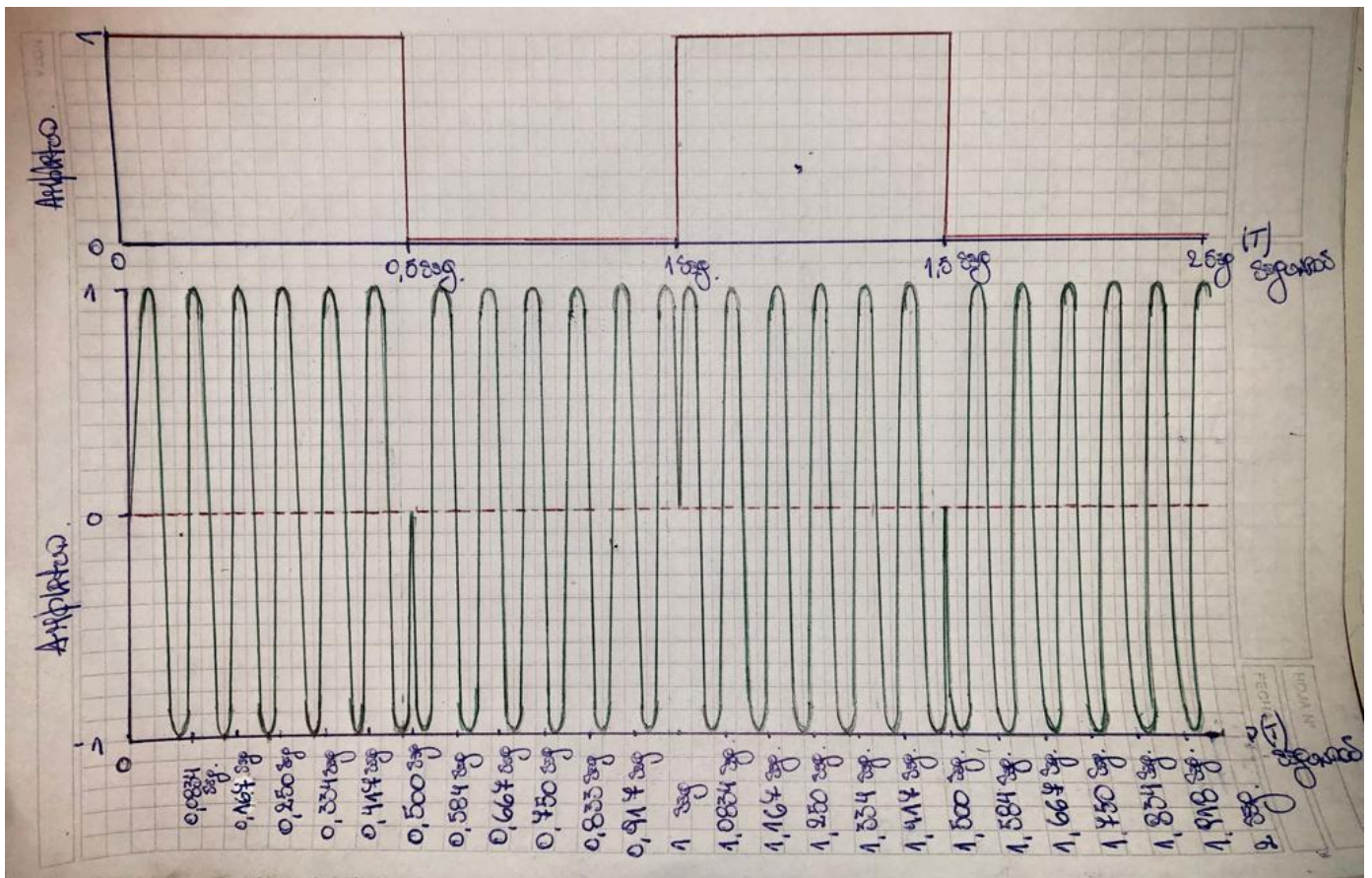
De forma similar a lo hecho con ASK y FSK, simule una modulación **BPSK**, dibuje el esquema utilizado y las formas de onda y espectro de la señal modulada. Utilice como datos una onda cuadrada de 1Hz y como portadoras dos señales de **12Hz** desfasadas **180** grados

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

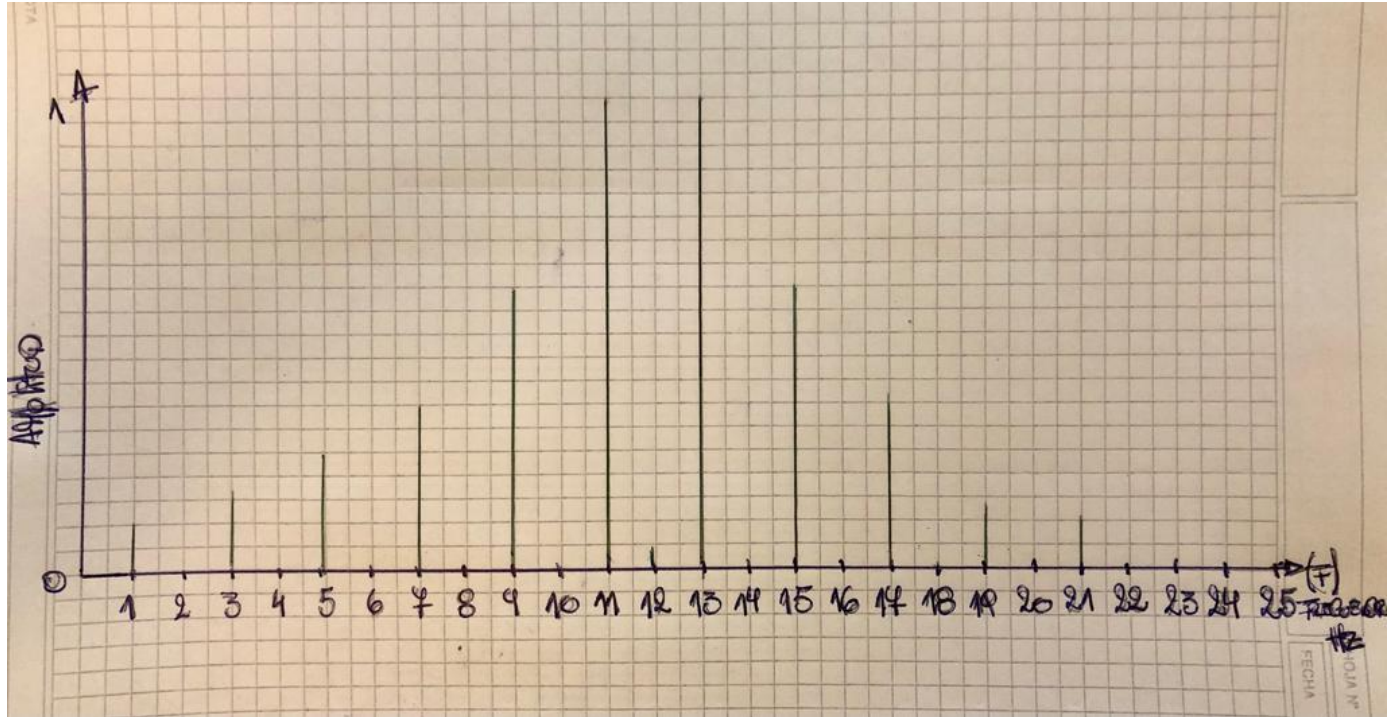


Dibuje a mano la forma de onda y el espectro de la señal modulada.

## Forma de onda modulación PSK



## Espectro modulación PSK



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

En la portadora de la PSK lo que se puede observar, en este caso siendo la misma 12 hz, es que no se encuentra reflejada en el análisis espectral, esto se debe a que como se encuentra la misma transportando la señal en fase 0 y en fase 180, esta misma se cancela consigo misma. Esto sucede en la PSK y no en la FSK ya que en la segunda se usan dos frecuencias distintas como portadoras de la modulación, debido a que lo que varia es justamente la frecuencia en su modulación, sin embargo en la PSK la señal data es transportada tanto en fase 0 como invertida, pero en este último caso la carry resulta ser la misma que a su vez también se encuentra invertida en su fase y por ende, se cancelan. Es así como desaparece y quedan únicamente las bandas laterales para ser transportadas.



---

## 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.

En resumen, lo primero que podemos percibir, al estudiar de manera básica las tres técnicas de modulación descritas en este trabajo, es que tanto la ASK (Variación de amplitud) como la FSK (Variación de frecuencia) y la PSK (Variación de Fase) son muy importantes para el desarrollo de los sistemas de comunicación ya que cada una de ellas permite, a su manera, aprovechar distintas dimensiones de las señales con las que transportamos la información (lo más valioso en sistemas). Esto es así tanto para una mejor eficiencia (al momento de que sea transportada distancias enormes) como también para optimizar la capacidad de transmisión de datos.

A continuación daremos un breve repaso por los aspectos más relevantes que nos presenta cada una de ellas y aprovecharemos para comentar detalles que nos han parecido tanto interesantes como relevantes.

## Modulación ASK

En este tipo de modulación, la señal a TRANSMITIR puede VARIAR en función del dato que TRANSMITE:

- \* Si el valor del dato es 0 (cero), lo toma como una ausencia de señal.

- \* Si el valor del dato es 1 (uno), lo toma como una presencia de señal.

En su ESPECTRO podemos ver la fundamental con sus RESPECTIVAS armónicas, tanto POSITIVAS como NEGATIVAS en ambas bandas laterales. El ancho de banda viene dado por la banda de paso en la que la señal modulada va a ocupar el total del canal.

Es importante mencionar que, por su característica, la modulación ASK es muy sensible al ruido (lo que implica, más que pérdida, una modificación de los datos desmodulados).

La modulación ASK es de las técnicas más sencillas al momento de modular ya que trabaja multiplicando la señal de dato por la señal portadora y así logra su cometido. Si bien esta simpleza tiene ciertas debilidades asociadas a la sensibilidad al ruido, no deja de ser una técnica fundamental para el entendimiento y el desarrollo de los tipos de modulaciones.

## Modulación FSK

En esta modulación, se afecta a la FRECUENCIA portadora según el dato. Con un dato 0 (cero) se envía una frecuencia A y con un dato 1 (uno) se envía una frecuencia B.

Su ESPECTRO es similar a sumar dos ESPECTROS de modulación ASK (Es acá donde se denota lo señalado párrafos arriba.) Aquí, al estar trabajando con 2



Señales portadoras de distinta frecuencia (y como en todos los sistemas de comunicación, el ancho de banda es limitado), es muy importante que en base a la señal que se va a modular se elijan de manera eficiente las señales portadoras ya que esto evitará que el contenido armónico de la suma de ambas ASK no termine perjudicando la señal resultante. Es importante comentar que esta técnica exige que la señal de datos sea duplicada e invertida al momento de modularse. Este proceso es de vital importancia ya que permite recrear los momentos en donde la señal de datos es 1 o en donde pasa a ser 0 (cero).

Esta modulación, a diferencia de la ASK, resiste mejor al ruido ya que su señal modulada codifica al 0 (cero) o al 1 (uno) según cambia la frecuencia, logrando así que, al recibirla, el receptor sólo deba identificar los cambios de frecuencia.

### 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 ASK.

La modulación PSK también es resistente al ruido ya que sólo diferencia entre 0 (cero) y 1 (uno). Además, al cancelar a la portadora por los mismos cambios de fase que va realizando, deja en consecuencia más energía disponible en la transmisión para el resto de los armónicos, pudiendo de esta manera optimizar recursos más eficientemente. Hay varias técnicas para lograr este proceso.

En principio nosotros hemos trabajado con la técnica de duplicar la señal de datos y la portadora. En este caso, y a diferencia de la FSK, sin cambiar

HOJA N°  
FECHA

Frecuencias, pero si invirtiendo tanto la data como la portadora para lograr el resultado esperado.

Como observación final, luego de haber hecho un breve recorrido por estas técnicas, lo más interesante a destacar es que la posibilidad de encontrar diversas maneras de manipular las señales a transmitir a fin de obtener el mayor provecho posible tan sólo usando tres herramientas muy elementales. La multiplicación, suma e inversión de señales. En este sentido, ver que los desarrollos en la materia han planteado un abanico de posibilidades, nos permite entender que estamos tan sólo ante la punta del iceberg de lo que posiblemente será el devenir tecnológico en esta rama, y esto, en el fondo, resulta enormemente motivador.