

# Modulación

## Trabajo Práctico

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

### Bibliografía

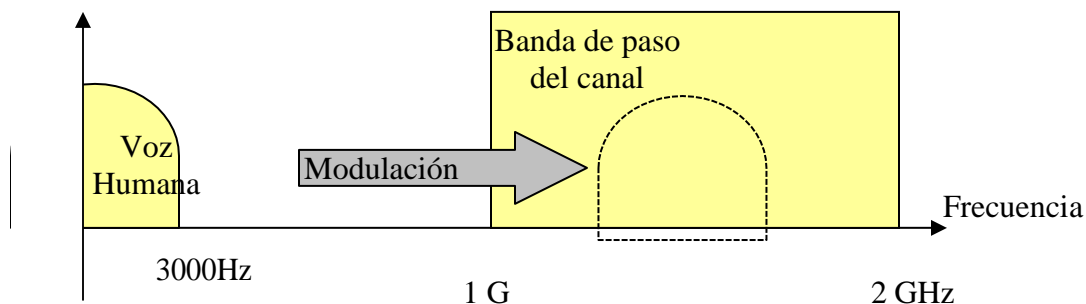
Comunicaciones de Datos, Fred Halsall, Cap 2

---

### Modulación

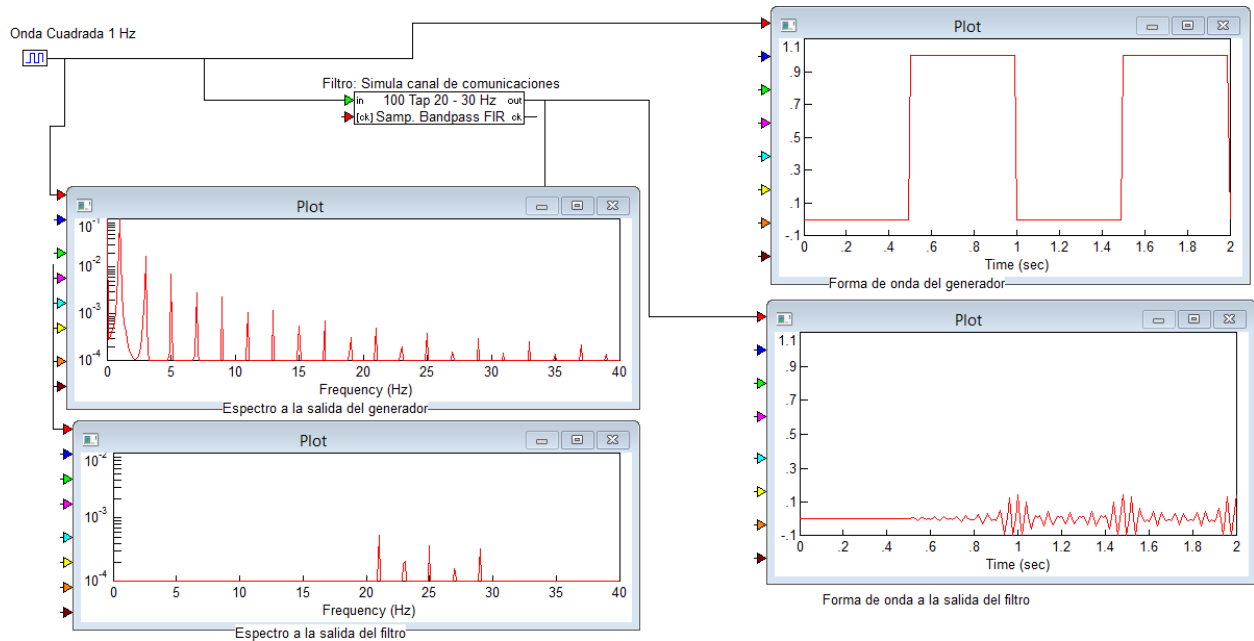
Cuando se trata de transmisión de información nos encontramos con el problema de hacer pasar la señal de datos (Ej.: *Voz humana*) por el canal de comunicaciones (Ej.: canal de Microondas).

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

*Observamos que se encuentra un filtro que solo permite el paso de las bandas entre 20Hz a 30Hz. Observando los dos gráficos de frecuencia vemos que la fundamental (1Hz) y la mayoría de las armónicas con mayor amplitud que conforman la onda cuadrada no puedan pasar por el filtro. Esto afecta a la onda, observable en el grafico pasa por el filtro la onda posee amplitud de pico negativa y las amplitudes positivas son menores que en el grafico sin filtro y además estas se dan en tiempos en los que sin filtro la amplitud disminuye a 0. Como conclusión obtenemos que: al pasar la onda cuadrada por un filtro, se restringe la entrada de las frecuencias fuera del rango de este, ya sean, superior o inferior. De esta manera, una vez que se lo atraviesa, la onda cuadrada se pierde y solo queda la suma de las ondas sinusoidales cuyas frecuencias sí estaban dentro del rango del filtro pasa banda.*

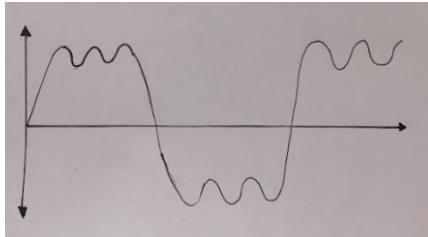
Tal como esperábamos, a la salida del canal de comunicaciones **no tenemos** la onda cuadrada de **1Hz** usada como señal de información. Es decir, debemos “modular” la entrada del canal.

# 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  $V_d$

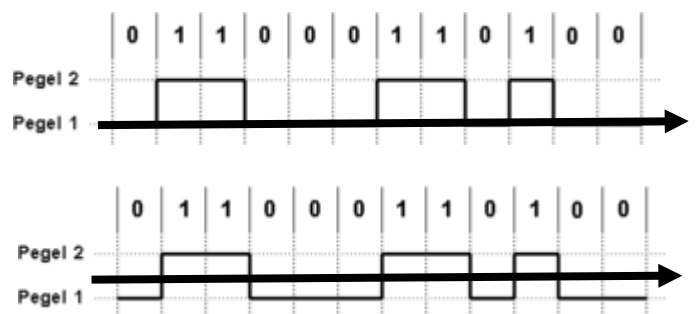
Graficamos con Graphmatica  $V_{ask} = V_d * V_p$ , imprimimos el gráfico y lo pegamos en el recuadro correspondiente de la próxima hoja.

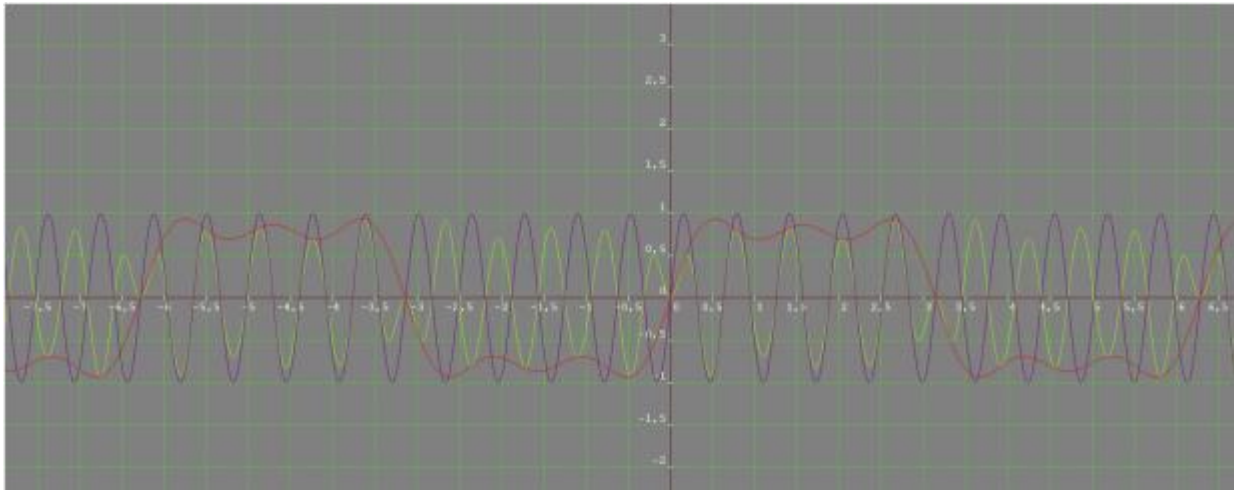
**IMPORTANTE:** La onda de datos ( $V_d$ ) DEBE ser retorno a cero (RZ), por lo cual antes de ingresarla en el Graphmatica puede ser necesario transformarla.

NOTA:

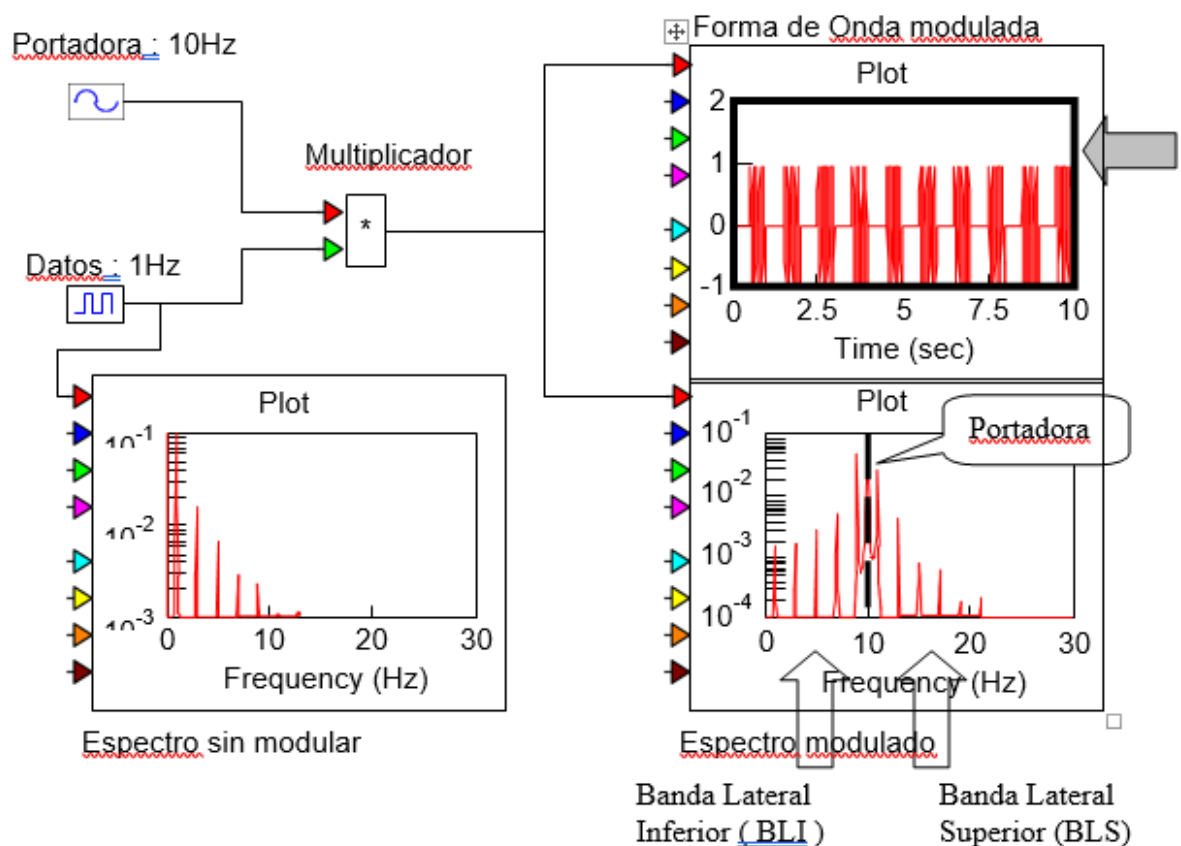
**Retorno a Cero (RZ)** es un sistema de codificación usado en telecomunicaciones en el cual la señal que representa al bit retorna a cero en algún instante.

**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.

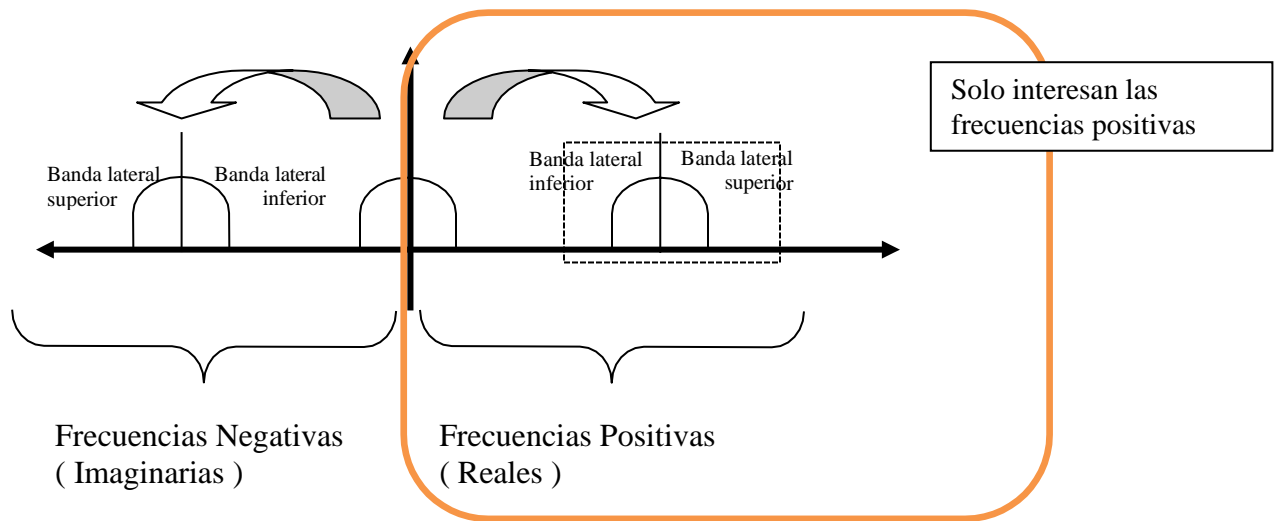
Arme ahora otro ejemplo similar al anterior, pero con la señal de datos en **2 Hz** en lugar de 1Hz. Compare dibujando a mano en la tabla siguiente (indique las escalas horizontales).

	Datos : 1Hz	Datos : 2 Hz
<b>Forma de onda 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>		

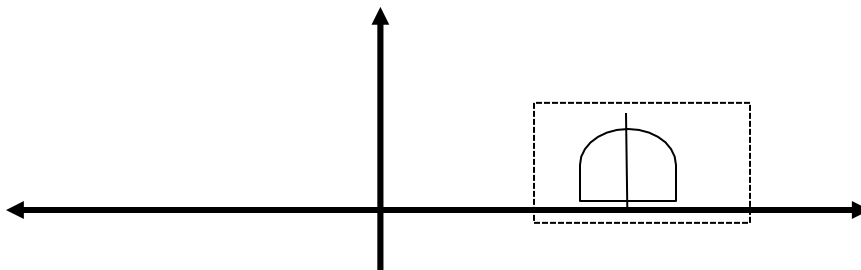
**Hasta ahora:** Mediante la multiplicación de la señal de datos (cuadrada RZ) con la señal portadora (sinusoidal) se trasladó el espectro de la señal de datos que antes estaba centrado en cero a estar centrado en el valor de la señal portadora.

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

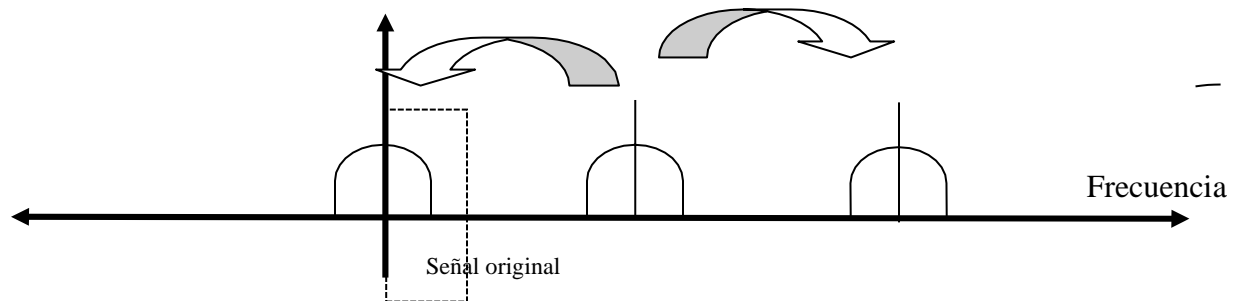
**Algunos conceptos básicos:** Al multiplicar trasladamos el espectro en una cantidad igual a la de la frecuencia de la portadora y HACIA AMBOS LADOS ( En la primera explicación no se tomaron en cuenta las frecuencias negativas ) . O sea que a la salida del multiplicador tenemos , ver dibujo.



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

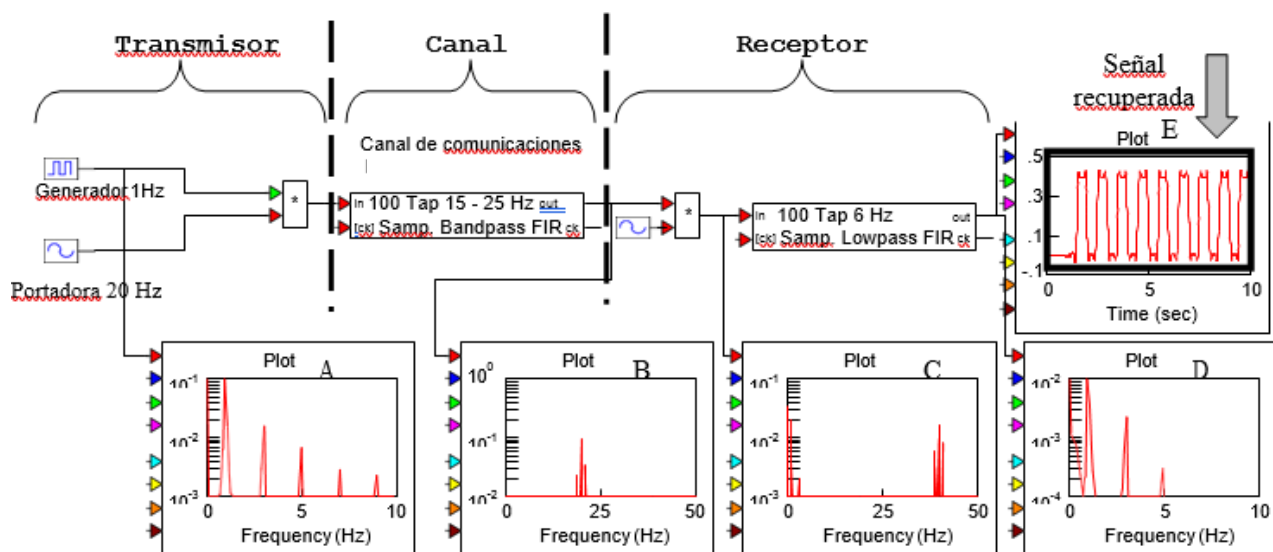


Ya a la salida del canal nos interesa volver a transportar la señal al lugar en que se encontraba originalmente, para ello si volvemos a multiplicar por la misma portadora, se traslada nuevamente el espectro, tanto como la frecuencia portadora.



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:** se observa el espectro directamente del generador de onda cuadrada de 1Hz. Esta muestra la fundamental y 4 armónicos.
- **Plot B:** se observa la señal multiplicada por la transportadora luego de pasar por el filtro pasa banda de 15Hz a 25Hz. Obteniendo una fundamental y sus armónicas entorno a los 20Hz. Si se deja tal cual el ejemplo pasa como si fuera una sola armónica, pero al ajustar la salida del plot se confirma la existencia y armónicas.
- **Plot C:** luego de multiplicar nuevamente por la portadora obtenemos varios grupos de armónicas las de mayor frecuencia entorno a los 40Hz y el grupo de menor frecuencia entre los 0Hz y 3Hz.
- **Plot D:** luego de pasar por un filtro pasa bajos quedan las armónicas de menor frecuencia anteriores. Entre 0Hz y 3Hz.
- **Plot E:** en este plot se observa la onda cuadrada original.



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

- **Plot A:** al duplicar la frecuencia se produce el corrimiento de las armónicas. Al ser de 2Hz, la fundamental se encuentra en los 2Hz y las armónicas comienzan en 6Hz, y continúan en 10Hz, 14Hz, 18Hz etc.
- **Plot B:** al no modificarse el Carrier el resultado es igual a la anterior con la excepción de obtener menos armónicas.
- **Plot C:** se obtiene el resultado de la multiplicación.
- **Plot D:** se obtiene la fundamental y una sola armónica debido al filtro pasa bajos y al anterior filtro pasa bandas.
- **Plot E:** Al poseer menos armónicas se modifica la señal obtenida.

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

Para el caso de una frecuencia de onda cuadrada de 1Hz:

- Cuanto menor sea el valor del filtro pasa bajos la forma de la señal será cada vez más parecida a una onda seno. Mientras que al aumentar el mismo la forma será más parecida a una onda cuadrada.

Para el caso de una onda cuadrada de 2Hz:

- Debido a la actuación de los filtros anteriores un aumento en la señal del filtro no producirá ningún cambio.

### **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 -).

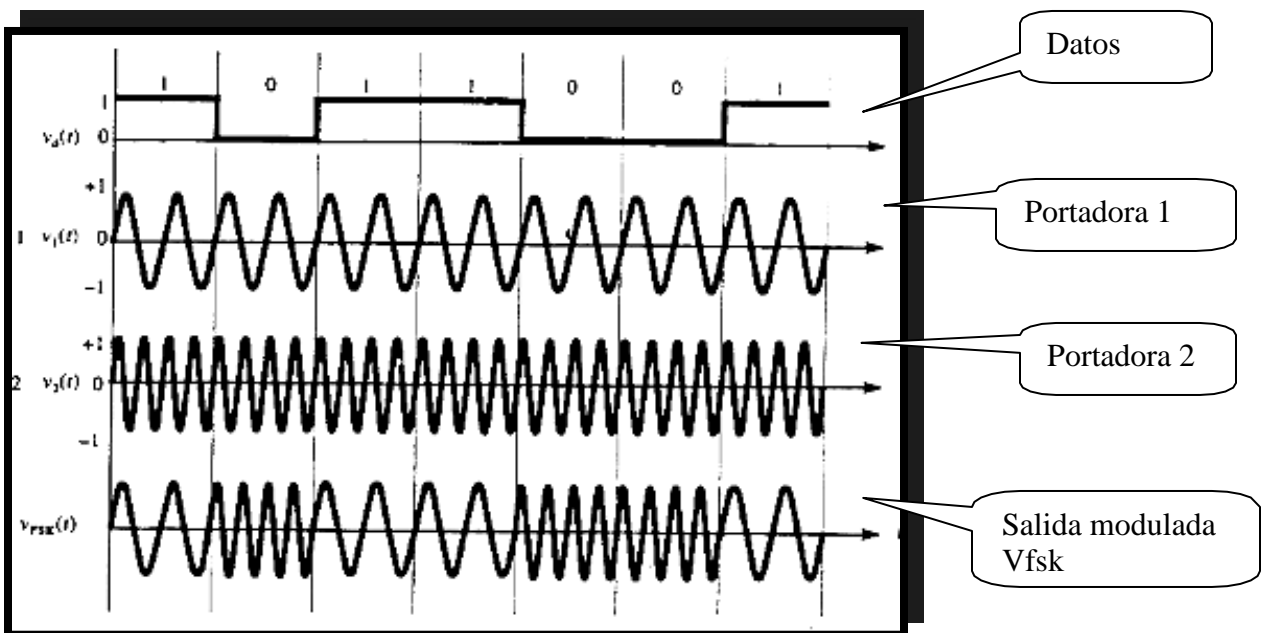
Nótese que la información en **ASK** se encuentra en la **Amplitud** de la señal modulada.

# 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

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

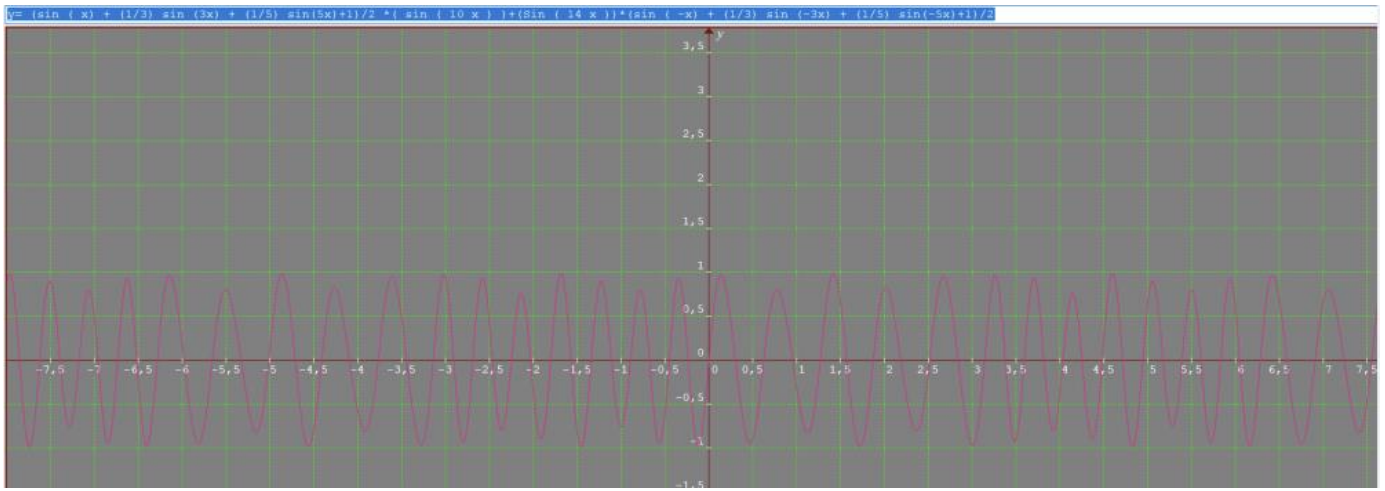
$$V_{c2} = \text{Sen}(14x)$$

Según lo dicho:

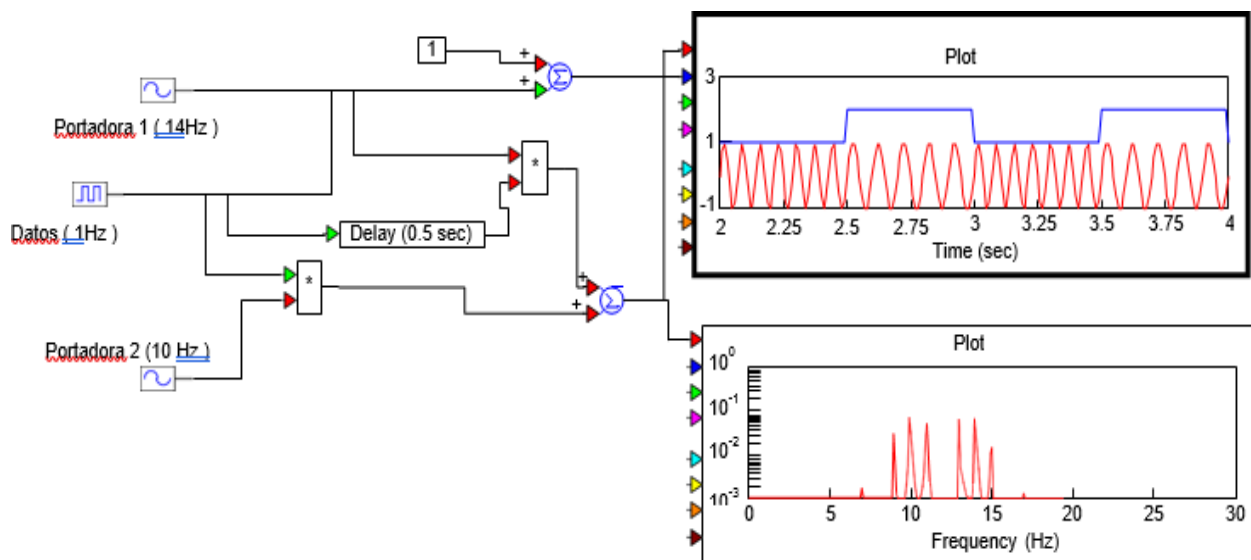
$$V_{fsk} = V_d * V_{c1} + V_d' * V_{c2}$$

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

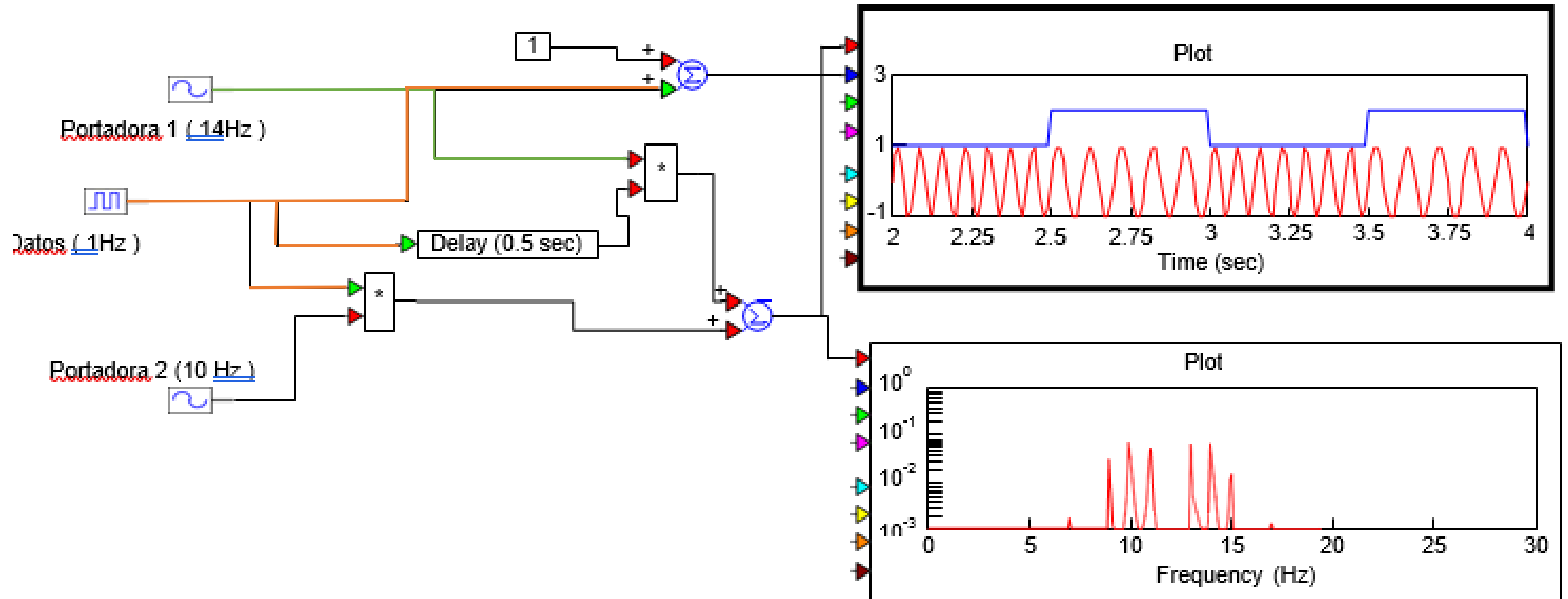
Representamos  $V_{fsk}$  con el graphmatica, lo imprimimos y pegamos a continuación:



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.

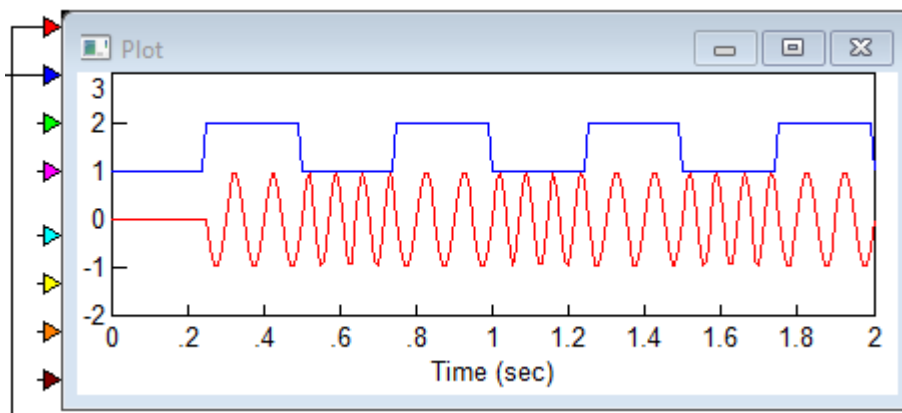
### Responda

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

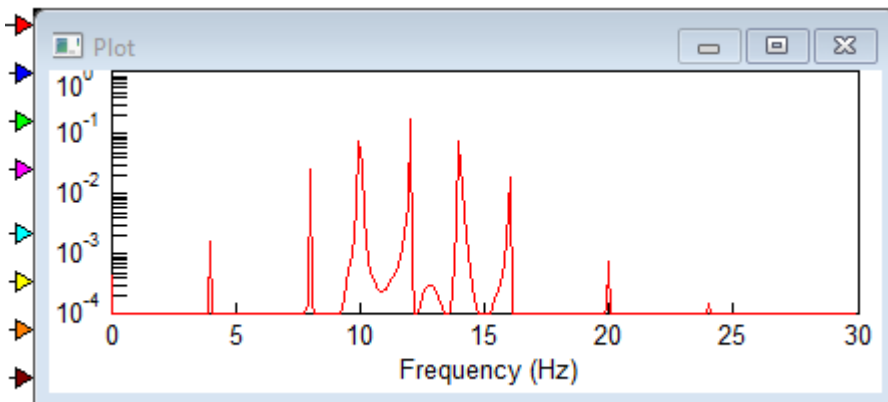
*Su función es retrasar la señal de onda cuadrada en 1 Hz a fin de sincronizar las señales ASK y evitar errores en la recepción con valores 0.*

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

Forma de Onda



Espectro



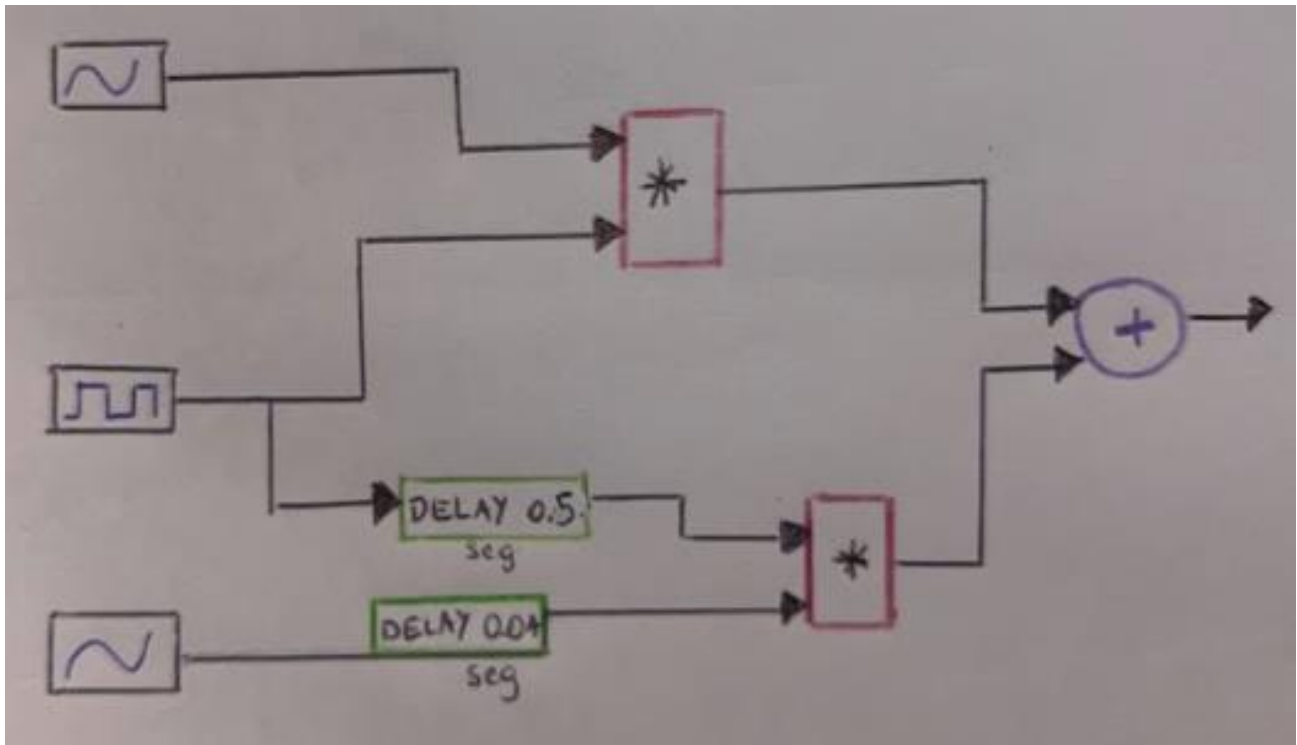
Explique que cambió:

*Al cambiar la señal de datos de 1 Hz a 2 Hz, significa que el ciclo de una señal va a cambiar de 1 segundo a 0,5 segundos. Entonces, al usar un delay de 0,5 segundos para invertir una señal de 1Hz (1 ciclo por segundo), tuve que usar un delay de 0,25 segundos para invertir la señal de 2 Hz (2 ciclos por segundo) para que cada ASK tenga valores distintos a 0 cuando la otra esté en 0.*

## Modulación PSK

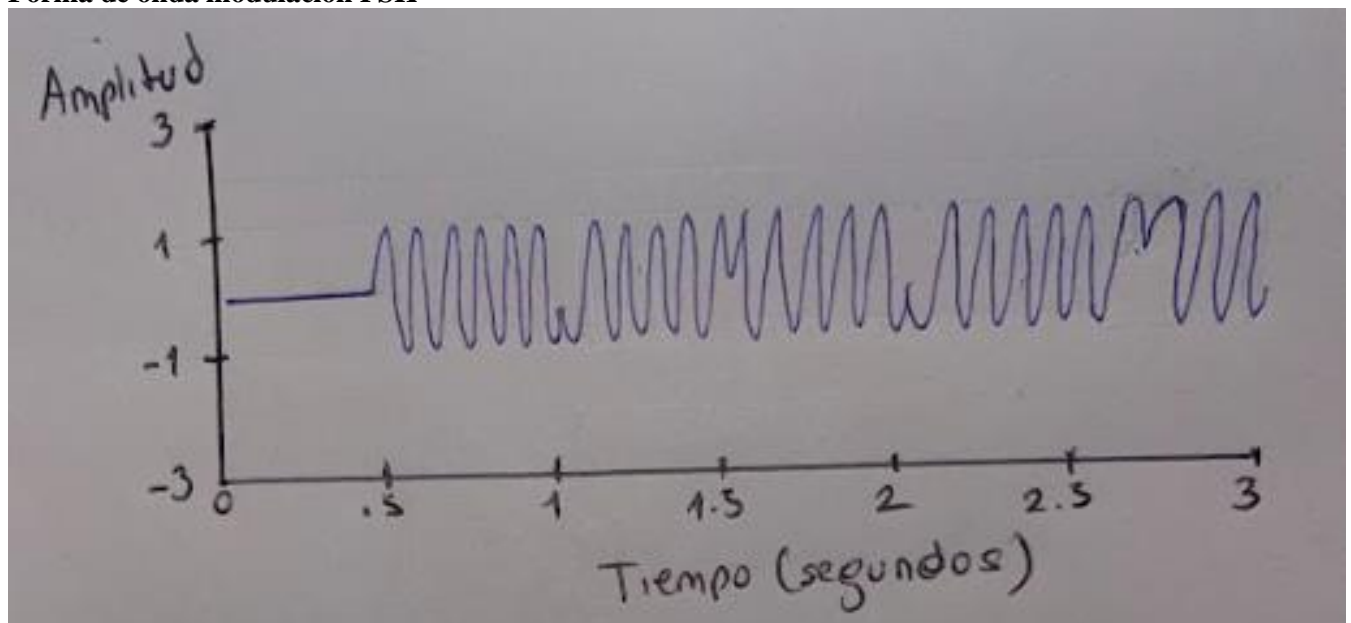
De forma similar a lo hecho con ASK y FSK, simule una modulación **BPSK**, dibuje el esquema utilizado y las formas de onda y espectro de la señal modulada. Utilice como datos una onda cuadrada de 1Hz y como portadoras dos señales de **12Hz** desfasadas **180** grados.

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

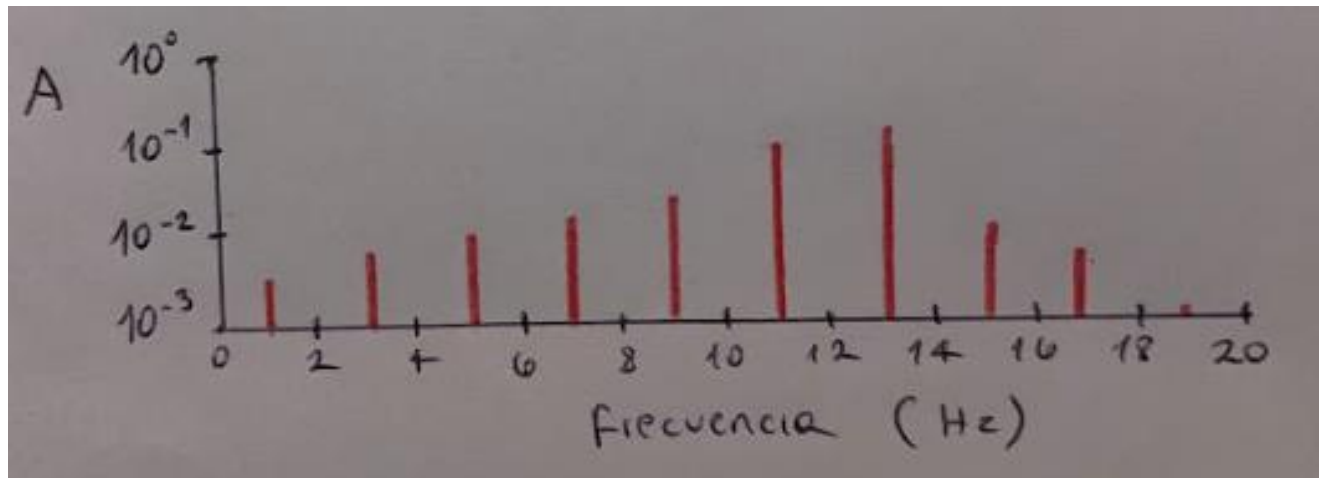


Dibuje a mano la forma de onda y el espectro de la señal modulada.

Forma de onda modulación PSK



## Espectro modulación PSK



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

*A pesar de tener 2 portadoras tiene una salida única en los gráficos. Cumple el desfase de los 180 grados cada medio segundo mostrando en el gráfico de frecuencia transmisión de datos entre los 8 a los 12h*



---

## 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 se utiliza para transmitir datos sobre los canales de comunicación. Hay distintas técnicas y cada una ventajas y desventajas por sobre la otra.

MODULACIÓN ASK (Amplitude Shift Keying):  
Se varía la amplitud de la señal portadora para representar los datos.

MODULACIÓN FSK (Frequency Shift Keying):  
Se varía la frecuencia de la señal portadora para representar los datos.

MODULACIÓN PSK (Phase Shift Keying):  
Se varía la fase de la señal portadora para representar los datos.

MODULACION	ESPECTROS	RESISTENCIA AL RUIDO	ANCHO DE BANDA
ASK	Centrado en las frecuencias y tiene componentes discretas en función de los cambios de amplitud.	Es más susceptible al ruido debido a los cambios de amplitud lo que degrada la calidad de la señal.	Ancho de banda estrecho, lo que se codifica en la amplitud.
FSK	tiene dos componentes principales. Cada componente se envía en una frecuencia diferente y el espectro se extiende entre ellas.	tiene mejor resistencia al ruido dado que utiliza cambios de frecuencia. Es más robusta y tiene más recuperación.	requiere un ancho de banda más amplio. Por frecuencias, es necesario asignar un rango.
PSK	depende del número de fases utilizadas y la tasa de transmisión de datos. Si es binario el espectro tiene frecuencias y se usa para el espectro es más complejo.	también es resistente al ruido. Al modular la fase, la amplitud y las frecuencias no se ven tan afectadas.	depende del número de fases y la tasa utilizada. Para una misma tasa de datos, PSK requiere menos que FSK.

Rayton Group

En resumen, ASK, FSK y PSK son utilizadas en diversas aplicaciones de comunicación. ASK es simple pero más susceptible al ruido, mientras que FSK es resistente al ruido pero requiere más ancho de banda. PSK permite una alta eficiencia espectral y una mejor resistencia al ruido. Todas estas técnicas de modulación se utilizan en comunicaciones inalámbricas, transmisión de datos, televisión digital y telefonía móvil, etc.