



Trabajo Práctico Nº1

Modulación Digital

Alumnos:

Pellegrino, Juan P-3019/8

Ramírez, Fernando R-3888/1

Ramos, Nicolás R-3892/1

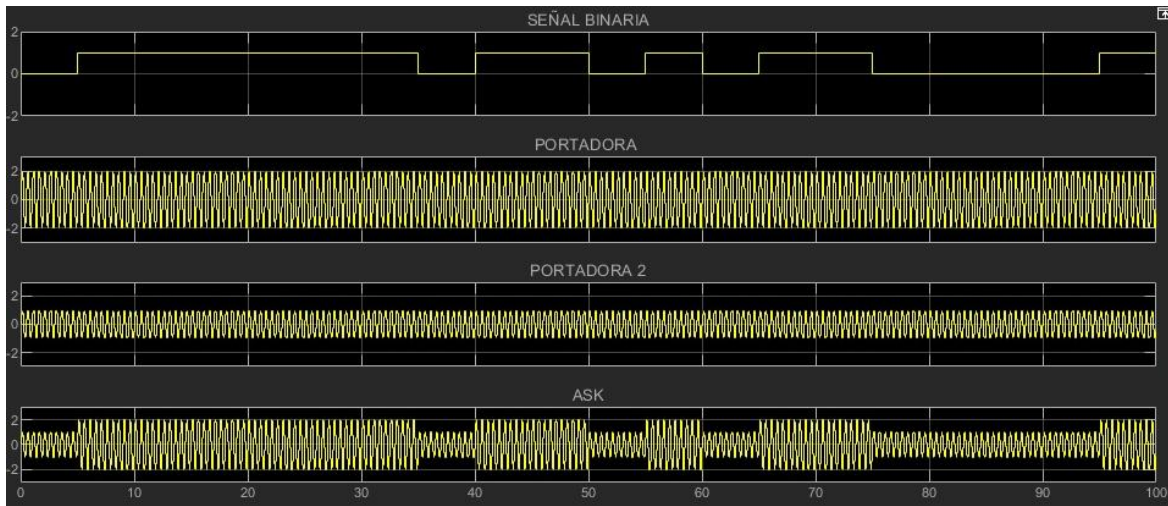


Figura 1b:
Señales en el
modulador



Figura 1c:
Señales en el
demodulador.

- $Amp1 < Amp2$

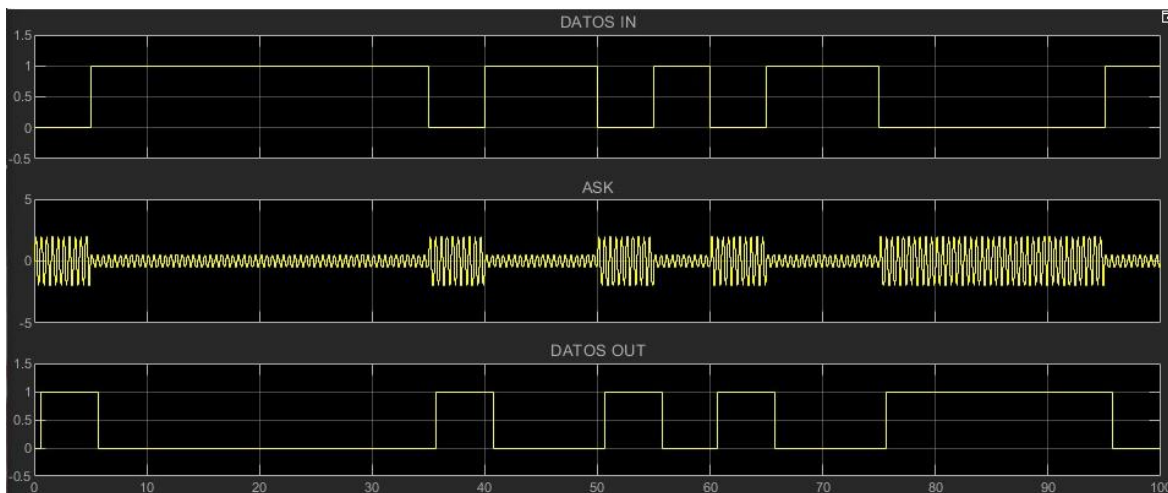


Figura 2a:
Señal de
entrada al
modulador,
señal
modulada y
señal
demodulada.

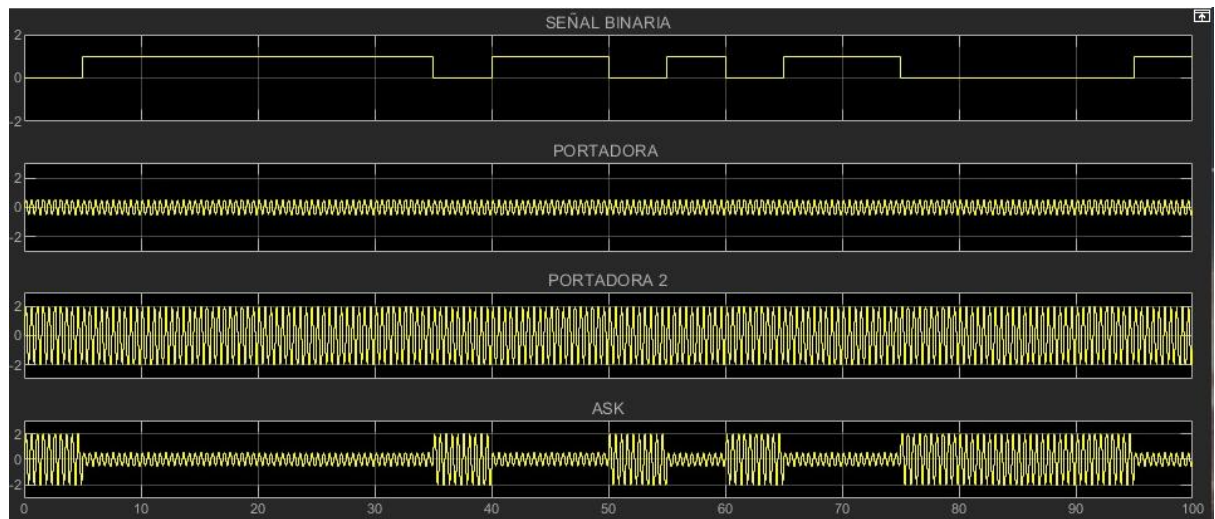


Figura 2b:
Señales en el
modulador



Figura 2c:
Señales en el
demodulador

- $\text{Amp1} \approx \text{Amp2}$

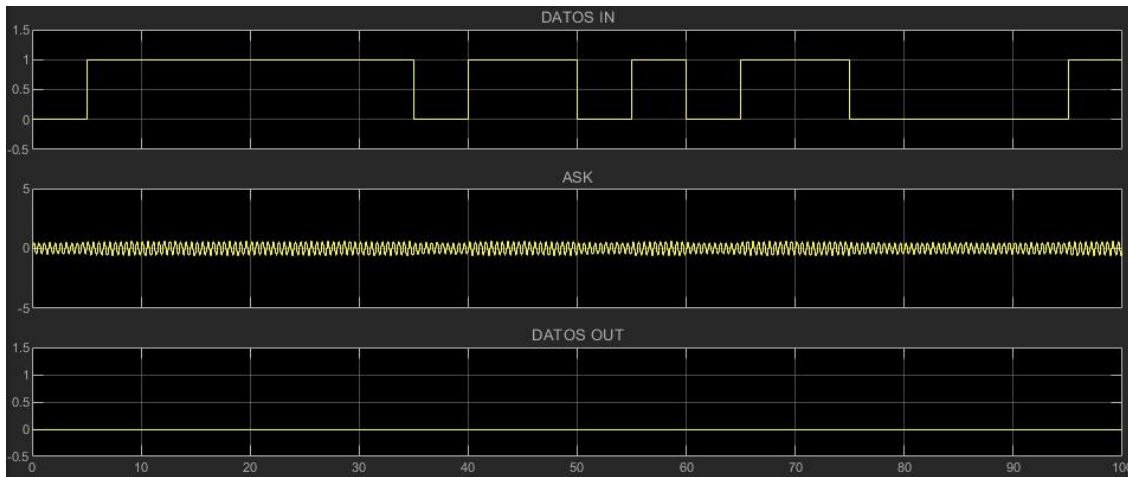


Figura 3a:
Señal de entrada al modulador, señal modulada y señal demodulada.

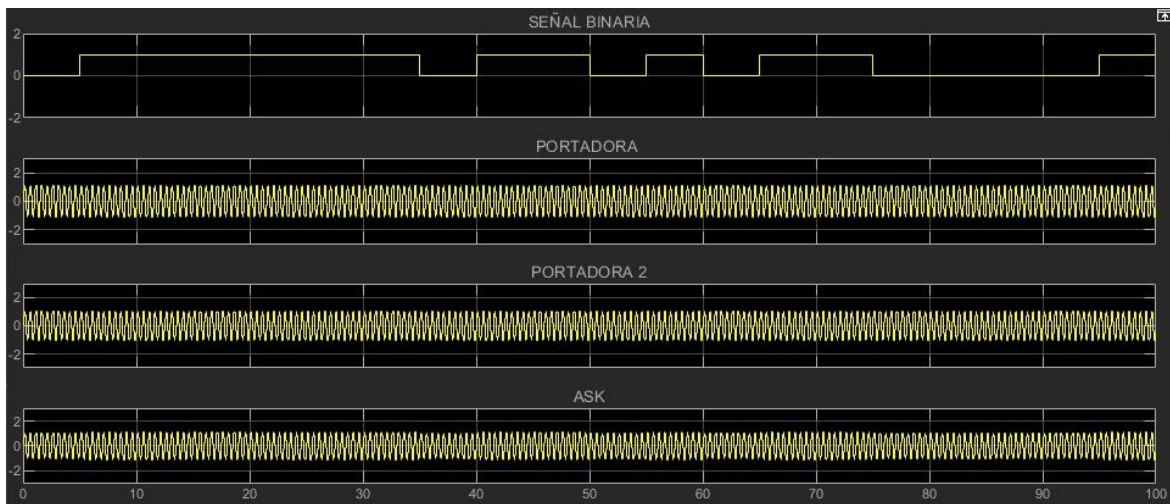


Figura 3b:
Señales en el modulador.

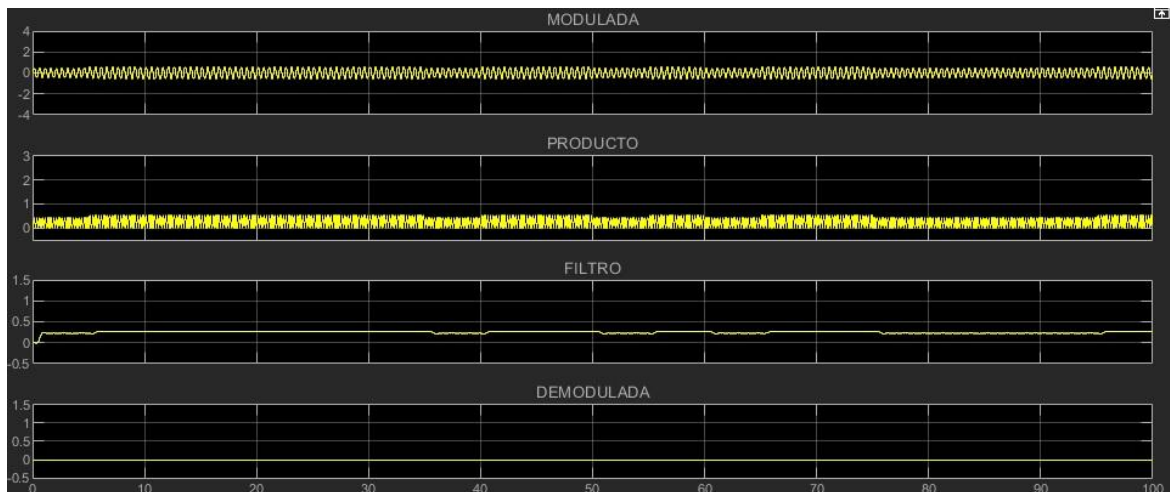


Figura 3b:
Señales en el
demodulador

- Amplitudes pequeñas (<1)

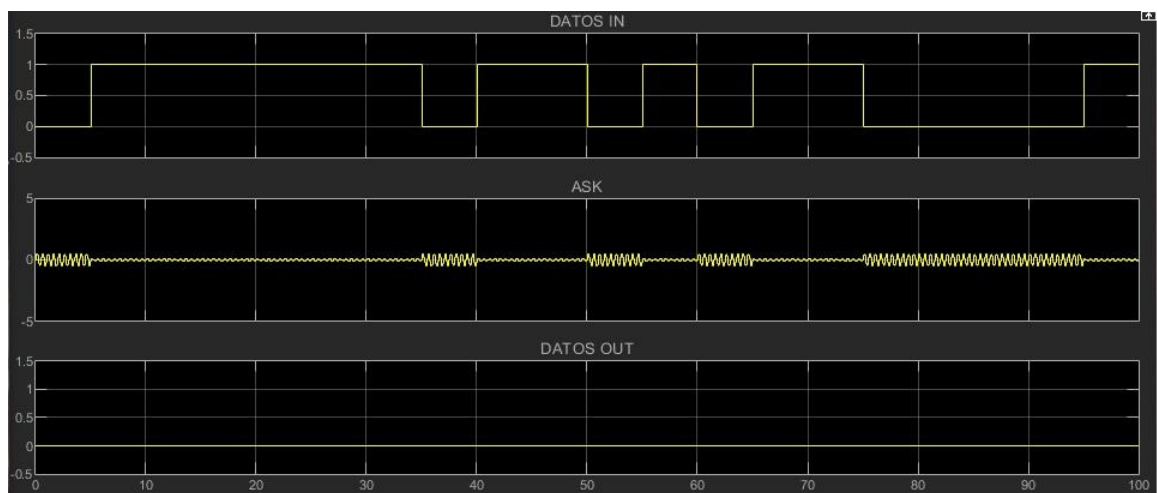


Figura 4:
Amplitudes
pequeñas

- Factor de frecuencia 1



Figura 5a:
Factor de
frecuencia 1

- Factor de frecuencia 10

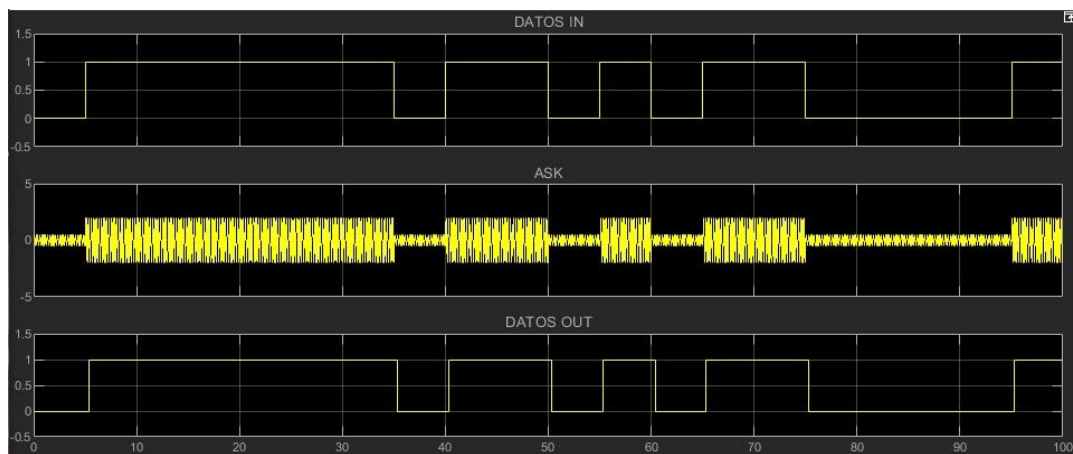


Figura 5b:
Factor de
frecuencia
10

Análisis ASK

Amp1>Amp2

Observamos en la *Figura 1a.* que se produce un desfase temporal entre la entrada la salida demodulada. Esto se debe a que el filtro no es ideal y su tiempo de respuesta mete un retardo en la comparación (ver *Figura 1c.*). Fuera de eso el sistema funciona tal cual lo sugiere la teoría.

Amp1<Amp2

En este caso vemos que la salida se invierte respecto a la entrada, y esto se debe a que el modulador selecciona una onda u otra dependiendo del bit de entrada, pero el demodulador distingue únicamente qué amplitud es mayor.

Amp1≈Amp2

En este último caso, las amplitudes son similares y cercanas al valor de comparación, luego de pasar por el filtro. Sucede que, para esa frecuencia, la ganancia del filtro pareciera ser 0.5. Vemos que el valor de la salida alterna entre '0' y '1' repetidas veces en muy poco tiempo. Esta alteración indeseada de la salida demodulada se debe al ripple existente en la salida del filtro y se produce por la no idealidad del mismo. Finalmente, este caso presenta un serio problema a la hora de demodular la señal.

Amplitudes pequeñas (gran atenuación en el medio)

Este caso presenta el inconveniente de detectar todos los bits como ceros, ya que las amplitudes de las ondas son menores que 1. Al ser la amplitud menor que 1 y filtrar la onda en el demodulador, la amplitud de salida se ve reducida (por la ganancia 0.5 del filtro) resultando menor al valor de comparación que usa el sistema para definir si el bit modulado se trata de un cero o un uno.

Factor de frecuencia 1

Al disminuir el factor de multiplicación de frecuencia estamos bajando la frecuencia de las señales senoidales. Si comparamos la *Figura 1a.* con la *Figura 5a.* vemos que el retardo introducido por el filtro es mayor y esto resulta en un desfase importante entre la entrada y la salida.

Factor de frecuencia 10

Por el contrario, si aumentamos el factor de multiplicación de frecuencia estamos subiendo la frecuencia de las señales senoidales. Si comparamos la *Figura 1a.* con la *Figura 5b.* vemos que el retardo introducido por el filtro es menor. Concluyendo que el aumento de frecuencia es inversamente proporcional al retardo introducido en el sistema.

MODULACION BPSK (BINARY PHASE-SHIFT KEYING)

La modulación BPSK (Binary Phase-Shift Keying) consiste en cambiar la fase de una señal portadora en función del símbolo que se desea enviar. En este sistema se transmiten dos símbolos y cada uno de ellos es representado por una señal portadora con fase 0 o π , pero de igual amplitud y frecuencia.

En el modelo provisto por la cátedra vemos que el bloque modulador consiste en un switch que selecciona entre dos portadoras, una con fase 0 y la otra con fase π , en función del valor que se encuentra a la entrada del bloque modulador. El cambio entre una portadora y la otra se realiza en el cruce por cero, evitando discontinuidades en la señal transmitida. Entonces, mientras el mensaje sea un '1', a la salida del modulador tendremos, por ejemplo, una señal senoidal con fase 0 y cuando el mensaje sea un '0', en la salida tendremos una señal senoidal con fase π .

Por otro lado, el demodulador realiza el producto entre la señal modulada y una portadora de fase 0. El resultado de este producto es una señal que oscila entre '0' y un valor positivo, si se está transmitiendo un uno, y entre '0' y un valor negativo, si se está transmitiendo un cero. Luego, un filtro es aplicado a esta señal, cuya salida es el valor medio de la señal de entrada y finalmente, mediante un comparador, se determina el mensaje recibido.

- Referencia (Amp=1 FF=1)

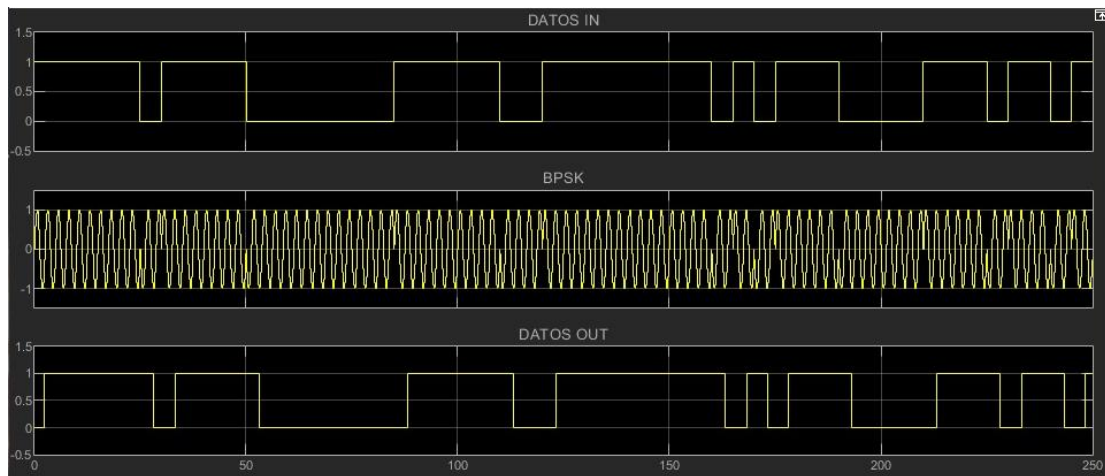


Figura 6a: Señal de entrada al modulador, señal modulada y señal demodulada

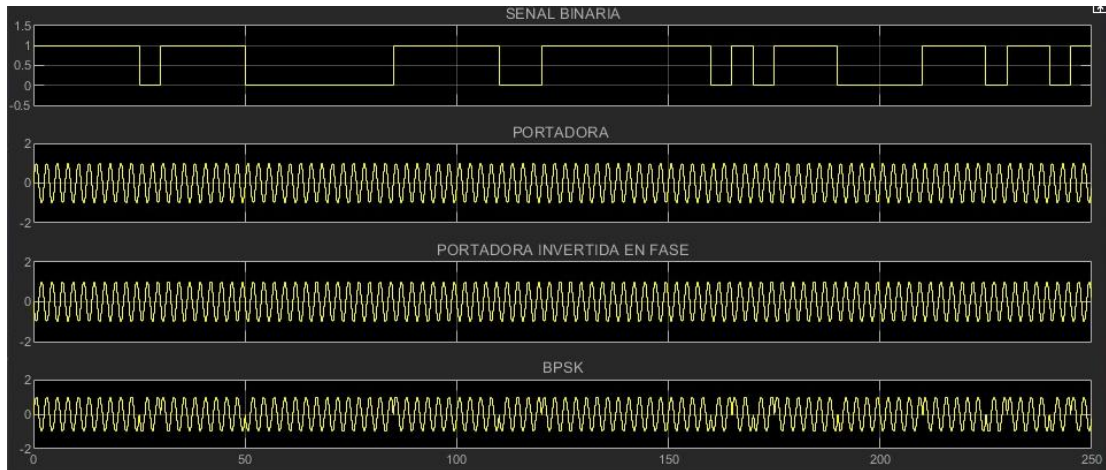


Figura 6b: Señales en el modulador

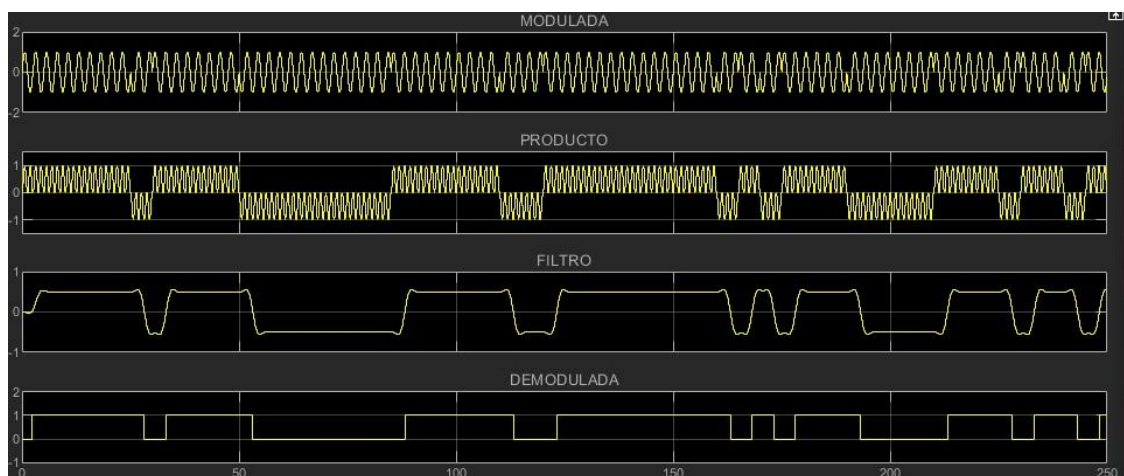


Figura 6c: Señales en el demodulador

- Amp=2

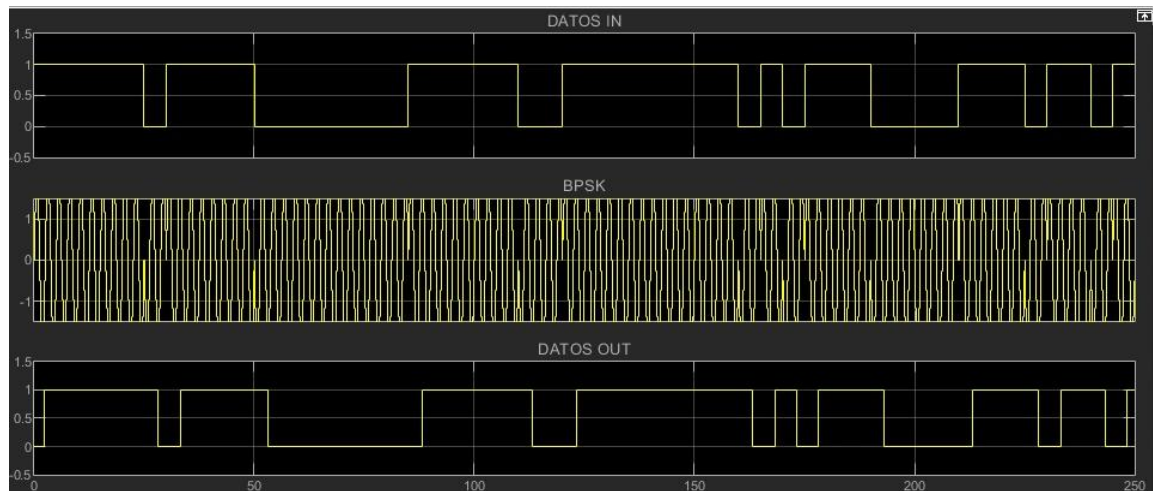


Figura 7a: Señal de entrada al modulador, señal modulada y señal demodulada

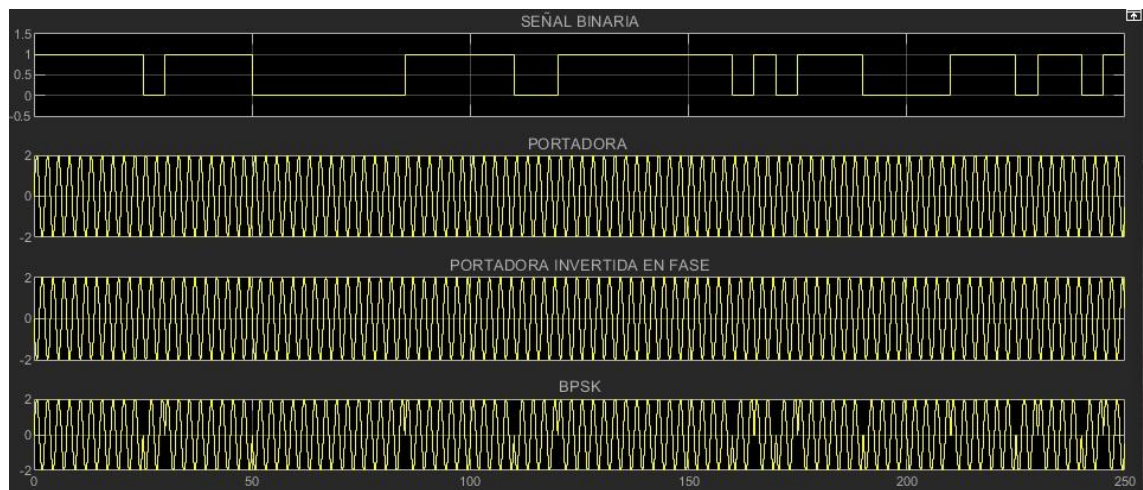


Figura 7b: Señales en el modulador

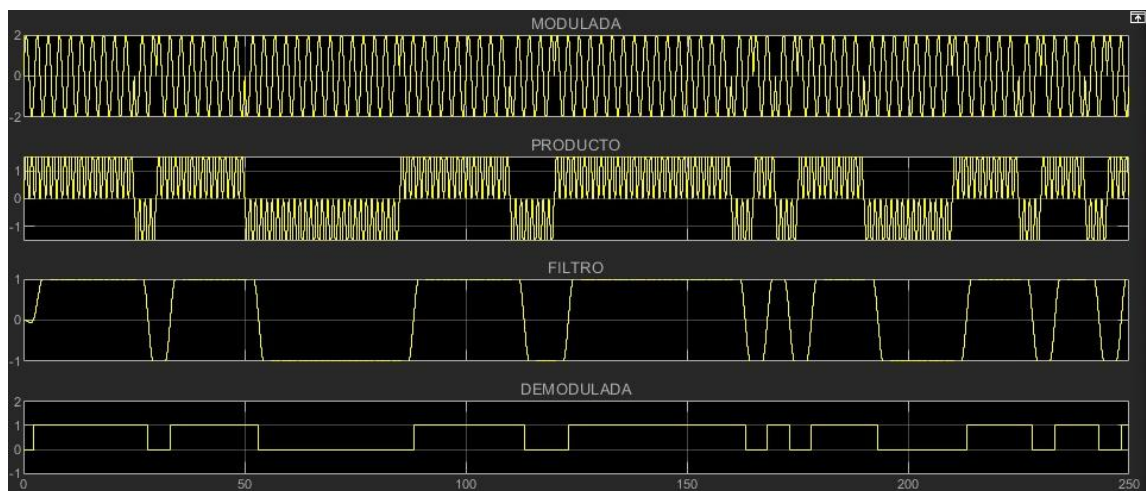


Figura 7c: Señales en el demodulador

- Amplitudes pequeñas

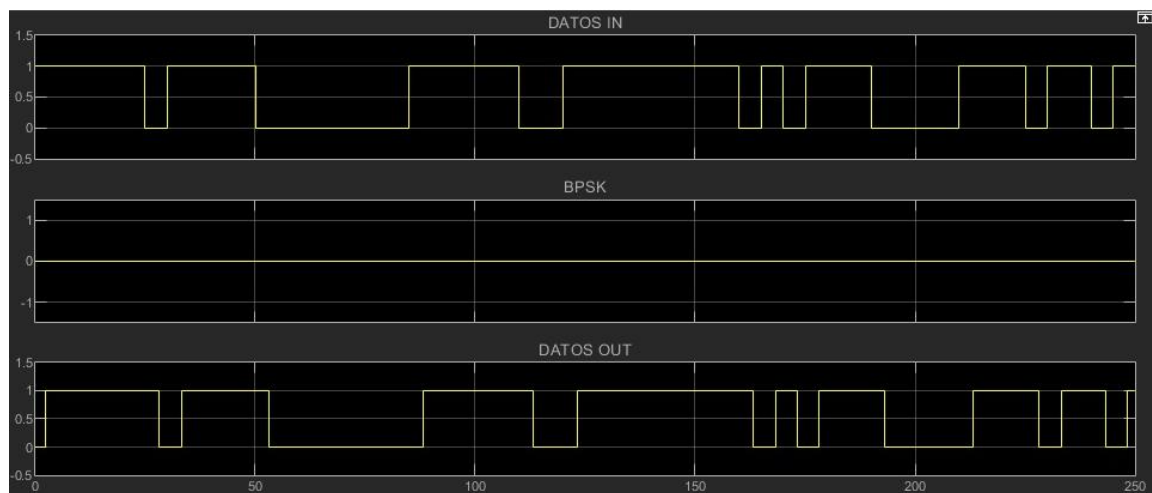


Figura 8a: Señal de entrada al modulador, señal modulada y señal demodulada

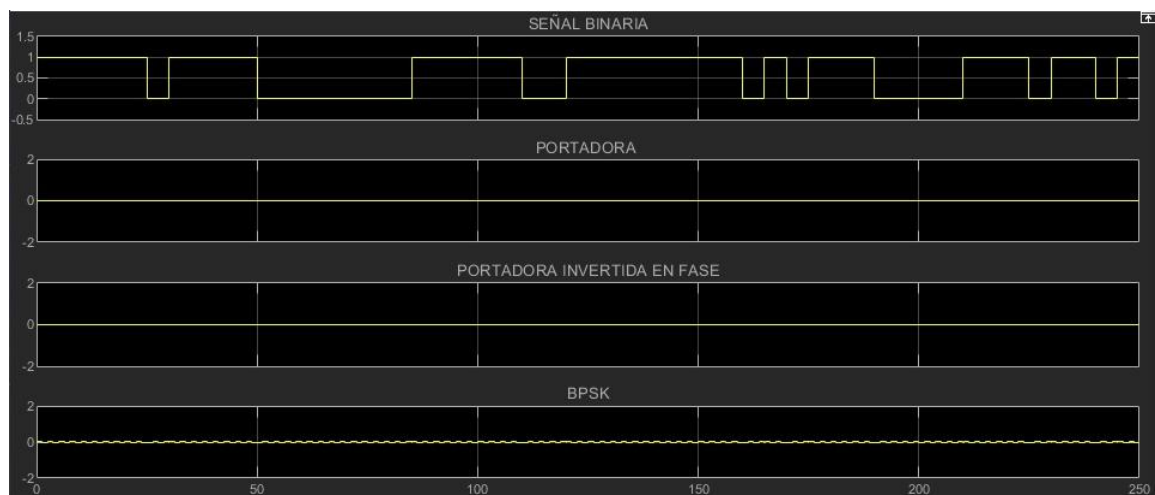


Figura 8b: Señales en el modulador

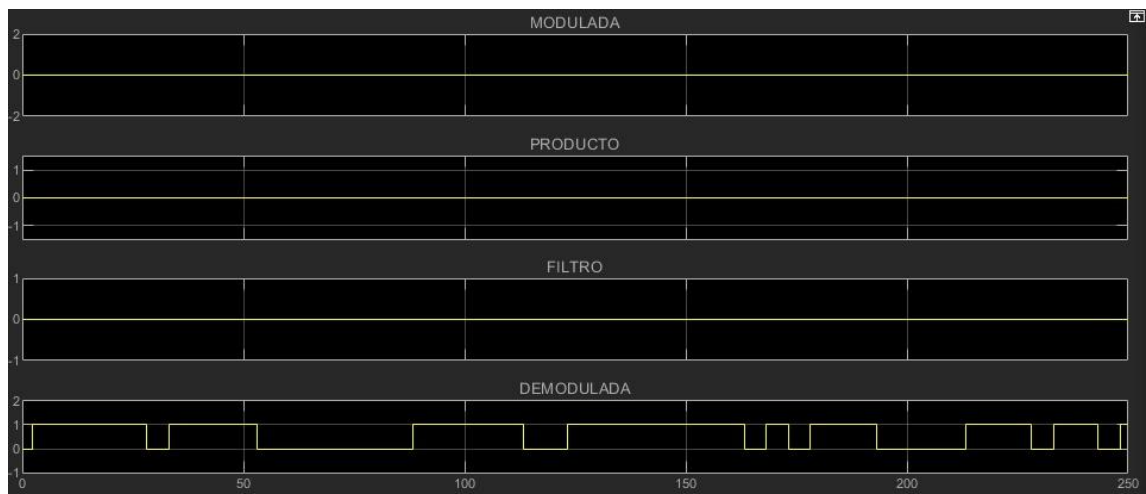


Figura 8c: Señales en el demodulador

- Factor de frecuencia 5

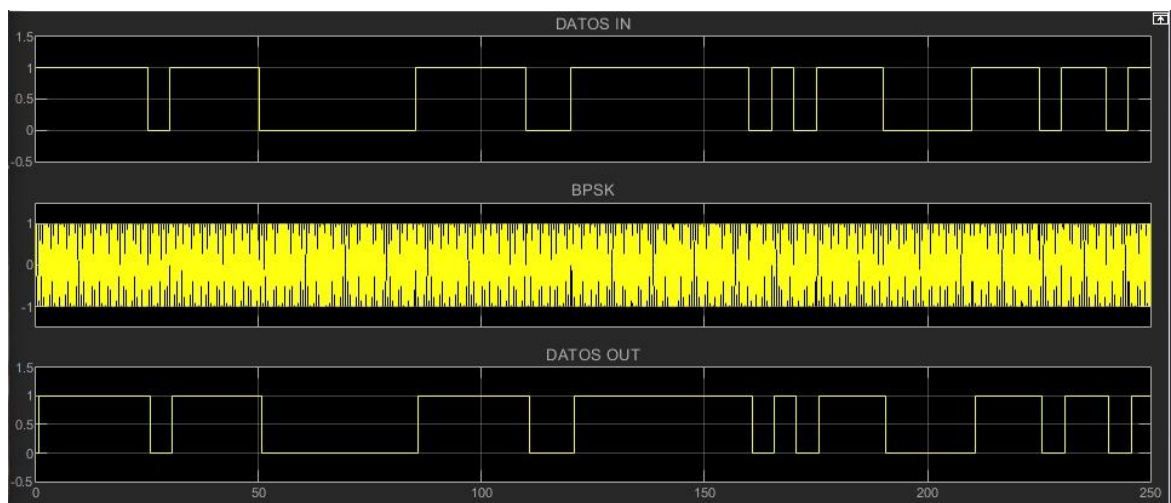


Figura 9a: Señal de entrada al modulador, señal modulada y señal demodulada

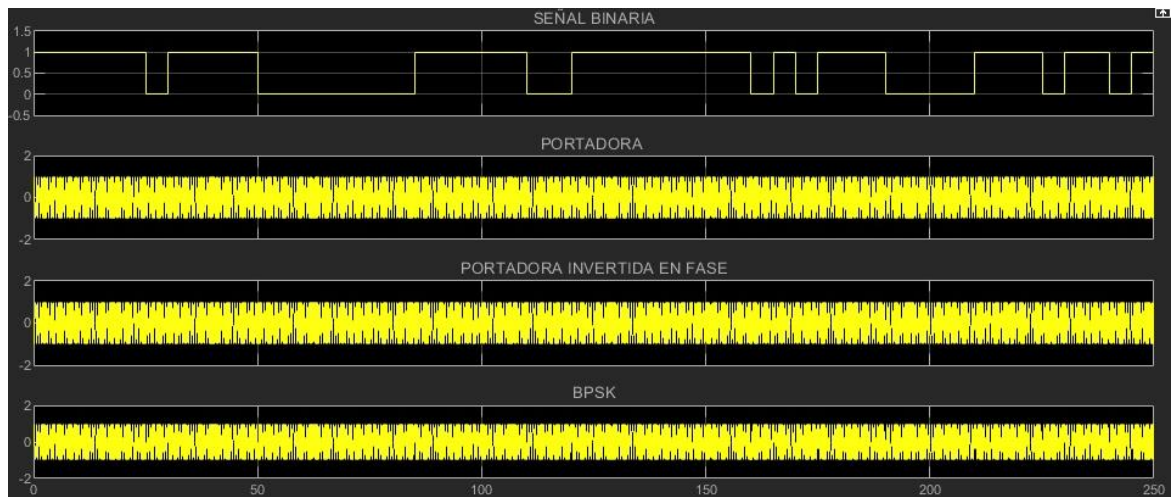


Figura 9b: Señales en el modulador

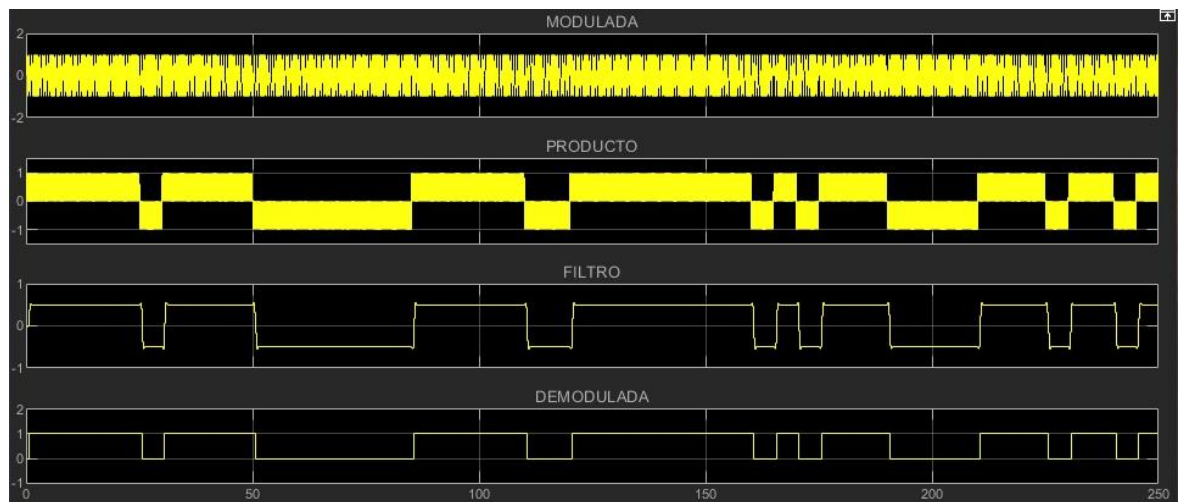


Figura 9c: Señales en el demodulador

Análisis BPSK

Comportamiento figura de referencia

Observamos en la *Figura 6a.* que se produce un desfasaje temporal entre la entrada y la salida al igual que en la modulación ASK, debido al tiempo de respuesta del filtro. Luego el sistema funciona como es previsto en la teoría.

Cambio de amplitud

Vemos que el comportamiento no se modifica, cosa que es de esperar ya que lo único que afecta al sistema es el cambio de fase.

Amplitudes pequeñas (gran atenuación en el medio)

Como era de esperar, tal como vimos cuando modificamos la amplitud, la señal se puede recuperar sin error por más pequeña que ésta sea.

Cambio de factor de frecuencia

Al igual que para la modulación ASK, al cambiar el factor de frecuencia cambia el retardo en la señal de salida. Un mayor factor de frecuencia implica un menor retardo.

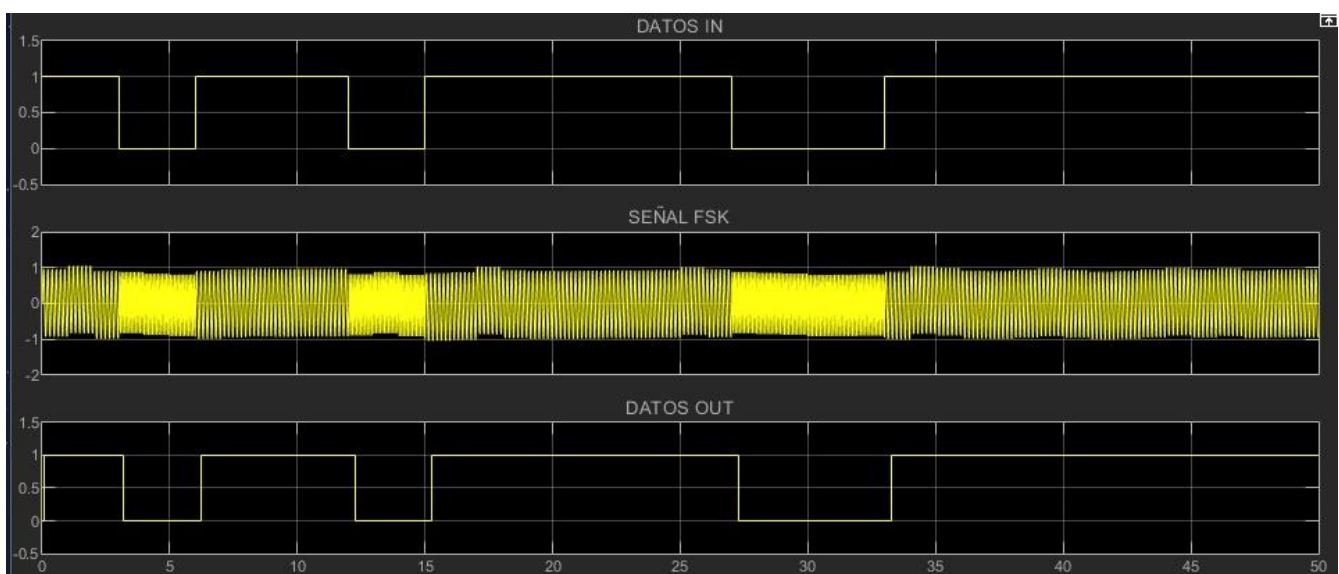
MODULACION FSK (FREQUENCY SHIFT KEYING)

La modulación FSK (Frequency Shift Keying) es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de frecuencia de una onda portadora. Cuando se desea enviar datos binarios, la onda senoidal portadora puede tomar dos valores diferentes de frecuencia, manteniendo la fase y la amplitud constantes.

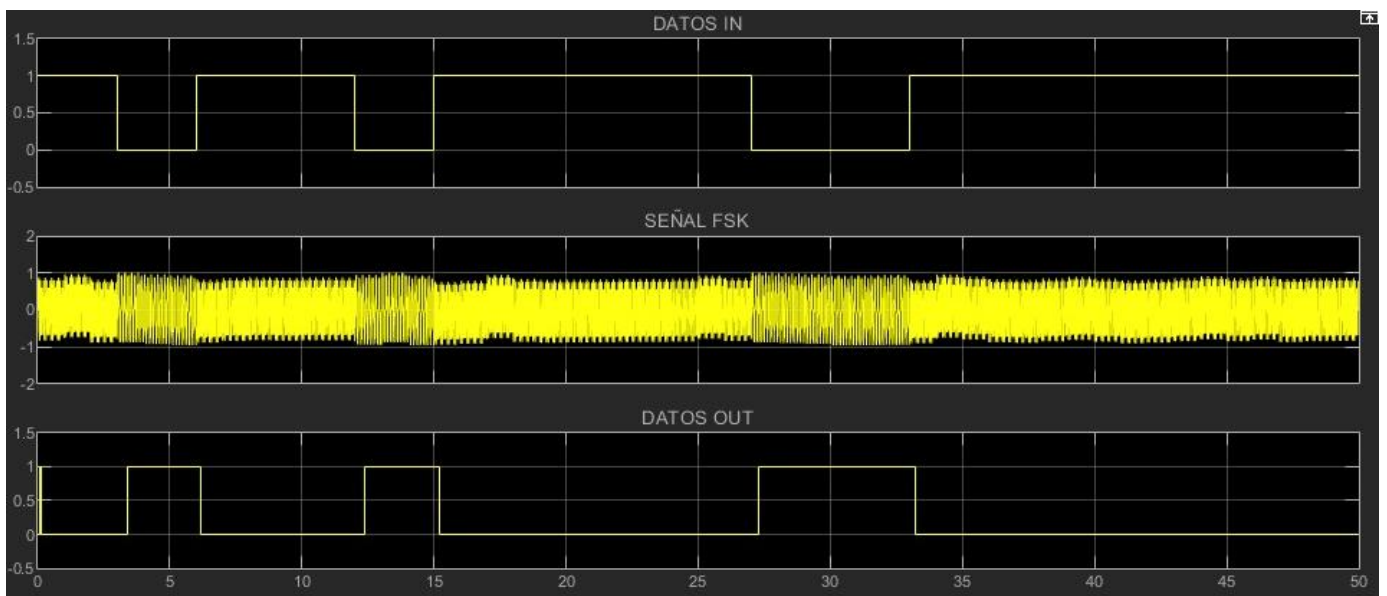
En el modelo provisto por la cátedra vemos que el modulador posee un switch que determina cuál de las dos senoidales se selecciona a la salida según el valor del bit en ese período. Por otro lado, el demodulador recibe la señal modulada, la limita en ± 0.5 , y, utilizando un PLL y un dispositivo de decisión para determinar el bit enviado.

Además, vemos que esta modulación FSK tiene fase continua. Esto quiere decir que las diferentes frecuencias entre las señales portadoras son múltiplos enteros de una fundamental. De esta manera, se representa cada símbolo con una senoide de ciclos completos. Esta modulación de tipo FSK se denomina CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying).

- $F1 < F2$



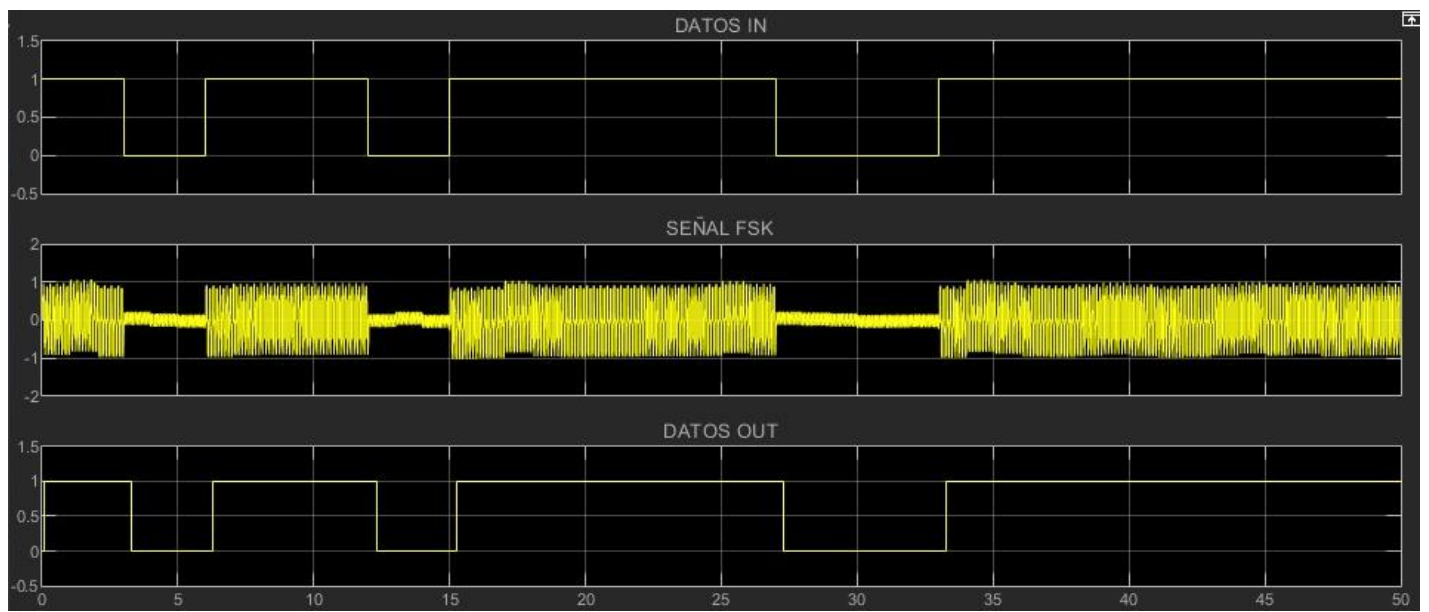
- $F1 > F2$



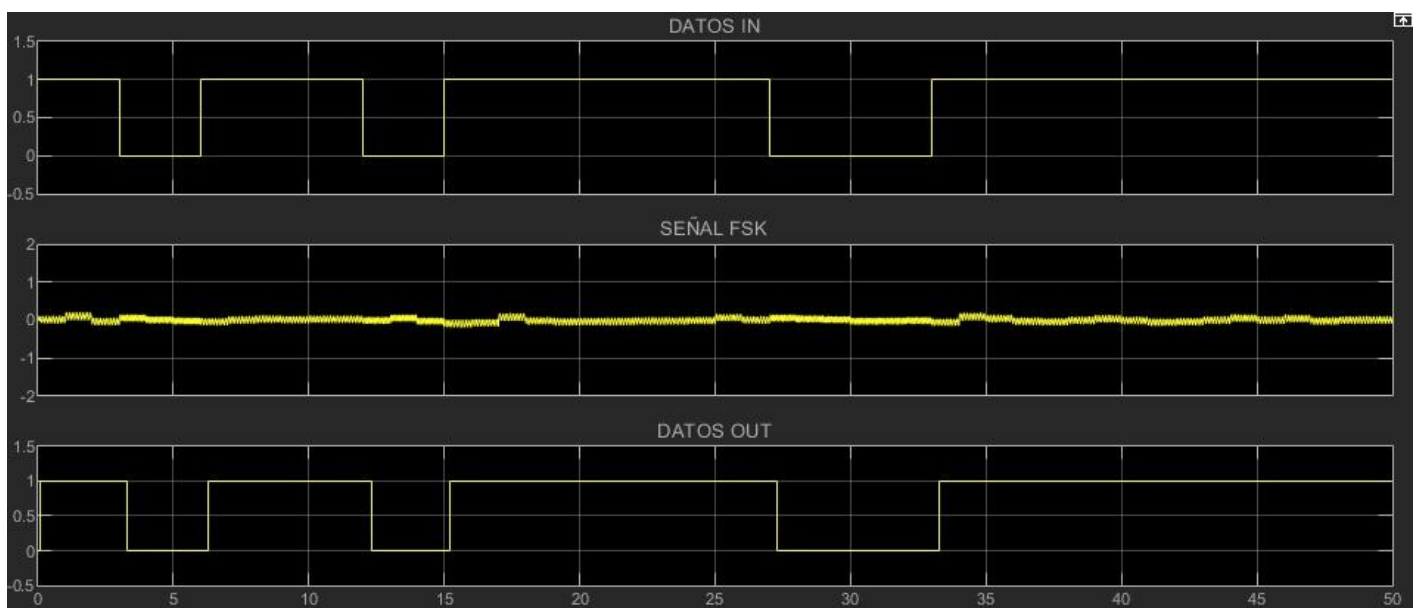
- $F1 \approx F2$



- $Amp1 < Amp2$



- Amplitudes pequeñas



Análisis FSK

$F1 < F2$

Al igual que ocurre en los otros dos tipos de modulación vemos que existe un retardo temporal producto de la no idealidad del filtro, luego el sistema se comporta como es esperado.

$F1 > F2$

Al igual que ocurría con la modulación ASK tenemos una inversión, debido a que el modulador selecciona una onda u otra dependiendo del bit de entrada, pero el demodulador distingue únicamente qué frecuencia es mayor.

$F1 \approx F2$

En este caso también tenemos que el sistema no es capaz de reconocer la diferencia entre las frecuencias cuando éstas son muy cercanas, al igual que ocurría en el sistema ASK con amplitudes similares.

$Amp1 < Amp2$

Vemos que un cambio en las amplitudes no modifica el comportamiento del sistema, como era de esperar.

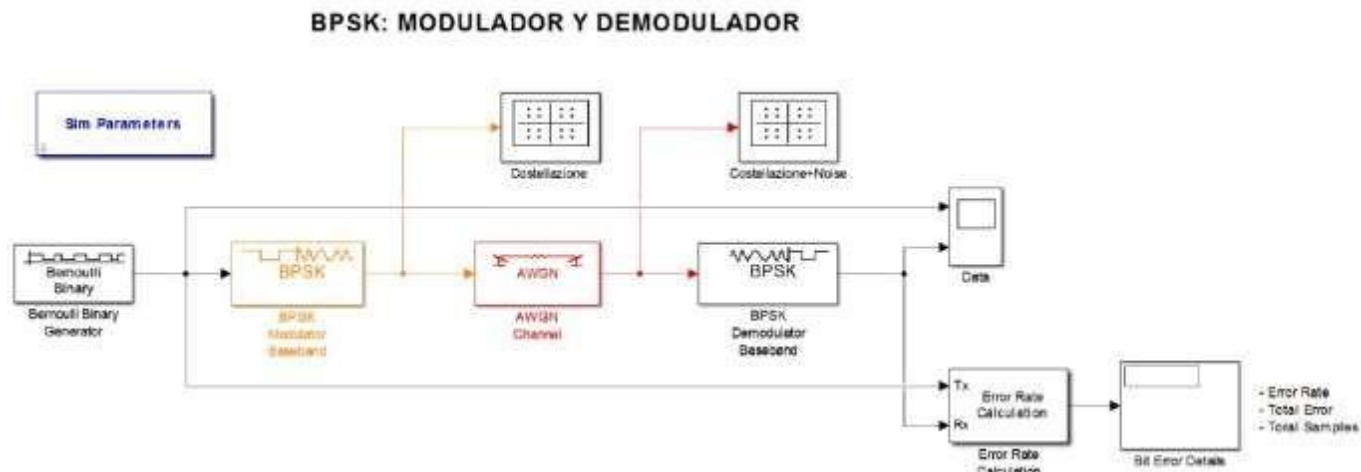
Amplitudes pequeñas (gran atenuación en el medio)

Como observamos que un cambio de amplitud no modifica el comportamiento del sistema, era de esperar que en este caso podamos recuperar la señal, independientemente de cuán pequeñas sean las amplitudes de las mismas, es decir, independientemente de la atenuación del medio.

EVALUACION DE RENDIMIENTO: BER VS SNR

MODULACION BPSK

Tenemos el siguiente modelo del canal ruidoso para una modulación BPSK provisto por la cátedra.



Veremos cómo varía la ubicación de los símbolos al modificar la relación señal-ruido sobre el canal.

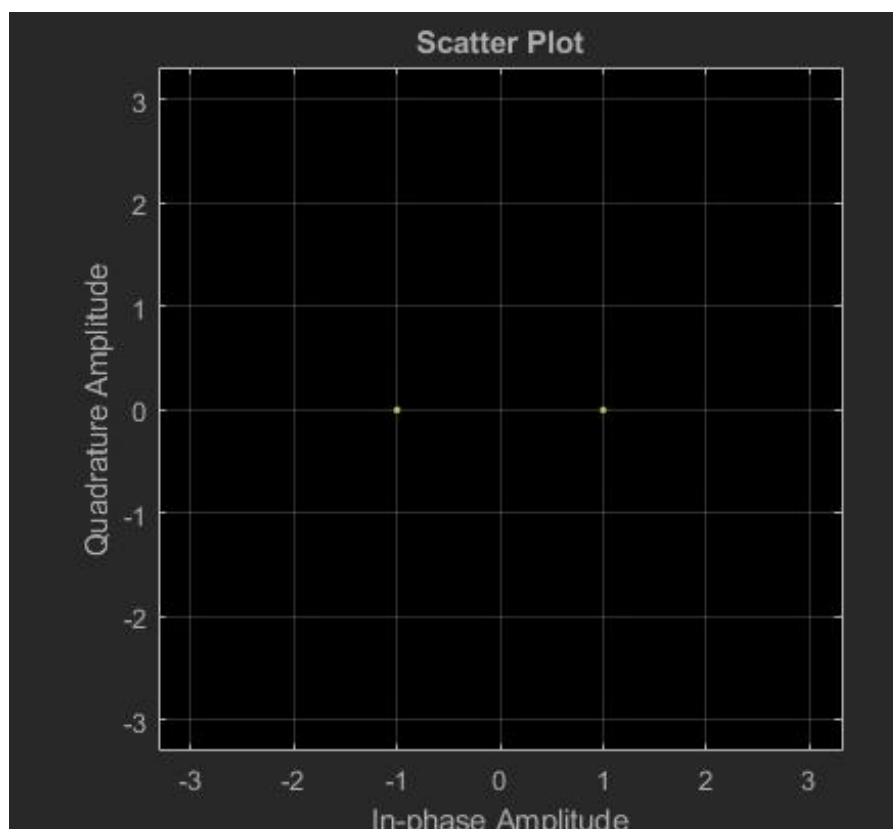


Figura 10: Constelación de símbolos a la salida del modulador

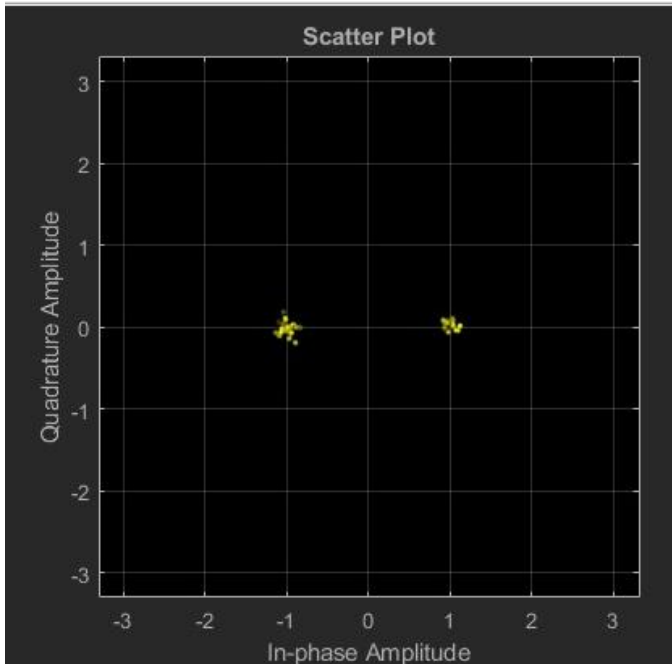


Figura 10a: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador. SNR=20dB

Figura 10b: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador. SNR=0dB

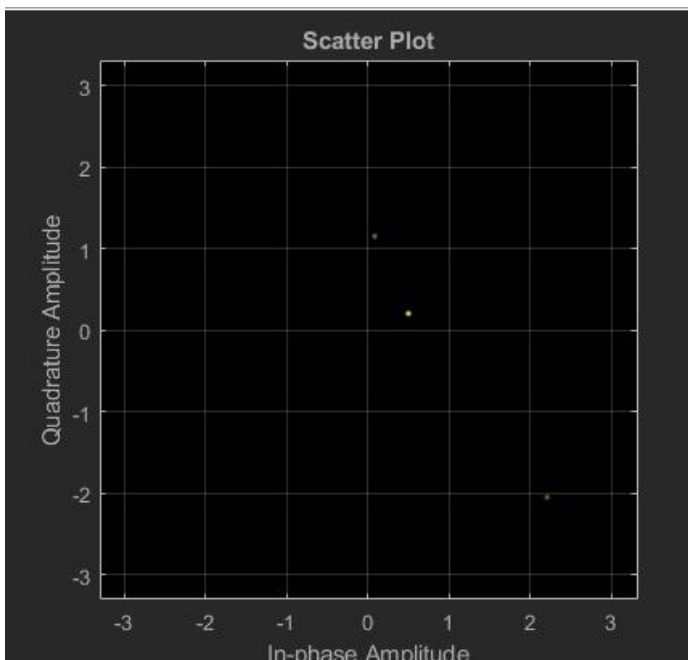
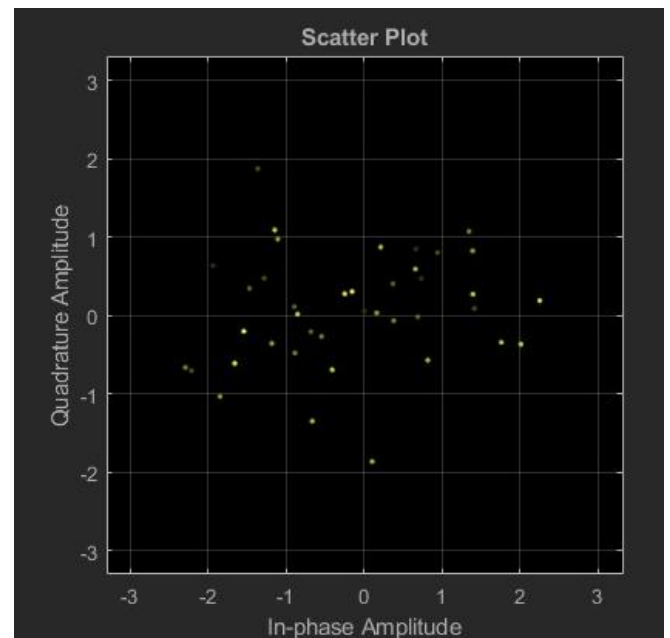
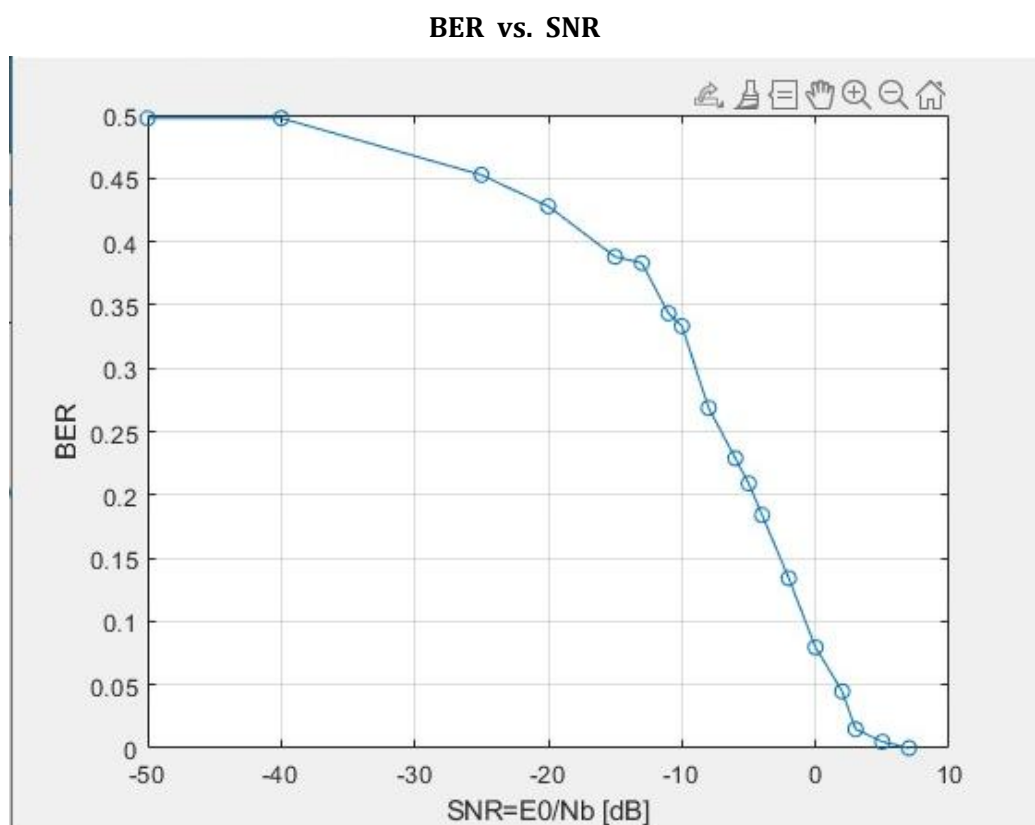


Figura 10c: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador. SNR=-20dB

Al principio, en la constelación que tenemos a la salida del modulador, podemos observar (Ver *Figura 10*) que tenemos dos símbolos, los dos de amplitud 1 pero de fase 0 y π respectivamente.

En las constelaciones que tenemos a la entrada del demodulador vemos cómo se pueden dispersar los símbolos modulados al ser transmitidos por un canal ruidoso afectado por distintas relaciones señal-ruido (Ver *Figuras 10a.b.c.*).

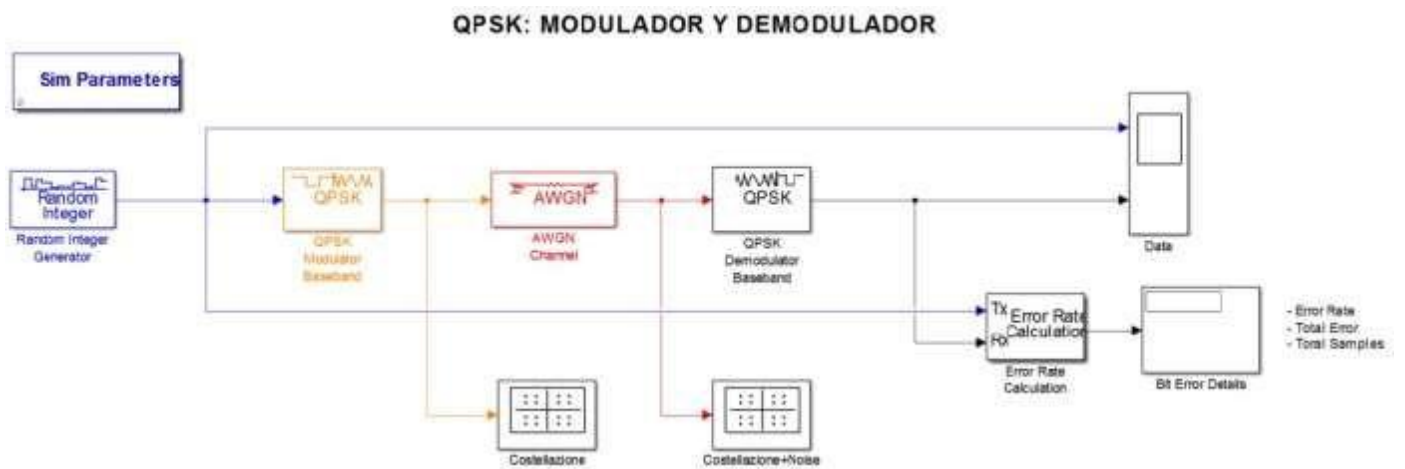
Estas dispersiones son siempre alrededor de las ubicaciones originales, pero al ir disminuyendo la SNR podemos observar que la dispersión que se presenta hace difícil determinar cuál es el símbolo original. Entonces se puede concluir que al disminuir la relación SNR también disminuye el rendimiento del sistema, obligándonos a mantenernos dentro de un rango de potencia de señal si quisiéramos mantener el rendimiento por encima de cierto valor.



Vemos que para valores negativos de SNR la tasa de error de bits tiende a 0,5 debido a que estamos trabajando con símbolos equiprobables.

MODULACION QPSK (QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING)

Tenemos el siguiente modelo del canal ruidoso para una modulación QPSK provisto por la cátedra.



Veremos cómo varía la ubicación de los símbolos al modificar la relación señal-ruido sobre el canal.

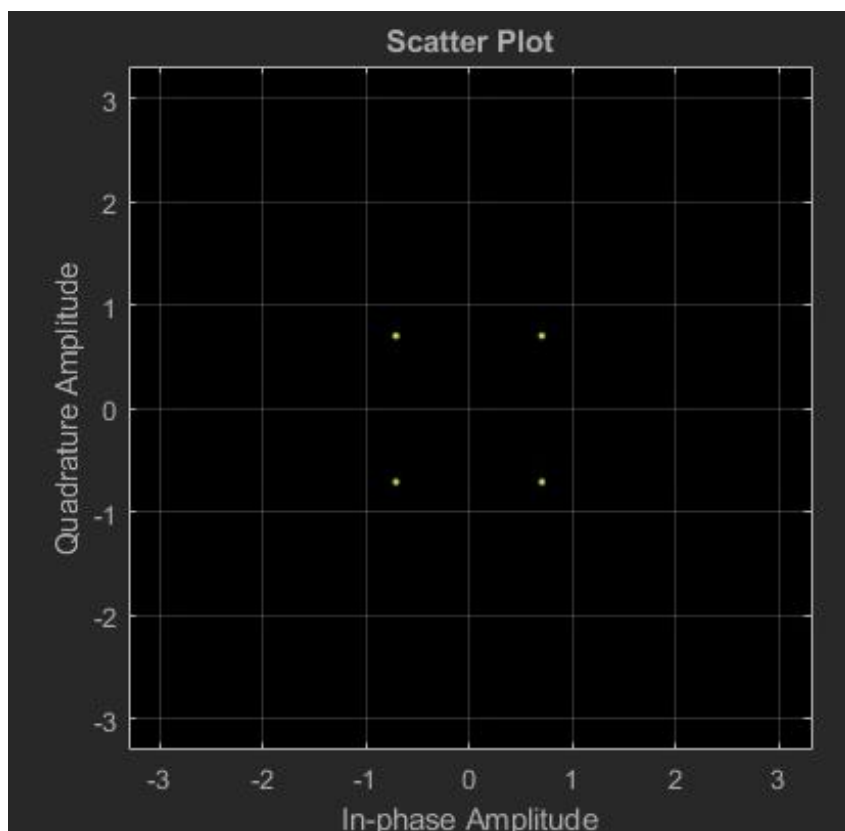


Figura 11: Constelación de símbolos a la salida del modulado

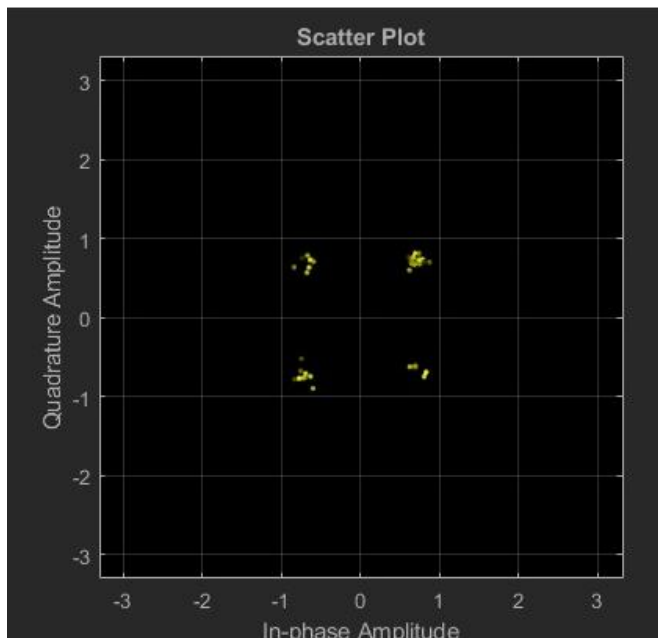


Figura 11a: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador

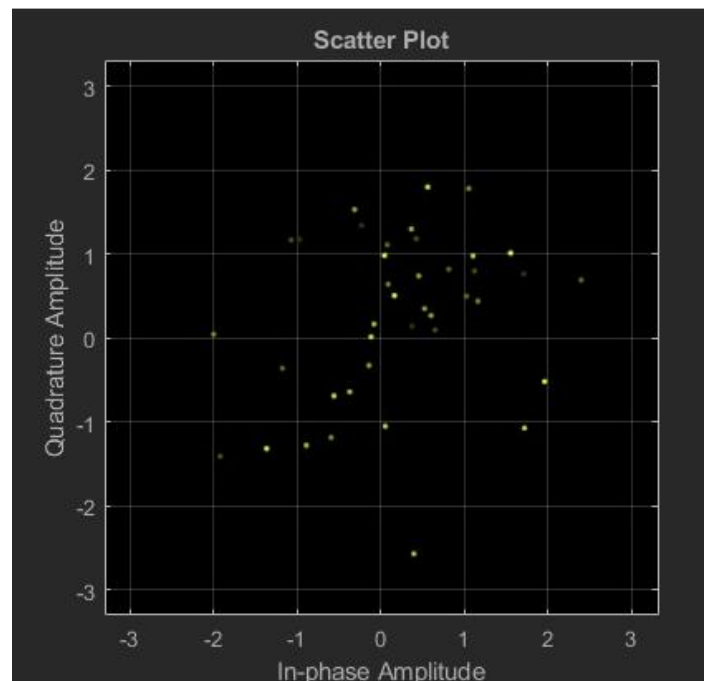


Figura 11b: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador

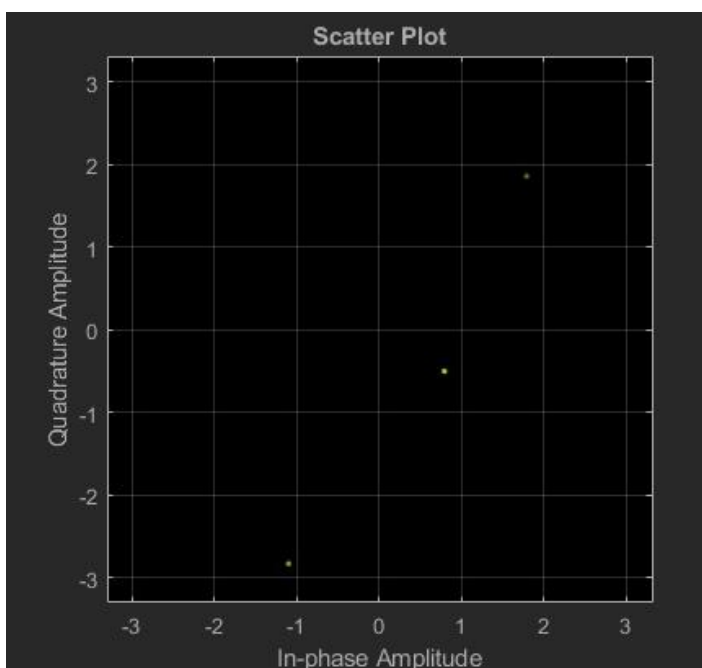


Figura 11c: Constelación de símbolos a la entrada del demodulador

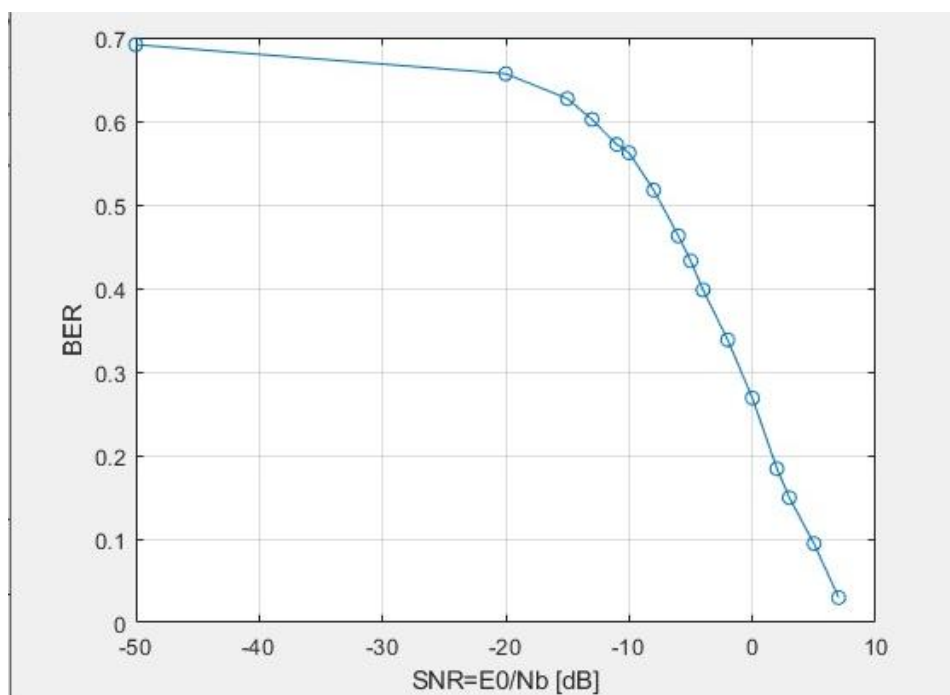
Al principio, en la constelación que tenemos a la salida del modulador, podemos observar (Ver *Figura 11*) que tenemos cuatro símbolos, los dos de igual amplitud pero fases $\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$ y $7\pi/4$ respectivamente.

En las constelaciones que tenemos a la entrada del demodulador vemos cómo se pueden dispersar los símbolos modulados al ser transmitidos por un canal ruidoso afectado por distintas relaciones señal-ruido (Ver *Figuras 11a.b.c.*).

Estas dispersiones son siempre alrededor de las ubicaciones originales, pero al ir disminuyendo la SNR podemos observar que la dispersión que se presenta hace difícil determinar cuál es el símbolo original. Entonces se puede concluir que al disminuir la relación SNR también disminuye el rendimiento del sistema, obligándonos a mantenernos dentro de un rango de potencia de señal si quisiéramos mantener el rendimiento por encima de cierto valor.

Vemos que para valores negativos de SNR la tasa de error de bits tiende a 0,7 debido a que estamos trabajando con símbolos equiprobables.

BER vs. SNR



Comparando las curvas BER vs SNR de ambos sistemas podemos decir que para un mismo valor de SNR, por ejemplo $SNR=0dB$, tenemos:

$$BER_{BPSK} = 0,0796 \quad BER_{QPSK} = 0,2687$$

¿Qué sucede con el BER si se mantienen las condiciones de SNR y aumenta el orden de modulación?

Como conclusión a las gráficas obtenidas podemos decir que la tasa de error aumenta a medida que aumenta el orden de modulación.

Al tener un orden mayor de modulación entonces tengo más símbolos que se encuentran más cerca entre ellos dentro de la constelación. Además, si tengo más símbolos entonces existen más probabilidades de que cada símbolo se confunda con uno vecino. Como resultado, para una misma cantidad de energía de bit enviado, la probabilidad de error aumenta. En nuestro caso, podemos decir que la modulación QPSK tiene una mayor BER respecto a la modulación BPSK.

Para caso similar al anterior, pero considerando un sistema FSK... ¿La BER se comporta igual?

Para la modulación FSK, la BER se comporta de manera distinta. En este caso, la BER no aumenta de manera indiscriminada cuando aumenta el orden de modulación. Esto ocurre porque la modulación FSK utiliza siempre señales en cuadratura. Es decir, al aumentar el orden de modulación, agrega nuevas portadoras en cuadratura y los símbolos se encuentran siempre a la misma distancia.