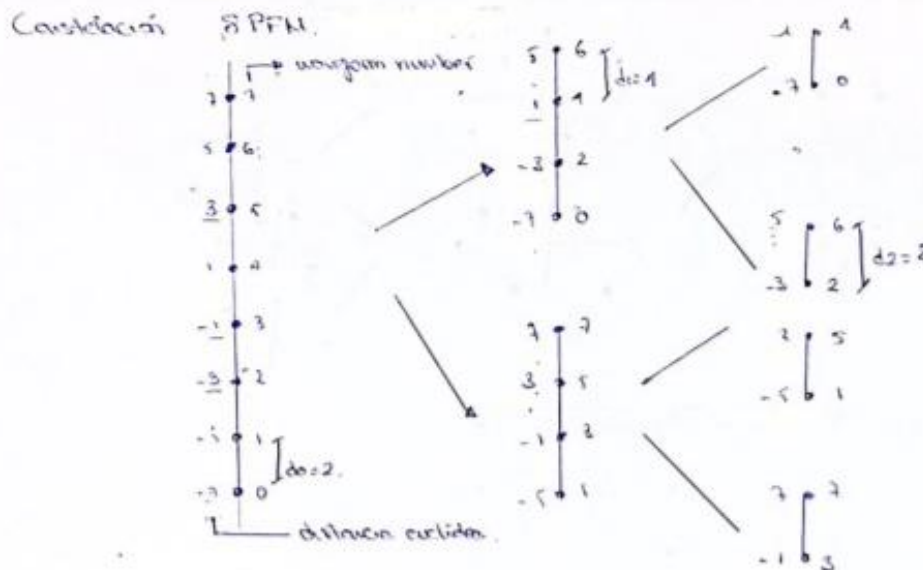
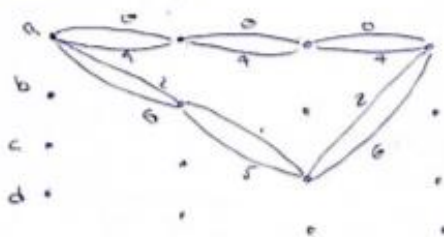


1. Estudio previo

- Calcular la ganancia con TCM de la constelación de 8 símbolos propuesta en la parte 1 respecto a un 4-PSK sin codificar, usando el trellis del convolucional de cuatro estados visto en los ejemplos de clase.



Trellis 4 estados:



$$d_{a-a}^2 = d_2^2 = 2^2 = 4$$

$$d_{a-b-c-a}^2 = d_1^2 + d_2^2 + d_1^2 = 1^2 + 2^2 + 1^2 = 6$$

$$d_{free,TCM}^2 = 36$$

$$\bar{E}_{s,TCM} = \frac{2 \cdot (1^2 + 3^2 + 3^2 + 1^2)}{8} = 21$$

8 PSK \rightarrow referencia \rightarrow

sin TCM

$$d_{free,ref}^2 = d_0^2 = 0,765^2$$

$$\bar{E}_{s,ref} = 1$$

$$G_{referencia} = \frac{d_{free,ref}^2 / \bar{E}_{s,ref}}{d_{free,TCM}^2 / \bar{E}_{s,TCM}}$$

$$= \frac{2^2 / 21}{0,765^2 / 1} = \frac{0,19}{0,585} = 0,33$$

$$-4,82 \text{ dB}$$

4 PSK \rightarrow referencia \rightarrow

con TCM

$$d_{free,ref}^2 = 2$$

$$\bar{E}_{s,ref} = 1$$

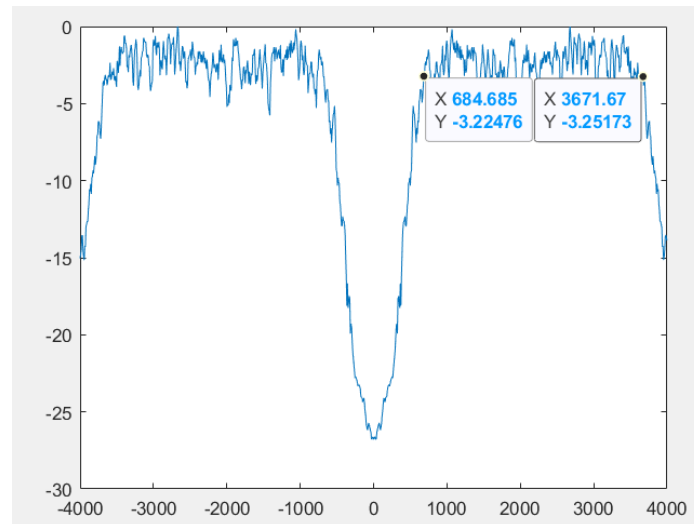
$$G = \frac{d_{free,TCM}^2 / \bar{E}_{s,TCM}}{d_{free,ref}^2 / \bar{E}_{s,ref}} = \frac{36 / 21}{2 / 1} = 1,714$$

$$\frac{1,714}{2} = 0,857 \rightarrow -0,66 \text{ dB}$$

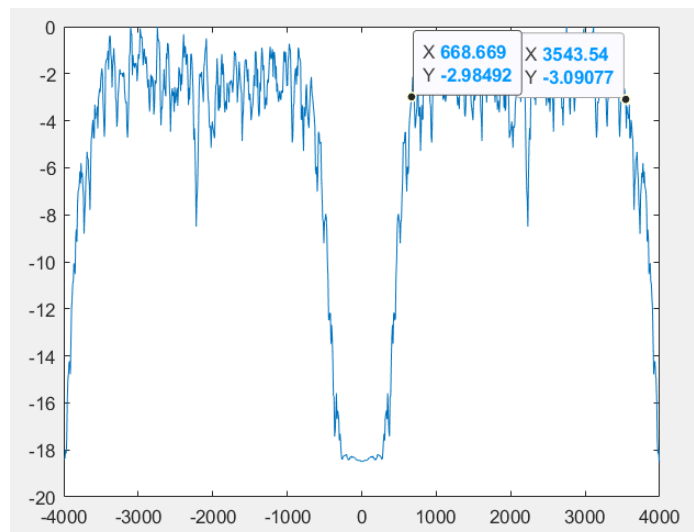
- **Caracterizar (obtener SNR, ancho de banda y capacidad) de los siguientes dos canales (canal1a.p y canal1b.p)**

Para la obtención del **ancho de banda**, se introduce una delta al canal y se debe calcular la caída a 3dB, al ser un paso banda se debe hacer en ambos lados, así obtendremos el ancho de banda.

- a. Canal1a:



- b. Canal1b:

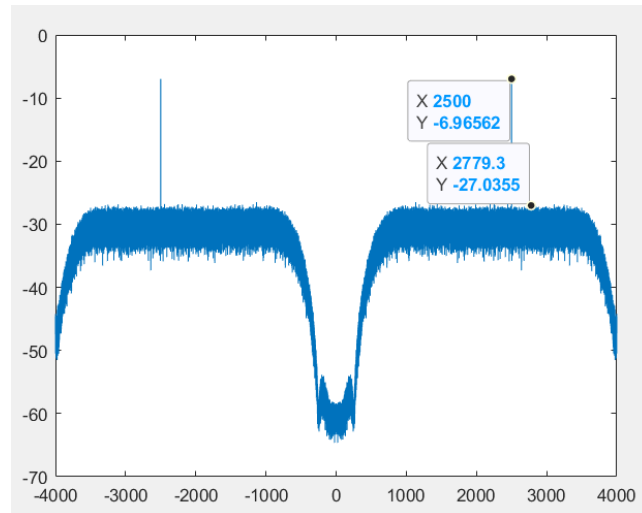


En ambos casos se puede observar cómo se tiene un ancho de banda de 3kHz.
El código utilizado para esta parte es el siguiente:

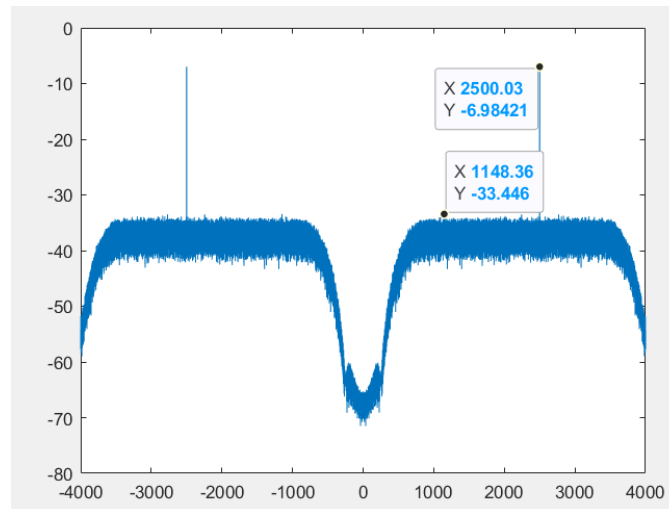
```
N=1000;  
fm=8e3;  
delta=zeros(1,N);  
delta(N/2)=1;  
h=canal1a(delta, fm);  
H=abs(fft(h));  
figure  
f=linspace(-fm/2, fm/2, length(delta));  
plot(f, 10*log10(H));
```

Para la obtención de la **relación señal a ruido**, se introduce un coseno por el canal y se ve la diferencia en espectro entre el pico de la frecuencia portadora y el resto del canal.

a. Canal1a:



b. Canal1b:



En el caso del canal 1a se obtiene una SNR de 20dB, y en el caso del canal 1b 27dB.
El código utilizado para esta parte es el siguiente:

```
fp=1500;  
fm=8000;  
mean_window=5;  
t_sim= 100;  
t=0:1/fm:t_sim-1/fm;  
x=cos(2*pi*fp*t);  
Y=abs(fft(canal1a(x, fm)));  
Y_mean=movmean(Y/max(Y), mean_window);  
f=linspace(-fm/2, fm/2, length(x));  
figure  
plot(f, 10*log10(Y_mean));
```

Para obtener la **capacidad** del canal únicamente se aplica la fórmula vista en clase:

a. Canal1a:

C	
1x1 double	
1	1.9975e+04

b. Canal1b:

C	
1x1 double	
1	2.6916e+04

El código utilizado para esta parte es el siguiente:

```
B=3e3;  
SNR_dB=20;  
SNR=10^(SNR_dB/10);  
C= B*log2(1+SNR);
```

```
B=3e3;  
SNR_dB=27;  
SNR=10^(SNR_dB/10);  
C= B*log2(1+SNR);
```

2. Sistema TCM

Observando el código que se proporcionar para el sistema TCM, se comprueba que los bits originales y los recibidos no sufren ninguna modificación, y por consiguiente, la probabilidad de error es nula.

bits																	
1x120 logical																	
1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

bitsr																	
1x120 double																	
1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

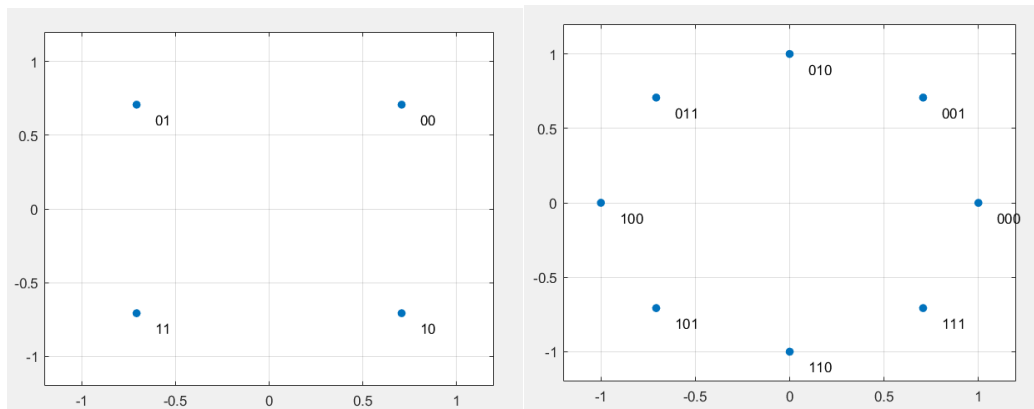
$P_b =$

0

3. Simulación Sistema TCM con canal AWGN

- Simulación 8PSK-TCM frente a 4PSK

Las constelaciones que se van a comparar tienen la siguiente disposición:



De estas dos constelaciones se realiza el cálculo de la probabilidad de error y de la probabilidad de error teórica mediante la fórmula:

$$P_b^{TCM-8PSK} \approx Q\left(\sqrt{2 G_c \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Donde G_c en este caso el ser 8PSK con TCM frente a 4PSK tiene un valor de 3dB.

Para realizar los cálculos se ha utilizado el siguiente código:

```
PbTCM(i) = sum(bits ~= bitsr)/numero_de_bits; %tasa real de error
Pb4psk(i) = sum(bits ~= bitsr)/numero_de_bits; %tasa real de error
%--- Pb teorica
EbN0(i) = 10.^(EbN0dB(i)/10);
Pb_teorica(i) = fQ(sqrt(2*EbN0(i)*(10^(3/10))));
figure,
semilogy(EbN0dB,PbTCM)
hold on
semilogy(EbN0dB,Pb4psk)
hold on
semilogy(EbN0dB,Pb_teorica)
legend("Pb 8PSK TCM en funcion de EbN0","Pb 4PSK en funcion de EbN0","Pb PSK teorica")
```

Donde los bits generados se crean de la siguiente manera:

```
%---8PSK
numero_de_bits = 30000;%multiplo de 3
bits = fuente(numero_de_bits);
%---4PSK
numero_de_bits=1000;%tiene que ser multiplo de 2
bits = fuente(numero_de_bits);
```

Y los bits recibidos son los conseguidos mediante las siguientes operaciones:

```
M=4;
constelacion = constelacion_4psk();%constelacion
[Ik,Qk] = asignacion_simbolos(bits,constelacion);
fp=1000;
fb=100;
fs = fb / log2(M);
fm = 2*(fp + fb) * 10;

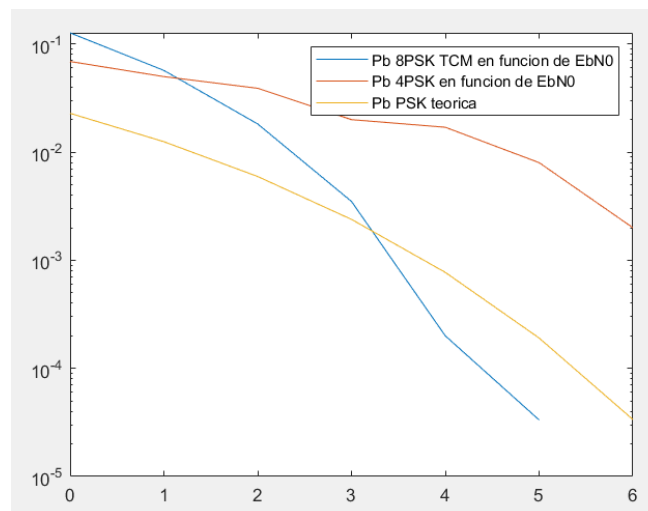
% Pulso conformador rectangular
[pulso,retardo] = rcos(fm,fs,0.5,5);
[I,Q] = filtro_tx(Ik,Qk,fm,fs,pulso);
[xI,xQ] = modulador(I,Q,fm,fp);
x=xI+xQ;
```

```
%%% Canal gaussiano
Es = sum(pulso.^2);
Eb = Es/log2(M);
EbN0dB = 0:1:6;
for i=1:7
n = canal_awgn(x,Eb,EbN0dB(i)); % Ruido generado
r=x+n;

%--- demodulacion

[xI,xQ] = demodulador(r,fm,fp);
[I,Q] = filtro_rx(xI,xQ,pulso);
[Ik,Qk] = muestreo(I,Q,fm,fs,retardo);
D = distancias(Ik,Qk,constelacion);
bitsr = decodificador_map(D);
```

La representación de las 3 curvas queda de la siguiente manera:



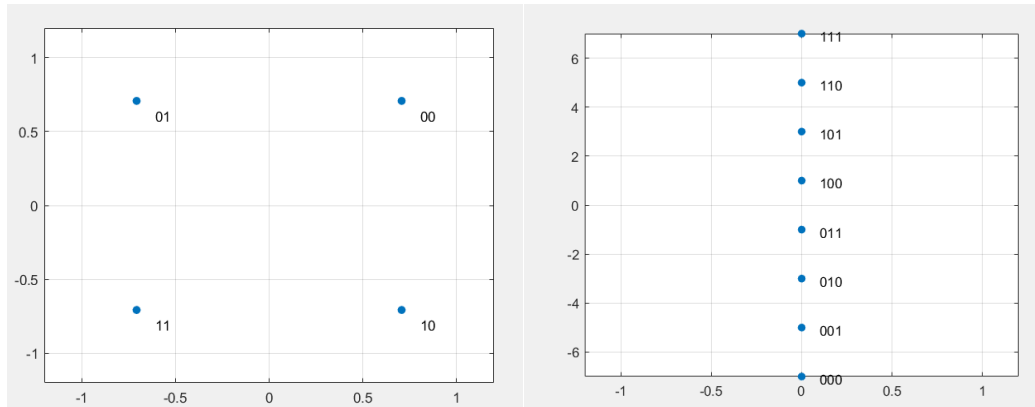
En esta figura se ve como la constelación 8PSK tiene una probabilidad de error menor a medida que aumenta la relación E_b/N_0 . Se observa como la probabilidad de error de la constelación 4PSK también disminuye según aumenta la relación E_b/N_0 , pero no cae tanto como con la 8PSK.

En cuanto a la probabilidad de error teórica se observa que cae también según aumenta la relación E_b/N_0 .

También se observa como la teórica tiene valores inferiores a la 4PSK, eso nos indica que la constelación 8PSK con TCM es mejor que la 4PSK.

- Simulación constelación inventada frente a 4PSK

Las constelaciones que se van a comparar tienen la siguiente disposición:



De estas dos constelaciones se realiza el cálculo de la probabilidad de error y de la probabilidad de error teórica mediante la fórmula:

$$P_b^{TCM-8PSK} \approx Q\left(\sqrt{2 G_c \frac{E_b}{N_0}}\right)$$

Donde G_c en este caso el ser 8PSK con TCM frente a 4PSK tiene un valor de -0.7dB.

Para realizar los cálculos se ha utilizado el siguiente código:

```
Pbpfm(i) = sum(bits ~= bitsr)/numero_de_bits; %tasa real de error
Pb4psk(i) = sum(bits ~= bitsr)/numero_de_bits; %tasa real de error
%--- Pb teorica
EbN0(i) = 10.^(EbN0dB(i)/10);
Pb_teorica(i) = fQ(sqrt(2*EbN0(i)*(10^(-0.7/10))));
figure,
semilogy(EbN0dB,Pbpfm)
hold on
semilogy(EbN0dB,Pb4psk)
hold on
semilogy(EbN0dB,Pb_teorica)
legend("Pb 8PSK TCM en funcion de EbN0","Pb 4PSK en funcion de EbN0","Pb
PSK teorica")
```

Donde los bits generados se crean de la siguiente manera:

```
%---8PSK
numero_de_bits = 30000;%multiplo de 3
bits = fuente(numero_de_bits);
%---4PSK
numero_de_bits=1000;%tiene que ser multiplo de 2
bits = fuente(numero_de_bits);
```

Y los bits recibidos son los conseguidos mediante las siguientes operaciones:

```
M=4;
constelacion = constelacion_4psk();%constelacion
[Ik,Qk] = asignacion_simbolos(bits,constelacion);
fp=1000;
fb=100;
fs = fb / log2(M);
fm = 2*(fp + fb) * 10;

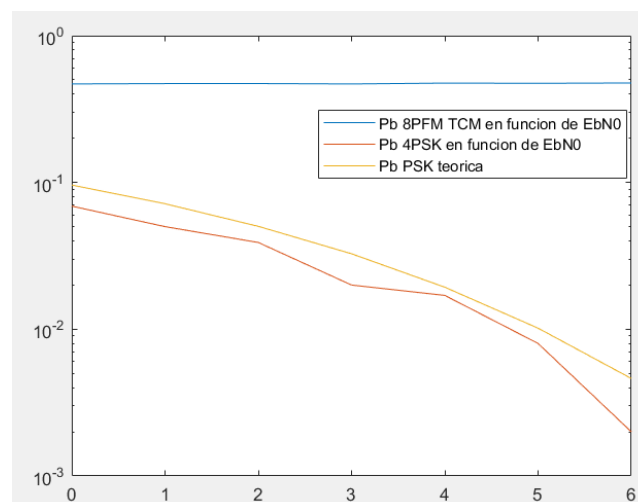
% Pulso conformador rectangular
[pulso,retardo] = rcos(fm,fs,0.5,5);
[I,Q] = filtro_tx(Ik,Qk,fm,fs,pulso);
[xI,xQ] = modulador(I,Q,fm,fp);
x=xI+xQ;
```

```
%%% Canal gaussiano
Es = sum(pulso.^2);
Eb = Es/log2(M);
EbN0dB = 0:1:6;
for i=1:7
n = canal_awgn(x,Eb,EbN0dB(i)); % Ruido generado
r=x+n;

%--- demodulacion

[xI,xQ] = demodulador(r,fm,fp);
[I,Q] = filtro_rx(xI,xQ,pulso);
[Ik,Qk] = muestreo(I,Q,fm,fs,retardo);
D = distancias(Ik,Qk,constelacion);
bitsr = decodificador_map(D);
```

La representación de las 3 curvas queda de la siguiente manera:



En esta figura se ve como la constelación 8PSK TCM tiene una probabilidad de error muy poco dependiente de la variación de E_b/N_0 , es decir, se mantiene prácticamente constante para todo el rango. Además se observa como el valor que toma es bastante elevado para ser una probabilidad de error, esto nos indica que la constelación inventada no es lo suficientemente buena.

A su vez, se observa como la probabilidad de error de la constelación 4PSK disminuye según aumenta la relación E_b/N_0 , por lo tanto se deduce que la 4PSK es mejor que la inventada en el previo de la práctica 3.

En cuanto a la probabilidad de error teórica se observa que cae también según aumenta la relación E_b/N_0 .

En este caso, se observa como la teórica está por encima de la 4PSK, esto también es indicativo de que la constelación inventada es mala en comparación con la 4PSK.

4. Estudio de canal1b

Mediante el escenario dado se consigue el siguiente resultado:

```
.....  
Bits enviados: 999960  
Rb:           1.000 kbps
```

Para ello, los parámetros utilizados han sido:

```
constelacion = constelacion_4psk();  
M = size(constelacion,1);  
%--- fb, fp, fm  
    fp = 1350;  
    beta = 0.5;  
    ntaps = 10;  
  
    Rb = 1000;  
    fs = Rb/log2(M);  
    fm = fs*20;
```

Variando los parámetros a los siguientes valores:

```
constelacion = constelacion_tcm_8psk();  
M = size(constelacion,1);  
  
%--- fb, fp, fm  
    fp = 1700;  
    beta = 0.15;  
    ntaps = 6;  
  
    Rb = 9250;  
    fs = Rb/log2(M);  
    fm = fs*20;
```

Se ha conseguido la siguiente cantidad de bits enviados y por consiguiente, la siguiente Rb:

```
.....  
Pb (OK) :           8.24952e-05  
  
.....  
Bits enviados: 9139926  
Rb:           9.140 kbps
```