

“Análisis del Comportamiento de M-QAM sobre un Canal AWGN”

INFORME 4

Laboratorio de Comunicaciones Digitales-GR9

1st Melanny Dávila

Ingeniería en Telecomunicaciones
Facultad de Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador
melanny.davila@epn.edu.ec

2nd Ronaldo Almachi

Ingeniería en Telecomunicaciones
Facultad de Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador
ronaldo.almachi@epn.edu.ec

Abstract—En este documento se va a analizar los resultados que se obtienen al realizar una modulación M-QAM, tal como su rendimiento y comportamiento frente a ruido AWGN, además de como influye en la probabilidad de errores la relación E_b/N_o . Por otro lado, se va a comparar las técnicas de modulación M-PSK y M-QAM; todo esto con el fin de determinar cual de ellas presentan mejores propiedades ante la presencia de ruido.

Index Terms—M-QAM, E_b/N_o , P(e), AWNG

I. INTRODUCCIÓN

M-QAM es una técnica de modulación digital que guarda ciertas similitudes con las modulaciones digitales M-PSK y M-ASK; es decir para una cierta secuencia de datos puede variar tanto su fase como su amplitud. Como resultado se podría decir que es una combinación de ambas modulaciones, en esta modulación para esto importante plantear una ecuación que describa su comportamiento.

La ecuación 1 describe como varían ciertos parámetros que influyen al momento de realizar la modulación.

$$S_{QAM}(t) = A \cdot \cos(W_p \cdot t + \phi_i) \quad (1)$$

Donde A es la variación de su amplitud y ϕ_i se refiere a la variación de fase, tal y como se vio en M-PSK y M-ASK.

M-QAM tiene múltiples fases posibles de salida con el añadido que este comportamiento también lo tendrá la amplitud de la señal, es por esto que esta modulación puede ser vista como una modulación M-ASK multinivel.

II. OBJETIVOS

- Analizar el desempeño de la modulación M-QAM en un canal AWGN.
- Utilizar MATLAB para evaluar el BER vs E_b/N_0 para la modulación M-QAM.
- Simular los diagramas de constelación de M-QAM para distintos valores de M [1].

III. PREGUNTAS

A. Analizar y presentar los resultados obtenidos tanto en el trabajo preparatorio como en la práctica.

Resultados obtenidos en base al trabajo preparatorio son los siguientes:

• Literal 3.4

Se comprobó los resultados del script de Matlab que permite obtener el diagrama del ojo de símbolos enviados a través de un canal AWGN.

En la figura 1, se muestra el diagrama de constelación sin ruido de la modulación QAM.

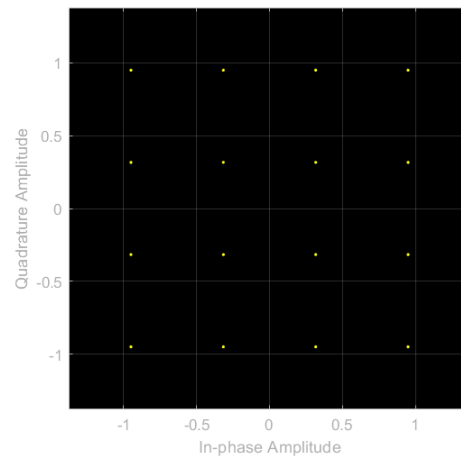


Fig. 1. Diagrama de constelaciones de 16-QAM sin ruido

Ahora, si se utiliza una relación de SNR de 30 dB en la modulación 16-QAM se obtiene el siguiente diagrama de constelación, donde se puede observar una ligera dispersión de los símbolos en cada fase.

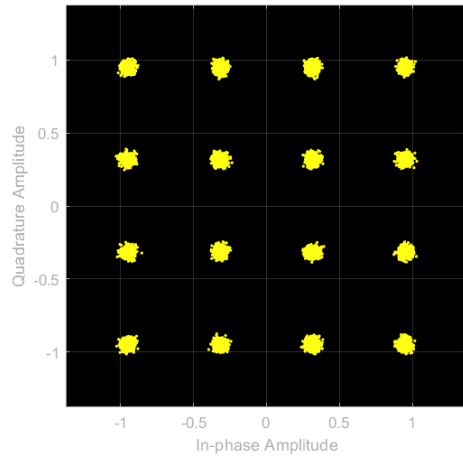


Fig. 2. Diagrama de constelaciones de 16-QAM con SNR a 30 dB

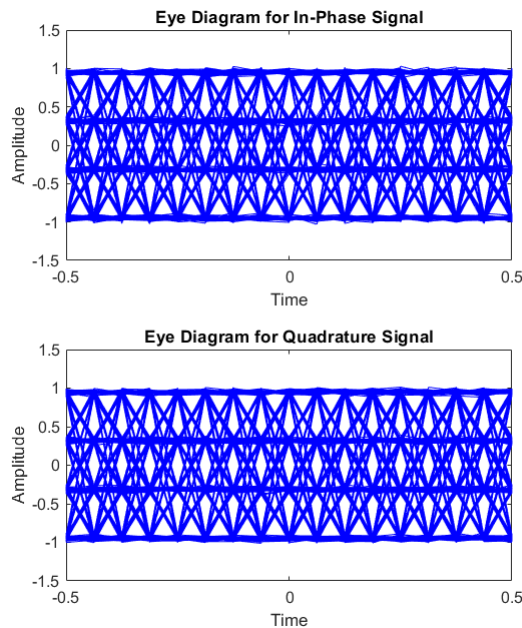


Fig. 3. Diagrama de ojo de pez de 16-QAM con SNR a 30dB

La distancia adyacente que existe entre cada punto del diagrama de constelaciones, en base a una simple observación o realizando cálculos, se determina que es mayor a M-PSK, del que es considerada como una variante, esto implica que tenga un mejor rendimiento comparado M-PSK, pero manteniendo sus ventajas.

Código usado

```
1 %% M-QAM
2 clear all
3 close all
4 clc
5 M=16; %Numero de fases
```

```
6 b=log2(M); %Numero de bits
7 SNR=30; %relacion senal a ruido
8
9 data = randi([0 1],10000*b,1); %vector
    de datos aleatorios ente 1 y 0
10 sym = qammod(data,M,'InputType','bit',
    'UnitAveragePower',true); %
    Modulacion de los datos
11 stx=awgn(sym,SNR); %Paso a traves de un
    canal AWGN
12 cd=comm.ConstellationDiagram('
    ShowReferenceConstellation',false);
13 %Objeto del diagrama de constelacion
14 cd(stx); %Grafico del diagrama de
    constelacion real
15 cd1=comm.ConstellationDiagram('
    ShowReferenceConstellation',false);
16 %Objeto del diagrama de constelacion
17 cd1(sym); %Grafico del diagrama de
    constelacion ideal
18 n=1000; %numero de muestras
19 eyediagram(stx,M); %diagrama del ojo
```

• Literal 3.5

En este literal se debía codificar un script que permita observar la gráfica de la probabilidad de error vs E_b/N_o todo esto con el fin de comprender como disminuye el valor de probabilidad de error mientras se aumenta el valor de E_b/N_o . La gráfica obtenida para 4-QAM es la que se muestra en la figura 4.

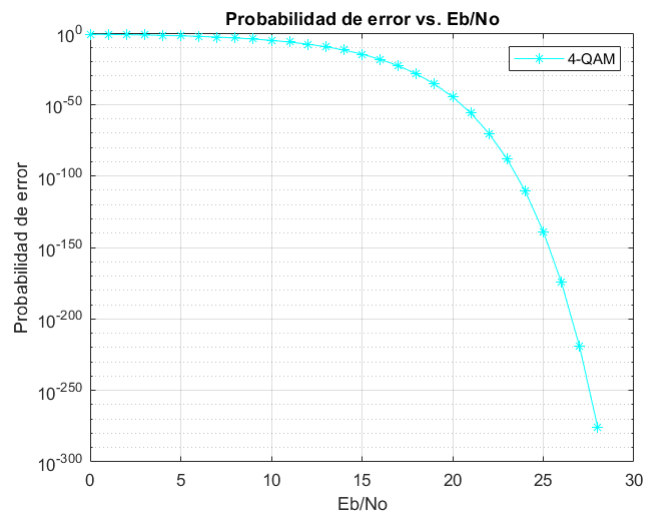


Fig. 4. Probabilidad de error vs E_b/N_o

Tal y como se ha venido apreciando en diferentes prácticas la relación entre la probabilidad de errores con respecto a E_b/N_o , sigue teniendo la misma naturaleza, pero como se menciono anteriormente con un mejor

rendimiento.

Código usado:

```
1 %% 4-QAM
2 clear all
3 close all
4 clc
5 M=4; %Numero de fases
6 Pe=[]; %Creacion de un vector para la
    probabilidad de error
7
8 for Eb=0:1:30; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
9     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
10    a=3*log2(M); %Parte a del factor
11    b=2*(M-1); %Parte b del factor
12    c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
13    x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
14    Pel=2*((sqrt(M)-1)/sqrt(M))*erfc(x
        ); %Calculo de la prob. de
        error
15    Pe=[Pe Pel]; %Asignacion de los
        valores de prob. de error
16 end
17
18 Eb=0:1:30; %Vector de Eb/No
19 semilogy(Eb,Pe,'c*-') %Grafica
    semilogaritmica
20 legend('4-QAM') %Nombre de la grafica
21 title('Probabilidad de error vs. Eb/No
    ') %Titulo
22 xlabel('Eb/No') %nombre del eje x
23 ylabel('Probabilidad de error') %
    nombre del eje y
24 grid on %Cuadricula
```

• Literal 3.6

Además, como la modulación designada para analizar en esta práctica de laboratorio fue 16-QAM, a continuación en la figura 5 se presenta la gráfica de probabilidad de error vs. E_b/N_o . Donde el valor de E_b/N_o va creciendo a pasos de 1 dB, donde el rango en el que se encuentra este parámetro es de 0 a 30 dB.

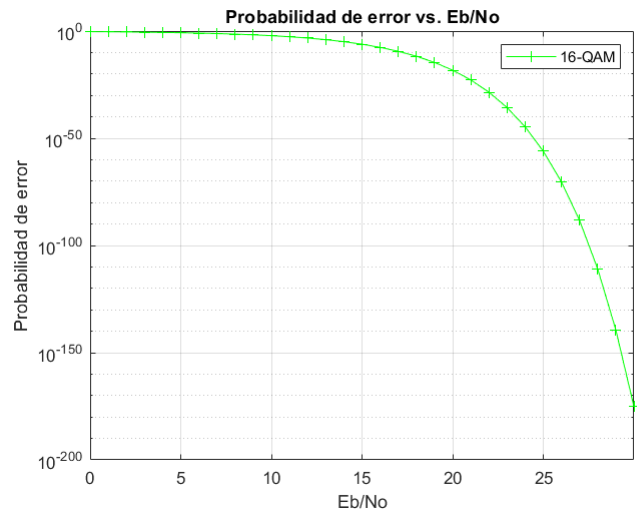


Fig. 5. Probabilidad de error vs E_b/N_o

En este caso, se puede llegar al mismo razonamiento en el punto anterior, pues la diferencia más notoria sería que a mayor número de estados de M-QAM, la probabilidad de error es mayor. Esto se puede concluir al momento de realizar una comparación entre las figuras 4 y 5 ya que la gráfica mostrada en la figura 4 decrece de una forma más rápida a medida que el valor de E_b/N_o va aumentando.

Código usado:

```
1 %% 16-QAM
2 close all
3 clc
4 M=16; %numero de fases
5 Pe=[]; %Creacion de un vector para la
    probabilidad de error
6
7 for Eb=0:1:30; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
8     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
9     a=3*log2(M); %Parte a del factor
10    b=2*(M-1); %Parte b del factor
11    c=a/b; %Factor total que multiplica
        a Eb/No
12    x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
13    Pel=2*((sqrt(M)-1)/sqrt(M))*erfc(x
        ); %Calculo de la prob. de
        error
14    Pe=[Pe Pel]; %Asignacion de los
        valores de prob. de error
15 end
16
17 Eb=0:1:30; %Vector de Eb/No
18 semilogy(Eb,Pe,'g+--') %Grafica
    semilogaritmica
19 legend('16-QAM') %Nombre de la grafica
```

```

20 title('Probabilidad de error vs. Eb/No
    ') %Titulo
21 xlabel('Eb/No') %nombre del eje x
22 ylabel('Probabilidad de error') %
    nombre del eje y
23 grid on %cuadricula

```

Resultados obtenidos en base a la práctica:

Se obtuvieron los diagramas de constelación ideal y real con un valor específico de relación señal a ruido, tal como se muestra en las figuras 1, 2 y 3, las mismas que son resultado del trabajo preparatorio. Todo esto se lo realizó con el fin de analizar como existe una relación entre la cantidad de estados y el valor de SNR.

64-QAM con $SNR = 30dB$

- Diagrama de constelación ideal de 64-QAM:

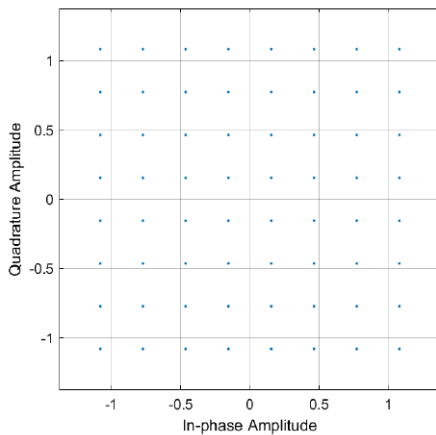


Fig. 6. Diagrama de constelaciones sin ruido de 64-QAM a 30 dB

- Diagrama de constelación real de 64-QAM:

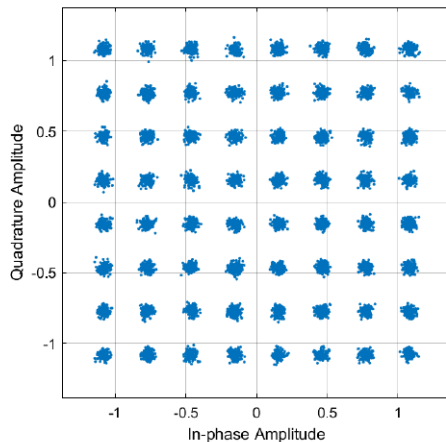


Fig. 7. Diagrama de constelaciones con ruido de 64-QAM a 30 dB

- Diagrama de ojo de pez:

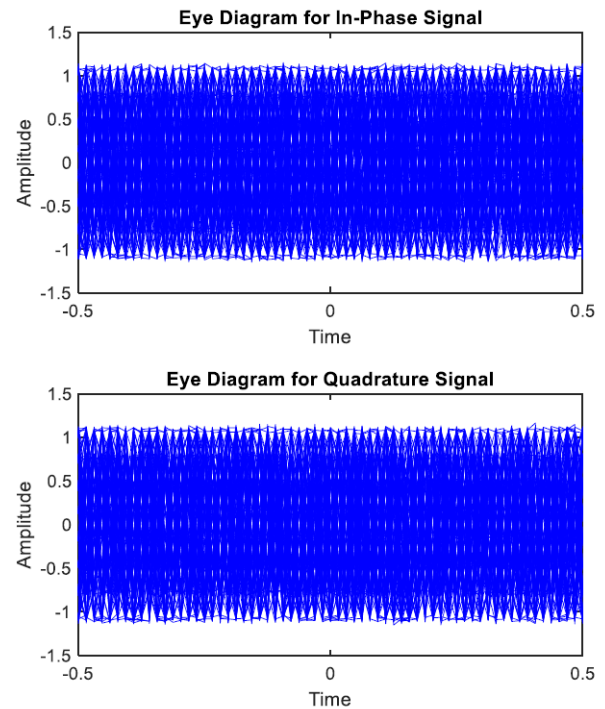


Fig. 8. Diagrama de ojo de pez con ruido de 64-QAM a 30 dB

16-QAM con $SNR = 15dB$

- Diagrama de constelación de ideal de 16-QAM:

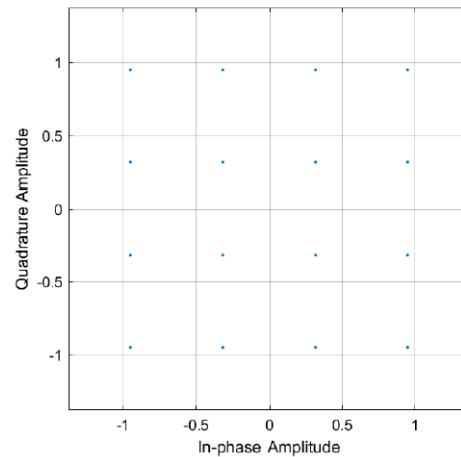


Fig. 9. Diagrama de constelaciones sin ruido de 16-QAM a 15 dB

- Diagrama de constelación real de 16-QAM:

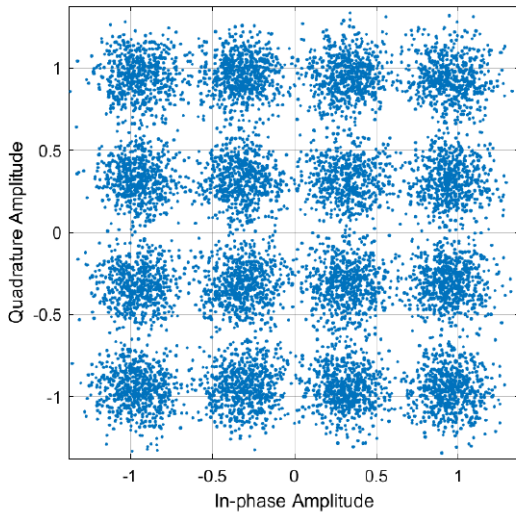


Fig. 10. Diagrama de constelaciones con ruido de 16-QAM a 15 dB

- Diagrama de ojo de pez:

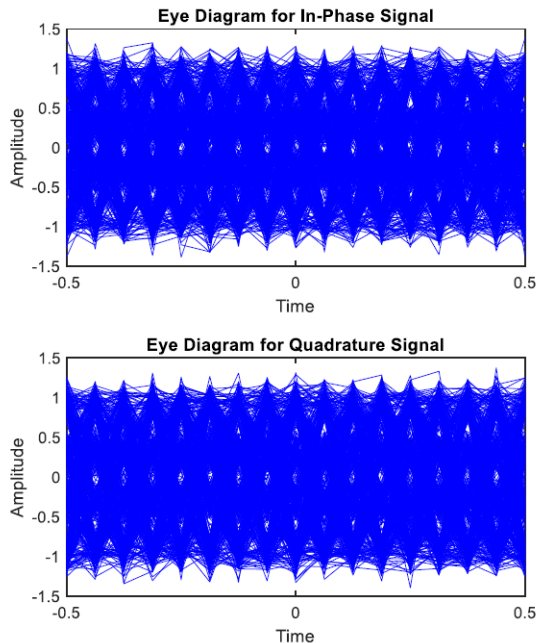


Fig. 11. Diagrama de ojo de pez con ruido de 16-QAM a 15 dB

Como conclusión general se puede decir que en ambos casos, 64-QAM y 16-QAM, se puede llegar a la misma conclusión que se obtuvo cuando analizamos los resultados del trabajo preparatorio, es decir, a medida que se aumente la cantidad de estados existe mayor dispersión en el diagrama del ojo siempre y cuando la relación de SNR no sea lo suficientemente alta como para garantizar que la probabilidad de error tenga un valor bajo.

Código usado

```
1 %% M-QAM
2 clear all
3 close all
4 clc
5 M=16; %Numero de fases
6 b=log2(M); %Numero de bits
7 SNR=30; %relacion senal a ruido
8
9 data = randi([0 1],10000*b,1); %vector de
    datos aleatorios ente 1 y 0
10 sym = qammod(data,M,'InputType','bit','
    UnitAveragePower',true); %Modulacion
    de los datos
11 stx=awgn(sym,SNR); %Paso a traves de un
    canal AWGN
12 cd=comm.ConstellationDiagram('
    ShowReferenceConstellation',false);
13 %Objeto del diagrama de constelacion
14 cd(stx); %Grafico del diagrama de
    constelacion real
15 cd1=comm.ConstellationDiagram('
    ShowReferenceConstellation',false);
16 %Objeto del diagrama de constelacion
17 cd1(sym); %Grafico del diagrama de
    constelacion ideal
18 n=1000; %numero de muestras
19 eyediagram(stx,M); %diagrama del ojo
```

- Modificar el código del punto 3.6 de tal manera que se pueda observar en una misma figura las gráficas del BER vs E_b/N_0 para las modulaciones: 4-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM.

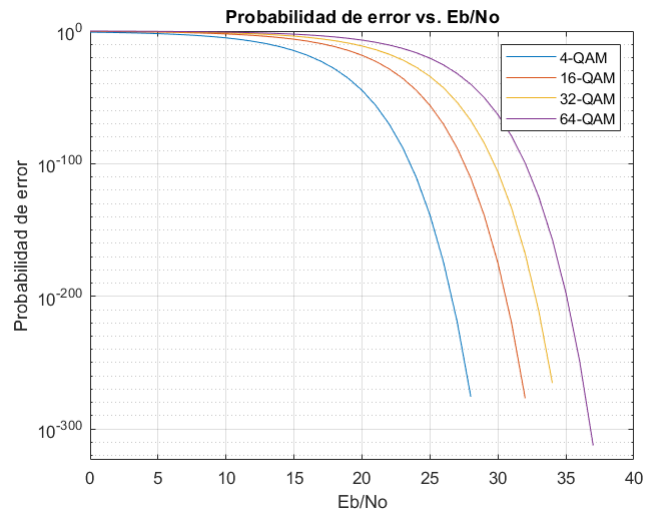


Fig. 12. Probabilidad de error vs E_b/N_o para 4-QAM, 16-QAM, 32-QAM y 64-QAM

El comportamiento para varios estados de M-QAM, es como se espera de una variación M-PSK, es decir a medida que el numero de niveles aumenta, la E_b/N_o debe ser mayor para mantener una probabilidad de error que no afecte a la señal modulada.

Código usado:

```

1 %% 4-QAM
2 clear all
3 close all
4 clc
5 M=4;%Numero de fases
6 M16=16;
7 M32 =32;
8 M64 =64;
9 Pe=[]; %Creacion de un vector para la
    probabilidad de error
10 Pe16=[];
11 Pe32=[];
12 Pe64=[];
13
14 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
15     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
16     a=3*log2(M); %Parte a del factor
17     b=2*(M-1); %Parte b del factor
18     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
19     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
20     Pe1=2*((sqrt(M)-1)/sqrt(M))*erfc(x
        ); %Calculo de la prob. de
        error
21     Pe=[Pe Pe1]; %Asignacion de los
        valores de prob. de error
22 end
23
24 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
25     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
26     a=3*log2(M16); %Parte a del factor
27     b=2*(M16-1); %Parte b del factor
28     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
29     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
30     Pe116=2*((sqrt(M16)-1)/sqrt(M16))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error
31     Pe16=[Pe16 Pe116]; %Asignacion de
        los valores de prob. de error
32 end
33

```

```

34 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
35     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
36     a=3*log2(M32); %Parte a del factor
37     b=2*(M32-1); %Parte b del factor
38     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
39     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
40     Pe332=2*((sqrt(M32)-1)/sqrt(M32))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error
41     Pe32=[Pe32 Pe332]; %Asignacion de
        los valores de prob. de error
42 end
43
44 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
45     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
46     a=3*log2(M64); %Parte a del factor
47     b=2*(M64-1); %Parte b del factor
48     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
49     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
50     Pe664=2*((sqrt(M64)-1)/sqrt(M64))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error
51     Pe64=[Pe64 Pe664]; %Asignacion de
        los valores de prob. de error
52 end
53
54
55 Eb=0:1:60; %Vector de Eb/No
56 semilogy(Eb,Pe',Eb,Pe16',Eb,Pe32',Eb,
    Pe64'); %Grafica semilogaritmica
57 legend('4-QAM','16-QAM','32-QAM','64-
    QAM') %Nombre de la grafica
58 title('Probabilidad de error vs. Eb/No
    ') %Titulo
59 xlabel('Eb/No') %nombre del eje x
60 ylabel('Probabilidad de error') %
    nombre del eje y
61 grid on %Cuadricula

```

- Codificar un script que permita observar en una misma figura las gráficas del BER vs E_b/N_0 para las distintas modulaciones M-PSK y M-QAM. Hacer uso del script de la Práctica N°3: BPSK, 8-PSK, 32-PSK, 4-QAM, 16-QAM, 32-QAM.

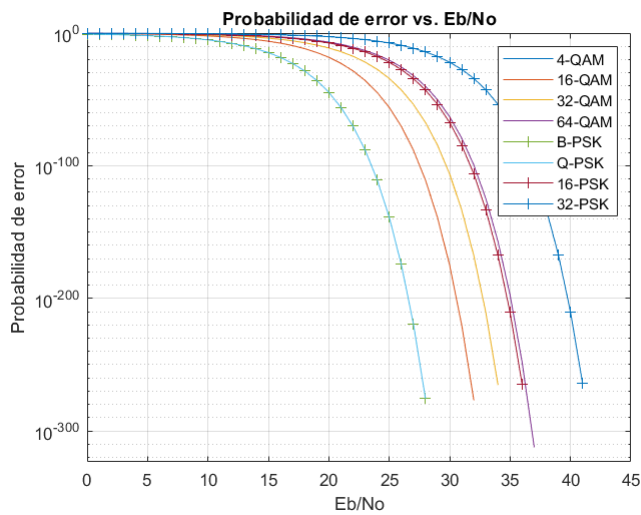


Fig. 13. Probabilidad de error vs E_b/N_o comparando M-QAM y M-PSK

En la figura 13, se realiza una comparación directa entre las diferencias que existe entre M-QAM y M-PSK. Es importante realizar esto, ya que ambas siguen el mismo principio de modulación de múltiples salidas de fase con respecto a la señal modulante, pero en el caso de M-QAM da un mejor rendimiento, puesto que combina también la amplitud de la señal para enviar la información.

Esto se ve reflejado ya que se necesita un valor de E_b/N_o bajo comparado a M-PSK, para mantener la misma probabilidad de error. La parte más representativa de esta característica es en 16-PSK y 64-QAM, ya que fácilmente se puede llegar a la conclusión de las ventajas que se tiene con una modulación QAM.

Código usado:

```

1  % M-QAM
2  clear all
3  close all
4  clc
5  M=4;%Numero de fases
6  M16=16;
7  M32 =32;
8  M64 =64;
9  Pe=[]; %Creacion de un vector para la
    probabilidad de error
10 Pe16=[];
11 Pe32=[];
12 Pe64=[];
13
14 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
15     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
16     a=3*log2(M); %Parte a del factor
17     b=2*(M-1); %Parte b del factor
18     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No

```

```

19     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
20     Pe1=2*((sqrt(M)-1)/sqrt(M))*erfc(x)
        ); %Calculo de la prob. de
        error
21     Pe=[Pe Pe1]; %Asignacion de los
        valores de prob. de error
22 end
23
24 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
25     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
26     a=3*log2(M16); %Parte a del factor
27     b=2*(M16-1); %Parte b del factor
28     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
29     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
30     Pe116=2*((sqrt(M16)-1)/sqrt(M16))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error
31     Pe16=[Pe16 Pe116]; %Asignacion de
        los valores de prob. de error
32 end
33
34 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
35     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
36     a=3*log2(M32); %Parte a del factor
37     b=2*(M32-1); %Parte b del factor
38     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
39     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
40     Pe332=2*((sqrt(M32)-1)/sqrt(M32))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error
41     Pe32=[Pe32 Pe332]; %Asignacion de
        los valores de prob. de error
42 end
43
44 for Eb=0:1:60; %lazo for que varia el
    valor de Eb/No
45     Eb1=10^(Eb/10); %Transformacion de
        dB a veces
46     a=3*log2(M64); %Parte a del factor
47     b=2*(M64-1); %Parte b del factor
48     c=a/b; %Factor total que
        multiplica a Eb/No
49     x=sqrt(c*Eb1); %Raiz del valor a
        calcular con la funcion erfc
50     Pe664=2*((sqrt(M64)-1)/sqrt(M64))*
        erfc(x); %Calculo de la prob.
        de error

```

```

51 Pe64=[Pe64 Pe664]; %Asignacion de
    los valores de prob. de error
52 end
53
54 %M-PSK
55 m=2; %numero de fases
56 m1=4;
57 m2=16;
58 m3=32;
59 pe=[];%creacion de un vector para la
60 pe11 = [];
61 pe22 = [];
62 pe33 = [];
63 %probabilidad de error
64 for Eb=0:1:60 %lazo for para variar el
    valor de Eb/No
65     x=10^(Eb/10); %cambio de dB a
        veces el valor de EB/No
66     pe1=erfc(sin(pi/m).*sqrt(log2(m))
        .*sqrt(x)); %Calculo de la prob
        . de error
67     pe=[pe pe1]; %asignacion de los
        valores obtenidos al vector pe
68 end
69
70 for Eb1=0:1:60 %lazo for para variar
    el valor de Eb/No
71     x1=10^(Eb1/10); %cambio de dB a
        veces el valor de EB/No
72     pe111=erfc(sin(pi/m1).*sqrt(log2(
        m1)).*sqrt(x1)); %Calculo de la
        prob. de error
73     pe11=[pe1 pe111]; %asignacion de
        los valores obtenidos al vector
        pe
74 end
75
76 for Eb2=0:1:60 %lazo for para variar
    el valor de Eb/No
77     x2=10^(Eb2/10); %cambio de dB a
        veces el valor de EB/No
78     pe222=erfc(sin(pi/m2).*sqrt(log2(
        m2)).*sqrt(x2)); %Calculo de la
        prob. de error
79     pe22=[pe22 pe222]; %asignacion de
        los valores obtenidos al vector
        pe
80 end
81
82 for Eb3=0:1:60 %lazo for para variar
    el valor de Eb/No
83     x3=10^(Eb3/10); %cambio de dB a
        veces el valor de EB/No
84     pe333=erfc(sin(pi/m3).*sqrt(log2(
        m3)).*sqrt(x3)); %Calculo de la
        prob. de error

```

```

85     pe33=[pe33 pe333]; %asignacion de
        los valores obtenidos al vector
        pe
86 end
87
88
89 Eb=0:1:60; %Vector de Eb/No
90 semilogy(Eb,Pe',Eb,Pe16',Eb,Pe32',Eb,
    Pe64',Eb,pe','+-',Eb,pe11','-',Eb,
    pe22','+-',Eb,pe33','+-'); %Grafica
    semilogaritmica
91 legend('4-QAM','16-QAM','32-QAM','64-
    QAM','B-PSK','Q-PSK','16-PSK','32-
    PSK') %Nombre de la grafica
92 title('Probabilidad de error vs. Eb/No
    ') %Titulo
93 xlabel('Eb/No') %nombre del eje x
94 ylabel('Probabilidad de error') %
    nombre del eje y
95 grid on %Cuadricula

```

B. Identificar las ventajas y desventajas más relevantes de los esquemas de modulación M-PSK y M-QAM sobre un canal AWGN.

M-PSK

• Ventajas:

- Es menos susceptible a errores en comparación con la modulación ASK y ocupa el mismo ancho de banda que ASK.
- Lleva los datos a través de la señal de RF de manera más eficiente en comparación con otros tipos de modulación. Por lo tanto, es una técnica de modulación más eficiente en comparación con ASK y FSK [2].
- Una alta velocidad de transmisión de datos se puede lograr con la ayuda de modulaciones PSK de alto nivel como QPSK, 16-PSK.

• Desventajas:

- Los datos binarios se decodifican mediante la estimación de los estados de fase de la señal. Los algoritmos de detección y recuperación son muy complejos.
- También es una forma de FSK y, por lo tanto, también ofrece una menor eficiencia de ancho de banda, en comparación a M-ASK.
- Genera demodulaciones incorrectas ya que la falla puede combinarse con retardo porque la señal de referencia para la demodulación no es fija.
- A veces son extremadamente sensibles a las diferencias de fase y se puede generar una modulación incorrecta [3].

M-QAM

- Ventajas:
 - QAM aumenta la eficiencia de la transmisión por radio sistemas de comunicaciones utilizando variaciones de amplitud y fase.
 - El aumento de niveles en una modulación QAM aumenta la capacidad del enlace para un tamaño de canal fijo. De 1024 QAM a 2048 QAM proporciona una ganancia de capacidad del 10.83% [?].
 - Mediante la adición de más niveles a los canales I y Q, se pueden obtener tasas más altas de modulación de datos.
- Desventajas:
 - El principal beneficio de la modulación M-QAM es el uso eficiente del ancho de banda. Esto se debe al hecho de que QAM representa más cantidad de bits por portadora.
 - Más susceptible al ruido porque los estados están más juntos, de modo que se necesita un nivel de ruido más bajo.
 - Cuando una señal modulada en fase o frecuencia se amplifica en una radio transmisor, no hay necesidad de usar amplificadores lineales, mientras que cuando se usa QAM que contiene un componente de amplitud, se debe mantener la linealidad. Desafortunadamente, los amplificadores lineales son menos eficientes y consumen más potencia [4].
 - El receptor QAM es más complejo en comparación con los receptores de otros tipos de modulación.
 - Además de necesitar un valor alto de SNR, las técnicas de modulación con más fases, necesitan algoritmos muy robustos (tiempo, frecuencia y canal) para decodificar los símbolos sin errores [5].

C. Consultar qué tipo de modulaciones M-QAM son más utilizadas y en que sistemas de comunicación se aplican.

Debido a que M-QAM ayuda a lograr una alta velocidad de datos a medida que la portadora transporta más número de bits. Se ha vuelto popular en los sistemas modernos de comunicación inalámbrica como LTE, LTE-Advanced, etc. También se usa en las últimas tecnologías WLAN como 802.11n 802.11 ac, 802.11 ad y otras.

Aplicaciones:

- La señal OFDM utilizada en LTE en 4G comprende un máximo de 2048 subportadoras diferentes que tienen una separación de 15 kHz. Es posible elegir entre tres tipos de modulación para la señal LTE:
 - 4QAM 2 bits por símbolo
 - 16 QAM 4 bits por símbolo
 - 64 QAM 6 bits por símbolo [6]
- 64 QAM y 256 QAM se utilizan a menudo en aplicaciones de televisión por cable digital y módem de cable. En el Reino Unido, 16 QAM y 64 QAM se utilizan actualmente para la televisión digital terrestre utilizando DVB Digital Video Broadcasting.
- En los Estados Unidos, 64 QAM y 256 QAM son los esquemas de modulación obligatorios para cable digital estandarizados por SCTE en el estándar ANSI/SCTE 07 2000 [7].
- 256QAM para la transmisión de datos DL para mejorar la eficiencia espectral y el rendimiento del sistema LTE-Advanced [8].
- La modulación M-QAM es empleada por módems para velocidades superiores a los 2400 bps (por ejemplo V.22 bis y V.32).
- Para el estándar DVB-H y MediaFLO, el uso de la modulación 4K mejora la recepción móvil y se puede utilizar la modulación de portadora 16-QAM [9].
- Por otro lado, Wi-Fi (MGWS) utiliza 16-QAM y 64-QAM con un rango de velocidad de transmisión desde 2772 Mbps a 6756.5 Mbps. Además White-Fi, Super Wi-Fi y Wi-Fi HaLow utilizan 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM dependiendo su velocidad de transmisión y requerimientos [10].

IV. CONCLUSIONES

- Ronaldo Almachi:
 - 1) M-QAM, se considera una variación M-PSK, pero con la diferencia que la amplitud de la portadora varía según la modulante, esto conlleva a un mejor rendimiento ante un ruido AWGN ante los errores, lo que nos da como resultado una técnica de modulación mucho mas robusta que M-PSK, teniendo en consideración que M-PSK ya que considera un muy buena opción al modular.
 - 2) La E_b/N_o que se necesita para obtener una probabilidad de errores baja ante el ruido para M-QAM es baja comparada M-PSK, pues para un nivel como 64-QAM la E_b/N_o , es tan solo un poco diferente de 16-PSK, lo que confirma lo que en un primer vistazo se pudo concluir.
 - 3) La distancia entre puntos adyacentes del diagrama de constelaciones para M-QAM es mayor a M-PSK, esto se debe a la característica de QAM de variar la amplitud de la portadora, a pesar de que es mas propenso a sufrir errores debido a la amplitud, se desempeña mejor que una modulación que no tiene esta desventaja, es decir que una modulación va a ser mas o menos efectiva dependiendo la manera en la que la usemos.
- Melanny Dávila:
 - 1) La modulación M-QAM aumenta la velocidad de transmisión ya que los datos están contenidos en amplitud y fase de la señal, no como en otras modulaciones donde los datos están contenidos sólo en amplitud o fase.
 - 2) La eficiencia en este tipo de modulación ,M-QAM, es mucho mayor ya que la transmisión de datos se la hace mediante dos canales ortogonales (Q y I) por medio del mismo ancho de banda.

- 3) La distancia euclidiana en la modulación M-QAM es mayor en comparación a otras modulaciones como M-PSK o M-ASK; por lo que la probabilidad de error es menor a medida que se aumenta el valor de E_b/N_o .

V. RECOMENDACIONES

- Ronaldo Almachi:

- 1) Etiquetar de manera clara cada una de las gráficas generadas, esto con el propósito de ver de manera clara las diferencias que existen.
- 2) Usar valores de SNR, bajas y altas para un mismo nivel de M-QAM junto con el diagrama de constelaciones esto nos ayudara a tener una noción mas clara del como afecta el ruido a tener mas o menos errores.
- 3) Para graficar la probabilidad de errores vs E_b/N_o , con el propósito de comparar M-QAM y M-PSK usar un SNR de 0 a 60dB, para que se tenga una vista completa de las gráficas a diferentes niveles de estado respectivamente.

- Melanny Dávila:

- 1) Utilizar la cantidad de datos necesarios para que en los diagramas de constelación ideal y real se puedan observar todas las fases de la modulación, esto con el fin de poder realizar una comparación mejor entre ellos.
- 2) Realizar la construcción correcta de los gráficos de probabilidad de error vs. E_b/N_o ya que en base a ellos se puede realizar una comparación más exacta entre modulaciones.
- 3) Es de vital importancia que cada línea de código de los scripts realizados en el trabajo preparatorio se encuentren correctamente comentados, con el fin de realizar los cambios solicitados por el instructor de laboratorio de una manera rápida.

REFERENCES

- [1] E. Tatayo, "Análisis del Comportamiento de M-QAM sobre un Canal AWGN". C.P. COMUNICACIÓN DIGITAL, Accedido: jul. 08, 2020. [En línea].
- [2] "PSK Advantages — PSK Disadvantages — Phase Shift Keying". <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-PSK.html> (accedido jul. 10, 2020).
- [3] "Phase Shift Keying: Types, Advantages, Disadvantages and Applications", ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students, sep. 30, 2019. <https://www.elprocus.com/phase-shift-keying-psk-types-and-its-applications/> (accedido jul. 10, 2020).
- [4] "QAM - Definition — Mapping Process — Advantage & Disadvantages", 4G LTE Mall, jul. 06, 2018. <https://www.4gltmall.com/blog/qam-2/> (accedido jul. 10, 2020).
- [5] "What is QAM: Quadrature Amplitude Modulation Electronics Notes". <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/modulation/quadrature-amplitude-modulation-what-is-qam-basics.php> (accedido jul. 10, 2020).
- [6] "Advantages of QAM — Disadvantages of QAM — 16QAM,64QAM,256QAM". <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-QAM-types.html> (accedido jul. 10, 2020).
- [7] "4G LTE Modulation: OFDM OFDMA SC-FDMA Electronics Notes". <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/4g-lte-long-term-evolution/ofdm-ofdma-scfdma-modulation.php> (accedido jul. 10, 2020).

- [8] AHSAN HALIMI, "QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION", 15:22:06 UTC, Accedido: jul. 10, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/ahsanhalimi/quadrature-amplitude-modulation-54999195>.
- [9] "LTE modulation", 4G Wireless. <https://www.4gmobiletech.com/modulation-techniques> (accedido jul. 10, 2020).
- [10] "Broadcasting To Cell Phones — TV Technology". <https://www.tvtechnology.com/opinions/broadcasting-to-cell-phones> (accedido jul. 10, 2020).