

“ECUALIZACIÓN”

Informe N°6

Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas

Melanny Dávila

Ingeniería en Telecomunicaciones

Facultad de Eléctrica y Electrónica

Quito, Ecuador

melanny.davila@epn.edu.ec

Abstract—En el siguiente documento se presentan gráficas de BER vs E_b/N_o para la modulación BPSK con los modelos de canal Rayleigh y Rician en escenarios variados, entre los cuales se encuentra el canal analizado con ecualización y sin ecualización. Además, para mejorar el entendimiento del fenómeno, se presentan comparaciones con los mismos escenarios, pero aplicando un esquema de modulación diferente.

Index Terms—Ecualización, canal, BERM Rayleigh, Ricia, AWGN.

I. INTRODUCCIÓN

Un modelo de canal es propio de comunicaciones al aire libre o en espacios abiertos, como la telefonía móvil. Dependiendo de la posición de la antena emisora es decir si tiene o no línea de vista con la antena receptora se usa un modelo u otro. La principal diferencia entre un modelo Rice y Rayleigh es la existencia de un factor de desvanecimiento ‘k’.

Ahora, es importante mencionar que M-QAM es una técnica de modulación digital que guarda similitud con la modulación digital M-PSK y M-ASK, es decir para una secuencia de datos puede variar tanto su fase como su amplitud, como resultado se podría decir que es una combinación de ambas modulaciones. Asimismo, SNR y E_b/N_0 son parámetros en sistema de transmisión de datos que permiten tener un estimado del rendimiento del canal con este propósito se usa ambos parámetros para obtener el valor de BER y SER, para obtener una idea más precisa de cual sería la opción mas óptima de un canal implementado.

II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con la ecualización de canal en un sistema de comunicación digital.
- Calcular el Bit Error Rate (BER) para diferentes modulaciones sobre canales: (i) Rayleigh flat fading; (ii) Rician flat fading y (iii) AWGN.

III. CUESTIONARIO

A. Presentar los resultados obtenidos en la práctica desarrollada. Comente los resultados.

Durante de la sesión de laboratorio se implementaron diferentes casos de estudio. A continuación, se describirán brevemente cada uno de ellos:

- Escenario 1: En este caso se trabaja únicamente con un canal AWGN es decir los datos una vez que han sido modulados atraviesan un canal con ruido blanco gaussiano aditivo para posteriormente ser demodulados.
- Escenario 2: La única diferencia de este caso con el anterior, radica que se toma en cuenta un modelo de canal ya se Rayleigh o Rician; todo lo descrito anteriormente en el escenario 1 funciona de la misma manera.
- Escenario 3: En base al escenario 2, se implementa un ecualizador Zero-Forcing previo al proceso de demodulación .

Canal Rayleigh

En cada uno de los escenarios descritos se busca analizar la tasa de bit errado en conforme la relación entre energía de bit y figura de ruido varía. Primero se analizará el modelo de canal Rayleigh con modulación BPSK y 100000 muestras.

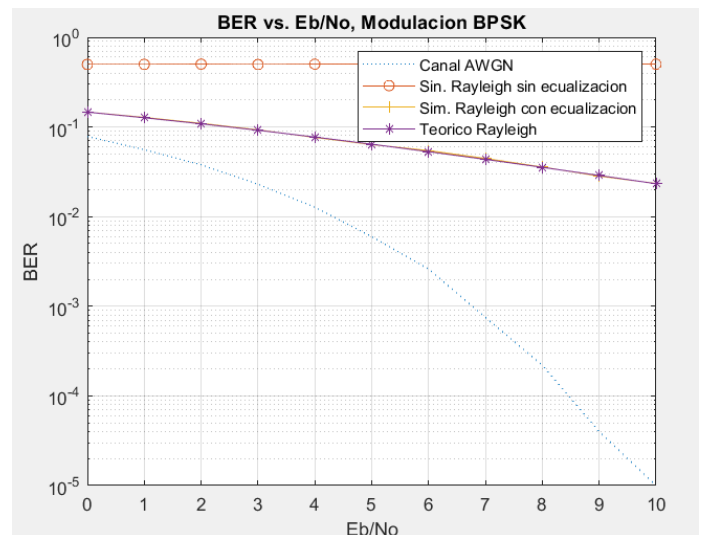


Fig. 1. Canal Rayleigh

En base a las curvas presentes en la figura 1, se observa claramente que el escenario 1 (canal AWGN) tiene una mejor tasa de bit errado en comparación a los otros 2 escenarios. Mientras que cuando se tiene un canal Rayleigh simulado en el cual se implementa ecualización, su comportamiento es muy similar al canal teórico Rayleigh. Finalmente, el peor caso fue cuando se implementó el modelo de canal sin el uso de un ecualizador ya que la tasa de bit errado aumenta considerablemente.

Para esta implementación se utilizó el siguiente script de MatLab y diferentes funciones que han sido desarrolladas en sesiones de laboratorio anteriores.

```

1 clc
2 clear all
3 close all
4 n=1e5;%Numero de bits
5 m=1;%Numero de bits por simbolos
6 M=2^m;%Numero de estados
7 Eb_N0=0:10; %Vector de energia de bits
8 SNR=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
9 des=1/sqrt(2);
10 bits= randi([0 1],n*m,1);%bits
    transmitidos
11 kfactor=6;%En dB
12 k=10^(6/10); %K en veces
13 sigma=1/sqrt(2);%Factor sigma
14 omega=1;%Factor omega
15 for i=1:length(Eb_N0)
16 % Escenario 1
17 InformacionModulada = modulador(bits,m
    );%bits modulados
18 InformacionRuido=awgn(
    InformacionModulada,SNR(i),'
    measured');%Colocamos Ruido
19 InformacionDemodulada=demodulador(
    InformacionRuido,m);%bits
    demodulados
20 [Bit_Er,BER(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada);%BER
21 %Escenario 2
22 InformacionCanal=canal_rayleigh(n,
    sigma); %canal Rayleigh
23 %histogram(abs(InformacionCanal))
24 InformacionRayleigh=reshape(
    InformacionCanal,[],1);%Reformulo
    el vector
25 Producto=InformacionRayleigh.*
    InformacionModulada;%Producto de hx
26 InformacionRuido2=awgn(Producto,SNR(i)
    , 'measured');%Ruido AWGN
27 InformacionDemodulada2=demodulador(
    InformacionRuido2,m);%Informacion
    demodulada

```

```

28 [Bit_Er2,BER2(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada2);%BER
29 %Escenario 3
30 Producto1=InformacionModulada.*
    InformacionRayleigh;
31 InformacionRuido3=awgn(Producto1,SNR(i)
    , 'measured');%Ruido AWGN
32 InformacionEcualizada=
    InformacionRuido3./
    InformacionRayleigh;%Compensar con
    ecualizador
33 InformacionDemodulada3=demodulador(
    InformacionEcualizada,m);%bits
    demodulados
34 [Bit_Er3,BER3(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada3);%BER
35 end
36 %Escenario 4
37 BER4 = berfading(Eb_N0,'psk',M,1);
38 figure(1)
39 semilogy(Eb_N0,BER,':');
40 hold on
41 semilogy(Eb_N0,BER2,'-o');
42 hold on
43 semilogy(Eb_N0,BER3,'-+');
44 hold on
45 semilogy(Eb_N0,BER4,'*-');
46 grid on
47 title('BER vs. Eb/No, Modulacion BPSK'
    )
48 xlabel('Eb/No')
49 ylabel('BER')
50 legend('Canal AWGN','Sin. Rayleigh
    sin ecualizacion','Sim. Rayleigh
    con ecualizacion','Teorico Rayleigh
    ');

```

Script 1. Canal Rayleigh

Canal Rician

A continuación, se implementarán los mismos escenarios con el modelo de canal Rician dando como resultado la figura 2. Las consideraciones importantes para esta implementación fueron: $k = 6[dB]$ y $\Omega = 1$

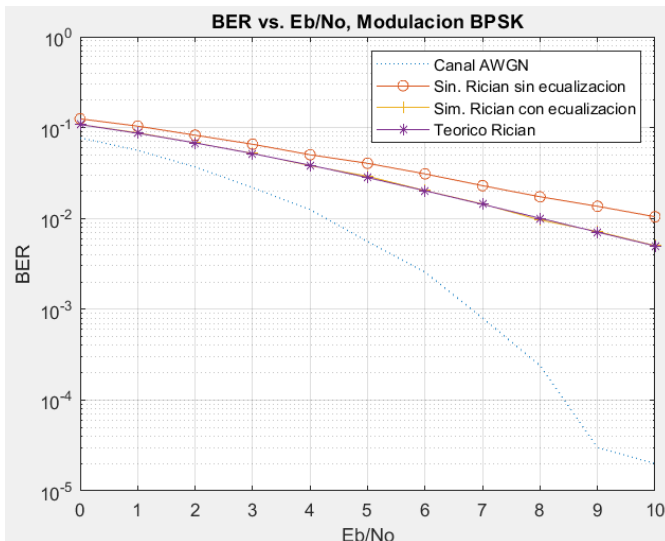


Fig. 2. Canal Rician

Para este caso, el canal AWGN se comporta de mejor manera dado a que no toma en cuenta ningún modelo de canal. Tanto la implementación teórica del canal Rician como la simulación del canal Rician con el uso de ecualización se comportan de manera similar; mientras que entre Rician sin ecualización la tasa de bit errado aumenta pero no de una manera altamente considerable.

Para esta implementación se utilizó el siguiente script de MatLab.

```

1 clc
2 clear all
3 close all
4 n=1e5;%Numero de bits
5 m=1;%Numero de bits por simbolos
6 M=2^m;%Numero de estados
7 Eb_No=0:10; %Vector de energia de bits
8 SNR=Eb_No+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
9 des=1/sqrt(2);
10 bits= randi([0 1],n*m,1);%bits
    transmitidos
11 k=6;%En dB
12 omega=1;%Factor omega
13 for i=1:length(Eb_No)
14 % Escenario 1
15 InformacionModulada = modulador(bits,m
    );%bits modulados
16 InformacionRuido=awgn(
    InformacionModulada,SNR(i),'
    measured');%Colocamos Ruido
17 InformacionDemodulada=demodulador(
    InformacionRuido,m);%bits
    demodulados
18 [Bit_Er,BER(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada);%BER

```

```

19 %Escenario 2
20 InformacionCanal=canal_rician(n,k,
    omega); %canal Rician
21 %histogram(abs(InformacionCanal))
22 InformacionRician=reshape(
    InformacionCanal,n,1);%Reformulo el
    vector
23 Producto=InformacionModulada.*
    InformacionRician;%Producto de hx
24 InformacionRuido2=awgn(Producto,SNR(i)
    ,'measured');%Ruido AWGN
25 InformacionDemodulada2=demodulador(
    InformacionRuido2,m);%Informacion
    demodulada
26 [Bit_Er2,BER2(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada2);%BER
27 %Escenario 3
28 InformacionEcualizada=
    InformacionRuido2./
    InformacionRician;%Compensar con
    ecualizador
29 InformacionDemodulada3=demodulador(
    InformacionEcualizada,m);%bits
    demodulados
30 [Bit_Er3,BER3(i)]= biterr(bits,
    InformacionDemodulada3);%BER
31 end
32 %Escenario 4
33 kfactor=10^(6/10);
34 BER4 = berfading(Eb_No,'psk',M,1,
    kfactor);
35 figure(2)
36 semilogy(Eb_No,BER,':');
37 hold on
38 semilogy(Eb_No,BER2,'-o');
39 hold on
40 semilogy(Eb_No,BER3,'-+');
41 hold on
42 semilogy(Eb_No,BER4,'*-');
43 grid on
44 title('BER vs. Eb/No, Modulacion BPSK'
    )
45 xlabel('Eb/No')
46 ylabel('BER')
47 legend('Canal AWGN','Sin. Rician sin
    ecualizacion','Sim. Rician con
    ecualizacion','Teorico Rician');

```

Script 2. Canal Rician

B. En una sola Figura incluir las curvas 1 y 4 de Figura 1-Ray: Canal Rayleigh con la curva 4 de Figura 2-Ric: Canal Rician. La figura debe incluir leyendas, etiquetas de eje, título y activar la grilla. Discutir los resultados al comparar el BER con canal AWGN y el BER de un canal con desvanecimiento de Rayleigh y Rician.

A continuación se presenta el segmento de código que fue utilizado para la obtención de las curvas mostradas en la figura 3.

```
1 %Datos
2 n=1e5;%Numero de bits
3 m=1;%Numero de bits por simbolos
4 M=2^m;%Numero de estados
5 %m=log2(M);
6 Eb_N0=0:10; %Vector de energia de bits
7 SNR=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
   a SNR
8 des=1/sqrt(2);
9 bits= randi([0 1],n*m,1);%bits
   transmitidos
10 sigma=1/sqrt(2);%Factor sigma
11 omega=1;%Factor omega
12 k=6;%En dB
13 omega=1;%Factor omega
14 for i=1:length(Eb_N0)
15 % Escenario 1 Rayleigh
16 InformacionModulada = modulator(bits,m
   );%bits modulados
17 InformacionRuido=awgn(
   InformacionModulada,SNR(i),'
   measured');%Colocamos Ruido
18 InformacionDemodulada=demodulador(
   InformacionRuido,m);%bits
   demodulados
19 [Bit_Er,BER(i)]= biterr(bits,
   InformacionDemodulada);%BER
20
21 end
22 %Escenario 4 Rayleigh
23 BER2 = berfading(Eb_N0,'psk',M,1);
24 %Escenario 4 Rician
25 kfactor=10^(k/10);
26 BER3 = berfading(Eb_N0,'psk',M,1,
   kfactor);
27 figure
28 semilogy(Eb_N0,BER,':');
29 hold on
30 semilogy(Eb_N0,BER2,'-o');
31 hold on
32 semilogy(Eb_N0,BER3,'*-');
33 grid on
34 title('BER vs. Eb/No con BPSK para
   AWGN, Rayleigh y Rician')
35 xlabel('Eb/No')
36 ylabel('BER')
```

```
37 legend('Canal AWGN','Teorico Rayleigh'
   , 'Teorico Rician');
```

Script 3. Canal AWGN Rayleigh y Rician

En la siguiente figura, se puede observar nuevamente que el canal AWGN maneja mejor tasas de bit errado debido a que no toma en cuenta un modelo de canal, es decir no existe desvanecimiento. Mientras que el canal Rician brinda mejores resultados en comparación al canal Rayleigh debido a que en el modelo Rician existe línea de visión entre transmisor y receptor.

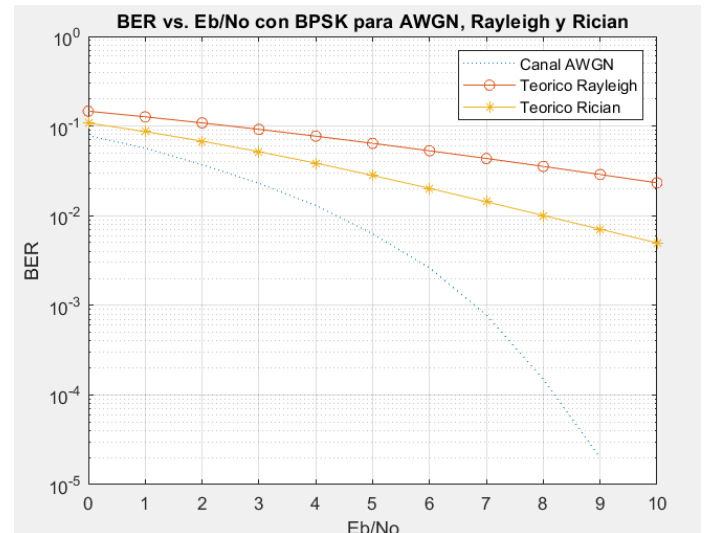


Fig. 3. BER para un canal AWGN, Rayleigh y Rician.

C. Obtener la gráfica BER vs Eb/No para los escenarios de la figura 1 y las configuraciones indicadas en la Tabla 2. Se debe incluir leyendas, etiquetas de ejes, título y activar la grilla en las figuras.

A continuación, se presentan las curvas resultantes en base a las condiciones descritas en la hoja guía.

Canal Rayleigh

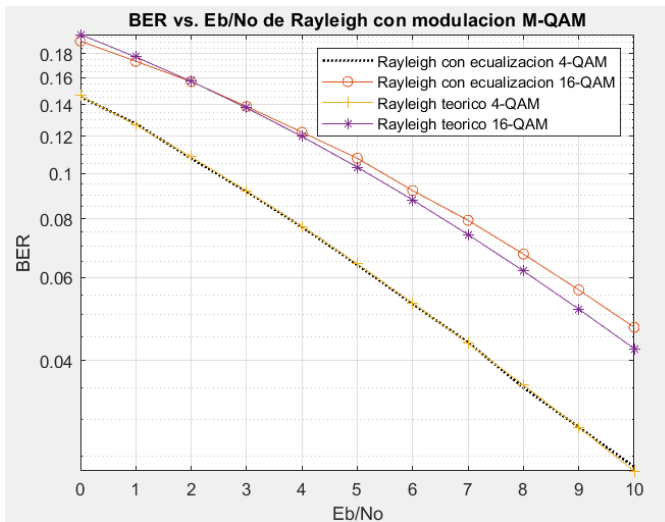


Fig. 4. BER vs. E_b/N_0 con modulación M-QAM del canal Rayleigh

Script de MatLab utilizado:

```

1 clc
2 clear all
3 close all
4 n=1e5;%Numero de bits
5 Eb_N0=0:10; %Vector de energia de bits
6 des=1/sqrt(2);
7 bits= randi([0 1],n,1);%bits
   transmitidos
8 sigma=1/sqrt(2);%Factor sigma
9 omega=1;%Factor omega
10 for i=1:length(Eb_N0)
11 % Escenario 1
12 m=2;%Numero de bits por simbolos
13 M=2^m;%Numero de estados 4-QAM
14 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
   a SNR
15 InformacionModulada = modulador(bits,m
   );%bits modulados 4-QAM
16 InformacionCanal=canal_rayleigh(n,
   sigma); %canal Rayleigh
17 InformacionRayleigh=reshape(
   InformacionCanal,[],1);%Reformulo
   el vector
18 Producto=InformacionRayleigh.*
   InformacionModulada;%Producto de hx
19 InformacionRuido=awgn(Producto,SNR1(i)
   , 'measured');%Ruido AWGN
20 InformacionEcualizada=InformacionRuido
   ./InformacionRayleigh;%Compensar
   con ecualizador
21 InformacionDemodulada=demodulador(
   InformacionEcualizada,m);%bits
   demodulados 4-QAM
22 [Bit_Er3,BER(i)] = biterr(bits,
   InformacionDemodulada);%BER

```

```

23 % Escenario 2
24 m=4;%Numero de bits por simbolos
25 M=2^m;%Numero de estados 16-QAM
26 InformacionModulada = modulador(bits,m
   );%bits modulados 4-QAM
27 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
   a SNR
28 InformacionCanal=canal_rayleigh(n,
   sigma); %canal Rayleigh
29 InformacionRayleigh=reshape(
   InformacionCanal,[],1);%Reformulo
   el vector
30 Producto=InformacionRayleigh.*
   InformacionModulada;%Producto de hx
31 InformacionRuido=awgn(Producto,SNR1(i)
   , 'measured');%Ruido AWGN
32 InformacionEcualizada=InformacionRuido
   ./InformacionRayleigh;%Compensar
   con ecualizador
33 InformacionDemodulada=demodulador(
   InformacionEcualizada,m);%bits
   demodulados 16-QAM
34 [Bit_Er2,BER2(i)] = biterr(bits,
   InformacionDemodulada);%BER
35 end
36 m=2;%Numero de bits por simbolos
37 M=2^m;%Numero de estados 4-QAM
38 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
   a SNR
39 %Escenario 4
40 BER3 = berfading(Eb_N0, 'qam', 4, 1);
41 m=4;%Numero de bits por simbolos
42 M=2^m;%Numero de estados 16-QAM
43 SNR=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
   a SNR
44 BER4 = berfading(Eb_N0, 'qam', 16, 1);
45 figure(1)
46 semilogy(Eb_N0,BER, '->');
47 hold on
48 semilogy(Eb_N0,BER2, '-*');
49 hold on
50 semilogy(Eb_N0,BER3, '-+');
51 hold on
52 semilogy(Eb_N0,BER4, '-<');
53 title('BER vs. Eb/No de Rayleigh con
   modulación M-QAM')
54 xlabel('Eb/No')
55 ylabel('BER')
56 legend('Rayleigh con ecualizacion 4-
   QAM','Rayleigh con ecualizacion 16-
   QAM','Rayleigh teorico 4-QAM','
   Rayleigh teorico 16-QAM');
57 grid on

```

Script 4. Canal Rayleigh con modulación M-QAM

Canal Rician

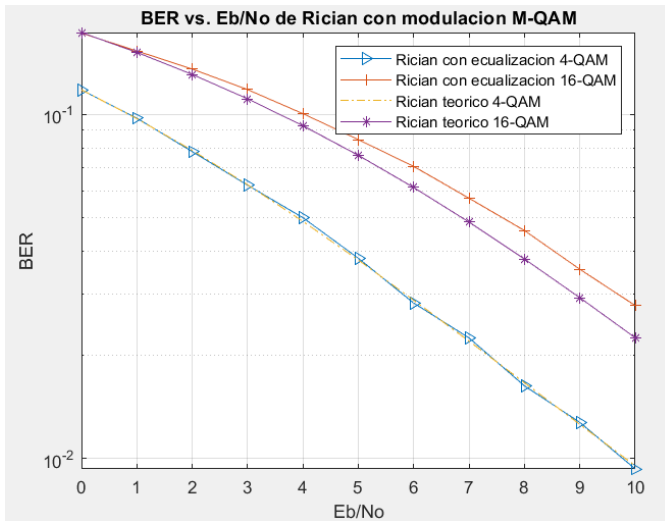


Fig. 5. BER vs. E_b/N_o con modulación M-QAM del canal Rician

Estas gráficas fueron obtenidas en base al siguiente script:

```

1 clc
2 close all
3 clear all
4 %Datos
5 n=1e5;%Numero de bits
6 Eb_N0=0:10; %Vector de energia de bits
7 des=1/sqrt(2);
8 bits= randi([0 1],n,1);%bits
    transmitidos
9 k=6;%En dB
10 k=10^(6/10); %K en veces
11 sigma=1/sqrt(2);%Factor sigma
12 omega=1;%Factor omega
13 for i=1:length(Eb_N0)
14 % Escenario 1
15 m=2;%Numero de bits por simbolos
16 M=2^m;%Numero de estados 4-QAM
17 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
18 InformacionModulada = modulador(bits,m
    );%bits modulados 4-QAM
19 InformacionCanal=canal_rician(n,k,
    omega); %canal Rician
20 InformacionRayleigh=reshape(
    InformacionCanal,[],1);%Reformulo
    el vector
21 Producto=InformacionRayleigh.*
    InformacionModulada;%Producto de hx
22 InformacionRuido=awgn(Producto,SNR1(i)
    , 'measured');%Ruido AWGN
23 InformacionEcualizada=InformacionRuido
    ./InformacionRayleigh;%Compensar
    con ecualizador
24 InformacionDemodulada=demodulador(
    InformacionEcualizada,m);%bits
    demodulados 4-QAM
25 [Bit_Er3,BER(i)] = biterr(bits,
    InformacionDemodulada);%BER
26
27 % Escenario 2
28 m=4;%Numero de bits por simbolos
29 M=2^m;%Numero de estados 16-QAM
30 InformacionModulada = modulador(bits,m
    );%bits modulados 16-QAM
31 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
32 InformacionCanal=canal_rician(n,k,
    omega); %canal Rician
33 %histogram(abs(InformacionCanal))
34 InformacionRayleigh=reshape(
    InformacionCanal,[],1);%Reformulo
    el vector
35 Producto=InformacionRayleigh.*
    InformacionModulada;%Producto de hx
36 InformacionRuido=awgn(Producto,SNR1(i)
    , 'measured');%Ruido AWGN
37 InformacionEcualizada=InformacionRuido
    ./InformacionRayleigh;%Compensar
    con ecualizador
38 InformacionDemodulada=demodulador(
    InformacionEcualizada,m);%bits
    demodulados 16-QAM
39 [Bit_Er2,BER2(i)] = biterr(bits,
    InformacionDemodulada);%BER
40 end
41 kfactor=10^(k/10);
42 %Escenario 3
43 m=2;%Numero de bits por simbolos
44 M=2^m;%Numero de estados 4-QAM
45 SNR1=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
46 BER3 = berfading(Eb_N0, 'qam', 4, 1,
    kfactor);
47 %Escenario 4
48 m=4;%Numero de bits por simbolos
49 M=2^m;%Numero de estados 16-QAM
50 SNR=Eb_N0+10*log10(m);%Transformacion
    a SNR
51 BER4 = berfading(Eb_N0, 'qam', 16, 1,
    kfactor);
52 figure(2)
53 semilogy(Eb_N0,BER, '->');
54 hold on
55 semilogy(Eb_N0,BER2, '-+');
56 hold on
57 semilogy(Eb_N0,BER3, '-. ');
58 hold on
59 semilogy(Eb_N0,BER4, '*- ');
60 title('BER vs. Eb/No de Rician con

```



```

        modulacion M-QAM')
61 xlabel('Eb/No')
62 ylabel('BER')
63 grid on
64 legend('Rician con ecualizacion 4-QAM'
        , 'Rician con ecualizacion 16-QAM', '
        Rician teorico 4-QAM', 'Rician
        teorico 16-QAM');

```

Script 5. Canal Rician con modulación M-QAM

D. Con respecto a la Figura 3-Ray y Figura 4-Ric de la Tabla 2, ¿Qué sucede con el desempeño del BER al aumentar el orden de la modulación (por ejemplo, pasar de 4-QAM a 16-QAM)?

A medida que la cantidad de estados de modulación aumenta, la tasa de bit errado aumenta de igual manera ya que las regiones de decisión en recepción son más pequeñas, lo que se traduce en que el receptor es más propenso a cometer errores, peor aún si el valor de SRN es menor. Por esto es importante utilizar técnicas de ecualización para poder obtener mejores resultados conforme la velocidad de transmisión aumenta es decir la cantidad de estados aumenta o se utiliza esquemas de modulación como M-QAM donde los datos son modulados en amplitud y fase de la señal. Asimismo, dado que en el canal Rayleigh no existe línea de visión, la cantidad de bits errados aumentará debido a que dichos obstáculos afectan directamente la señal.

E. Conclusiones:

- Los canales de comunicaciones inalámbricas afectan a las señales de datos de diferentes maneras, para contrarrestar estos efectos se implementa etapas adicionales en recepción, siendo una de ellas la ecualización, la cual consiste en dividir la señal obtenida en recepción por la respuesta del canal, de esta manera se elimina el efecto del canal en la señal.
- La ecualización es una técnica que ayuda a contrarrestar efectos que sufre el canal inalámbrico, esto se observó claramente en las diferentes figuras presentadas debido a que la tasa de bit errado disminuyó lo que se traduce en menor cantidad de errores en recepción.
- Dependiendo del tipo de modelo de canal que se implemente, la tasa de bit errado se verá directamente afectada ya que el canal Rician es mucho mejor que el Rayleigh porque considera menor cantidad de obstáculos en la transmisión.

F. Recomendaciones:

- Colocar leyendas, colores, estilos en las diferentes curvas para diferencias de manera clara los diferentes tipos de modelos de canal y de esta forma llegar a conclusiones más precisas.
- Trabajar con las unidades correctas y sus respectivas transformaciones en cada uno de los escenarios implementados.

- Comentar los segmentos de código con el fin de realizar cambios o correcciones de una manera más fácil y sin cometer tantos errores.

REFERENCES

- [1] V. Mathuranathan, Simulation of Digital Communication Systems Using Matlab, SECOND EDI. Mathuranathan Viswanathan at Amazon, 2016.
- [2] "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. 24, 2021).