

# “IMPLEMENTACIÓN DE LA PHY OFDM DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11 PARTE 2”

Informe N°9

Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas

1<sup>st</sup> Melanny Dávila

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

2<sup>nd</sup> Jonathan Álvarez

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

**Abstract**—En el siguiente documento se trata el estándar IEEE 802.11p y sus diferentes características con el fin de poder comprender y analizar que esquema de modulación y tasa de codificación se comporta de mejor manera en un canal inalámbrico con el uso de la técnica de multiplexación OFDM.

**Index Terms**—OFDM, Tasa de codificación, SNR, PER, BER, modulación.

## I. INTRODUCCIÓN

El estándar IEEE 802.11p abarca la capa física y la subcapa MAC. 802.11p también se conoce como WAVE (Acceso inalámbrico para entornos de vehículos) y DSRC (Comunicación dedicada de corto alcance). El mismo que fue desarrollado como enmienda a las especificaciones estándar IEEE 802.11 para admitir la comunicación ad-hoc entre vehículos y entre el vehículo y la red de infraestructura.

El objetivo principal de los dispositivos que cumplen con 802.11p es mejorar la eficiencia del tráfico y tener seguridad en el flujo del tráfico (es decir, prevenir accidentes). La red formada por dispositivos compatibles con 802.11p se conoce como VANET.

## II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con el estándar IEEE 802.11p.
- Graficar el BER y PER.

## III. CUESTIONARIO

A. Presentar los resultados obtenidos de los ejercicios propuestos en la práctica desarrollada. Comente los resultados.

El script mostrado a continuación fue desarrollado como primera parte de la sesión de laboratorio para poder obtener las figuras 1 y 2.

```
1 clear all
2 close all
3 clc
4 load rician_2_PER_SIM_FINO_50.mat
5 figure(1)
6 for i=1:8
7 semilogy(SNRT(i,:),BERT(i,:))
```

```
8 hold on
9 end
10 grid on
11 grid minor
12 axis([0 30 10e-4 10e-2])
13 title('BER vs. SNR 802.11p')
14 ylabel('BER')
15 xlabel('SNR')
16 legend('BPSK, 1/2, 3 Mbps', 'BPSK, 3/4,
17         4.5 Mbps', 'QPSK, 1/2, 6 Mbps', ...
18         'QPSK, 3/4, 9 Mbps', '16QAM, 1/2,
19         12 Mbps', '16QAM, 3/4, 18 Mbps', ...
20         '64QAM, 2/3, 24 Mbps', '64QAM, 3/4,
21         27 Mbps')
22 figure(2)
23 for i=1:8
24 plot(SNRT(i,:),PERT(i,:))
25 hold on
26 end
27 grid on
28 grid minor
29 axis([0 40 0 1])
30 title('PER vs. SNR 802.11p')
31 ylabel('PER')
32 xlabel('SNR')
33 legend('BPSK, 1/2, 3 Mbps', 'BPSK, 3/4,
34         4.5 Mbps', 'QPSK, 1/2, 6 Mbps', ...
35         'QPSK, 3/4, 9 Mbps', '16QAM, 1/2,
36         12 Mbps', '16QAM, 3/4, 18 Mbps', ...
37         '64QAM, 2/3, 24 Mbps', '64QAM, 3/4,
38         27 Mbps')
```

Script 1. Gráficas del BER y PER con técnica OFDM con diferentes esquemas de modulación

Así, se presenta la tasa de bit errado vs. relación señal a ruido con diferentes esquemas de modulación, tasa de

codificación y velocidades de transmisión. Por lo que se puede apreciar que a medida que la cantidad de estados de modulación y la tasa de codificación aumenta se necesita mayor valor de SNR para alcanzar tasas de bit errados aceptables.

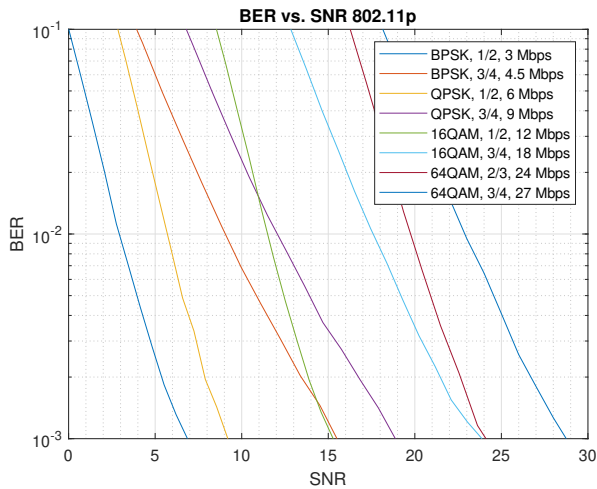


Fig. 1. BER vs. SNR para un sistema OFDM con diferentes esquemas de modulación

En el caso de la tasa de paquetes errados, sucede lo mismo con respecto a tasas de modulación, tasas de codificación y tasas de transmisión pero la principal diferencia es que basta que un bit errado exista para que todo el paquete de datos se considere como errado por lo que la escala de la gráfica es diferente.

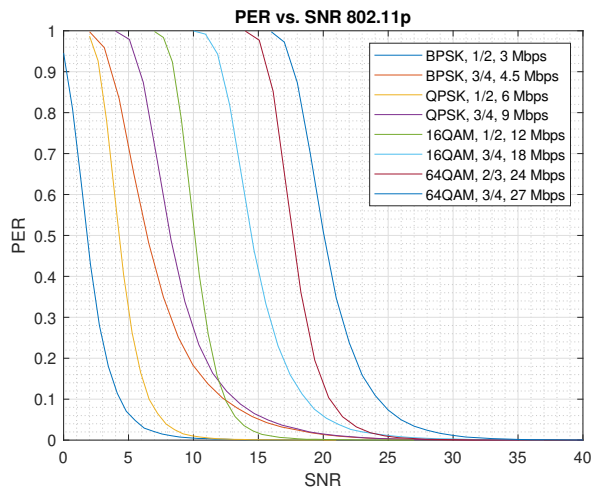


Fig. 2. PER vs. SNR para un sistema OFDM con diferentes esquemas de modulación

Finalmente, se buscó comparar la tasa de paquetes errados en dos diferentes esquemas de modulación QPSK y 16-QAM bajo una tasa de codificación igual; como se aprecia en la figura 3, cuando la cantidad de paquetes aumenta, PER también aumenta. Ahora, si se compara los esquemas de modulación QPSK se comporta de mejor manera dado que

el espaciamiento entre fases es mayor en comparación a los estados de 16-QAM. Además, a partir de 20 [dB] la tasa de error es nula.

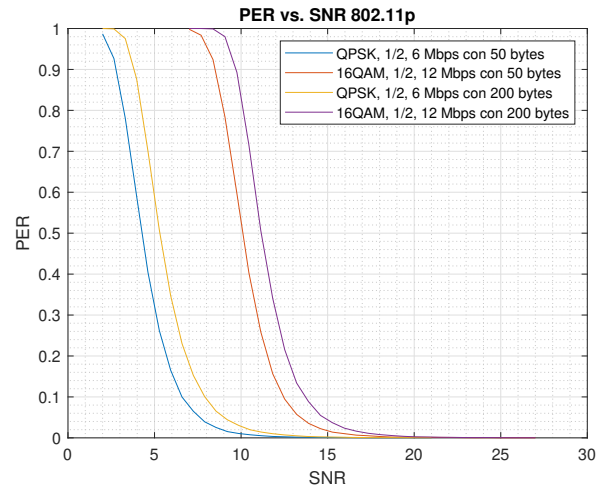


Fig. 3. PER vs. SNR para un sistema OFDM con QPSK y 16-QAM

La figura fue obtenida en base al siguiente código.

```
1 clc
2 clear all
3 close all
4 load rician_2_PER_SIM_FINO_50.mat
5
6 figure(1)
7 plot(SNRT(3,:),PERT(3,:),SNRT(5,:),
8      PERT(5,:))
9 hold on
10 grid on
11 grid minor
12 clear all
13 load rician_2_PER_SIM_FINO_200.mat
14 plot(SNRT(3,:),PERT(3,:),SNRT(5,:),
15      PERT(5,:))
16 axis([0 30 0 1])
17 title('PER vs. SNR 802.11p')
18 ylabel('PER')
19 xlabel('SNR')
20 legend('QPSK, 1/2, 6 Mbps con 50 bytes',
21        '16QAM, 1/2, 12 Mbps con 50 bytes',
22        'QPSK, 1/2, 6 Mbps con 200 bytes',
23        '16QAM, 1/2, 12 Mbps con 200 bytes')
```

Script 2. Gráfica de PER con QPSK t 16-QAM

B. Nuevamente, se otorgará al estudiante un archivo con datos crudos llamado “Rician\_4\_PER\_SIM\_FINO\_50.mat”. De la misma forma se pide que grafique el BER y la PER siguiendo los pasos explicados en el ítem 5.b. Tenga en cuenta que la única diferencia del archivo “Rician\_4\_PER\_SIM\_FINO\_50.mat” con respecto al archivo “Rician\_2\_PER\_SIM\_FINO\_50.mat” es que la variable chanType en el archivo “Rician\_4\_PER\_SIM\_FINO\_50.mat” toma un valor de 4, que corresponde a un escenario de una autopista sin línea de vista entre el transmisor y receptor.

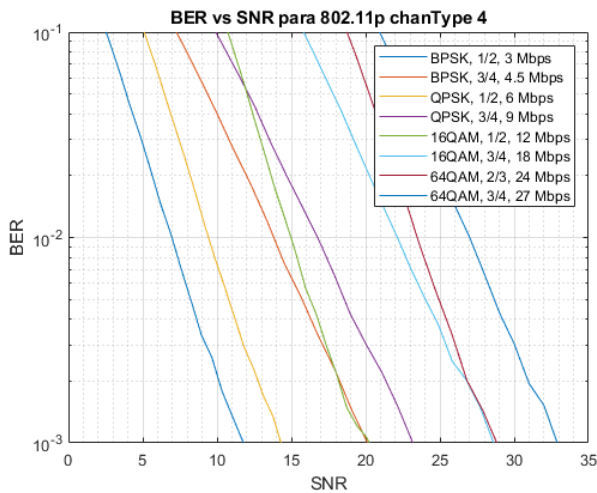


Fig. 4. BER vs. SNR para un sistema OFDM con diferentes esquemas de modulación y chanType 4

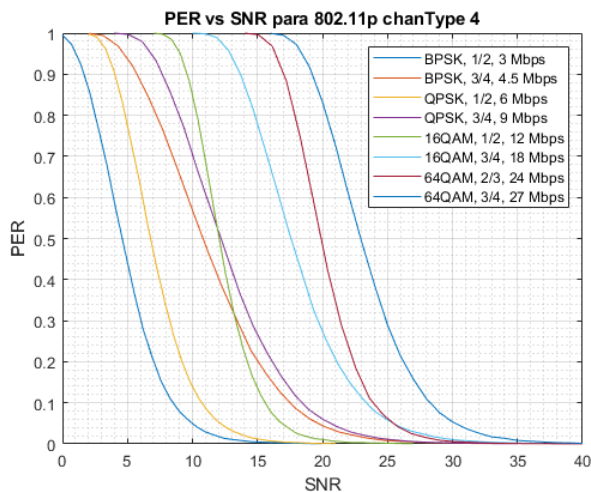


Fig. 5. PER vs. SNR para un sistema OFDM con diferentes esquemas de modulación y chanType 4

```
1 clc
2 clear all
3 close all
4
```

```
5 ric50 = load('rician_4_PER_SIM_FINO_50
    .mat');
6 SNR = ric50.SNR;
7 BER = ric50.BER;
8 PER = ric50.PER;
9 % Grafica del BER vs SNR
10 for i = 1:8
11     semilogy(SNR(i,:), BER(i,:))
12     hold on
13 end
14 title('BER vs SNR para 802.11p
    chanType 4')
15 xlabel('SNR')
16 ylabel('BER')
17
18 ylim([0.001 0.1])
19 grid on; grid minor
20 legend('BPSK, 1/2, 3 Mbps', 'BPSK,
    3/4, 4.5 Mbps', 'QPSK, 1/2, 6 Mbps'
    , ...
21     'QPSK, 3/4, 9 Mbps', '16QAM, 1/2,
    12 Mbps', '16QAM, 3/4, 18 Mbps', ...
22     '64QAM, 2/3, 24 Mbps', '64QAM, 3/4,
    27 Mbps')
23 figure
24 % Grafica del PER vs SNR
25 for i = 1:8
26     plot(SNR(i,:), PER(i,:))
27     hold on
28 end
29 title('PER vs SNR para 802.11p
    chanType 4')
30 xlabel('SNR')
31 ylabel('PER')
32 xlim([0 40])
33 legend('BPSK, 1/2, 3 Mbps', 'BPSK,
    3/4, 4.5 Mbps', 'QPSK, 1/2, 6 Mbps'
    , ...
34     'QPSK, 3/4, 9 Mbps', '16QAM, 1/2,
    12 Mbps', '16QAM, 3/4, 18 Mbps', ...
35     '64QAM, 2/3, 24 Mbps', '64QAM, 3/4,
    27 Mbps')
36 grid on; grid minor
```

Script 3. Gráfica de PER con QPSK t 16-QAM

C. Compare las curvas de las dos nuevas figuras obtenidas del BER y PER (con chanType = 4) con aquellas figuras de la BER y PER obtenidas en la práctica en el literal 5.b (con chanType = 2). ¿LA BER/PER mejora o empeora al pasar de la configuración chanType=2 a chanType=4? Justifique su respuesta.

Al comparar ambas gráficas se puede observar una tendencia general de desplazo hacia la derecha, la forma de ambos resultados es similar pero para el chanType 4 todas las gráficas

se encuentran mas hacia la derecha para los mismos valores de BER que para chanType 2. Esto nos indica por ejemplo que al tomar la modulación BPSK, 1/2, 3 Mbps se necesitará un valor de SNR mayor a 10 para poder obtener el mismo resultado de BER de  $10^{-3}$  en el caso de chanType 4, mientras que para chanType 2 el valor de SNR sería menor de 7.

Esto nos lleva a la conclusión que debido al menor SNR necesario para obtener un mismo valor de BER el chanType 2 la configuración chanType 4 empeora el BER y el PER.

#### *D. Conclusiones:*

- En esta práctica fue posible comprobar la relación existente entre BER y PER; ambas permiten determinar el desempeño del sistema, BER permite determinar a nivel de bits y el PER nos muestra el desempeño a nivel de paquete.
- Los paquetes se componen de bits, dicho paquete será erróneo aunque sólo exista un bit con error, por lo que es importante trabajar con una tasa de codificación adecuada para evitar y controlar errores.
- El BER y PER pueden ser mejorados si se utiliza sistemas de modulación robustos, códigos con corrección de errores, valores de SNR adecuados y otros factores que mejoren el comportamiento del canal.
- En sistemas de comunicaciones donde no existe línea de vista las cantidad de bits y paquetes errados aumenta con lo que se debe implementar mecanismos para evitar o reducir este tipo de problemas.

#### *E. Recomendaciones:*

- Utilizar lazos que permitan la iterar variables para de esta manera realizar una construcción rápida del gráfico de las distintas modulaciones y optimizar el código.
- Es importante tener en cuenta que el tipo de modulación que se utilizará debido a que esta tendrá un efecto en el desempeño del sistema.
- Seguir las recomendaciones establecidas en el estándar, dado que ellas han sido estudiadas previamente y permitirán satisfactorias implementaciones de enlaces inalámbricos.

#### REFERENCES

- [1] ¿Qué es OFDM? <https://es.mathworks.com/discovery/ofdm.html> (accedido ago. 07, 2021).
- [2] BER vs PER-difference between Bit Error Rate,Packet Error Rate. <https://www.test-and-measurement-world.com/Terminology/BER-vs-PER.html> (accedido ago. 08, 2021).