

# “IMPLEMENTACIÓN DE LA PHY OFDM DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11 PARTE 1”

Trabajo Preparatorio N°8  
Laboratorio de Comunicaciones Inalámbricas

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

**Abstract**—En este documento se va a revisar teoría con respecto a la técnica de transmisión OFDM, su diagrama de bloques, la importancia de implementar un prefijo cíclico, las ventajas y desventajas al usar dicha técnica en un sistemas de comunicaciones. Para comprobar todo lo referente a la teoría, se implementará esta técnica como un script ejecutable con la ayuda de Matlab.

**Index Terms**—OFDM, prefijo cíclico, SNR, M-PSK.

## I. INTRODUCCIÓN

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), es una técnica de transmisión multiportadora de banda ancha. Es una tecnología que se ha usado desde la década de los 70, y que a lo largo del tiempo ha evolucionando del tal manera que aún sigue vigente su uso en sistemas de comunicaciones inalámbricos. OFDM es ampliamente usado pues permite usar diferentes técnicas de modulación como M-PSK o M-QAM. Sin embargo, para implementar esta tecnología se debe seguir los estándares que rigen actualmente al desarrollo de las telecomunicaciones como lo son, para WLAN (IEEE 802.11 a, g), o redes de mayor cobertura WiMAX (IEEE 802.16), sistemas de radio difusión digital DAB y sistemas de televisión digital DVB [1].

## II. OBJETIVOS

- Familiarizar al estudiante con la técnica OFDM en un sistema de comunicación digital.
- Calcular el Bit Error Rate (BER) para diferentes modulaciones (BSPK y M-QAM) utilizando la técnica Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) sobre un canal AWGN.

## III. CUESTIONARIO

A. Se solicita al estudiante en un máximo de una página consultar sobre el funcionamiento básico de la técnica de OFDM.

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es un esquema de transmisión digital de múltiples portadoras y múltiples modulaciones que amplía el concepto

de modulación de subportadora única mediante el uso de múltiples subportadoras dentro del mismo canal [1].

OFDM hace uso de una gran cantidad de subportadoras ortogonales poco espaciadas que se transmiten en paralelo [2]; cada subportadora se modula con un esquema de modulación digital convencional (como QPSK, 16QAM, etc.) a bajas tasas de transmisión de símbolos. Sin embargo, la combinación de muchas subportadoras permite velocidades de datos similares a los esquemas convencionales de modulación de una sola portadora dentro de anchos de banda equivalentes [3].

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 1, describe a un transmisor OFDM. Los bloques de color verde trabajan en el dominio del tiempo, mientras que los bloques de color amarillo trabajan en el diagrama de la frecuencia, esto se tiene gracias al uso de la transformada rápida inversa de Fourier [4].

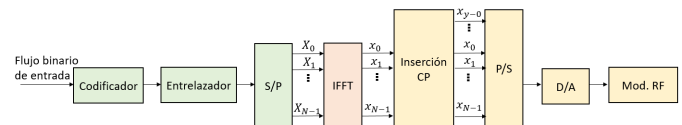


Fig. 1. Diagrama de bloques transmisor OFDM discreto

- Codificador: este bloque es un sistema combinatorial construido en forma de circuito integrado, que se encarga de transformar una señales sin codificar (conjunto de bits) en una señal codificada (conjunto de N símbolos) [5].
- Entrelazador: permite organizar la información digital, N símbolos, de forma no contigua para mejorar las prestaciones de un sistema. El entrelazado es utilizado como una técnica para proteger la información frente a los errores de ráfaga (burst errors) [6].
- Serie/Paralelo: el objetivo de este bloque es evitar transmitir los n símbolos uno detrás de otro por la misma línea. Es así como los N símbolos se transmiten simultáneamente ( $X_0, X_1, \dots, X_{N-1}$ ), cada uno mediante 1 de las N subportadoras ortogonales del sistema.

- IFFT: mediante este bloque se calcula la transformada inversa rápida de Fourier para cada una de las  $N$  subportadoras, así se obtiene:  $x_0, x_1, \dots, x_{N-1}$ . En implementaciones físicas, el número de subportadoras de entrada al bloque de la IFFT se escoge como potencia de 2 para lograr la máxima eficiencia de este algoritmo matemático [8].
- Inserción del prefijo cíclico: evita la interferencia intersímbolos y eliminar los efectos de las demoras de propagación del canal [9], se agrega un prefijo cíclico de  $1/4$  de la duración del símbolo OFDM. Este bloque añade  $N$  prefijos, los mismos que son:  $x_{y-0}, x_{y-1}, \dots, x_{y-N}$ . Este prefijo se forma con las últimas  $v$  muestras de las  $N$  muestras que forman un símbolo, por lo que el bloque estará formado por  $(N + v)$  muestras [10]; como se presenta en la figura 2.

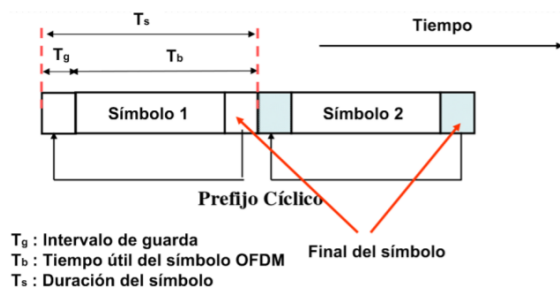


Fig. 2. Implementación del prefijo cíclico en trama [11]

Una vez que se añade el prefijo cíclico, el período del símbolo aumenta y se define según la siguiente ecuación:

$$T_s = T_g + T_b \quad (1)$$

El aumento de la duración del símbolo para subportadoras paralelas de reducida tasa de transferencia provoca que disminuya la cantidad relativa de dispersión en el tiempo, causado por las demoras de las multitrayectorias, por lo que se simplifica el proceso de ecualización [12].

- Paralelo/Serie: para que los símbolos OFDM se transmitan de forma secuencial se debe utilizar un convertidor de paralelo a serie; el mismo que combina a todos los canales en uno solo de forma ordenada [9].
- Digital/Analógico: para la transmisión de las señales de datos, se convierten al tiempo continuo mediante un conversor digital-analógico.
- Modulador RF: la señal analógica obtenida se modulan en la banda de RF [10]. Las señales complejas en banda base son moduladas en fase y en cuadratura (I/Q, del inglés in-phase/quadrature) y convertidas de la forma adecuada para su transmisión por medio de una portadora de radiofrecuencia [13].

*B. Se solicita al estudiante en un máximo de una página consultar los siguientes comandos en MATLAB*

- `ifft`: Transformada rápida inversa de Fourier, al utilizar la siguiente sintaxis,  $X = \text{ifft}(Y)$  se calcula la trans-

formada de Fourier discreta inversa de  $Y$  utilizando un algoritmo de transformada de Fourier rápida, donde  $X$  es del mismo tamaño que  $Y$  [14].

- Si  $Y$  es un vector, `ifft(Y)` devuelve la transformada inversa del vector.
- Si  $Y$  es una matriz, `ifft(Y)` devuelve la transformada inversa de cada columna de la matriz.
- Si  $Y$  es una matriz multidimensional, `ifft(Y)` trata los valores a lo largo de la primera dimensión cuyo tamaño no es igual a 1 como vectores y devuelve la transformada inversa de cada vector.

Si se usa sintaxis como:  $X = \text{ifft}(Y, n)$  como resultado se tiene la transformada de Fourier inversa de  $n$  puntos de  $Y$  rellenando  $Y$  con ceros finales hasta la longitud  $n$  [14].

- `fft`: Transformada rápida de Fourier, este comando permite calcular la transformada discreta de Fourier (DFT) de un escalar, vector o matriz usando un algoritmo de transformada rápida de Fourier (FFT) [15]. Por ejemplo, si se define  $Y = \text{fft}(X)$  existe tres posibles casos para  $X$ :

- Si  $X$  es un vector, `fft(X)` devuelve la transformada de Fourier del vector.
- Si  $X$  es una matriz, `fft(X)` trata las columnas de  $X$  como vectores y devuelve la transformada de Fourier de cada columna.
- Si  $X$  es un array multidimensional, `fft(X)` trata los valores a lo largo de la primera dimensión del array cuyo tamaño no sea igual a 1 como vectores y devuelve la transformada de Fourier de cada vector [15].

## REFERENCES

- [1] Keysight Technologies, Inc., "Concepts of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and 802.11 WLAN", [En línea]. Disponible en: <http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm-basicprinciplesoverview.htm>.
- [2] "OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)", CableFree. <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/ofdm-introduction/> (accedido jul. 24, 2021).
- [3] "What is OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing". <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-orthogonal-frequency-division-multiplexing-what-is-tutorial-basics.php> (accedido jul. 24, 2021).
- [4] E. Yáñez, "Modulación OFDM y Sistemas Ópticos", UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ, Quito-Ecuador, 2016.
- [5] L. codificadores y L. decodificadores, "Codificador - EcuRed". <https://www.ecured.cu/Codificador> (accedido jul. 24, 2021).
- [6] "Entrelazado", Wikipedia, la enciclopedia libre. jul. 13, 2019, Accedido: ago. 12, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Entrelazado&oldid=117384561>.
- [7] Textos Científicos, "Modos de transmisión de datos", jul. 25, 2005. <https://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos> (accedido jul. 24, 2021).
- [8] P. Meléndez y E. Fernando, "Implementación de la capa física del estándar IEEE 802.22 usando Simulink", Guayaquil-Ecuador 09 de Septiembre del 2016, p. 62.
- [9] "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA OFDM EN UN DISPOSITIVO SFF SDR". <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6608/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-166.pdf> (accedido jul. 24, 2021).

- [10] R. Behaine y C. Alberto, "Modulación por multiportadoras tipo OFDM, las bases de la nueva generación de transmisión de información", Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 5, n.º 9, pp. 75-83, jul. 2006.
- [11] "MODULACION-OFDM.pdf". <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5-MODULACION-OFDM.pdf> (accedido jul. 24, 2021).
- [12] "OFDM Cyclic Prefix: CP-OFDM." Electronics Notes. <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-cyclic-prefix-cp.php> (accedido jul. 24, 2021).
- [13] A. Uruchima, "Análisis del desempeño de sistemas OFDM con diferentes modulaciones usando Simulink", UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL.
- [14] "Inverse fast Fourier transform - MATLAB ifft - MathWorks América Latina". <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/ifft.html> (accedido jul. 24, 2021).
- [15] "Transformada rápida de Fourier - MATLAB fft - MathWorks América Latina". [https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html?searchHighlight=fft&s\\_tid=srchtitle](https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html?searchHighlight=fft&s_tid=srchtitle) (accedido jul. 24, 2021).