



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK.

AUTOR:

Tovar Ruiz, Cristhian Joao

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del grado de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador

18 de septiembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Tovar Ruiz, Cristhian Joao** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

M. Sc. Pacheco Bonórrquez, Héctor Ignacio

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Tovar Ruiz, Cristhian Joao**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo, Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Tovar Ruiz, Cristhian Joao**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 18 días del mes de septiembre del año 2020

EL AUTOR

TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO

REPORTE DE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

| | |
|-----------------------|--|
| Documento | Joao_Tovar_EC2020A.docx (D79060004) |
| Presentado | 2020-09-13 14:40 (-05:00) |
| Presentado por | fernandopm23@hotmail.com |
| Recibido | edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com |
| Mensaje | Revisión EC Joao Tovar Ruiz Mostrar el mensaje completo 1% de estas 15 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes. |

Lista de fuentes

| Categoría | Enlace/nombre de archivo | |
|-----------|---|-------------------------------------|
| > | Jorge_Ortega_TT_2018.docx | <input type="checkbox"/> |
| | https://docplayer.es/79187623-Universidad... | <input type="checkbox"/> |
| | https://repositorio.unicordoba.edu.co/xmlu... | <input checked="" type="checkbox"/> |

Fuentes alternativas

| | | |
|--|---|--------------------------|
| | https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitst... | <input type="checkbox"/> |
| | http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317... | <input type="checkbox"/> |

Fuentes no usadas

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Evaluación del

sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK.

AUTOR: Tovar Ruiz, Cristhian Joao

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio

Guayaquil, Ecuador 10 de septiembre del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

DEDICATORIA

Esto lo logre gracias a mi abuelita la cual ella lucho y me educo y sacaba la cara por mi durante mi proceso de aprendizaje, ella es mi motivo para seguir y mi ejemplo más grande que puedo tener, ya que me demostró que hasta el final se puede como lo hizo ella. Ahora desde el cielo sé que está contenta por todo lo que ella me enseñó desde pequeño.

Mi mayor ilusión era que ella este hasta este día y me viera como yo salía adelante que desde pequeño yo le prometí ser una buena persona con buenos valores y humilde hasta el final de mis días.

Mi abuelita será siendo mi lucha: Abuelita dejo plasmado en este documento el inmenso amor que te tengo por ser como mi madre que me crio y me educaste y me consentiste con todo lo que yo quería, se me hace duro ahora que no estas, pero esto va por ti te amo mucho.

EL AUTOR

TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO

AGRADECIMIENTO

A mis profesores primero que me enseñaron a elegir el camino correcto y ser una buena persona. Agradezco a los ingenieros que me enseñaron gran parte de mi vida y el camino a ser un profesional por enseñarme sus conocimientos en el campo laboral.

Agradezco mucho a mis padres ya que, sin la ayuda de ellos, esto no sería una realidad de poder estudiar, gran parte de mi vida es por la que ellos luchan por darme una buena educación y de mi parte yo los representare muy bien a ustedes.

Agradezco también a mis compañeros y amigos por el apoyo que nos hemos dado para llegar a este momento por el que todos anhelamos llegar para sentirnos alegres de poder culminar nuestros estudios.

Agradezco enormemente al Ingeniero Palacios que me ayudo en los momentos más difíciles y también por ser un buen tutor y sacarme adelante en este proyecto.

EL AUTOR

TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____
M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XIII |
| Resumen..... | XIV |
| CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO | 2 |
| 1.1. Introducción..... | 2 |
| 1.2. Objetivo General..... | 3 |
| 1.3. Objetivos Específicos..... | 3 |
| CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica..... | 4 |
| 2.1. Introducción de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM)..... | 4 |
| 2.2. Principios básicos de OFDM..... | 5 |
| 2.3. Señales OFDM..... | 6 |
| 2.4. Ventajas y desventajas de sistemas OFDM..... | 7 |
| Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados..... | 9 |
| 3.1. Descripción general del componente práctico..... | 9 |
| 3.2. Escenario de simulación para el sistema OFDM básico..... | 9 |
| 3.2.1. PAPR en un sistema OFDM básico..... | 11 |
| 3.3. Resultados obtenidos para la técnica de mapeo selectivo..... | 15 |
| 3.3.1. PAPR teórico de mapeo selectivo (SLM) para el sistema OFDM..... | 16 |
| 3.3.2. Media y varianza de la PAPR..... | 18 |
| 3.3.3. Mapeo selectivo (SLM) convencional..... | 19 |
| 3.4. Reducción de la PAPR utilizando el método SLM modificado..... | 22 |
| 3.4.1. Modelo de Simulink para el método SLM modificado..... | 25 |
| 3.5. Rendimiento de la PAPR utilizando intercalación (Interleaver)..... | 27 |
| Conclusiones..... | 29 |

| | |
|-----------------------|----|
| Recomendaciones | 30 |
| Bibliografía. | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

| | |
|---|---|
| Figura 2. 1: Espectro de señal de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). | 5 |
| Figura 2. 2: Espectro de señal de modulación de amplitud en cuadratura (QAM). | 7 |
| Figura 2. 3: Comparativa de los sistemas (a) FDMA y (b) OFDM. | 7 |

Capítulo 3:

| | |
|---|----|
| Figura 3. 1: Diagrama de flujo de OFDM básico..... | 13 |
| Figura 3. 2: Rendimiento de la PAPR para la modulación BPSK en el sistema OFDM básico. | 14 |
| Figura 3. 3: Rendimiento de la PAPR para la modulación QPSK en el sistema OFDM básico. | 14 |
| Figura 3. 4: Rendimiento de la PAPR para la modulación DQPSK en el sistema OFDM básico. | 15 |
| Figura 3. 5: Gráfico de distribución acumulativa de la PAPR de una señal OFDM. | 16 |
| Figura 3. 6: PAPR teórico de SLM para $N = 128$ | 17 |
| Figura 3. 7: PAPR teórico del sistema OFDM y del sistema SLM convencional. | 18 |
| Figura 3. 8: Análisis comparativo de probabilidad acumulada..... | 19 |
| Figura 3. 9: PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema OFDM para la modulación QPSK. | 20 |
| Figura 3. 10: PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema OFDM para la modulación DQPSK..... | 21 |
| Figura 3. 11: PAPR de mapeo selectivo modificado del sistema OFDM para la modulación DQPSK..... | 23 |
| Figura 3. 12: Modelo de Simulink SLM modificado propuesto..... | 25 |
| Figura 3. 13: Análisis comparativo de SLM modificado. | 26 |
| Figura 3. 14: Sistema OFDM con intercalador..... | 27 |

Figura 3. 15: Resultados de la PAPR con y sin intercalador para el sistema OFDM. 27

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3:

| | |
|--|----|
| Tabla 3. 1: Especificaciones de tamaño total del símbolo OFDM. | 10 |
| Tabla 3. 2: Parámetros de simulación para el sistema OFDM básico..... | 12 |
| Tabla 3. 3: Comparación de PAPR para diferentes técnicas de modulación. | 15 |
| Tabla 3. 4: Media y varianza de PAPR | 19 |
| Tabla 3. 5: Comparación del rendimiento para la reducción de PAPR | 22 |
| Tabla 3. 6: Tamaño de FFT con los respectivos valores de PAPR | 24 |
| Tabla 3. 7: Comparación de PAPR para SLM modificado | 26 |
| Tabla 3. 8: Efecto del intercalador sobre el valor de PAPR | 28 |

Resumen

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una técnica de modulación multiportadora para la transmisión de datos a alta velocidad en comunicaciones inalámbricas. En un sistema OFDM, se utiliza un gran número de subportadoras para transmitir los símbolos modulados y, en consecuencia, las señales OFDM tienen una alta relación de potencia de pico a promedio (PAPR). De acuerdo con lo anterior, el presente componente práctico se denomina “Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK”. En el capítulo 1, se presenta una breve introducción de la modulación multiportadora que es la claves en las comunicaciones inalámbricas modernas, es decir, la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), y también se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de esta parte práctica mediante el uso del entorno de simulación Matlab/Simulink. En el capítulo 2, se describe la parte fundamental teórica de la modulación multiportadora OFDM. Finalmente, en el capítulo 3 se muestra el modelo de simulación del sistema OFDM mediante modulación m-aria por desplazamiento de fase (M-PSK) para minimizar la relación de potencia pico a promedio (PAPR).

Palabras claves: Sistema, OFDM, Subportadoras, Modulación, Fase, PAPR.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

1.1. Introducción.

En los últimos años, la modulación multiportadora se ha convertido en una tecnología clave para los sistemas de comunicación actuales y futuros y la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) es una forma de modulación multiportadora. Estos sistemas se están volviendo populares debido al hecho de que utilizan de manera eficiente la banda de frecuencia disponible y proporcionan altas velocidades de datos. (Uruchima P., 2016)

En la modulación multiportadora, la banda de frecuencia disponible se divide en un gran número de subbandas y los datos de usuario se modulan en muchas subportadoras independientes. Estas subportadoras están separadas entre sí y, en el caso de OFDM, las subportadoras son ortogonales entre sí. (Dau Valencia & Cantero, 2018)

La necesidad de datos para varios servicios aumenta día a día. Por lo tanto, para satisfacer estas necesidades, se necesita una utilización eficaz de los recursos de comunicación, es decir, el ancho de banda disponible del sistema y la potencia de transmisión. Las técnicas de modulación digital facilitan la utilización óptima de recursos como la mejora de la velocidad de datos, mejor inmunidad al ruido, comunicación confiable y segura, etc. (Dhingra et al., 2018)

Según Aarab & Chakkor, (2020) OFDM se ha convertido en una técnica popular para la transmisión de señales a través de canales inalámbricos. Además, sostiene que MIMO-OFDM es la interfaz aérea dominante para las comunicaciones inalámbricas de banda ancha, como 4G y 5G. Combina la tecnología de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO), que multiplica la capacidad transmitiendo diferentes señales a través de múltiples antenas, y OFDM, que divide un canal de radio en una gran cantidad de subcanales estrechamente espaciados para proporcionar más Comunicaciones confiables a altas velocidades.

1.2. Objetivo General.

Realizar la evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK utilizando el entorno de simulación MatLab/Simulink.

1.3. Objetivos Específicos.

- a. Describir el estado del arte de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales.
- b. Diseñar los escenarios de simulación del sistema OFDM con modulaciones digitales M-QPSK para reducir la PAPR.
- c. Evaluar los resultados obtenidos para el método de mapeo selectivo modificado para el sistema OFDM.

CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

2.1. Introducción de la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).

Las actuales redes multimedia móviles, como las redes 4G, tienen diferentes requisitos de calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*) para diversas aplicaciones, desde voz hasta servicios multimedia (*Multi Media Service, MMS*) con objetivos principales como mejores esquemas de control de modulación, utilización efectiva del ancho de banda, soporte para tiempo real. y transferencia y movilidad de contenido en tiempo no real.

Entonces, la red tiene como objetivo satisfacer sus demandas sin mucha degradación de la calidad. La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es la técnica de modulación utilizada en muchos nuevos esquemas de comunicación de banda ancha, incluidos televisión digital, audio digital, línea de abonado digital asimétrica (*Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL*) y LAN inalámbricas (HIPERLAN 2, IEEE 802.11a).

Debido a su uso eficiente del ancho de banda de transmisión y la tolerancia de las deficiencias por trayectos múltiples, OFDM también se está considerando para muchos otros sistemas de comunicación inalámbrica, incluida la tecnología inalámbrica 4G y 5G.

La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una forma de técnica de modulación de múltiples portadoras que se introdujo por primera vez hace más de tres décadas. Los recientes avances en el procesamiento de señales digitales (DSP) y la tecnología de circuitos integrados a gran escala (VLSI) han allanado el camino para la implementación masiva de técnicas OFDM en el campo de la electrónica de consumo.

Los sistemas OFDM se pueden dividir en categorías según el tipo de modelado de pulso utilizado. La primera categoría utiliza pulsos de un intervalo de símbolo de longitud. Esto da una superposición de frecuencia

entre todos los canales del sistema, pero no hay interferencia porque los pulsos modulados son ortogonales entre sí. La mayor parte del sistema utiliza pulsos rectangulares, pero también hay formas más suaves.

Estos pulsos cortos tienen lóbulos espectrales relativamente grandes, lo que constituye un inconveniente, especialmente cuando el número de canales es pequeño. Para los pulsos rectangulares, el nivel del lóbulo lateral desciende a $1/f$. Se necesitan varios cientos de canales para tener un sistema de ancho de banda eficiente. Un número tan grande de canales provoca un retraso que es inaceptable en varias aplicaciones.

2.2. Principios básicos de OFDM.

En un sistema de transmisión de datos en serie convencional, los símbolos que llevan información se transmiten secuencialmente, con un espectro de frecuencia de cada símbolo ocupando todo el ancho de banda disponible. La figura 2.1 muestra un espectro de señal de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) sin filtrar. Tiene la forma de $\text{sinc}(x)$, con punto de cruce por cero en multiplicaciones de $1/T_s$, donde T_s es el período del símbolo QAM.

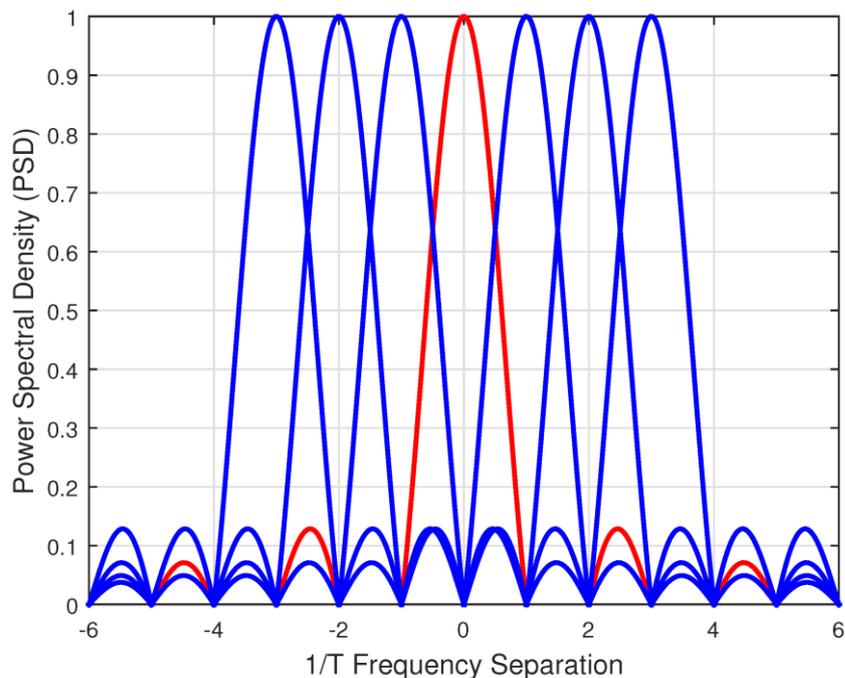


Figura 2. 1: Espectro de señal de modulación de amplitud en cuadratura (QAM).
Fuente: (Ashri et al., 2017)

El concepto de OFDM implica transmitir los datos en subportadoras moduladas QAM en paralelo utilizando multiplexación por división de frecuencia (Rohling, 2011). El espaciado de las portadoras se selecciona cuidadosamente de modo que cada subportadora esté ubicada en todos los demás puntos de cruce por cero del espectro de las subportadoras. Aunque hay superposiciones espectrales entre subportadoras, las subportadoras no interfieren entre sí, si se muestrean en las frecuencias de subportadora donde a_n y b_n son los términos en fase y cuadratura de la señal QAM y ω_n es la frecuencia de la subportadora.

2.3. Señales OFDM.

OFDM es un método de comunicación que puede verse como un esquema de modulación o una técnica de multiplexación. En OFDM, el espaciado de portadora se selecciona de manera que cada subportadora sea ortogonal a las otras subportadoras. Dos señales son espectralmente ortogonales si se cumple la siguiente condición:

$$\int_0^{nT} x_1(f) x_2(f) df = 0; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

donde T es el período, $x_1(f)$ y $x_2(f)$ son señales de entrada. La figura 2.3 muestra el diseño general del sistema de transmisión y recepción de OFDM típico. El transmisor consta de un codificador, intercalador, mapeado de constelación, multiplexores OFDM y transmisor de RF, mientras que el receptor está formado por un receptor de RF, mecanismo de sincronización, demultiplexor OFDM, desmapeado de constelación, desintercalador y decodificador.

OFDM es un caso especial de un sistema de acceso múltiple por división de frecuencia (*Frequency División Multiple Access, FDMA*). En FDMA, los usuarios acceden a un canal de comunicación simultáneamente, pero todos utilizan diferentes partes del espectro. Dado que existe una separación de frecuencia física entre las subportadoras adyacentes, se evita la interferencia entre estos canales adyacentes. La separación de frecuencias entre

subportadoras adyacentes se conoce como banda de guarda. Debido a esta superposición espectral, OFDM es mucho más eficiente en ancho de banda en comparación con un sistema FDMA con el mismo número de canales.

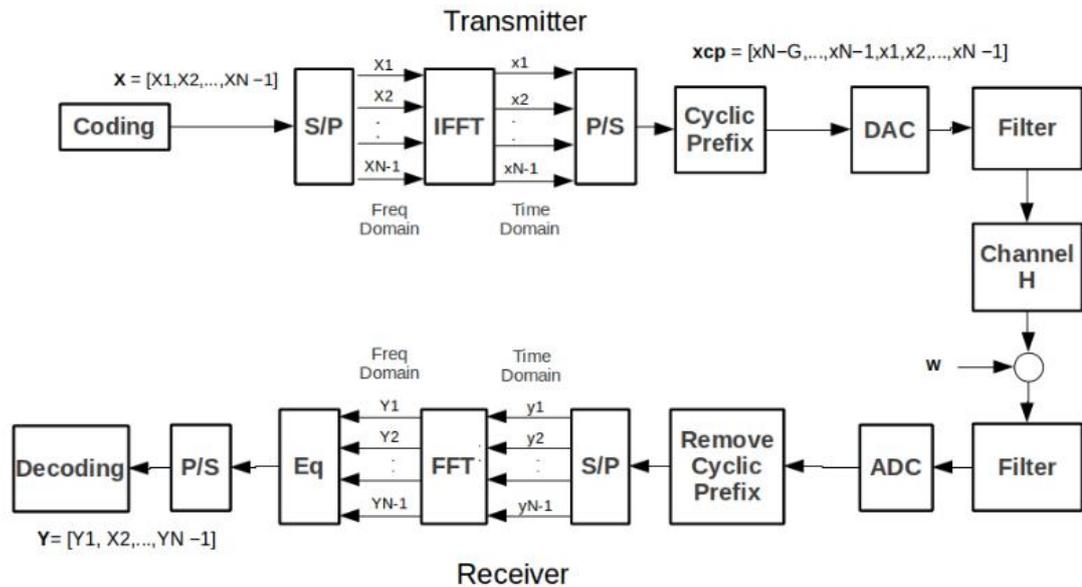


Figura 2. 2: Estructura del diseño de Tx y Rx en sistemas OFDM.
Fuente: (Peralta Gallardo, 2012)

La figura 2.3 muestra una comparación gráfica de un sistema FDMA y un sistema OFDM en el dominio de frecuencia.

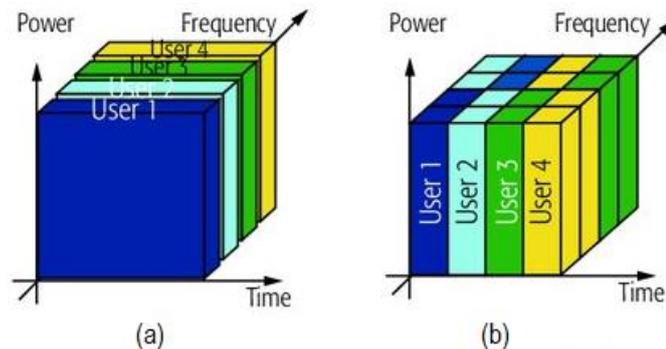


Figura 2. 3: Comparativa de los sistemas (a) FDMA y (b) OFDM.
Fuente: (Chen et al., 2018)

2.4. Ventajas y desventajas de sistemas OFDM.

Si se compara un sistema de modulación de portadora múltiple (OFDM en nuestro caso) con un sistema de modulación de portadora única, entonces el sistema de portadora múltiple tiene varias ventajas: Los sistemas de portadora múltiple ofrecen una mejor inmunidad para los efectos de rutas múltiples, la ecualización de canal es mucho más simple y las restricciones de

adquisición de tiempo son relajadas. Algunas ventajas y desventajas de OFDM en comparación con la modulación de portadora única se resumen a continuación:

Ventajas:

1. La interferencia entre bloques (*InterBlock Interference, IBI*) casi se elimina en OFDM porque se agrega un prefijo cíclico a la señal en el dominio del tiempo.
2. OFDM es más resistente al desvanecimiento selectivo de frecuencia que los sistemas de portadora única porque divide el canal en subcanales de desvanecimiento plano de banda estrecha.
3. Se agrega un prefijo cíclico en el lado del transmisor en el OFDM, lo que simplifica la ecualización del canal que en los sistemas de portadora única donde se utilizan técnicas de ecualización adaptativa.
4. En comparación con los sistemas de portadora única, los sistemas OFDM ofrecen una mejor inmunidad contra las compensaciones de la sincronización de la muestra, la interferencia co-canal y el ruido parásito impulsivo.
5. La decodificación de máxima probabilidad se vuelve más factible en el sistema OFDM, especialmente junto con MIMO.
6. Las técnicas FFT para implementar las funciones de modulación y demodulación aumentan la eficiencia computacional del sistema OFDM

Desventajas:

1. La señal OFDM adolece de una alta relación pico promedio.
2. En OFDM, los efectos del desplazamiento de frecuencia local y las no linealidades de extremo frontal (front-end) de radio son más graves que en los sistemas de una sola portadora.
3. La adición de un prefijo cíclico provoca sobrecarga en el sistema OFDM.

Capítulo 3: Diseño. Simulación y Resultados.

3.1. Descripción general del componente práctico.

Este capítulo describe el objetivo del trabajo del componente práctico del examen complejo que se describió en el primer capítulo. El capítulo se divide en dos secciones. La primera sección evalúa la reducción de la relación de potencia pico a promedio (*Peak to Average Power Ratio, PAPR*) para el sistema de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*) básico. La segunda sección está dedicada a la reducción de la PAPR mediante el método de mapeo selectivo (*Selective Mapping, SLM*). Esta sección incluye los diversos resultados de simulación que muestran el rendimiento de la técnica de reducción de PAPR propuesta. La metodología adoptada en este trabajo de componente práctico es la simulación para el sistema OFDM.

Inicialmente, el rendimiento de la PAPR se realiza para el sistema OFDM básico utilizando diferentes técnicas de modulación y parámetros de simulación del estándar IEEE 802.11a. Los resultados se obtienen mediante la simulación con MatLab R2019a. El análisis del sistema OFDM básico es seguido por un estudio comparativo del método SLM convencional para la reducción de la PAPR. Finalmente, se enumeran los resultados de la técnica de reducción de PAPR propuesta utilizando el método SLM modificado que emplea el código de bloques lineales (*Linear Block Code, LBC*) de Hamming extendido y como esquema de modulación la de desplazamiento de fase en cuadratura diferencial (*Differential Quadrature Phase-Shift Keying, DQPSK*.)

3.2. Escenario de simulación para el sistema OFDM básico.

El sistema OFDM básico es un sistema no codificado. Además, no se proporciona ninguna técnica de codificación y los datos se mapean con una técnica de modulación adecuada. Estos datos modulados se transforman en un símbolo OFDM mediante la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT). El tamaño de la IFFT es 64. Se debe agregar un prefijo cíclico (*Cyclic Prefix, CP*) al símbolo OFDM. Según las normativas IEEE, el 25% de las muestras

IFFT se seleccionan como CP. Por lo tanto, el tamaño total del símbolo OFDM se expresan en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Especificaciones de tamaño total del símbolo OFDM.

| Especificaciones de símbolo OFDM | Valor |
|---|--------------|
| Tx de datos reales | 52 bits |
| Zero Padding (ZP) | 12 ceros |
| Prefijo cíclico (CP) | 16 muestras |
| Símbolos OFDM | 80 |

Elaborado por: Autor.

A continuación, se realizan cálculos adicionales para evaluar la velocidad de datos, el espaciado de las subportadoras, el período de guarda y el tiempo total del símbolo. La velocidad de datos del transmisor para el sistema OFDM que utiliza la técnica de modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) o cuadratura diferencial (DQPSK) viene dada por,

$$R_b = \frac{\text{subportadoras utilizadas para la transmisión de datos} \times 2 \text{ bits}}{\text{Tiempo de símbolo OFDM}}$$

Por lo general, las modulaciones QPSK o DQPSK utilizan dos bits para la transmisión, mientras que la modulación BPSK utiliza un bit para la transmisión. Obviamente, la velocidad de datos para la modulación DQPSK es mayor en el contexto de la modulación BPSK. Por lo tanto, sustituyendo los valores en la expresión anterior, queda

$$R_b = 52 \times \frac{2 \text{ bits}}{4 \mu\text{s}} = 26 \text{ Mbps}$$

Mientras, que la relación entre los distintos tiempos se establece como:

$$T_{sym} = T_G + T_{IFFT} = 0.8 \mu\text{s} + 3.2 \mu\text{s} = 4 \mu\text{s}$$

Dónde, T_{sym} es el tiempo total de símbolo en μs , T_G es el período de tiempo total del prefijo cíclico (CP) en μs , y T_{IFFT} es el tiempo total de símbolo de la IFFT en μs .

El período T_G del prefijo cíclico (CP) se calcula como:

$$T_G = \frac{\text{Número de muestras del CP}}{\text{Espaciado de canales (BW)}}$$
$$T_{G(CP)} = \frac{16}{20 \text{ MHz}} = 0.8 \mu\text{s}$$

El período T_{IFFT} de la transformada inversa rápida de Fourier, se calcula de manera similar al periodo T_G , y es,

$$T_{IFFT} = \frac{64}{20 \text{ MHz}} = 3.2 \mu\text{s}$$

Finalmente, se calcula el espaciado de subportadoras (Δf) que se especifica mediante la siguiente expresión,

$$\Delta f = \frac{\text{Ancho de banda (BW)}}{\text{Tamaño IFFT}}$$
$$\Delta f = \frac{20 \text{ MHz}}{64} = 312.5 \text{ KHz}$$

3.2.1. PAPR en un sistema OFDM básico

Se realiza un análisis de los valores de la relación de potencia pico a promedio (PAPR) de un sistema OFDM básico para diferentes técnicas de modulación como BPSK, QPSK y DQPSK. En estos sistemas, se utilizan las siguientes especificaciones para encontrar el valor PAPR de la señal OFDM. En la tabla 3.2 se muestran los parámetros de simulación para el sistema OFDM básico.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo del sistema OFDM básico para bosquejar las gráficas de la PAPR de la señal OFDM para diferentes técnicas de modulación. Inicialmente se define el tamaño de FFT (Transformada Rápida de Fourier) y luego se genera una señal aleatoria. El número de subportadoras consideradas es 52 en un símbolo. Además, se calculan los números de símbolos para “n” números de bits. A continuación, se inicializa el modo de modulación. La salida del IFFT es en paralelo, por lo que es necesario convertir los datos en un flujo en serie para su transmisión. Agregando un valor de prefijo cíclico (CP) en la salida de IFFT para reducir la

interferencia entre símbolos (*InterSymbol Interference, ISI*) y después se calcula la potencia media, el valor máximo de la señal y trazar la gráfica de la PAPR.

Tabla 3. 2: Parámetros de simulación para el sistema OFDM básico.

| Parámetros | Valores |
|--|-------------------|
| Velocidad de datos | 26 Mbps |
| No de portadoras utilizados | 52 |
| Tamaño IFFT | 64 muestras |
| Longitud del prefijo cíclico | 16 |
| Espaciado de canales | 20 MHz |
| Espaciado de subportadoras Δf | 312.5 KHZ |
| Periodo de guardia T_G | 0.8 μs |
| Periodo IFFT (T _{IFFT}) | 3.2 μs |
| $T_{sym} = T_G + T_{IFFT}$ | 4 μs |
| Constelación de señales | BPSK, QPSK, DQPSK |
| Tipo de guardia | Prefijo cíclico |

Elaborado por: Autor.

Considerando el sistema OFDM básico, se analiza el rendimiento de la PAPR para diferentes esquemas de modulación, tales como BPSK, QPSK y DQPSK. Los resultados obtenidos para cada esquema de modulación se representan gráficamente en las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 para el sistema OFDM. Es decir, que en la figura 3.2 se muestra el rendimiento de la PAPR para la modulación BPSK, la figura 3.3 muestra el rendimiento de la PAPR para la modulación QPSK, y la figura 3.4 muestra el rendimiento de la PAPR para la modulación DQPSK.

Se puede observar que el valor de la PAPR encontrado del sistema OFDM básico para el esquema de modulación BPSK es de aproximadamente

12.5 dB, mientras que para la técnica de modulación QPSK es de 11 dB. La PAPR máxima alcanzada es de 10 dB cuando se utiliza la modulación DQPSK.

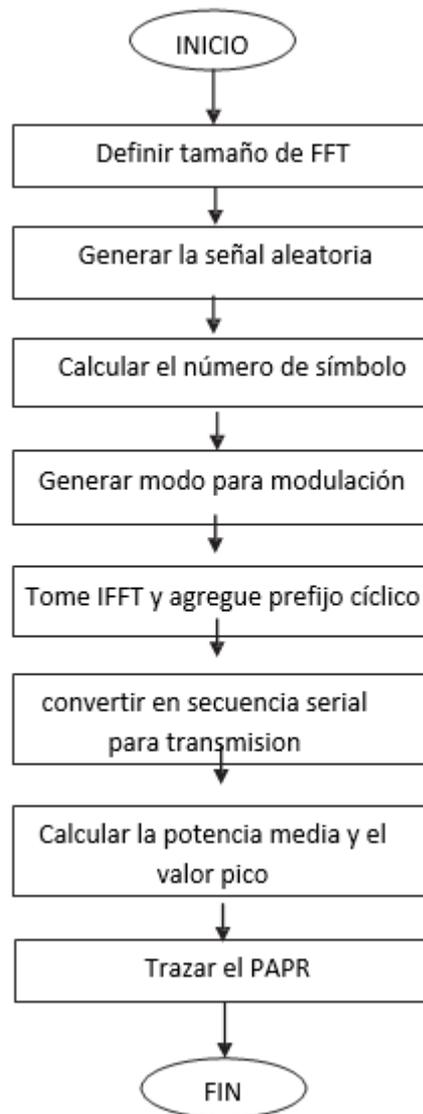


Figura 3. 1: Diagrama de flujo de OFDM básico.
Elaborado por: Autor.

De los valores obtenidos de la PAPR de diferentes técnicas de modulación se concluye que la PAPR es mínimo para la técnica de modulación DQPSK, es decir, que el rendimiento del sistema OFDM básico mejora cuando se utiliza la técnica de modulación DQPSK.

El rendimiento de la PAPR se lleva a cabo para el sistema OFDM básico utilizando diferentes técnicas de modulación y parámetros de simulación del estándar IEEE 802.11a, y estos resultados se tabularon en la tabla 3.3.

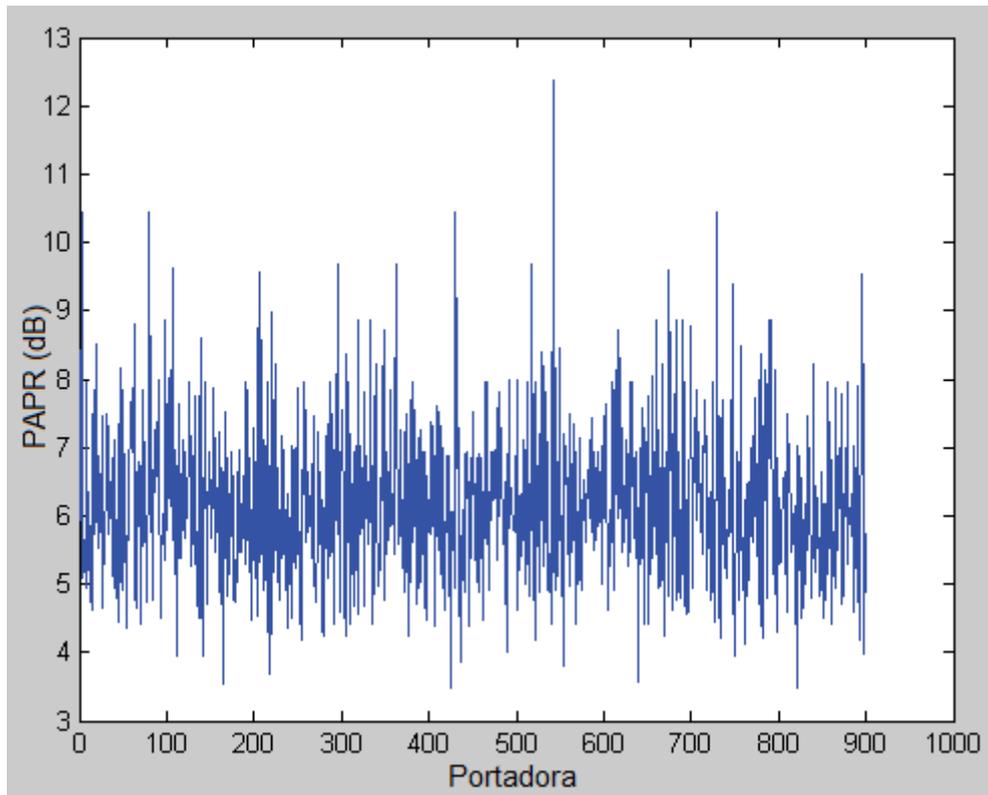


Figura 3. 2: Rendimiento de la PAPR para la modulación BPSK en el sistema OFDM básico.

Elaborado por: Autor.

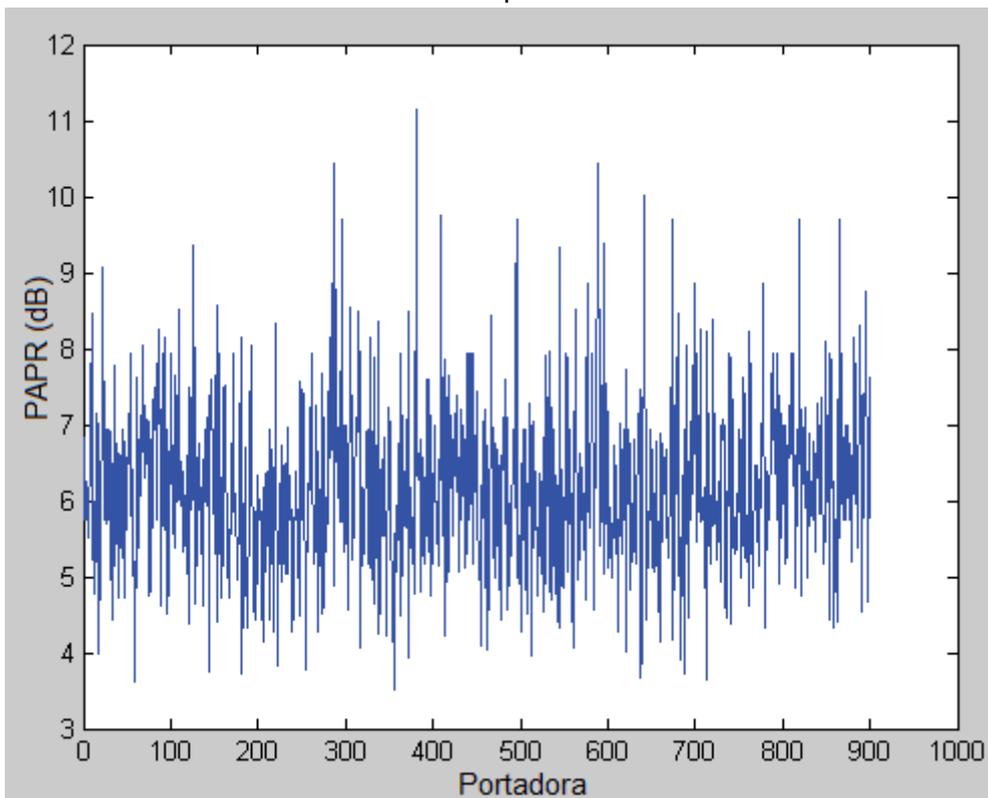


Figura 3. 3: Rendimiento de la PAPR para la modulación QPSK en el sistema OFDM básico.

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 3: Comparación de PAPR para diferentes técnicas de modulación.

| Sistema | PAPR máximo en dB | | |
|-------------|-------------------|------|-------|
| | BPSK | QPSK | DQPSK |
| OFDM básico | ≈12.5 | 11 | 10 |

Elaborado por: Autor.

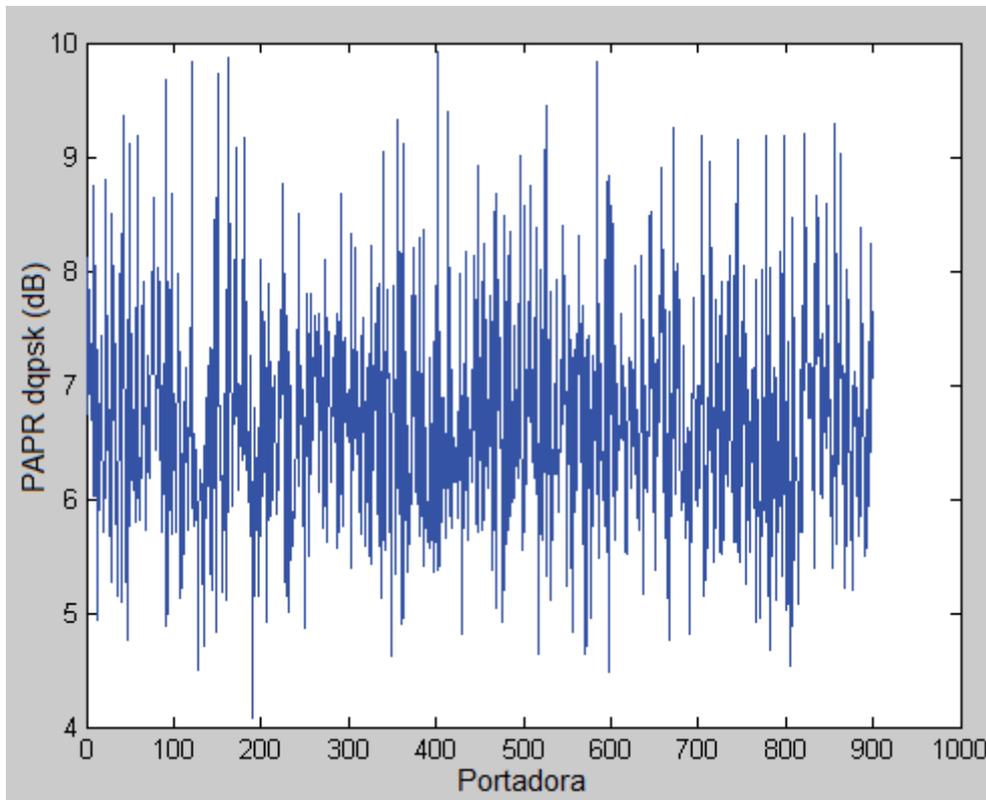


Figura 3. 4: Rendimiento de la PAPR para la modulación DQPSK en el sistema OFDM básico.

Elaborado por: Autor.

3.3. Resultados obtenidos para la técnica de mapeo selectivo.

La técnica de mapeo selectivo (SLM) es uno de los métodos de reducción de la PAPR. En este trabajo de investigación se analiza la técnica convencional de SLM para los valores de la PAPR utilizando la técnica de modulación QPSK y DQPSK. Se propone una técnica de SLM modificada para la reducción de la PAPR utilizando el bloque de código lineal (LBC) con código Hamming extendido.

La técnica SLM convencional es un método no codificado. Las señales no se codifican de ninguna forma en esta técnica. Los datos se convierten de

serie a paralelo, que luego se rotan de forma adecuada. En este caso la IFFT mapea estos datos rotados y luego los transforma. Se selecciona el símbolo con la PAPR más baja para su posterior transmisión.

En la figura 3.5 se muestra la representación gráfica que relaciona la función de distribución acumulativa (CDF) de la PAPR para el sistema OFDM básico y la técnica de SLM convencional. Se observa que la PAPR parece distribuirse desde alrededor de 4.5 dB hasta un valor máximo de 10 dB luego por el teorema del límite central.

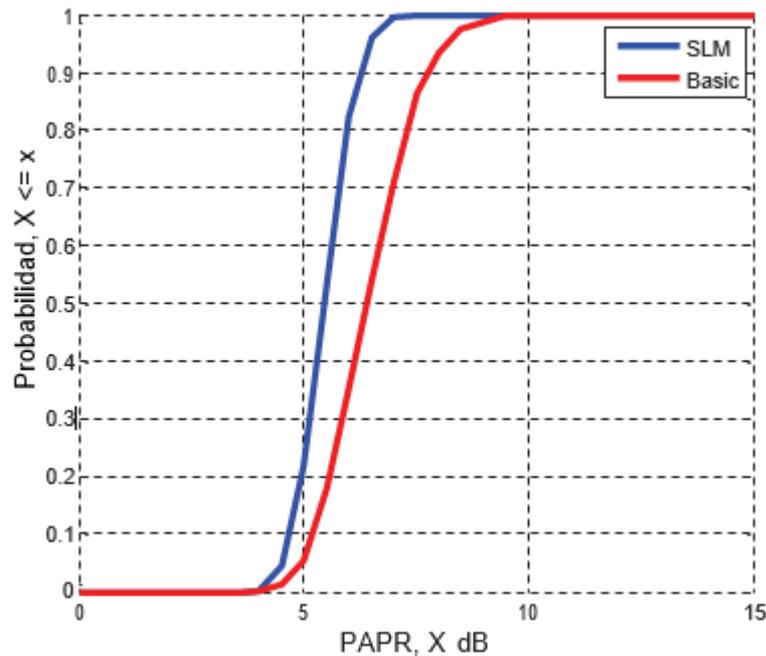


Figura 3. 5: Gráfico de distribución acumulativa de la PAPR de una señal OFDM. Elaborado por: Autor.

3.3.1. PAPR teórico de mapeo selectivo (SLM) para el sistema OFDM.

La PAPR se mide en función de distribución acumulativa complementaria (CCDF). La probabilidad de que la PAPR de una trama OFDM supere un cierto umbral z se da en la ecuación 3.1. Ahora se supone que D es tramas OFDM estadísticamente independientes, que representan la misma información. La probabilidad de la PAPR es mayor que el umbral z , definida así,

$$P(PAPR > z) = (1 - (1 - e^{-z})^N)^D$$

En la figura 3.6 se muestra la curva CCDF teórica en función de la distribución de la PAPR cuando se utiliza el método SLM para $N = 128, D = 2^m, m = 0, 1, \dots, 7$. Se ve que, con un aumento en el valor de D, el valor teórico de PAPR se reduce.

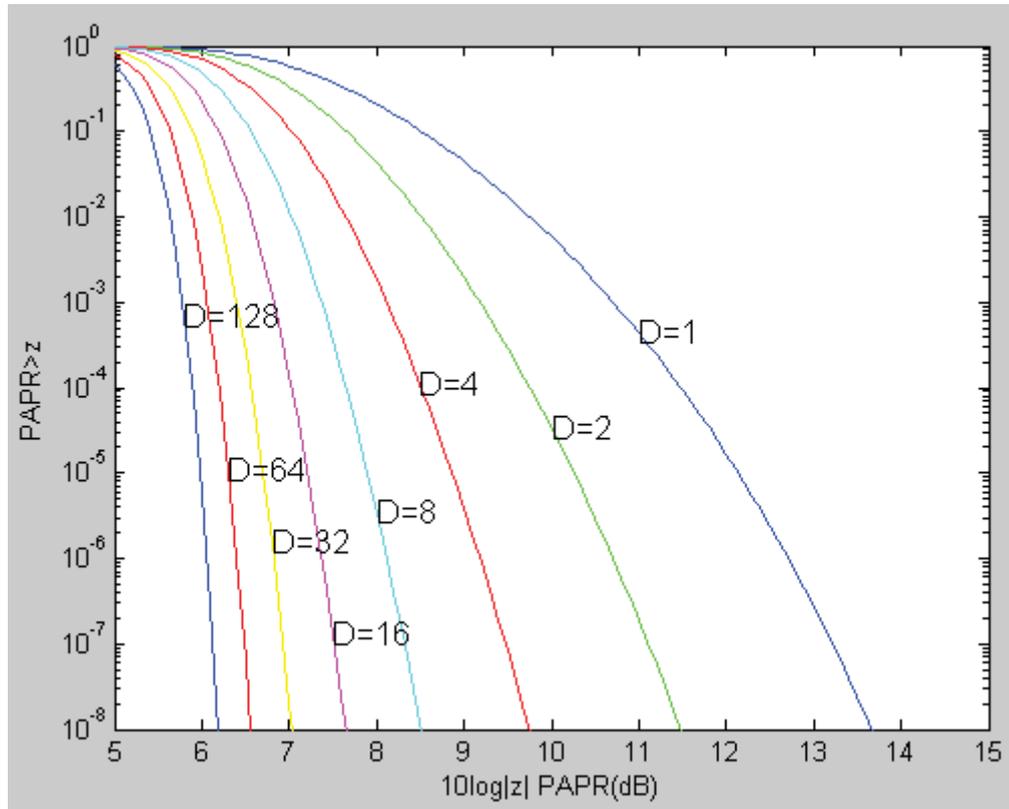


Figura 3. 6: PAPR teórico de SLM para $N = 128$.
Elaborado por: Autor.

Para un sistema OFDM con número de subportadoras $N = 64$. El CDF para describir el PAPR de un sistema OFDM básico es

$$P(PAPR > z) = 1 - (1 - e^{-z})^N$$

La representación gráfica de la PAPR teórica para el sistema OFDM básico y SLM convencional (CONSLM) para diferentes valores de D se muestra en la figura 3.7. Se observa que el PAPR del sistema OFDM básico es alto en relación con el PAPR del SLM convencional. [67]

El método SLM mejora la PAPR en comparación con el sistema OFDM básico. El aumento en el número de tramas D de señales OFDM aumentará la complejidad computacional con el beneficio de una pequeña mejora del rendimiento de reducción de la PAPR.

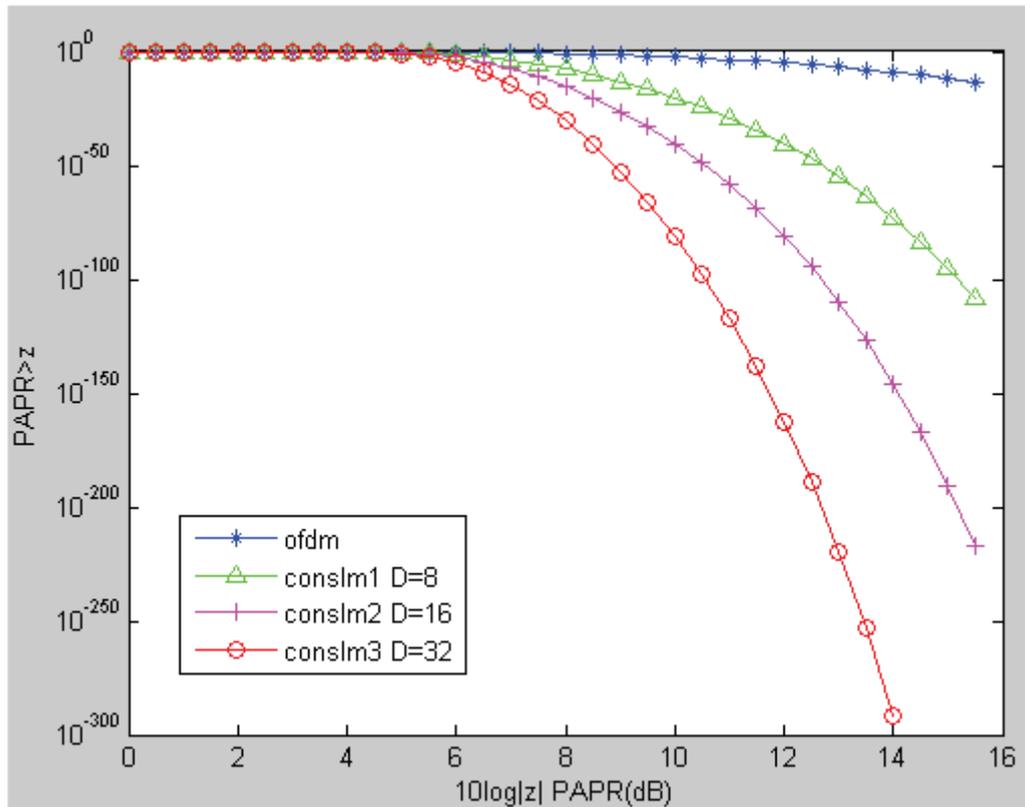


Figura 3. 7: PAPR teórico del sistema OFDM y del sistema SLM convencional. Elaborado por: Autor.

3.3.2. Media y varianza de la PAPR.

El entorno de MatLab proporciona una función para calcular la función de distribución acumulativa (CDF) normal. Determina la CDF de la media de los parámetros de distribución normal y la desviación estándar de la PAPR. Se considera un mapeo selectivo convencional (CONSLM) para diferentes valores de D, como CONSLM1 para D = 8, CONSLM2 para D = 16 y CONSLM3 para D = 32. Los valores de la media y la varianza se calculan utilizando el software MatLab para el sistema OFDM básico y SLM convencional (CONSLM).

En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos para la media y la varianza de la PAPR. Se ve que la media y el valor de varianza de la PAPR para el sistema CONSLM es menor que el sistema OFDM básico. A medida que aumenta el valor de D, la PAPR se reduce para el sistema de mapeo selectivo convencional (CONSLM). En la figura 3.8 se muestra la representación gráfica de la probabilidad acumulada (DCF) del sistema OFDM

básico y mapeo selectivo convencional (CONSLM) frente a los datos generados.

Tabla 3. 4: Media y varianza de PAPR

| PARÁMETRO | OFDM | CONSLM1, D = 8 | CONSLM2, D = 16 | CONSLM3, D = 32 |
|-----------------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Media (μ) | 0.334963 | 0.261795 | 0.245716 | 0.231809 |
| Varianza (σ) | 0.197184 | 0.175719 | 0.175719 | 0.169913 |

Elaborado por: Autor.

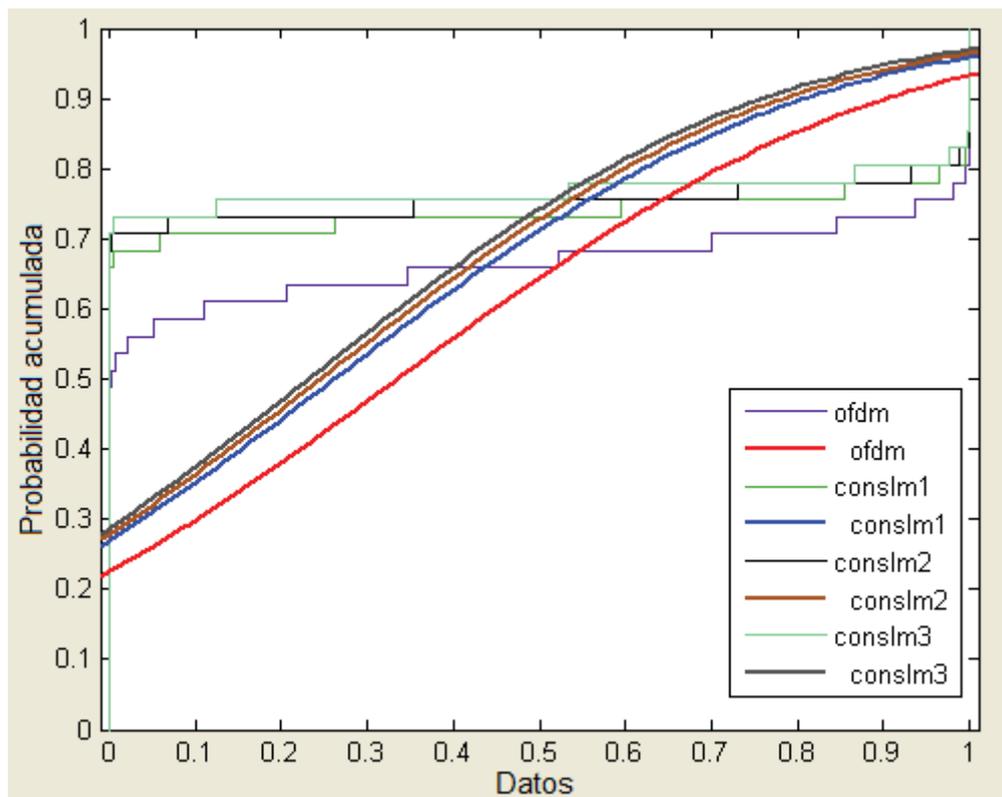


Figura 3. 8: Análisis comparativo de probabilidad acumulada.

Elaborado por: Autor.

3.3.3. Mapeo selectivo (SLM) convencional.

A continuación, se propone el algoritmo para mapeo selectivo (SLM) convencional.

- Inicializar el tamaño de FFT y el número de portadoras.
- Definir el conjunto de señales y el factor de rotación $+180^\circ$, -180° para la modulación QPSK y $+135^\circ$, -135° para la modulación DQPSK.
- Seleccionar una matriz para la PAPR.

- Iniciar un bucle para $n=1$, donde “n” es el número de señal portadora
- Generar una señal aleatoriamente para el tamaño de FFT manteniendo la señal en la primera fila igual que el conjunto de señales y otras tres señales se rotan en fase de acuerdo con el paso dos.
- Ahora aplicar la IFFT.
- Calcular la potencia media, la potencia máxima y la PAPR.
- Seleccionar la PAPR más baja del conjunto de señales y otras tres señales rotadas.
- Finalizar el ciclo cuando termine la señal portadora. Ahora se recibe un conjunto de la PAPR que tienen los valores más bajos en su respectivo bloque.
- Representar gráficamente los valores de la PAPR de las modulaciones QPSK y DQPSK.

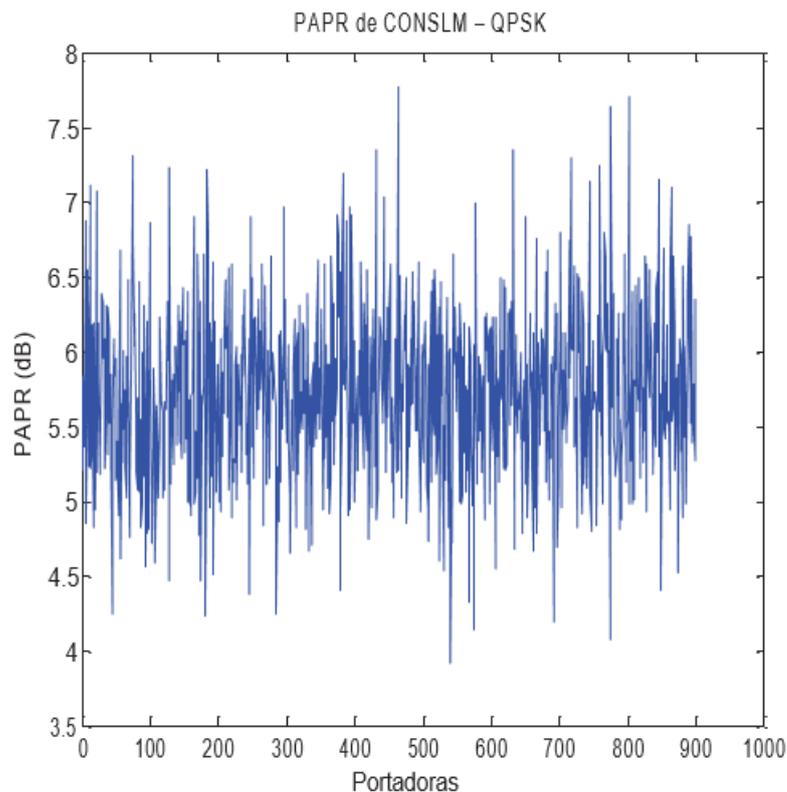


Figura 3. 9: PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema OFDM para la modulación QPSK.

Elaborado por: Autor.

Para los diversos valores de subportadoras en un mapeo selectivo convencional (CONSLM) con modulaciones QPSK y DQPSK se obtienen diferentes valores de la PAPR. La figura 3.9 a muestra la PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema OFDM utilizando el esquema de modulación QPSK, en la que el valor máximo de QPSK con CONSLM es de 7.8 dB.

La figura 3.10 muestra la PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema utilizando la modulación DQPSK, cuyo valor máximo es 7,5 dB. Se puede afirmar que la modulación DQPSK ofrece un buen rendimiento en la reducción de la PAPR del CONSLM del sistema OFDM. De la discusión anterior, el esquema de modulación DQPSK parece ser el más sencillo y eficiente.

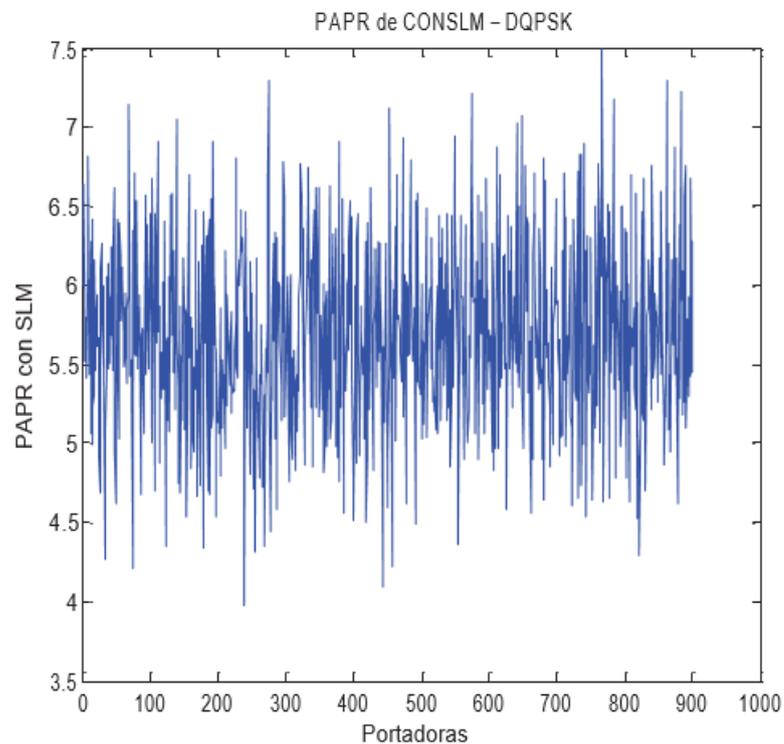


Figura 3. 10: PAPR de mapeo selectivo convencional del sistema OFDM para la modulación DQPSK.
Elaborado por: Autor.

Los resultados de la simulación se muestran en la tabla 3.5 muestran los valores de PAPR con y sin el esquema de modulación QPSK / DQPSK de la técnica SLM. Se ve que DQPSK con técnica SLM tiene un mejor desempeño en la reducción de PAPR del sistema OFDM.

Tabla 3. 5: Comparación del rendimiento para la reducción de PAPR

| Sistema | PAPR máximo en dB | |
|--------------------------|-------------------|-------|
| | QPSK | DQPSK |
| Sistema básico (sin SLM) | 11 | 10 |
| SLM convencional | 7.8 | 7.5 |

Elaborado por: Autor.

3.4. Reducción de la PAPR utilizando el método SLM modificado.

De los escenarios de simulación anteriores investigados se infiere que la técnica de modulación DQPSK da resultados considerables en la reducción de la PAPR para sistemas OFDM. En la presente sección, se desarrolló un algoritmo para el mapeo selectivo (SLM) modificado. En este método, el criterio de decisión se utiliza antes del bloque IFFT.

El valor más bajo de la clase lateral se selecciona de la matriz estándar del LBC antes del bloque IFFT y la señal se transfiere al mapeo de constelaciones y a la IFFT. El beneficio del criterio de decisión para seleccionar el valor de la PAPR más bajo es que el número de bloques IFFT se reduce a un solo bloque. Por lo tanto, este método contribuye a reducir la complejidad en el circuito, así como el valor de la PAPR.

A continuación, se propone el algoritmo para el mapeo selectivo (SLM) modificado:

- La fuente de información binaria se divide en bloques de 4 bits.
- Cada bloque de información se codifica en una palabra de código mediante un codificador Hamming.
- Un bit de control agregado a la palabra de código c para crear un código Hamming extendido de 8 bits.
- Calcular la tabla de errores y primerio de la clase lateral, 16 en serie.
- Se construyen 16 vectores como $c + e_1, c + e_2, \dots, \dots, \dots$, etc.

- Para cada palabra de código codificada, calcular el valor de $Z = U^2 + V^2 + W^2$
- La palabra de código codificada con el mínimo Z se selecciona y luego se transforma en señal OFDM mediante mapeo de constelaciones e IFFT.

Los resultados obtenidos para el sistema SLM modificado muestran un valor máximo de la PAPR de 4.7 dB y la PAPR promedio es de 2.7924 dB. La figura 3.11 muestra los resultados de la técnica SLM modificada con una reducción en el valor de la PAPR.

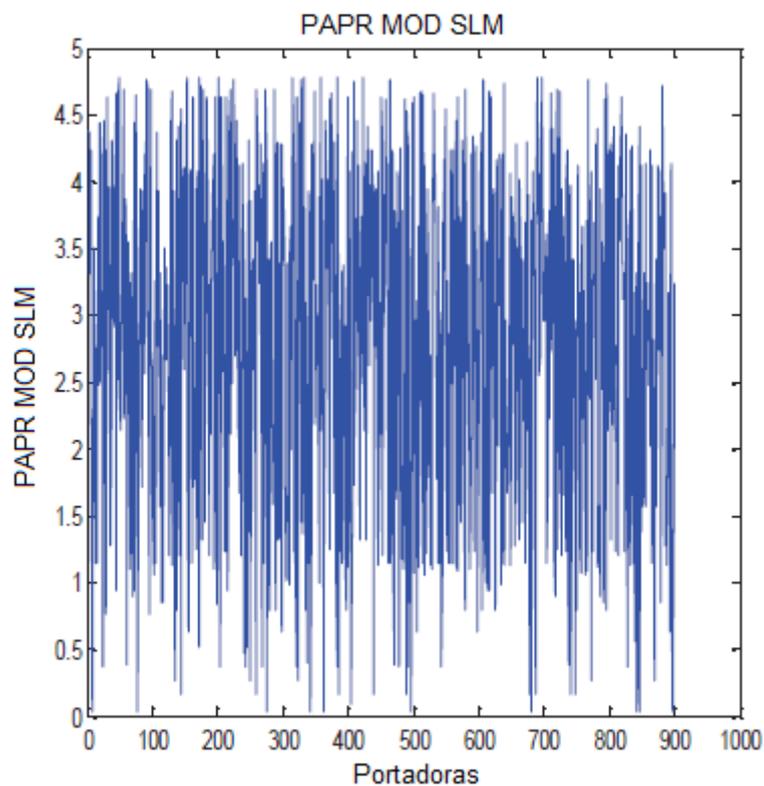


Figura 3. 11: PAPR de mapeo selectivo modificado del sistema OFDM para la modulación DQPSK.
Elaborado por: Autor.

Se realiza una investigación para establecer la relación entre la longitud de IFFT y la PAPR. En la tabla 3.6 se enumeran los valores de la PAPR máxima y de la PAPR promedio para diferentes valores de IFFT. Tanto la PAPR y la PAPR promedio se calculan para el mapeo selectivo convencional (CONSLM) para las modulaciones QPSK, DQPSK y el método SLM modificado. Al observar los resultados obtenidos se concluye que el valor

promedio de la PAPR se reduce con la disminución de la longitud de IFFT. También se infiere que la PAPR promedio permanece constante a 2.79 dB del método SLM modificado para cualquier longitud de IFFT.

Tabla 3. 6: Tamaño de FFT con los respectivos valores de PAPR

| Tamaño FT (N) | Método SLM | PAPR máximo (dB) | PAPR promedio (dB) |
|---------------|----------------------|------------------|--------------------|
| 512 | Convencional – QPSK | 9.1282 | 7.5725 |
| | Convencional – DQPSK | 8.8067 | 7.4935 |
| | Modificado | 4.7712 | 2.7924 |
| 256 | Convencional – QPSK | 8.3572 | 7.0123 |
| | Convencional – DQPSK | 8.6149 | 6.9747 |
| | Modificado | 4.7712 | 2.7924 |
| 128 | Convencional – QPSK | 8.5583 | 6.4043 |
| | Convencional – DQPSK | 7.9435 | 6.3697 |
| | Modificado | 4.7712 | 2.7924 |
| 64 | Convencional – QPSK | 7.4212 | 5.7302 |
| | Convencional – DQPSK | 7.7978 | 5.7042 |
| | Modificado | 4.7712 | 2.7924 |

Elaborado por: Autor.

En el método propuesto, el valor de la PAPR más bajo se selecciona antes de IFFT y luego se transforma, mientras que en el mapeo selectivo convencional (CONSLM) se selecciona el valor de PAPR más bajo después de la transformación. Este criterio de selección del valor de PAPR más bajo antes de la transformación del método propuesto da una recompensa en forma de la PAPR promedio constante para cualquier tamaño de IFFT. La PAPR es simplemente la función de la longitud N de IFFT del transmisor

OFDM, es decir, que la PAPR se reduce a medida que disminuye el número de subportadoras.

3.4.1. Modelo de Simulink para el método SLM modificado.

El software Simulink proporcionado por MatLab es una buena herramienta para los diseñadores. Es una herramienta que ayuda a los diseñadores a crear modelos, proporcionar simulación y realizar sus análisis. Simulink funciona con éxito tanto para sistemas lineales como no lineales que se pueden modelar en tiempo continuo, tiempo de muestreo o una combinación de ambos. Resulta muy útil cuando se trata de problemas en tiempo real. Tiene facilidades como reenvío de datos de un bloque a otra bifurcación, multiplexación y generación de señales y muchas más. Solo considera intervalos de tiempo discretos para obtener resultados y rendimiento.

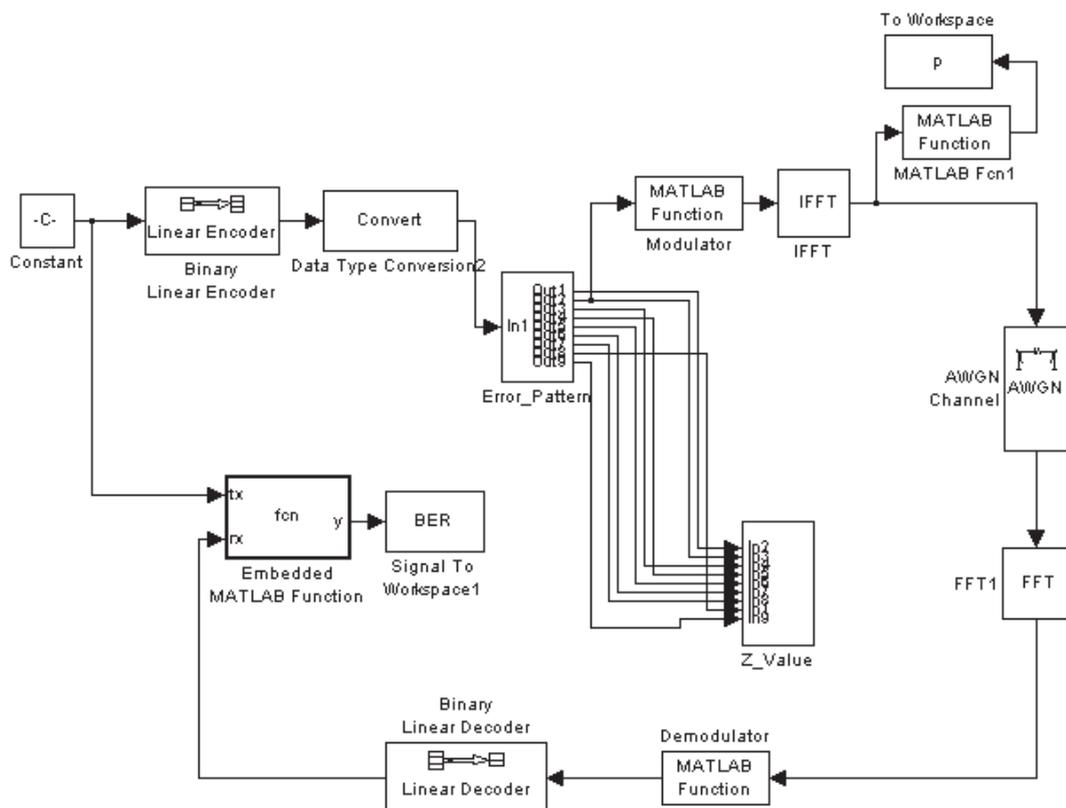


Figura 3. 12: Modelo de Simulink SLM modificado propuesto.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.12 se muestra el diseño el modelo de SLM modificado en Simulink, algunos bloques se seleccionan de la biblioteca de Simulink y los

bloques de modulación y demodulación son diseñados como subsistemas de forma independiente. Los datos de entrada están codificados a los que se aplica el criterio de decisión. Esta información se modula y transforma para obtener los valores de la PAPR. El método propuesto utilizó la técnica SLM con el código de bloque lineal de Hamming extendido y la técnica de modulación DQPSK para reducir el valor de la PAPR. En el método propuesto, el valor de la PAPR es 4.7 dB, tal como se muestra en la tabla 3.7. Los resultados de la simulación de MatLab muestran un rendimiento mejorado de la PAPR en 0.8 dB en el sistema OFDM propuesto.

Tabla 3. 7: Comparación de PAPR para SLM modificado

| Método | PAPR máximo (dB) |
|---|------------------|
| SLM modificado | 5.5 |
| SLM modificado propuesto utilizando MATLAB (teórico) | 4.7 |
| SLM modificado propuesto mediante el uso de Simulink (simulación) | 3.0103 |

Elaborado por: Autor.

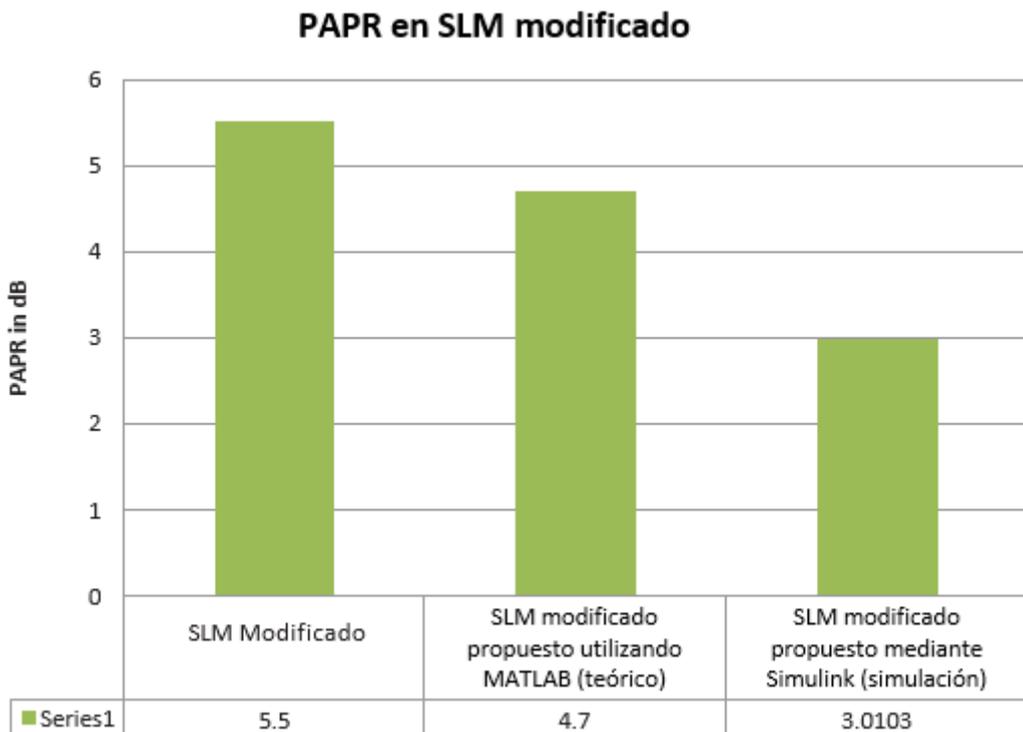


Figura 3. 13: Análisis comparativo de SLM modificado.

Elaborado por: Autor.

3.5. Rendimiento de la PAPR utilizando intercalación (Interleaver).

También se implementa un modelo de enlace simultáneo junto con un bloque intercalador para la reducción de la PAPR, tal como se muestra en la figura 3.14. En la figura 3.15 se muestra el análisis comparativo de los valores de la PAPR del sistema OFDM con y sin intercalador (Interleaver) para diferentes subportadoras (16, 32, 64 y 128). En la tabla 3.8 se destaca el valor de la PAPR para diferentes bits de entrada con y sin intercalador, lo que indica que el intercalador mejora el rendimiento de la PAPR.

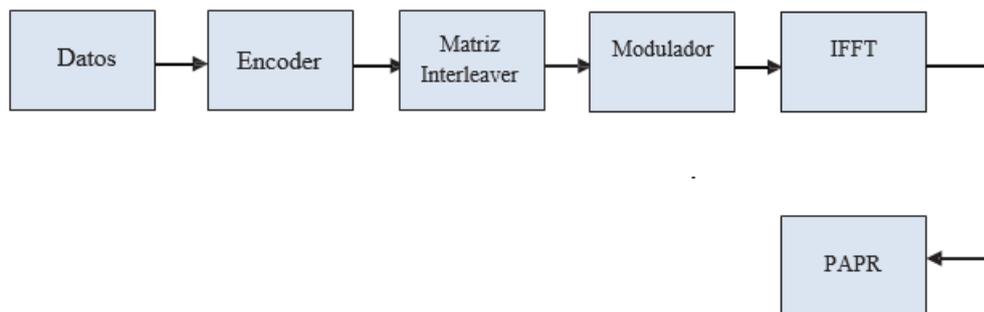


Figura 3. 14: Sistema OFDM con intercalador.
Elaborado por: Autor.

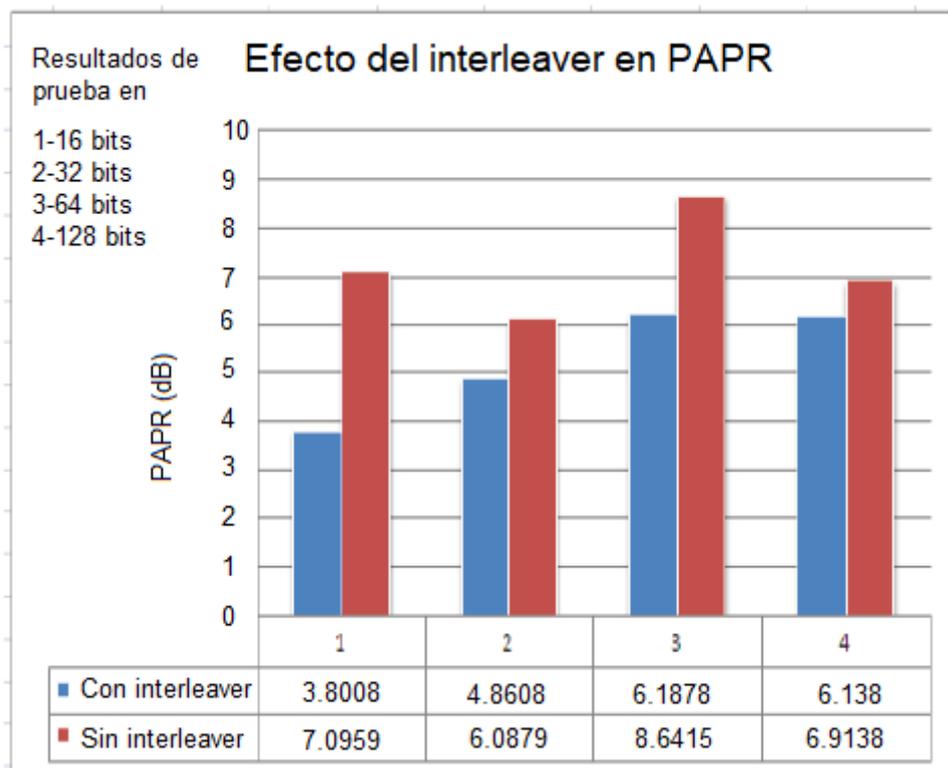


Figura 3. 15: Resultados de la PAPR con y sin intercalador para el sistema OFDM.
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 8: Efecto del intercalador sobre el valor de PAPR

| Bits de entrada | Valor PAPR con intercalador en dB | Valor de PAPR sin intercalador en dB |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 16 | 3.8008 | 7.0969 |
| 32 | 4.8608 | 6.0879 |
| 64 | 6.1878 | 8.6415 |
| 128 | 6.1380 | 6.9138 |

Elaborado por: Autor.

Los valores de PAPR de un sistema OFDM básico se evalúan utilizando diferentes técnicas de modulación. El diagrama de flujo describe los diversos pasos involucrados para la evaluación de PAPR del sistema OFDM básico. Se trazan gráficos de simulación para las técnicas de modulación BPSK, QPSK y DQPSK. El estudio comparativo de los distintos valores de PAPR revela que utilizando la técnica DQPSK el valor de PAPR es mínimo.

Conclusiones

El análisis PAPR se realiza mediante la técnica SLM propuesta con Hamming extendido LBC utilizando el esquema de modulación DQPSK. El valor de PAPR se obtiene con la ayuda de la técnica SLM convencional para QPSK y DQPSK. Los resultados distinguidos destacan que el método CONSLM con DQPSK muestra el valor más bajo de PAPR.

Los resultados obtenidos para el método propuesto SLM modificado con Hamming extendido LBC utilizando DQPSK es de 4,7 dB. La técnica SLM modificada propuesta con DQPSK expresada en esta investigación demuestra ser confiable y eficiente para la reducción de PAPR. La modulación DQPSK es ventajosa ya que no se requiere ecualización en el receptor y, por lo tanto, se reduce la complejidad del circuito.

Recomendaciones.

A continuación, se presenta dos posibles trabajos que se pueden desarrollar en futuras investigaciones:

1. Esquemas adaptativos de reducción de PAPR para OFDM utilizando mapeo selectivo (SLM) con la fusión de la técnica de filtrado y recorte para disminuir la PAPR y la distorsión de la señal.
2. Reducción de PAPR en el esquema de modulación F-OFDM para redes celulares 5G mediante la técnica de precodificación

Bibliografía.

- Aarab, M. N., & Chakkor, O. (2020). MIMO-OFDM for Wireless Systems: An Overview. En M. Ezziyani (Ed.), *Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2019)* (Vol. 92, pp. 185–196). Springer International Publishing.
- Ashri, R., Shaban, H., & El-Nasr, M. (2017). A Novel Fractional Fourier Transform-Based ASK-OFDM System for Underwater Acoustic Communications. *Applied Sciences*, 7(12), 1286. <https://doi.org/10.3390/app7121286>
- Chen, Y., Bayesteh, A., Wu, Y., Ren, B., Kang, S., Sun, S., Xiong, Q., Qian, C., Yu, B., Ding, Z., Wang, S., Han, S., Hou, X., Lin, H., Visoz, R., & Razavi, R. (2018). Toward the Standardization of Non-Orthogonal Multiple Access for Next Generation Wireless Networks. *IEEE Communications Magazine*, 56(3), 19–27. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1700845>
- Dau Valencia, H. F., & Cantero, N. B. (2018). *Rendimiento espectral de OFDM en las tasas de transmisión de las redes inalámbricas 802.11x* [Trabajo de Grado, Universidad de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/523>
- Dhingra, A., Kumar, S., . P., Sharma, D., & Dahiya, S. (2018). A Comprehensive Review of QAM-OFDM Optical Networks. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(11), 811–817. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i11.811817>
- Peralta Gallardo, Á. (2012). *Orthogonal Frequency Division Multiplexed Access for Passive Optical Networks: A hands-on training approach* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16033>

Rohling, H. (Ed.). (2011). *OFDM: Concepts for future communication systems*. Springer.

Uruchima P., A. A. (2016). *Análisis del desempeño de sistemas OFDM con diferentes modulaciones usando Simulink*. [Trabajo de Titulación, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/6608>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO** con C.C: # 094032079-9 autor del componente práctico del examen complejo: **Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 18 de septiembre del 2020

f. _____

Nombre: TOVAR RUIZ, CRISTHIAN JOAO

C.C: 094032079-9



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|--|--|--|----|
| TÍTULO Y SUBTÍTULO: | Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK. | | |
| AUTOR(ES) | Tovar Ruiz, Cristhian Joao | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | M. Sc. Pacheco Bohórquez, Héctor Ignacio | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Educación Técnica para el Desarrollo | | |
| CARRERA: | Ingeniería en Telecomunicaciones | | |
| TÍTULO OBTENIDO: | Ingeniero en Telecomunicaciones | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 18 de Septiembre del 2020 | No. DE PÁGINAS: | 32 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Fundamentos de comunicación, comunicaciones inalámbricas | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | Sistema, OFDM, Subportadoras, Modulación, Fase, PAPR. | | |
| RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): | <p>La multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) es una técnica de modulación multiportadora para la transmisión de datos a alta velocidad en comunicaciones inalámbricas. En un sistema OFDM, se utiliza un gran número de subportadoras para transmitir los símbolos modulados y, en consecuencia, las señales OFDM tienen una alta relación de potencia de pico a promedio (PAPR). De acuerdo con lo anterior, el presente componente práctico se denomina "Evaluación del sistema OFDM para minimizar la relación de potencia pico a promedio utilizando esquemas de modulación M-PSK". En el capítulo 1, se presenta una breve introducción de la modulación multiportadora que es la clave en las comunicaciones inalámbricas modernas, es decir, la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), y también se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de esta parte práctica mediante el uso del entorno de simulación Matlab/Simulink. En el capítulo 2, se describe la parte fundamental teórica de la modulación multiportadora OFDM. Finalmente, en el capítulo 3 se muestra el modelo de simulación del sistema OFDM mediante modulación m-aria por desplazamiento de fase (M-PSK) para minimizar la relación de potencia pico a promedio (PAPR).</p> | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593-9-84981780 | E-mail: pamelamichelle.pv1@gmail.com | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE | Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando | | |
| | Teléfono: +593-9-67608298 | | |
| | E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec | | |
| SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA | | | |
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | | | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | | | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | | | |