



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MULTIPORTADORA OFDM-
IM PARA 6G USANDO SYSTEMVUE**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

AUTOR:
HENRY DARIO GUALLASAMIN HARO

TUTOR:
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Quito, Ecuador

2023

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo Henry Dario Guallasamin Haro, con documento de identificación N° 1717262081, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo, autorizando sin fines de lucro a la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Atentamente



Henry Dario Guallasamin Haro
C.I:1717262081

Quito, 4 de Agosto del 2023

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo Henry Dario Guallasamin Haro, con documento de identificación N° 1717262081, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del proyecto técnico intitulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MULTIPORTADORA OFDM-IM PARA 6G USANDO SYSTEMVUE”, mismo que ha sido realizado para el otorgamiento del título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana.

Atentamente



Henry Dario Guallasamin Haro
C.I:1717262081

Quito, 4 de Agosto del 2023

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Napoleón Tipán Simbaña con documento de identificación N° 1713583126, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MULTIPORTADORA OFDM-IM PARA 6G USANDO SYSTEMVUE” realizado por Henry Dario Guallasamin Haro, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, 4 de Agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Milton Napoleón Tipán Simbaña, Mgtr.
C.I: 1713583126

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a Dios quien ha sido mi soporte y guía a lo largo de mi carrera. A mis padres Armando y Ximena que confiaron en mis capacidades para poder seguir estudiando y formar mi carácter tanto humano como profesional. A mis hermanos Sebastián y Leonel de quienes he aprendido muchas cosas y he podido compartir o brindar un consejo al ser su hermano mayor. A mis tíos y tías quienes estuvieron dándome apoyo y fuerza para terminar mi carrera.

Finalmente dedico este proyecto a las personas más importantes de mi vida, mi hija Lia Emiliana y mi compañera de vida Michelle; quien fue mi pilar y mi sostén para alcanzar la cúspide de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana, a todos los docentes que fueron parte mi enseñanza que hoy llega a su término. A la carrera de ingeniería en Telecomunicaciones que me acogió como miembro de su familia, me proporcionaron las bases y cimientos para triunfar en el mundo laboral y ser una persona de bien. A mis compañeros, ahora colegas de profesión con quienes compartí momentos gratos que quedarán guardados en mi memoria.

A mi tutor de tesis Ing. Milton Tipán quien siempre estuvo predispuesto a solventar mis dudas y me encaminó para el término exitoso de este proyecto técnico. Gracias a su experiencia, me brindó ese respaldo que uno como estudiante tanto necesita en estos momentos decisivos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO 1	12
1. ANTECEDENTES Y SISTEMAS INALÁMBRICOS 6G	12
1.1. Planteamiento del problema	12
1.2. Justificación	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo General	14
1.3.2. Objetivos Específicos	14
1.4. Metodología	14
1.5. Redes inalámbricas de sexta generación	15
1.5.1. Arquitectura 6G	16
1.5.2. Señales multiportadora OFDM-IM	16
CAPÍTULO 2	18
2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA 6G	18
2.1. Diseño del sistema de transmisión y recepción 6G	18
CAPÍTULO 3	21
3. Resultados y análisis	21
3.1. Señal OFDM-IM	21
3.2. Desempeño del sistema	25
CAPÍTULO 4	27
4. Recapitulación y deducción	27
4.1. Conclusiones	27

4.2. Recomendaciones	27
4.3. Referencias.....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques transmisor OFDM-IM	17
Figura 2. Esquema de análisis transmisión y recepción 6G	18
Figura 3. Gráfica de la señal OFDM-IM (a) parte real y (b) imaginaria señal transmitida.	21
Figura 4. Señal en tiempo OFDM-IM transmitida en SystemVue	22
Figura 5. Señal en tiempo OFDM-IM después del demodulador.....	22
Figura 6. Gráfica parte real e imaginaria señal recibida.....	23
Figura 7. Espectro de señal en banda base	23
Figura 8. Espectro de señal en banda pasante	24
Figura 9. Espectro señal con ruido de 8 dBm demodulada	24
Figura 10. Tasa de bits errados	25
Figura 11. Probabilidad CCDF de la señal OFDM-IM	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias de operación 6G.....	16
--	----

RESUMEN

En la actualidad los sistemas para comunicación usan diferentes técnicas tal como se puede identificar la multiplexación por división ortogonal de frecuencias o también llamada OFDM. Este tipo de técnica se emplea cuando se requiere trabajar con un número grande de bits es decir muchos datos que utilizarán un ancho de banda amplio. Al realizar el análisis con transmisión de datos en paralelo se usa de igual forma suficientes subcanales que no se interponen entre sí. Un apoyo fundamental es el software de SystemVue que permite analizar diferentes parámetros respecto a la transmisión y recepción de datos, además mediante el cual permite usar en conjunto la codificación de Matlab.

La modulación indexada IM aparece cuando se emplea para el análisis únicamente la combinación de subcanales activos, por tal razón se desarrollará en SystemVue un sistema con transmisor y receptor 6G a través de un canal AWGN; que en conjunto trabajará con Matlab y se realizará la co-simulación para identificar ancho de banda, el espectro, el dominio de la señal en tiempo. Se podrá comparar las características que difieren con otras generaciones y el rendimiento que genera al analizar la tasa de error de los bits (BER) y la relación de potencia media máxima (PAPR).

ABSTRACT

Nowadays, communication systems use different techniques such as orthogonal frequency division multiplexing or OFDM. This type of technique is used when it is required to work with a large number of bits, i.e. a lot of data that will use a wide bandwidth. When performing the analysis with parallel data transmission, enough subchannels are used that do not interfere with each other. A fundamental support is the SystemVue software, which allows the analysis of different parameters of the data transmission and reception, as well as the combined use of Matlab coding.

IM indexed modulation appears when only the combination of active subchannels is used for the analysis. For this reason, a system with a 6G transmitter and receiver through an AWGN channel will be developed in SystemVue; it will work together with Matlab and the co-simulation will be performed to identify bandwidth, spectrum and time domain of the signal. It will be possible to compare the characteristics that differ with other generations and the performance it generates by analyzing the bit error rate (BER) and the maximum average power ratio (PAPR).

INTRODUCCIÓN

La sexta generación de conexión móvil, tiene el propósito de reemplazar el 5G y tendrá características como una mejor velocidad con menor latencia. Se quiere lograr conexiones más estables con una excelente transmisión de datos. Se evalúa su comercialización hacia el año 2030 aunque sus usos reales estarían más cerca de lo esperado (Carbajo, 2019). 6G proporciona casos de estudio nuevos, además de avanzar un nivel más en construcción inteligente y conducción automatizada (Cavazos, 2020).

Tomando en cuenta que se necesita de un software especializado para realizar simulaciones se utilizará SystemVue que permite hacer diseño electrónico automatizado, también facilita el diseño, así como la construcción de teléfonos, radares, sistemas con redes inalámbricas y comunicaciones mediante satélite. Además, facilita la realización de los esquemas de estructuras de telefonía a velocidades altas de forma digital.

Al simular un ambiente orientado se puede modernizar la capa física de los sistemas inalámbricos, así como también de los aeroespaciales (Carbajo, 2019). Existe un valor único proporcionado en referencia a los implementadores de radio frecuencia (radio frequency, RF), procesador de señal digital (digital signal processor DSP), matriz de puerta programable (field programmable gate array, FPGA); donde se sustituye el marco matemático, analógico y digital. Una característica fundamental que vale destacar es el lenguaje de programación que usa el cual es Matlab (Silage, 2007).

Para efecto se utilizará un tipo de técnica de modulación con multiplexación por división de frecuencias ortogonales (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM); en este caso OFDM-IM que mediante subportadoras transporte información en sub-bandas específicas asociando parte del espectro, aunque siendo diferentes por las características de ortogonalidad (Ramirez, 2006). Con OFDM-IM se ofrece una alta eficiencia espectral y energética gracias a los bits que contienen información transmitida por el índice de modulación (index modulation, IM). Es muy oportuno también analizar las técnicas de clipping que permiten reducir la relación de potencia pico promedio (peak to average power ratio, PAPR) en señales multiportadoras.

CAPÍTULO 1

1. ANTECEDENTES Y SISTEMAS INALAMBRICOS 6G

En este capítulo se detallará el planteamiento del problema, la justificación, se plantearán los objetivos y se describirá la metodología utilizada. A su vez se dará una descripción general de los futuros sistemas inalámbricos de sexta generación.

1.1.Planteamiento del problema

Actualmente, los sistemas de comunicación a través de las empresas de telecomunicaciones se encuentran en constante crecimiento y evolución tecnológica por lo cual los equipos móviles brindan un mejor servicio, que no solo consta de internet y telefonía, sino de juegos en tiempo real, hologramas, visión artificial, entre otros que ahora proporcionan las redes de banda ancha como 5G y la futura 6G, donde la demanda del usuario ha crecido sustancialmente para obtener estos servicios. En la sexta generación se tendrá objetos con capacidad de procesar y capturar datos visuales, las compañías móviles ya no se centrarán exclusivamente en un teléfono debido a que surgirá la posibilidad de usar tarjetas SIM en varios elementos como altavoces, vehículos, incluso en la ropa personal lo que hará posible una conexión con el mundo físico (Jovanovic, 2022). Entre las ventajas que aparecen con 6G se encuentra la inteligencia artificial que con la realidad extendida tendrá beneficios como la eficiencia energética; además se quiere disminuir la latencia que se ha convertido en el problema fundamental para sectores como el automovilístico y el de medicina que necesitan de transmisiones en tiempo real con velocidades de descarga y subida donde se permita intercambio de datos sin retardos (Sacristán, 2022).

Estos problemas, han sido encarados desde los aspectos de codificación hasta el de transmisión, por ello una de las formas de mitigar estos problemas es el uso nuevas formas de onda que permitan obtener mejores características de transmisión. Uno de ello es la modulación multiportadora OFDM-IM, que permite incrementar la tasa de bits así como reducir el ancho de banda de transmisión (Mendes, 2022).

1.2. Justificación

En el campo de las telecomunicaciones tiene un gran aporte porque se busca expandir el espectro hasta los 3000 GHz. Esto supone un gran desafío técnico, porque se tendrá que crear nuevos dispositivos como antenas. Además, explorar tecnologías innovadoras que estén al nivel superior de la tecnología actual. Diversos productores como Samsung y Huawei llevan desarrollando este estándar hace varios años, pero destacan que para el año 2030 llevaran a cabo la comercialización (Sacristán, 2022).

El análisis e implementación del 6G se halla en las fases iniciales de estudio, la industria ya ha empezado a desarrollar estándares para las distintas necesidades que surgen en la banda de los subterahercios (sub-THz) que son un motivo de investigación activa. Lograr una utilidad de datos de 100 gigabits por segundo (Gbps) a 1 terabit por segundo (Tbps) es un factor fundamental y se convierte en un campo operante dentro de la investigación 6G (Keysight, 2021).

En este artículo, se propone llevar a cabo el diseño de un sistema de comunicación 6G, mediante simulación, basado en el software SystemVue. Este sistema implementará un transmisor, canal de transmisión mediante canal con ruido gaussiano blanco aditivo (additive white gaussian noise, AWGN) y un receptor en una banda de migración de 5G hacia 6G usando una señal multiportadora OFDM-IM.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de comunicación multiportador OFDM-IM para 6G usando SystemVue.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar el modelo matemático y diagrama de bloques para la modulación multiportadora OFDM-IM.
- Desarrollar un transmisor que incorpore la modulación OFDM-IM.
- Implementar un receptor que incorpore la modulación OFDM-IM.
- Evaluar el sistema de comunicación multiportadora OFDM-IM para 6G en SystemVue para un canal AWGN en función del PAPR.

1.4. Metodología

El análisis y desarrollo del presente proyecto se fundamenta de un diseño de investigación cuantitativa de cuyo alcance es descriptivo y que consiste en diferentes etapas que permitieron obtener un diseño y estudio apropiado de la infraestructura de red inalámbrica propuesta, para ello se toma en consideración los siguientes procesos técnicos y metodológicos:

En primer lugar, se desarrolla el estudio bibliográfico de algunos temas claves acerca de la generación 6G basado en artículos académicos, tesis y libros. Se analizó las características del funcionamiento de SystemVue mediante manuales, tutoriales y la ayuda del mismo.

Entonces, se revisó el funcionamiento del programa OFDM-IM tanto del transmisor como del receptor en Matlab (Thien Vang & Youngwook, 2017) y se modificó para realizar un co-simulación entre SystemVue y Matlab. Luego se procedió a crear un canal de comunicación en RF en la banda de convergencia de 5G a 6G de 95 GHz (Borja González , 2021) , en un canal AWGN.

Luego, se procedió a realizar las simulaciones para diferentes potencias de ruido del canal de transmisión para obtener el desempeño del sistema mediante los errores en los bits (bit error rate, BER), el PAPR y la función de distribución acumulativa complementaria (complementary cumulative distribution function, CCDF).

1.5. Redes inalámbricas de sexta generación

Las redes inalámbricas conforme pasan los años siguen desarrollando nuevas necesidades y van de la mano de la actualización de los teléfonos inteligentes debido a las comunicaciones móviles, que exigen estándares de comunicación más eficientes con una calidad máxima.

Según Huawei, 6G será el cimiento para el internet de las cosas basado en tecnologías revolucionarias con componentes que permitirán la comunicación en sub-THz, el desarrollo de la inteligencia artificial y modelos de aprendizaje automático. La investigación sobre hace énfasis en el estudio de superficies inteligentes reconfigurables que tendrán desafíos técnicos, pero con las innovaciones en algoritmos de procesamiento de señales se pretende garantizar el futuro inalámbrico de comunicaciones a nivel mundial (Schwarz, 2022).

1.5.1. Arquitectura 6G.

La sexta generación operará entre 95 GHz y 3 THz, donde las longitudes de onda utilizadas permitirán dar servicio con velocidades 1000 veces más rápidas comparado con 5G. Cuando se habla de sexta generación, se requiere mayor velocidad de transmisión de gran cantidad de datos con una latencia de microsegundos (Gonzalez, 2022).

Al tener diferentes bandas en las cuales trabajaría 6G se escogió la primera banda que se muestra en la Tabla 1, donde se utilizó la frecuencia de 95 GHz la misma que se convierte en el punto de transición de 5G a 6G (Gonzalez, 2022).

Tabla 1 Frecuencias de operación 6G

Banda	Frecuencia
F	90 GHz – 140 GHz
D	110 GHz -170 GHz

1.5.2. Señales multiportadora OFDM-IM

Los sistemas multiportadora OFDM-IM para 6G son un tema de investigación prometedor ya que usan modulación inalámbrica combinando OFDM tradicional. OFDM-IM propone utilizar índices para verificar las portadoras que se encuentran activas o inactivas en vez del uso de información en todas las subportadoras como lo hace OFDM. Esta técnica de modulación permite resistencia a la interferencia optimizando la eficiencia espectral y la capacidad de transmisión.

En la Figura 1 (Domouchtsidis, 2016) se puede identificar la manera en la que están distribuidos los bloques que interviene en el transmisor OFDM-IM. Se observa los m -bits transmitidos que ingresan en el splitter, luego se divide en grupos de p -bits. Los bits p_1 ingresan al selector de índices y el grupo p_2 ingresa al mapeador de símbolos (modulador digital) esta asignación de símbolos a índices se realiza mediante análisis combinatorio de p -bits. El grupo p_1 genera el índice a través de una combinación de bits donde se colocarán los p_2 símbolos de modulación digital formando el bloque OFDM en el dominio de la frecuencia que será cambiada al dominio del tiempo mediante la IFFT para generar un símbolo OFDM-IM agregando un prefijo cíclico al final.

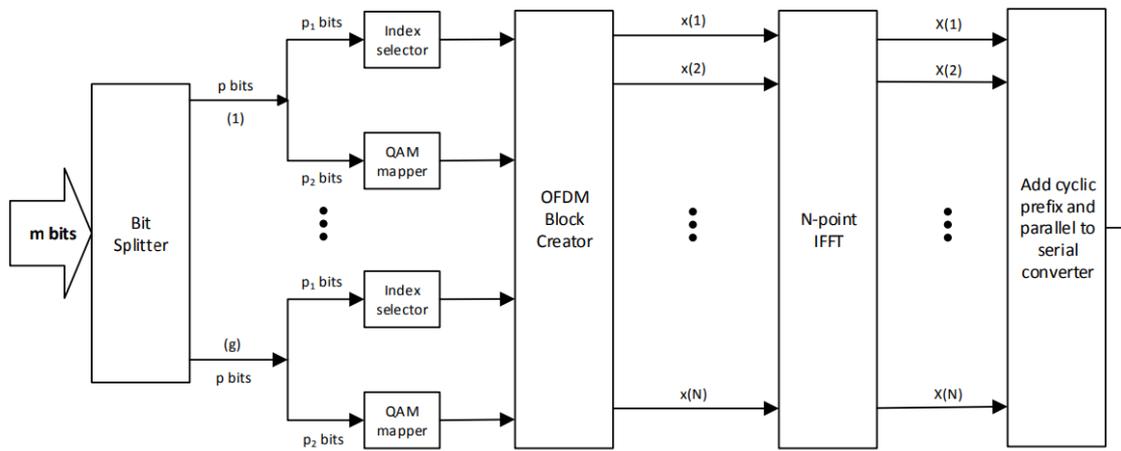


Figura 1. Diagrama de bloques transmisor OFDM-IM

Los p_1 bits se emplean para modular los índices de las subportadoras activas mediante una combinatoria C y están dados por la siguiente ecuación:

$$p_1 = \lceil \log_2(C(n, k)) \rceil$$

Donde n denota el tamaño de los subgrupos complejos y k es el número de subportadoras activas.

Los p_2 bits se emplean para determinar las subportadoras activas en relación al orden del mapeador y están dados por la siguiente ecuación:

$$p_2 = k \log_2 M$$

CAPÍTULO 2

2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA 6G

En este capítulo se presentará el diseño y la implementación de la señal OFDM-IM en Matlab y su co-simulación con SystemVue para implementar efectos del canal en radio frecuencia.

2.1. Diseño del sistema de transmisión y recepción 6G

Un sistema de comunicaciones generalmente tiene 3 partes el transmisor, el canal y el receptor. En la Figura 2, se presenta el esquemático realizado en SystemVue que fue empleado para el análisis del sistema.

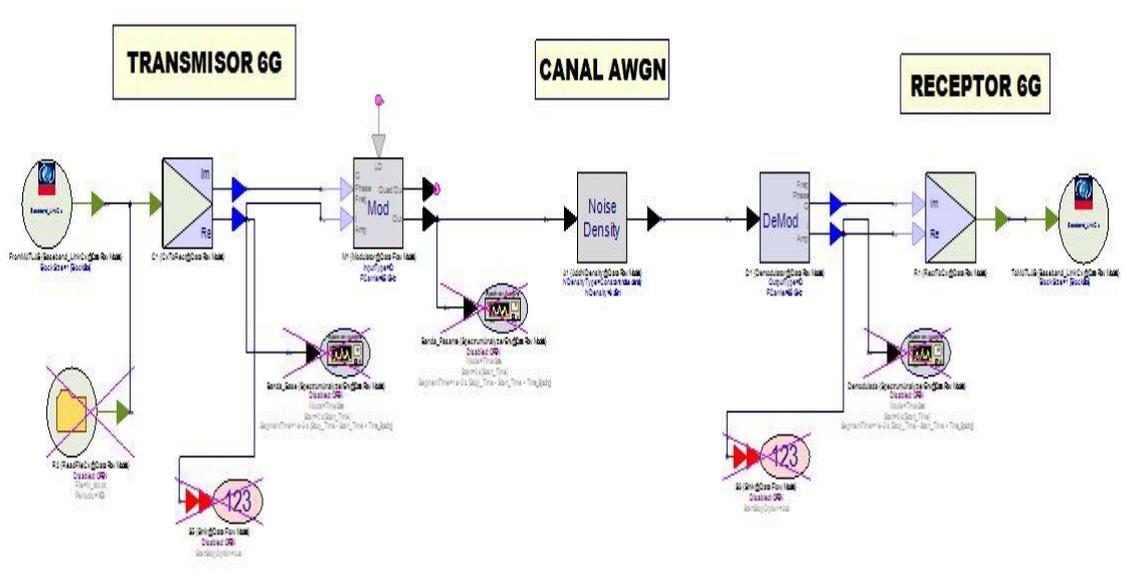


Figura 2. Esquema de análisis transmisión y recepción 6G

En la parte del transmisor se puede identificar que llegan los bits generados en Matlab usando el bloque de cosimulación (icono circular), estos entran en el convertidor CxToRect que sirve para convertir la señal compleja en real e imaginaria es decir se tienen los datos de modo rectangular.

Luego, las muestras de la señales reales e imaginarias ingresan al modulador de RF permitiendo el cambio de banda base a banda pasante. Entonces, pasa por el módulo de Noise Density en cual permite agregar ruido AWGN para avanzar hacia la parte del receptor del sistema. En este el demodulador recupera la señal en banda base y la señal compleja es restablecida usando RectToCx y devuelta a Matlab mediante el icono de cosimulación.

Finalmente, se puede observar la señal a través del analizador de espectros y el componente Sink guarda los datos de salida para el análisis mediante gráficas.

2.1.1. Implementación del modulador y demodulador OFDM-IM

La implementación se hizo en Matlab, se generó 4000 bits pseudoaleatorios los cuales fueron modulados mediante 4-QAM, formado el bloque OFDM en frecuencia donde se añadieron ceros 4192 para generar su espectro en banda base y pasado a tiempo mediante una $iFFT=2^{13}$, no se añadió prefijo cíclico debido a que el canal no genera retardo y los dispositivos fueron ideales.

El demodulador OFDM-IM utiliza un demodulador Maximum Likelihood (ML), que tiene la función de recuperar los datos de la señal transmitida y realizar la decodificación con respecto al índice de la subportadoras, los símbolos luego son decodificados mediante un demodulador 4-QAM y finalmente los bits son recuperados y procesado el BER, PAPR y CCFD en Matlab.

2.1.2. Implementación del canal de comunicaciones

Se eligió un canal AWGN para modelar las características de propagación de la señal en el canal inalámbrico donde la presencia de ruido altera el BER en el sistema de comunicación ya que este canal permite simular el rendimiento, así como la robustez frente a los factores que alteran la transmisión del sistema.

Se realizó una variación de potencia de ruido en pasos de 1dBm desde 1 a 20 dBm, para medir su efecto en el BER, estas medidas permitían obtener un $BER = 10^{-3}$ como límite FEC (Forward Error Correction) y tomarlo como punto de referencia para las medidas.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se expondrán los resultados y análisis del sistema implementado en SystemVue, para realizar simulaciones basados en la señal multiportadora OFDM-IM para 6G.

3.1. Señal OFDM-IM

La señal OFDM-IM es una señal compleja que se generó en Matlab como se muestra en la Figura 3 donde se aprecia la parte real Figura 3. (a) y parte imaginaria Figura 3. (b), se puede observar la señal OFDM-IM transmitida en el dominio del tiempo tiene muchos picos altos lo que sugiere que hay un alto PAPR. Esto se corrobora al observar la Figura 4. generada en SystemVue, así como la correcta cosimulación.

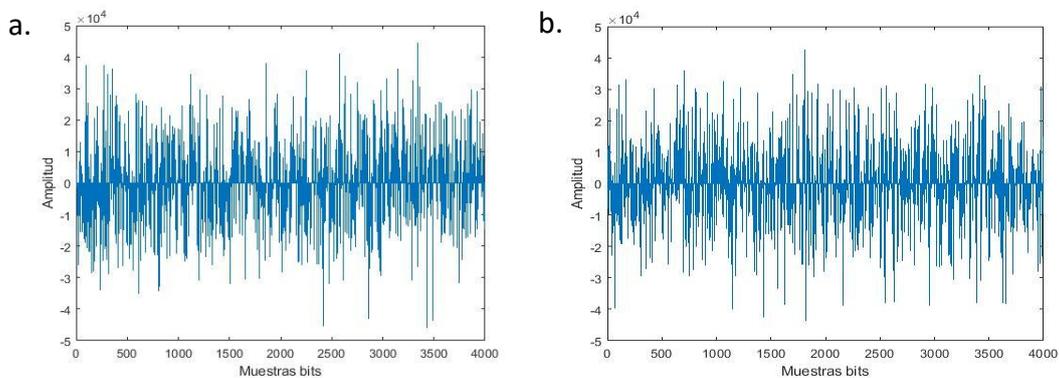


Figura 3. Gráfica de la señal OFDM-IM (a) parte real y (b) imaginaria señal transmitida.

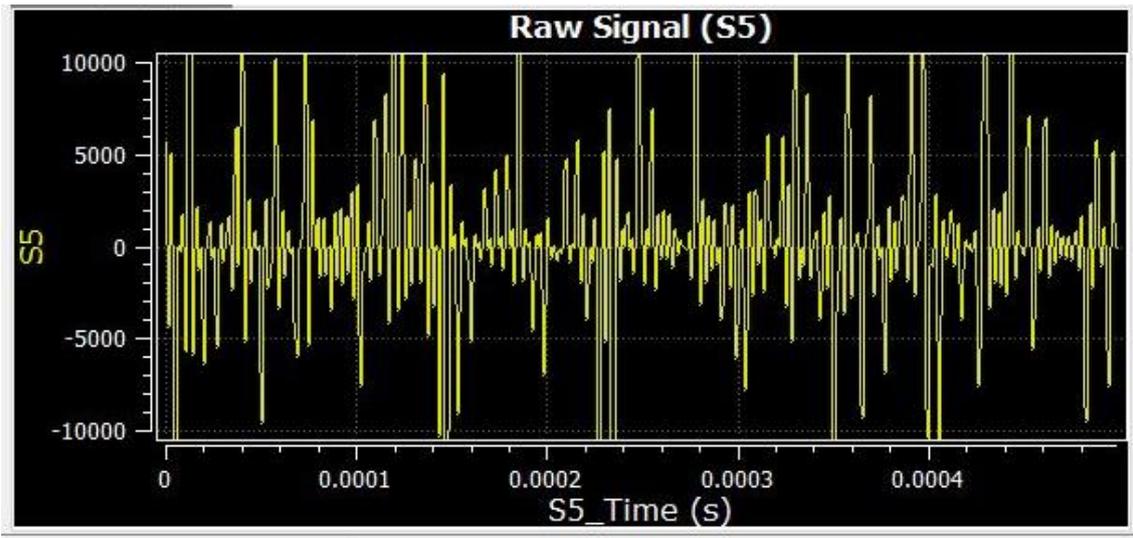


Figura 4. Señal en tiempo OFDM-IM transmitida en SystemVue

En la Figura 5 se observa la señal a la salida del demodulador donde se puede dar cuenta que la señal tiene menos amplitud y más ruido debido al paso por el canal de transmisión.

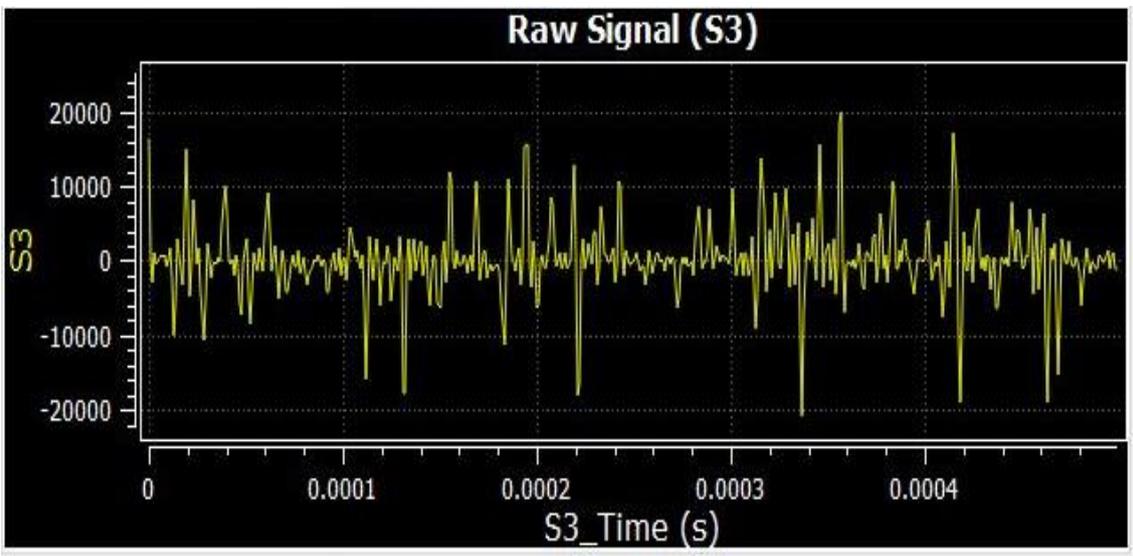


Figura 5. Señal en tiempo OFDM-IM después del demodulador

Esta amplitud fue, compensada en Matlab como se muestra la Figura 6a parte real y Figura 6b parte imaginaria.

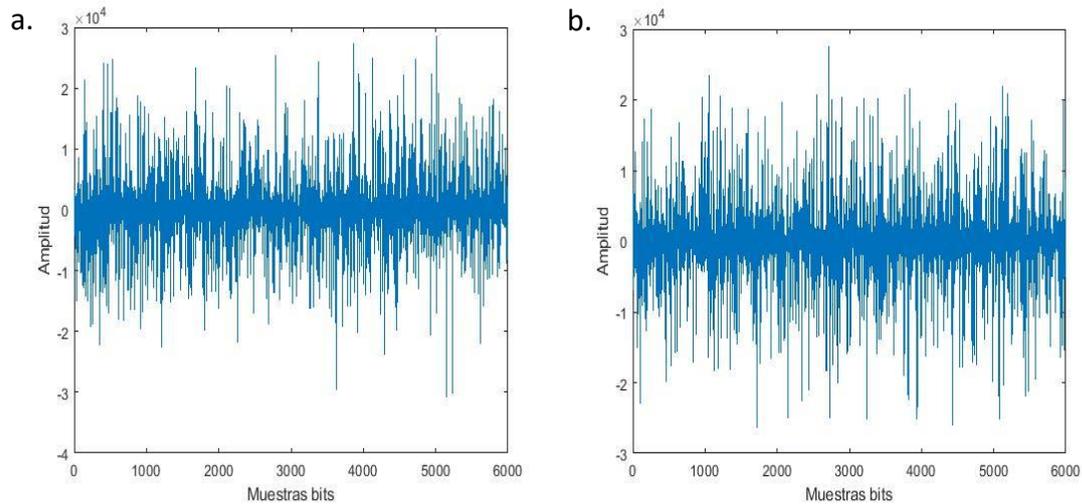


Figura 6. Gráfica parte real e imaginaria señal recibida

Para analizar el ancho de banda de la señal OFDM-IM se observó su espectro de frecuencia en banda base, una potencia de aproximada 60dBm es generada y su ancho de banda es de 340 KHz, las cuales pueden variarse mediante atenuadores y cambiando la frecuencia de muestreo usada en la simulación la cual fue $F_s=1\text{MHz}$, como se muestra en la Figura 7.

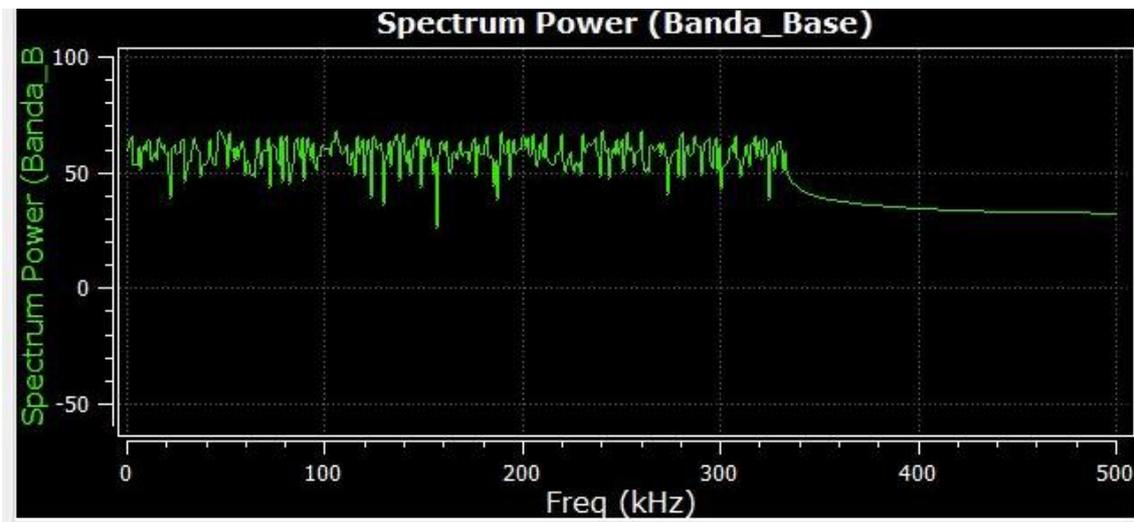


Figura 7. Espectro de señal en banda base

En la Figura 8, se observa el espectro de la señal en banda pasante con una frecuencia de 95 GHz, que representa la banda de transición para 5G con 6G.

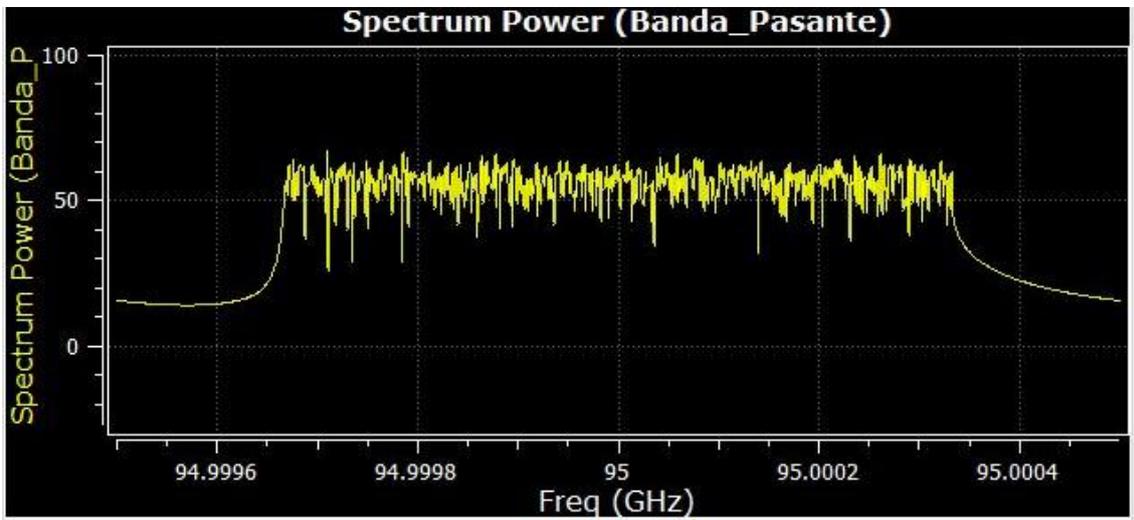


Figura 8. Espectro de señal en banda pasante

Finalmente, se comprobó que la señal sea demodulada correctamente y regresada a banda base en el demodulador, esto se observa en la Figura 9. El análisis anterior permite identificar que las características de la señal OFDM-IM en transmisión han sido cumplidas.

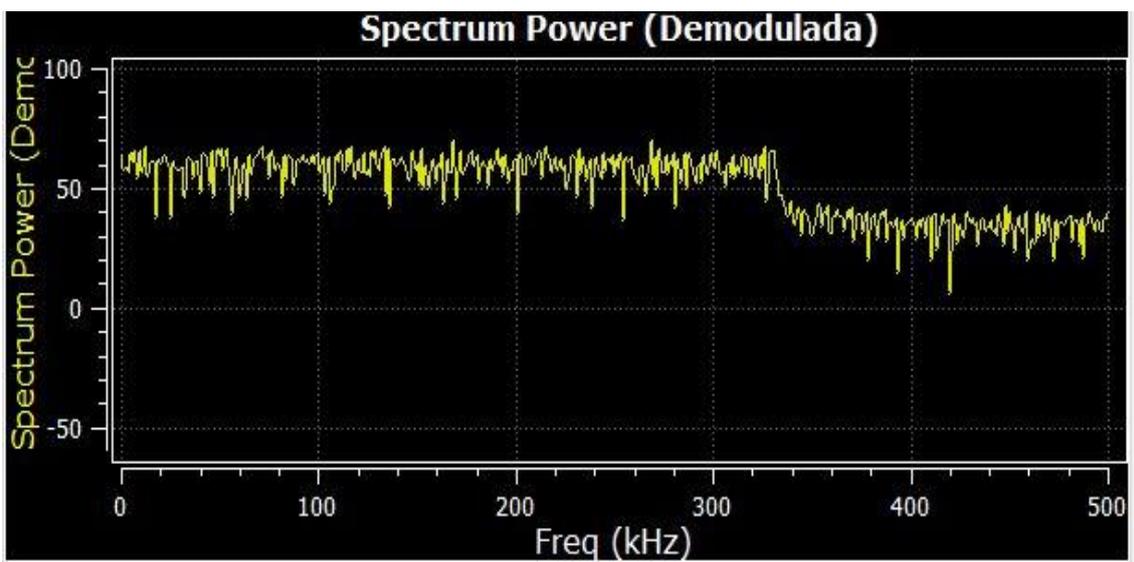


Figura 9. Espectro señal con ruido de 8 dBm demodulada

3.2. Desempeño del sistema

Para el análisis de desempeño de la señal OFDM-IM se utilizaron los parámetros BER, PAPR y CCDF. El BER es la métrica principal para comprobar el rendimiento de la transmisión de los datos donde se presenta la proporción de los bits erróneos comparado con todo el número de bits transmitidos. En la Figura 10, se puede observar que cuando el valor de la potencia de ruido es 10 dBm tiene un BER de $10e-3$ lo que significa que se encuentra en el límite FEC. Además, podemos dar a notar que el sistema está funcionando bien ya que se visualiza que mientras la potencia de ruido sube la tasa de error sube y viceversa, como se nota en los diagramas de constelaciones de la Figura 10.

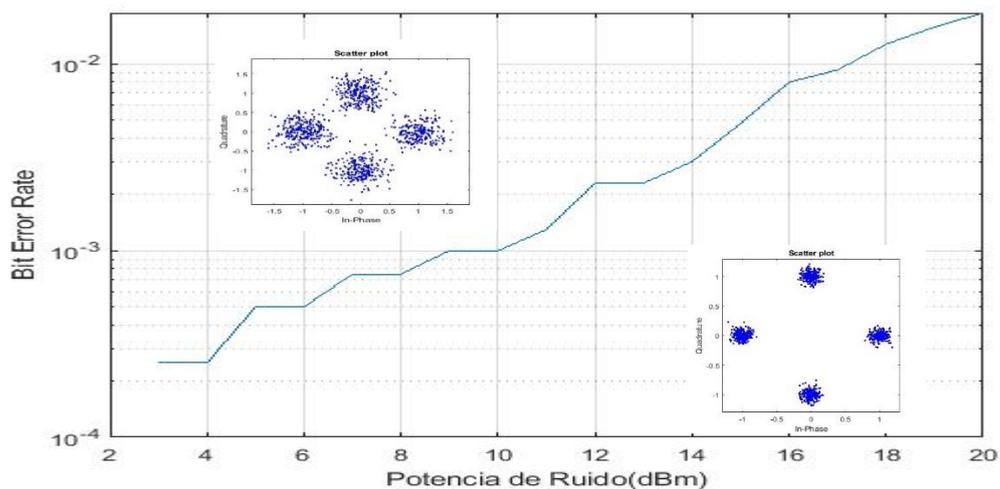


Figura 10. Tasa de bits errados

Una medida adicional a los objetivos del proyecto fue la evaluación del PAPR la cuál es la métrica que evalúa la calidad de señal transmitida, donde exista un valor de pico más alto se producirá mayor cantidad de errores en la transmisión; todo esto debido a que el amplificador opera cerca de la región saturada. Para calcular el PAPR se relaciona el valor de potencia pico con el valor de potencia promedio; así podemos definir la siguiente ecuación (Salazar, 2019) (Tipan, 2022).

$$PAPR = \frac{|\max f(t)|^2}{\frac{1}{t} \sum_0^{T-1} f(t)^2}; 0 \leq t \leq T - 1$$

Para la señal OFDM-IM transmitida tiene un PAPR=15.94 dB, que corresponde con lo observado en la señal en tiempo ya que es un nivel alto; por lo tanto, se observa que es necesario trabajar con técnicas que permitan reducir este PAPR.

Con el fin de evaluar el comportamiento del PAPR en función de la probabilidad de aparición de estos picos se analizó el CCDF la cual es la función que ayuda a calcular la probabilidad de que cierta variable sobrepase un umbral, en este caso nos ayudó a relacionar con el pico más elevado de la señal. Cabe mencionar que en las comunicaciones inalámbricas la CCDF es empleada para distinguir el rendimiento en los ambientes con ruido.

Se identifica en la Figura 11 que la curva de probabilidad de CCDF tiene una relación inversamente proporcional entre el porcentaje y la potencia relativa, que quiere decir que mientras menos sea la potencia relativa de la señal es más probable encontrar un pico alto en la señal; caso contrario cuando se tiene un valor de potencia mayor los picos disminuyen por ende la probabilidad de que aparezca uno de ellos es menor, así para una potencia de 10dB se tiene una probabilidad de aparición de 10^{-1} .

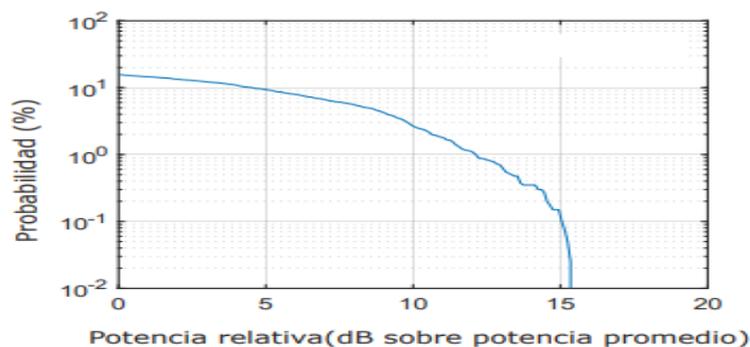


Figura 11. Probabilidad CCDF de la señal OFDM-IM

CAPÍTULO 4

4. Recapitulación y deducción

En este capítulo se expondrán las resoluciones, conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto realizado

4.1.Conclusiones

Un sistema de prueba para 6G fue desarrollado con una frecuencia de convergencia de 5G con 6G, mediante simulación entre Matlab y SystemVue, con este software de análisis permitirá la ampliación de conceptos y entrar en la nueva era de comunicaciones inalámbricas.

Una señal OFDM-M fue generada en Matlab, con modulación 4-QAM, tanto en banda base como en banda pasante con un ancho de banda base 350KHz, a una frecuencia de portadora 95GHz. Esto ayudará a realizar experimentos con esta modulación pues no se cuenta con generadores en este rango de frecuencia.

Un análisis de la señal OFDM-IM fue realizado en un canal AWGN permitiendo observar su comportamiento y evaluar el BER, PAPR y CCDF. Esto indica que esta señal tiene un alto PAPR y es necesario el uso de técnicas que permita su mitigación, así como el uso del CCDF obtenido permitirá crear diseños de transmisión confiables y robustos donde interviene el análisis estadístico de las señales inalámbricas.

4.2.Recomendaciones

Se recomienda hacer un análisis exhaustivo de las bandas de frecuencia donde va a trabajar la sexta generación además identificar el ancho de banda que debe ser mayor para transmisiones que contengan miles de datos.

Se recomienda mantener una licencia activa de SystemVue para realizar todo tipo de experimentación y hacer una comparativa con los distintos tipos de modulación OFDM.

4.3.Referencias.

- Basar, E. (2013). Orthogonal Frequency Division Multiplexing with Index Modulation in the Presence of High Mobility. Istanbul, Turquia.
- Borja González , R. (3 de Julio de 2021). DISEÑO DE REDES DE ACCESO ÓPTICAS PARA COMUNICACIONES 5G BASADAS EN LA GENERACIÓN FOTÓNICA DE LAS SEÑALES DE ONDA MILIMÉTRICA. Valencia, España.
- Caceres, E. (Octubre de 2017). Reducción del PAPR mediante técnicas de clipping en sistemas multiportadores UPMC. Quito, Ecuador.
- Carbajo, F. (Enero de 2019). Análisis del diseño y simulación de sistemas 5G utilizando SystemVue. Barcelona.
- Cavazos, J. (8 de Junio de 2020). Los aspectos de 6G que serán importantes para los ingenieros de diseño inalámbrico.
- Domouchtsidis, S. (30 de Junio de 2016). OFDM-IM vs FQAM: A Comparative Analysis. *IEEE*.
- Gonzalez, C. (27 de Agosto de 2022). *Computer Hoy*. Obtenido de <https://computerhoy.com/reportajes/tecnologia/tecnologia-6g-1100939#c-1659030710823>
- Jovanovic, B. (08 de Marzo de 2022). *Estadísticas de Internet de las cosas para 2022*. Recuperado el 12 de Mayo de 2022, de DataProt: <https://dataprot.net/statistics/iot-statistics/>
- Keysight. (1 de Diciembre de 2021). *6G ir más allá de 100 Gbps a 1 Tbps*. Obtenido de <https://www.keysight.com/discover/6g/6g-going-beyond-100-gbps-to-1-tbps>
- Mendes, L. (Marzo de 2022). 6G es la integración del mundo virtual, del mundo real y del mundo biológico. (N. Tellez, Entrevistador)

- Ramirez, C. (2006). Modulación por multiportadoras tipo OFDM, las bases de la nueva generación de transmisión de información. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Sacristán, L. (9 de Mayo de 2022). *6G la proxima generación de redes móviles* . Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/nuevo/6g-toda-informacion>
- Salazar, M. (Febrero de 2019). Reducción del PAPR en señales multiportadoras UFMC mediante técnicas de clipping y selective mapping utilizando USRPS como transceiver. Quito, Ecuador.
- Schwarz, R. (2022). *Tecnología Inalambrica 6G*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de Estándares de telefonía celular: https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/test-and-measurement/wireless-communication/estandares-de-telefoniamovil/6g/6g_253278.html
- Silage, D. (2007). *Digital Communication Systems using SystemVue*. Delhi.
- Thien Vang, L., & Youngwook, K. (2017). A tight bound on BER of MCIK-OFDM with greedy detection and imperfect CSI. *IEEE*, 2594-2597.
- Tipan, M. (11 de Julio de 2022). PAPR comparison between conventional OFDM and Fast-OFDM on Radio Over Fiber Applications. Quito, Ecuador.