

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:
ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LA BANDA LTE PARA LA
INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO GFDM**

**AUTORES:
AYALA VERA OSCAR ROBERTO
VALLEJO ORTEGA PAÚL GIOVANNY**

**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, julio de 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Oscar Roberto Ayala Vera y Paúl Giovanni Vallejo Ortega, con documentos de identificación N° 1900643337 y N° 1718452459 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del artículo académico: “ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LA BANDA LTE PARA LA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO GFDM”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Oscar Roberto Ayala Vera
CI: 1900643337



Paúl Giovanni Vallejo Ortega
CI: 1718452459

Quito, julio de 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, “ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LA BANDA LTE PARA LA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO GFDM” realizado por Oscar Roberto Ayala Vera y Paúl Giovanni Vallejo Ortega, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio de 2019.



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

CI: 1717985830

DEDICATORIA

A mis padres Norma y Patricio por ser un apoyo incondicional y gracias a su amor, dedicación y paciencia fueron un pilar fundamental para la obtención de mi título de ingeniero y a quienes les debo mi vida por sus crianzas las cuales hicieron de mi un excelente hijo; a mis hermanos David y Christian quienes con sus consejos guiaron mi camino por el sendero del bien y fueron un ejemplo de superación. A mi Valentina, quien es el tesoro más grande de mi vida y me motiva día a día a ser mejor persona para poder tener un futuro maravilloso a su lado. A mis sobrinas y a mi novia quienes con su cariño y amor fueron de gran ayuda en cada momento de mi vida universitaria.

Paúl Giovanni Vallejo Ortega

Con todo cariño y amor a mis padres Elizabeth Vera y Roberto Ayala, quienes, con su apoyo incondicional, amor, mucho esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y han sido mi motivación e inspiración en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida. A mis hermanos Mateo y David, por llenarme de alegría, día tras día, y por todos los consejos y ayuda brindados. A mí querida tía Lili Vera, quien con su apoyo económico y enseñanzas me ayudó a concluir esta meta cuando mi padre enfermó. A mi novia Marjorie Rios, por entenderme en todo, apoyarme y ser quien me acompaña y motiva al éxito de todos mis sueños y metas por venir.

Oscar Roberto Ayala Vera

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ESPECTRAL EN LA BANDA LTE PARA LA INCLUSIÓN DE SEÑALES 5G USANDO GFDM

SPECTRAL EFFICIENCY ANALYSIS IN THE LTE BAND FOR INCLUSION OF 5G SIGNALS USING GFDM

Oscar Ayala Vera¹, Paúl Vallejo Ortega², Lenin Aucatoma Guamán³

Resumen

El presente artículo tiene como finalidad el análisis del espectro en la banda LTE del Ecuador para determinar qué espacios de frecuencias no están siendo utilizados e introducir algunas señales con características 5G (alta velocidad y baja latencia), mediante la técnica de acceso al medio GFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Generalizado) usando un USRP 2944R (radio definido por software) y LabVIEW Communications System Design. En primera instancia se realizó un estado del arte y se comprendió cuáles son los parámetros establecidos por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para las NGN (Redes de Nueva Generación), y las configuraciones necesarias para un funcionamiento correcto del transceptor en la frecuencia libre de los 2.16GHz perteneciente al bloque K' del espectro radioeléctrico asignado por la ARCOTEL. Se transmitió video MP4 vía UDP hacia LabVIEW implementando varias velocidades de Tx y diferentes calidades de video, llegando hasta los 3 Gbps como velocidad máxima. Los mejores resultados se obtuvieron implementando una velocidad de 925,2 Mbps con una resolución de 1920x1080 pixeles; es decir, a una calidad de 1080p y un BW de 10 MHz, obteniendo así un valor del BER en el orden de 10^{-3} .

Palabras clave: BER, GFDM, LTE, NGN, UIT, USRP, 5G.

Abstract

The purpose of this article is to analyze the spectrum in the LTE band of Ecuador to determine which frequency spaces are not being used and to introduce some 5G characteristic signals (high speed and low latency), through the GFDM medium access technique (Multiplexing by Generalized Frequency Division) using a USRP 2944R (software defined radio) and LabVIEW Communications System Design. In the first instance a state of the art was made and it was understood what are the parameters established by the ITU (International Telecommunication Union) for the NGN (New Generation Networks), and the necessary configurations for a correct functioning of the transceiver in the free frequency 2.16GHz belonging to the K' block of the radio spectrum assigned by the ARCOTEL. MP4 video was transmitted via UDP to LabVIEW implementing various Tx speeds and different video qualities, reaching up to 3 Gbps as maximum speed, the best results were obtained by implementing a speed of 925.2 Mbps with a resolution of 1920x1080 pixels, that is, at a quality of 1080p and a BW of 10 MHz, thus obtaining a BER value in the order of 10^{-3} .

Keywords: BER, GFDM, LTE, NGN, UIT, USRP, 5G.

¹ Estudiante de Ingeniería Electrónica (mención Telecomunicaciones) - Universidad Politécnica Salesiana, UPS - Sede Quito

² Estudiante de Ingeniería Electrónica (mención Telecomunicaciones) - Universidad Politécnica Salesiana, UPS - Sede Quito

³ Tutor Docente de la Universidad Politécnica Salesiana

1. Introducción

La demanda de altas velocidades de datos excede la capacidad 4G, la cual trabaja desde los 100 Mbps hasta los 1000 Mbps siendo el caso de 4G/LTE Advance, por estas razones entran en funcionamiento nuevas tecnologías no ortogonales que llevan los datos sobre la capa física mejorando la robustez del canal [1]. De tal manera la velocidad que se espera dentro de las redes 5G es de 10 Gbps conjuntamente con una latencia de 1ms, para lo cual se requiere que la conectividad para las estaciones base usen fibra óptica. [2]

GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) es un esquema de transmisión multiportadora basado en bloques no ortogonales con características especiales para sistemas de comunicaciones inalámbricas, por ejemplo: la radio cognitiva que está en desarrollo. [3]. Utiliza un prefijo cíclico en cada bloque en lugar de cada símbolo, aumentando la eficiencia espectral en comparación con OFDM; es decir que la trama de GFDM consta de un prefijo cíclico en cada bloque de símbolos por tanto duración de la trama se reduce a 66,7 μ s. [4]

GFDM tiene un mejor desempeño con la modulación estándar de amplitud en cuadratura (QAM), que logra una gran afinidad a casi todas las condiciones no ortogonales permitiendo estar libre de interferencia autogenerada, el mapeo QAM, minimiza los problemas de singularidad con la matriz de modulación cuando se emplea un número par de subportadoras y subsímbolos. [5]

64-QAM es una técnica de modulación de orden superior, que permite una sola onda de radio y representa seis bits de datos mediante la manipulación de la amplitud y la fase. Este tipo de modulación consta de 64 símbolos que representan 6 bits por cada símbolo. [6]

El uso del filtro de conformación de pulso más utilizado en GFDM es el RC, ya que la función de filtrada mejora la eficiencia del espectro en más del 75% y a su vez, el uso de este

filtro en el transmisor y receptor mejora el rendimiento de Bit Error Rate (BER). [7]

La aplicación de filtros de conformación de pulsos por subportadora puede controlar la radiación fuera de banda (OOB), por lo que GFDM reduce dicha radiación en 46 dB en comparación con OFDM. Dicho resultado se consigue gracias al filtro RC aplicado en cada subportadora. [8]

En el sistema GFDM se aplica el proceso de Codificación Convolutiva. Este tipo de codificación se basa en el Chequeo de Redundancia Cíclica CRC, que es una de las herramientas más potentes para la detección de errores.

El codificador de un código Convolutiva binario de razón 1/n, se puede ver como una máquina de estados finitos que consiste en un registro de desplazamiento de M etapas con conexiones de sumadores, y un multiplexor que convierte en serie la salida de los sumadores. La profundidad de un código Convolutiva, expresado en términos de los bits de mensaje, se define como el número de desplazamientos en los que influye un bit de mensaje en la salida codificada. Si un codificador tiene un registro de desplazamiento de M estados, la memoria del codificador es M, y se necesitan $K = M + 1$ desplazamientos para que un bit de mensaje entre y salga, finalmente. Por lo tanto, la profundidad del codificador es K. [9]

La Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT especificó que la recomendación UIT-T Y.2001 desarrollada en el 2004 y el estándar IMT-2020, son las que especifican todos los parámetros a considerar para cualquier conectividad entre las Redes de Próxima Generación (NGN). Los parámetros principales de una red 5G son 5: tener una latencia de 1ms, con un Troughput de 10 Gbps por conexión, la densidad de conexión de hasta 1000 kbps por kilómetro cuadrado, una Movilidad de hasta 500 km/h y definida por una

IMS (IP Multimedia Subsystem) como arquitectura de red. [10]

Dentro del Plan Nacional de Frecuencias que fue creado para una adecuada Gestión del Espectro Radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de frecuencias, cada operador telefónico en el país tiene un rango de frecuencias otorgada por la Arcotel. Otecel, Conecel y CNT ocupan la mayoría de las frecuencias en el espectro radioeléctrico; es decir, en la banda UHF; pero de la misma manera existen rangos de frecuencias en el espectro que están libres y no están siendo utilizadas por ninguna operadora.

En la figura 1 se observa las bandas de frecuencia para servicios de LTE junto con la banda AWS que es de donde se escogió la frecuencia libre de 2.16 GHz para realizar la

transmisión y recepción del video MP4, se escogió esa frecuencia ya que se encuentra en el bloque K' de la distribución de frecuencias asignadas por la ARCOTEL, y, actualmente, no está siendo usada por ninguna operadora móvil; o sea, está libre para su uso.

Una característica destacable de la Banda AWS es la posibilidad de contar con dos ecosistemas tecnológicos disponibles: HSPA y LTE. En base a la recomendación UIT-R M. 1036-4, el ex Conatel mediante el artículo 3 de la resolución N° TEL-804-29-CONATEL-2012, canalizó la banda AWS 1700/2100 MHz en bloques de 5MHz para los rangos comprendidos entre 1710-1770 MHz para Uplink y 2110-2170 MHz para Downlink. [11]

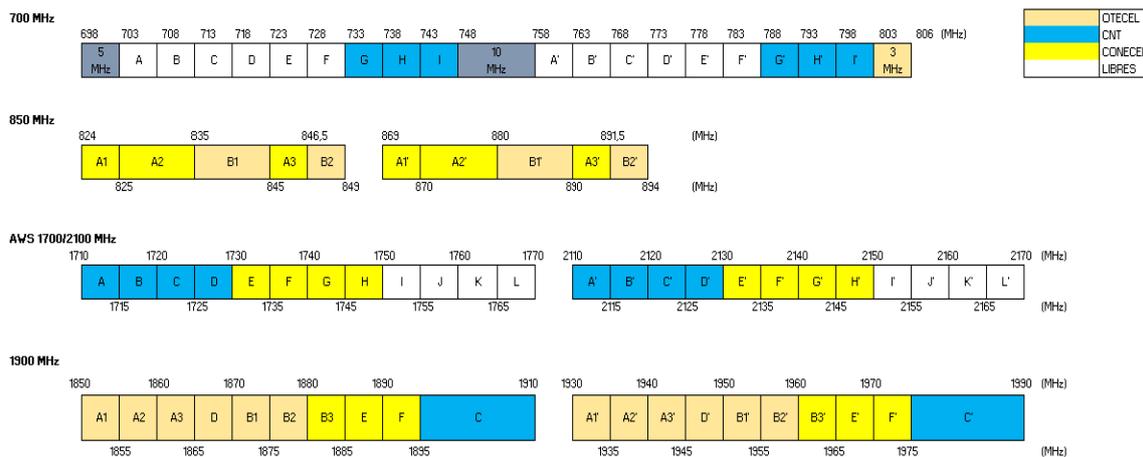


Figura 1. Canalización de bandas para el uso de sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales IMT.

2. Desarrollo y Experimentación

La creación de los diagramas de bloques del sistema GFDM son implementados en base a los parámetros que especifica la ITU sobre las NGN. Por lo tanto, los bloques creados para el transceptor se basaron en una arquitectura de red IMS con velocidades de transmisión superiores a 1 Gbps y con un payload de 257 bytes, que es la cantidad total de bits que se empaqueta y se envía hacia el receptor, con 64 como número de

subportadoras K, y 9 como número de subsímbolos M, los cuales son ingresados en el bloque modulador de GFDM.

2.1 Arquitectura del transceptor de video mp4 GFDM en LabVIEW

Se muestra en la figura 2 las interfaces y equipos necesarios para la conexión entre el USRP y el PC para lograr la transmisión y recepción de video con GFDM.



Figura 2. Diagrama de interfaces y equipos utilizados para la implementación.

En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques de RX y TX en GFDM. En primera instancia para la transmisión se tiene como fuente de datos el video mp4 donde los bits son analizados mediante una codificación Convolutiva, posteriormente, son mapeados con 64QAM y, finalmente, modulado mediante GFDM e ingresa al canal mediante el USRP2944 y, para la recepción, realiza el proceso inverso.

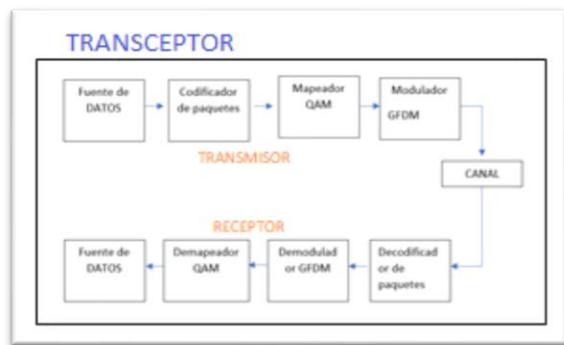


Figura 3. Diagrama de bloques de las etapas del transceptor GFDM de video mp4

2.2 Diseño del Transceptor GFMD de video mp4

La interfaz gráfica del transceptor visualiza los valores del BER, la señal de transmisión de TX, el ancho de banda, el diagrama de constelaciones de 64 QAM y la cantidad de paquetes UDP en bytes que son enviados en tiempo real, entre otros parámetros de configuración para establecer la señal de TX/RX en la frecuencia de 2160 MHz.

Dentro del proyecto **GFDM VIDEO.lvproject** de LabVIEW se encuentra el archivo **GFMD 5G.gvi**. Este se encarga de ejecutar a todos los demás **.gvi** relacionados en todo el proceso del transceptor que se muestra en el diagrama de flujo de la figura 4, usando el archivo bitfile **USRP-BitfileChEstK64-**

0023.lvbitx para la tarjeta FPGA de USRP administradora del proceso GFDM.

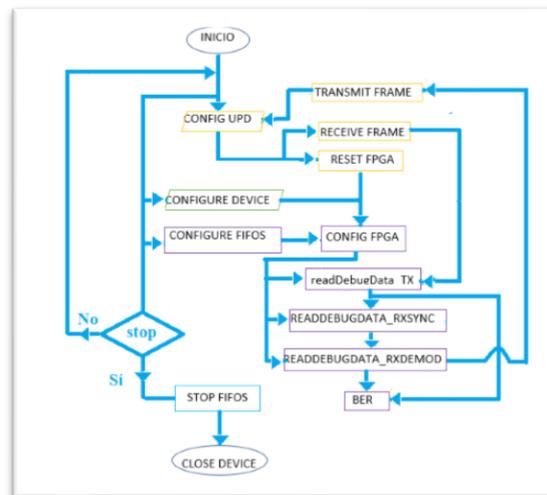


Figura 4. Flujograma de la Transmisión y Recepción del Sistema

Para la transmisión del video se escogió 4 diferentes calidades, ya que GFDM puede transmitir a altas velocidades desde los 100 Mbps en adelante haciendo posible la transmisión; por ende, la primera calidad fue de 854x480 px que equivale a 480p o SD; la segunda de 1280x720 px equivalente a 720p o HD ; la tercera de 1920x1080 px que equivale a 1080p o FullHD y, la última de 2560x1440 px equivalente a 1440p o FullHD, donde el número mencionado representa las líneas horizontales para indicar la resolución vertical; mientras que la letra “p” significa barrido progresivo para la transmisión de datos. Para realizar la transmisión de video en formato mp4, el video (fuente de datos en bits) es transmitida vía UDP hacia LabVIEW, ejecutado a través de líneas de comandos que se inicia en VLC media player, permitiendo empaquetar la información del video en paquetes de bytes UDP. Usando el puerto 50001 para Tx se envía el paquete UDP, de tamaño máximo establecido con el comando MTU hacia Labview procesando la fuente de datos, al atravesar el canal inalámbrico y llegar a la etapa de Demapeo QAM, el paquete UDP receptado es desempaquetado por los bloques TX/RX UDP (figura 5) y envía la información en bytes recibida hacia VLC con el uso del puerto UDP 60001 siendo, finalmente, reproducido.

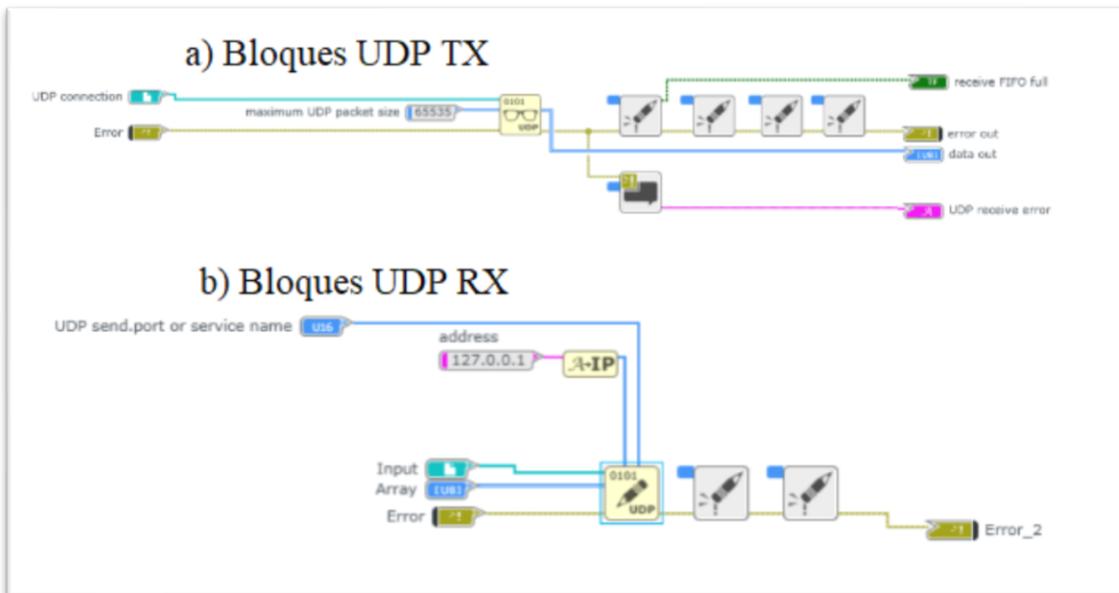


Figura 5. Diagrama de bloques para a) envío de paquetes UDP desde VLC hacia LabVIEW y b) boques UDP desde LabVIEW hacia VLC

Una vez que arriban los paquetes UDP se usa la Codificación Convolutiva, posteriormente es mapeado con 64 QAM; es decir 6 bits/símbolo modulando la amplitud y la fase, ofreciendo robustez a la transmisión transportando más bits de información por símbolo, representando el equivalente a mejorar la velocidad de transmisión. Adicionalmente, dentro de la recomendación de la ITU (página 10), para las NGN menciona que si se desea implementar GFDM, se aconseja utilizar una modulación 64QAM, ya que por su robustez (capacidad de transmitir mayor cantidad de bits) la pérdida de paquetes es menor y no se recomienda utilizar de un orden mayor como es 128 y 256, porque el sistema es más susceptible a errores e inestable [12]. En esta etapa la señal ingresa a un bloque de GFDM donde es procesada para ser transmitida en paquetes de 256 bytes (2056 bits) en la frecuencia de 2160MHz ubicada en el bloque K' en la banda AWS de 2100 MHz, ya que los bloques adyacentes J' y L' son libres y no interfieren con

los bloques E', F', G', H', asignados a CONECCEL para SMA. Puesto que se está usando un ancho de banda de 10 MHz; es decir dos canales de 5 MHz, cada uno a distintas velocidades para obtener los resultados de BER y proceder a realizar el análisis dentro de los parámetros 5G.

En la figura 6 se muestra los bloques implementados en la programación para obtener los valores del VER. Conociendo los valores de entrada y salida en bits se realiza una comparación lógica bit a bit para determinar la cantidad de bits con error y de esta manera aplicar la fórmula de BER en el LabVIEW Communications mediante los diagramas de bloques, para lo cual el BER se obtiene de la cantidad de bits recibidos con errores divididos para la cantidad total de bits recibidos en un período determinado de tiempo, y, así obtener sus valores durante toda la transmisión cíclica del video en la frecuencia configurada y con los parámetros establecidos.

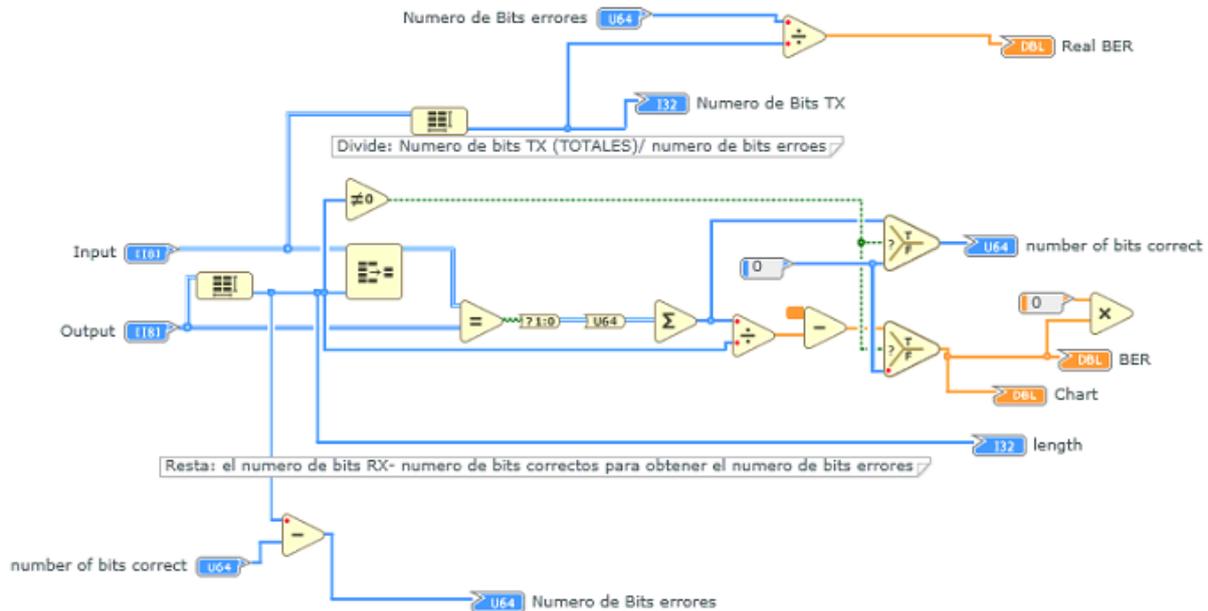


Figura 6. Diagrama de bloques para la obtención del BER

3. Análisis de Resultados

El tamaño o número de datos que están ingresando al transmisor son de 64860 bytes en cada fragmento de información configurados previamente en los comandos de CLI para lanzar el aplicativo VLC con los parámetros de transmisión de video necesarios para UDP y esto se lo puede observar en la tabla 1, junto con otros parámetros de los paquetes UDP.

Tabla 1: Parámetros de los paquetes UDP enviados

Tamaño paquetes UDP	64860 bytes
Tamaño de la trama de transmisión	1491 bytes
Tamaño del payload de bloques GFDM	64 bytes
Número de bloques GFDM	21
Tamaño de paquetes perdidos en la transmisión.	2056 bytes

Primeramente, se realizó pruebas para determinar cuál es el ancho de banda ideal para la transmisión tomando en cuenta el valor del BER más idóneo que arroje el sistema de acuerdo con la recomendación para las NGN. Para eso el número de Subportadoras K es de 64 y el de Subsímbolos M es de 9, donde sí se coloca un valor menor a los anteriores mencionados, la

transmisión no es buena. Se obtienen varios retrasos en tiempo y se pierden varios paquetes UDP y, por ende, el número de bits de error es mayor. En todos los casos se configuró una velocidad de 528.868 Mbps y a una ganancia de 31 dB en el receptor. Este valor utilizado se debe a que se está trabajando con una Antena VERT400, la cual especifica que para un correcto funcionamiento en la transmisión se debe trabajar con una ganancia por encima de los 28 dB especificadas dentro de sus características. [13]

En primera instancia se trabajó con un BW (ancho de banda) tanto en el transmisor como en el receptor, de 1 a 3 MHz donde el video no se pudo reproducir; después de 4 a 6 MHz, el video se reproducía con varios retrasos en la transmisión; luego de 7 a 9 MHz, el video se reproducía con pocos retardos en la transmisión y, finalmente, de 10 a 12 MHz el video se reproducía normalmente; arrojando como resultado que el BW más idóneo fue de 10 MHz en adelante como se puede ver en la tabla 2, y en el diagrama de constelación para cada uno de los casos que se muestran en la figura 7.

Tabla 2: Determinación del BW

BW [MHz]	Mbps	Ganancia [dB]	BER
1 a 3	525,868	31	0,0028
4 a 6	525,868	31	0,00251
7 a 9	525,868	31	0,00215
10 a 12	525,868	31	0,001973

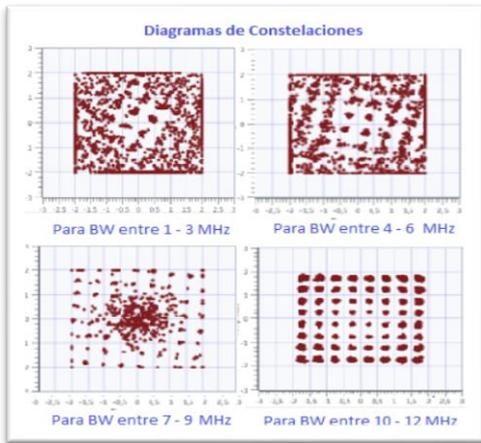


Figura 7. Diagrama de Constelación a diferentes BW

En segunda instancia, una vez establecido 10 MHz como BW del sistema, se procede a variar e implementar velocidades altas como es una característica de 5G. Se analizó con 9 velocidades diferentes para determinar cuál es el valor del BER que más se ajusta al sistema y comprobar si cuando se trabaja a altas velocidades el transceptor funciona correctamente, como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3: Valor del BER a diferentes velocidades

BW [MHz]	Ganancia [dB]	Mbps	BER
10	31	37,008	0,00212
10	31	74,016	0,00199
10	31	148,032	0,001983
10	31	370,08	0,001977
10	31	528,868	0,001971
10	31	925,2	0,001956
10	31	1542,13	0,001973
0	31	2313,45	0,00201
10	31	2960,64	0,002191

A velocidades mayores a 3 Gbps, la recepción del video se distorsiona y el diagrama de constelaciones es erróneo como se puede ver en la figura 8, por lo tanto, el sistema sí cumple con las características de 5G, pero no a tan altas velocidades por encima de los 3 Gbps, y se determinó que la velocidad de transmisión más idónea es en los 925.2 Mbps.

En la figura 9 se grafican los valores de cada una de las variables utilizadas y modificadas para obtener diferentes valores y resultados del BER, donde se puede observar, al trabajar con 10 MHz de ancho de banda, una ganancia de 31 dB y, a una velocidad de 925.2 Mbps, se obtiene un BER del sistema cuyo valor es de 0.001956.

Diagrama de Constelaciones a 1542,13 Mbps

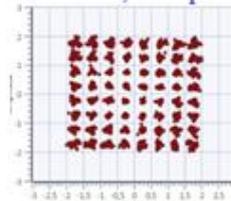


Diagrama de Constelaciones a 2313.45 Mbps

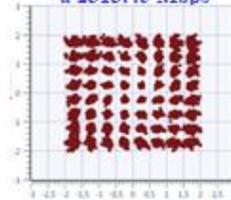


Diagrama de Constelaciones a 2960.64 Mbps

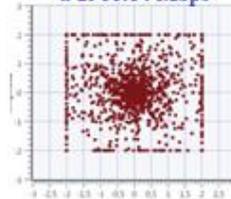


Figura 8. Diagrama de Constelaciones a velocidades características de 5G

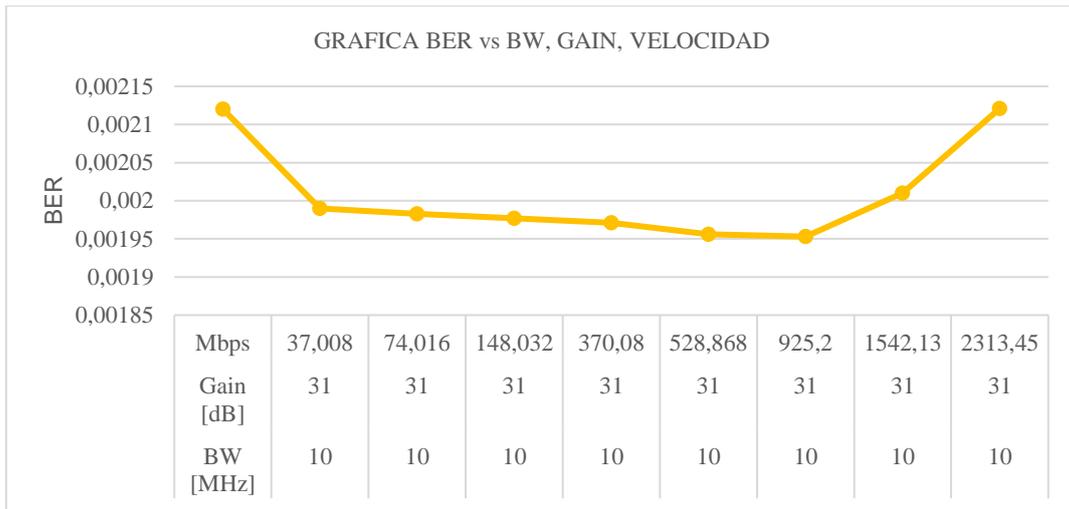


Figura 9. Gráfica de Ganancia vs BER, BW vs BER, Velocidad vs BER, de la imagen receptada

Una vez determinado que al trabajar con altas velocidades el valor del BER es más aceptable; es decir, en el orden de 10^{-3} y 10^{-4} tal como hace referencia un estudio de la International Journal of Computer Applications sobre ‘Análisis BER y Especificaciones de Generación Futura. Coalescente 5G y Radio Cognitiva’ [14], ya que en la recomendación sobre las NGN no especifica un valor estándar aceptable del BER sino simplemente los 5 parámetros expuestos inicialmente. Se analizó el BER en las diferentes calidades de video que se escogió. Como se puede ver en la tabla 4; mientras mayor es la calidad de video, mayor es la velocidad de transmisión que se debe implementar y se ve reflejado en el video de recepción y en el valor que se obtiene del BER. Por tal motivo, en la figura 10 se observa que hasta en la calidad de 1080p el video se reproduce sin problemas.

Tabla 4: Valores de BER vs Calidad

Calidad Video	BER
480p o SD	0,001982
720p o HD	0,001977
1080p o FullHD	0,001965
1440p o FullHD	0,001973

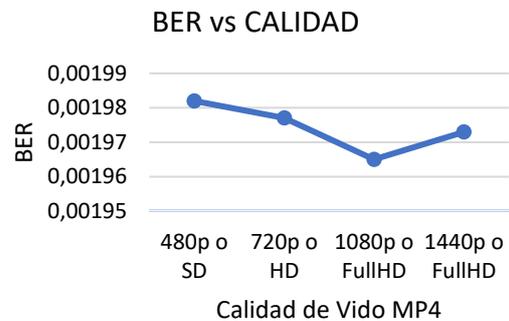


Figura 10. Grafica BER vs. Calidad

Por tal razón, finalmente, en la figura 11 se observa la reproducción del video mp4 con una buena calidad de imagen y de sonido, lo cual se comprueba porque la transmisión es adecuada y se tienen muy pocos bits de error en comparación a todos los bits que se están transmitiendo.



Figura 11. Recepción de video MP4

4. Conclusiones

- Se escogió la banda AWS de los 2.16 GHz al ser una frecuencia libre dentro del bloque K' ya que no interviene con algún bloque ya asignado por la ARCOTEL en el espectro radioeléctrico, en la cual si se pudo introducir varias señales a altas velocidades en el orden entre los 37 y 2960 Mbps mediante GFDM a diferentes anchos de banda comprobando que el mejor resultado fue en los 10 MHz, logrando así un valor aceptable del BER, aproximadamente del 0.001956, donde la resolución del video que obtuvo una mejor transmisión y un mejor valor del BER fue en los 1080p descartando así que no se pudo transmitir en 4K, ya que los paquetes no llegaban en su totalidad y por ende no se reproducía el video en el receptor.
- Se utilizó LabVIEW Communications System Design Suite para la implementación del transmisor y receptor, juntos con el USRP RIO 2944 para la generación de la señal 5G. Como parámetros fundamentales con un número de subportadoras K de 64 y un número de subsímbolos M de 9, a una velocidad de 925.2 Mbps y a una calidad de 1080p, se evidenció que, de un total de 64860 bytes transmitidos en cada fragmento de información, tan solo 2056 bytes se perdieron en la transmisión; por lo tanto, se observa que en este sistema mediante GFDM se tiene una pérdida de paquetes de alrededor del 3.16% a diferencia de otros sistemas de multiplexación donde el porcentaje de pérdidas está por encima del 10%.
- El BER obtenido en el sistema de 0.001956, no cumple con el valor esperado para las NGN en este caso para

5G, ya que en este tipo de redes se espera tener un valor en el orden de 10^{-7} , 10^{-8} , y 10^{-9} . Este resultado se debe a varias razones, entre las cuales están que se trabajó con un tipo de antena vertical omnidireccional de tres bandas, mientras que para usos dentro de 5G se debe trabajar con antenas especiales tipo microstrip capaces de operar en el espectro mmWave (más de 6 GHz), las cuales producen menor interferencia y ahorran mucha más energía. Además, el USRP RIO 2944 no fue configurado para generar mmWaves (microOndas). La National Instruments especifica que solamente el USRP N310 fue diseñado para tecnología 5G. A pesar de que el transceptor si funciona con el uso de altas velocidades en el orden de los Gbps, no cumple con el valor obtenido del BER, por tal motivo con los equipos utilizados no se puede obtener resultados favorables dentro del análisis de las redes de nueva generación.

5. Referencias

- [1] K. M. T. B. S. S. F. W. T. G. I. O. E. K. S. M. N. N. A. F. G. K. D. B. V. D. M. P. S. E. B. Wunder G., «5GNOW: Challenging the LTE Design Paradigms of Orthogonality and Synchronicity,» *Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2013.
- [2] Gemalto, «Presentación de las redes 5G. Características y Usos,» Francia, 2016.
- [3] M. N. G. I. F. G. Matthé M., «Influence of pulse shaping on bit error rate performance and out of band radiation of Generalized Frequency Division Multiplexing,» *2014 IEEE International Conference on*

- Communications Workshops (ICC)*, pp. 43-48, 2014.
- [4] G. I. K. S. L. M. F. G. Michailow N., «Generalized frequency division multiplexing: Analysis of an alternative multi-carrier technique for next generation cellular systems,» *2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, pp. 53-65, 2012.
- [5] M. M. M. N. M. L. Z. D. F. G. Gaspar I., «Frequency-Shift Offset-QAM for GFDM,» *IEEE Communications Letters*, pp. 1454-1457, 2015.
- [6] C. X. C. Suárez, Artist, *IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE TRANSMISION Y RECEPCIÓN*. [Art]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, 2016.
- [7] L. M. R. P. F. G. Michailow N., «Integration of a GFDM secondary system in an OFDM primary system,» *Future Network & Mobile Summit*, pp. 1-8, 2011.
- [8] M. N. G. I. M. M. Z. D. M. L. F. G. Danneberg M., «Implementation of a 2 by 2 MIMO-GFDM transceiver for robust 5G networks,» *International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, pp. 236-240, 19-04-2016.
- [9] L. A. L. ALONSO, «IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE VOZ EN LA INTERFAZ DE RADIO DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL GSM,» *ELECTRÓNICA Y TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES*, pp. 45-48, 1999.
- [10] U.-T. Y. SECTOR DE NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES, Artist, *SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN*. [Art]. UIT, 2004.
- [11] C. N. D. T. (CONATEL), «Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012,» 2012.
- [12] I. Poole, «La comparación de 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64 128-QAM-QAM, 256-QAM,» *Fmuser*, 10 10 2015. [En línea]. Available: <http://es.fmuser.net/content/?1604.html>. [Último acceso: 30 11 2018].
- [13] N. Instruments, «Introducción al hardware del sistema NI mmWave Transceiver,» 09 Julio 2018. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/53095/en/>. [Último acceso: 11 febrero 2019].
- [14] P. C. Bhuvnesh Arora, «BER Analysis and Specifications of Future Generation. Coalescing 5G and Cognitive Radio,» *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, vol. 89, p. 26, 2014.
- [15] ARCOTEL, «PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR 2017,» 2017.