

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE ALTA FRECUENCIA PARA
EMISIÓN DE SEÑALES EN ONDA MILIMÉTRICA**

**AUTOR:
BYRON FERNANDO MAYORGA TAPIA**


**TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN**

Quito, enero del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Byron Fernando Mayorga Tapia, con documento de identificación N° 1716722606, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE ALTA FRECUENCIA PARA EMISIÓN DE SEÑALES EN ONDA MILIMÉTRICA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que haga entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Byron Fernando Mayorga Tapia

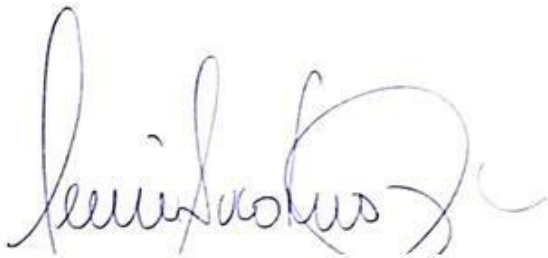
CI: 1716722606

Quito, enero del 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo: “DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE ALTA FRECUENCIA PARA EMISIÓN DE SEÑALES EN ONDA MILIMÉTRICA”, realizado por Byron Fernando Mayorga Tapia, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Enero del 2019

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lenin Aucatoma Guamán', with a stylized flourish at the end.

Ing. Lenin Wladimir Aucatoma Guamán

Cédula de identidad: 171798583-0

Diseño de un sistema electrónico de alta frecuencia para emisión de señales en onda milimétrica

Byron Fernando Mayorga Tapia

Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador bmayorga@est.ups.edu.ec

Resumen— Este documento es una propuesta de diseño de un sistema electrónico de alta frecuencia para emisión de señales en onda milimétrica, se trata temas relacionados a la tecnología 5G enfocados en los rangos específicos de frecuencias en onda milimétrica. El bloque para emisión de señales conlleva muchas características que se van a detallar y simular mediante un software de simulación como son: amplificadores, filtros entre otros, que permitan tener un diseño viable para el sistema, además se realizará un análisis de costos de los elementos utilizados. Esto será de gran ayuda para investigaciones y desarrollos futuros.

Abstract— This document is a proposal for the design of a high frequency electronic system for emission of millimeter wave signals, it deals with issues related to 5G technology focused on the specific ranges of millimeter wave frequencies. The block for signal emission involves many features that will be detailed and simulated on a simulation software such as: amplifiers, filters, and others, that allow a viable design for the system, and an analysis of the costs of the elements will be carried out. This will be great help for future research and development.

Keywords: Diseño, sistema, emisión, señales, onda milimétrica

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia hoy en día para las comunicaciones inalámbricas es la tecnología 5G, según 3GPP esta tecnología tendría su standard establecido para el año 2020[1], durante los últimos años ha venido en desarrollo presentando características como velocidades de transmisión entre 1 Gbps y 10 Gbps, una latencia muy baja de 1 ms y con una disponibilidad del 99.9999%[2], además se ha logrado superar poco a poco varios obstáculos que se han presentado en cuanto a interferencias, dispersión, modulación, debido a la alta frecuencia de trabajo[3]. La UIT en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2015 (CMR-15) [4] establece los rangos de frecuencias adecuados para el desarrollo, en el espectro de frecuencia de onda milimétrica, siendo atribuidos para el servicio móvil. El trabajo dentro de estas bandas garantiza que no exista interferencia con otros servicios, además que se encuentran dentro del espectro licenciado y no licenciado, lo cual facilita las investigaciones que se sigan desarrollando.

Mediante esta investigación lo que se busca es desarrollar un diseño de un sistema de emisión de señales en el espectro de frecuencias de onda milimétrica, debido a la necesidad de un análisis a nivel de electrónica de alta frecuencia, esto se dará por medio de un software de simulación a nivel de ingeniería que sea capaz de mostrar los resultados que se obtendrán una vez concluido, además de los costos que se generarían en una futura implementación.

Los softwares de simulación que se utilizarán para el diseño, son los desarrollados por Keysight Technologies, ADS (Advanced Design System) el cual permite trabajar con los elementos electrónicos para el diseño, variando sus parámetros y estableciendo las características ideales para poder trabajar. Por otra parte el software SystemVue permite la generación de los datos y la obtención de los resultados una vez que hayan pasado por el diseño en ADS. Esto se logra mediante co-simulación entre los dos softwares utilizando las librerías específicas en cada uno, sincronizándolos para que puedan trabajar simultáneamente y así se generen los resultados que se desean obtener.

A continuación se explicará el modelo que se ha utilizado para el diseño, además se detallará cada una de las fases del sistema con su respectiva configuración realizada en los softwares de simulación, y por último se analizarán los resultados obtenidos de las simulaciones del sistema.

II. DISEÑO Y MODELO DEL SISTEMA

La investigación se basa en la referencia del artículo de Institute of Microelectronics, el cual tiene un diagrama de bloques completo de un sistema de transmisión que trabaja específicamente en el rango de onda milimétrica, según la figura 1[5]. El propósito de esta investigación es escoger el bloque de modulación y del amplificador de potencia, diseñarlos y analizar mediante los softwares de simulación.

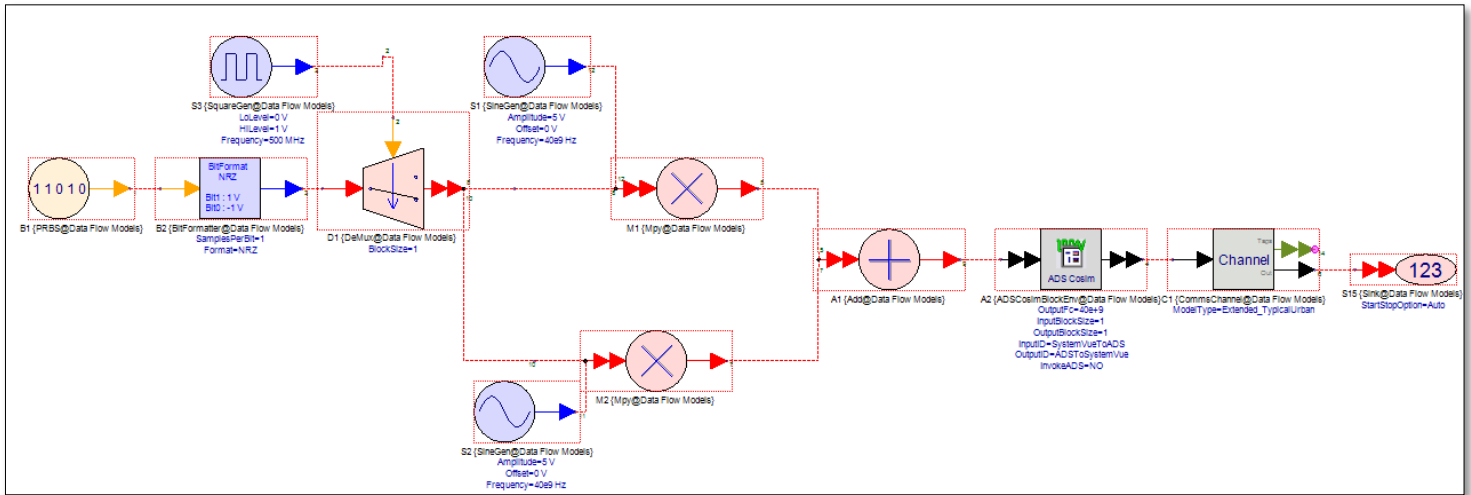


Figura 2. Sistema de emisión de señales en onda milimétrica realizado en SystemVue

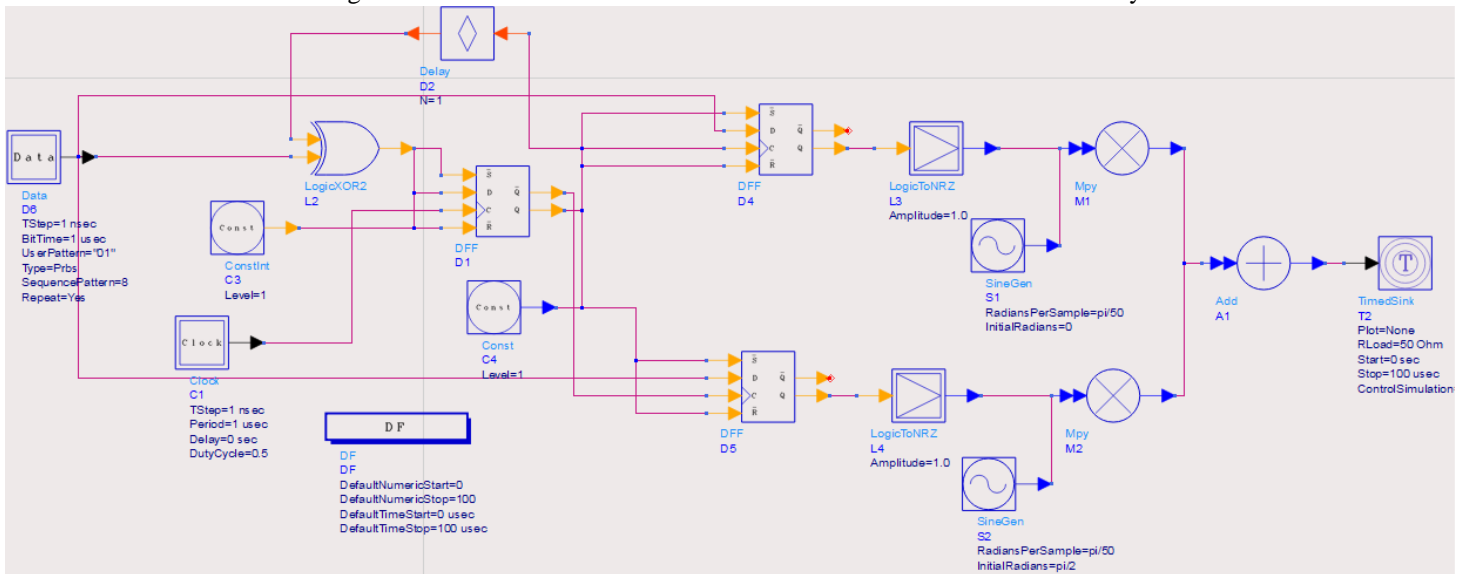


Figura 3. Sistema de modulación QPSK realizado en Advanced Design System

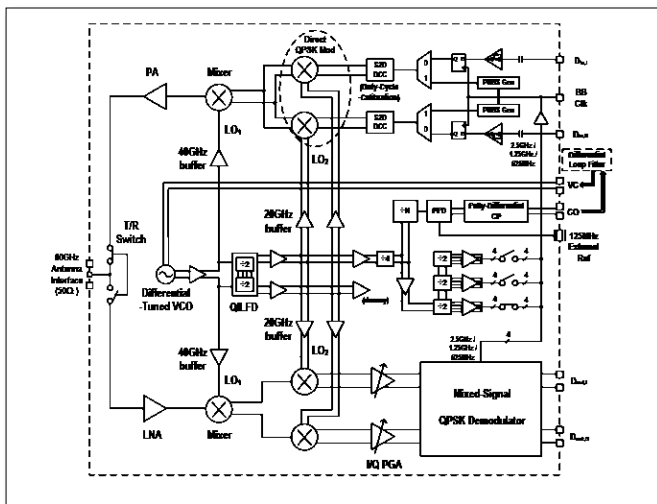


Figura 1. Sistema de transmisión en onda milimétrica

A. Diseño del sistema de modulación

El sistema de modulación que se ha escogido es QPSK, por la amplia implementación que tiene hoy en día en las telecomunicaciones. El diseño consta de un bloque de bits generados a una velocidad de 10 Gbps y codificados mediante códigos de línea NRZ, esta información pasa por un demultiplexor el cual separará los datos codificados. El demultiplexor trabaja con una señal de reloj a una frecuencia de 500 MHz como se muestra en la figura 2.

Un camino diferente que se tiene para la separación de bits es por medio del uso de flip-flops como se muestra en el diseño realizado en la figura 3, que consta de un flip-flop T el cual divide la frecuencia de la señal de entrada a la mitad y que será la señal de reloj para los dos flip-flops D, obteniendo de esta manera los bits I y Q. El flip-flop T en ADS se realiza a partir

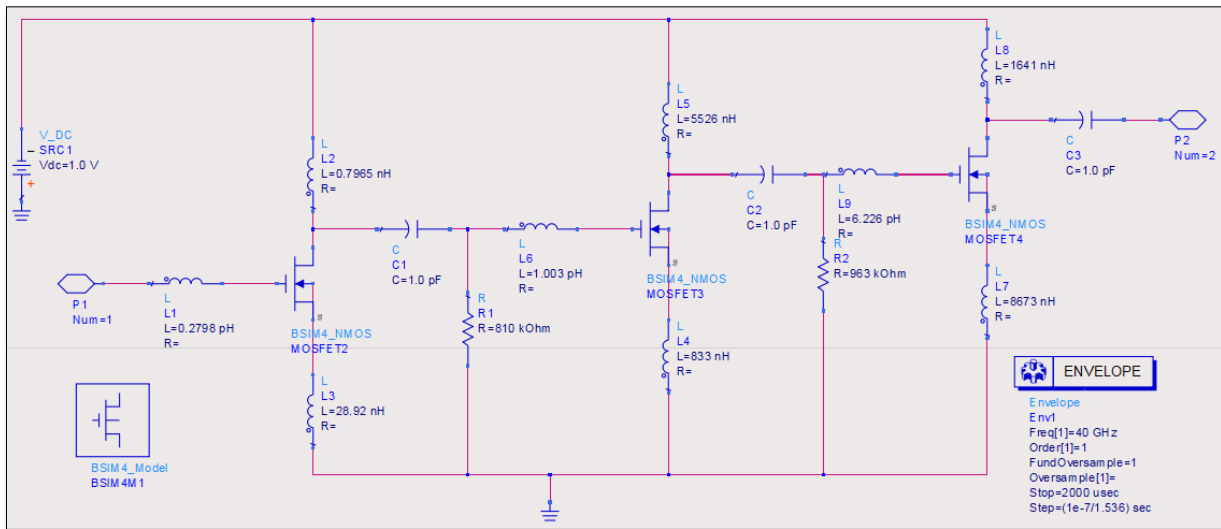


Figura 5. Amplificador de Potencia en onda milimétrica realizado en Advanced Design System

de una modificación que se hace al flip-flop D, conectando una compuerta XOR de dos entradas y realimentando la salida Q mediante un delay muy necesario para poder realizar la simulación.

Posteriormente una vez separados los bits pasan a ser multiplicados por la señal portadora que trabaja a una frecuencia de 40 GHz. Al final del sistema de modulación se suman las dos señales que han sido multiplicadas para obtener la señal modulada en QPSK como se muestra en la figura 4.

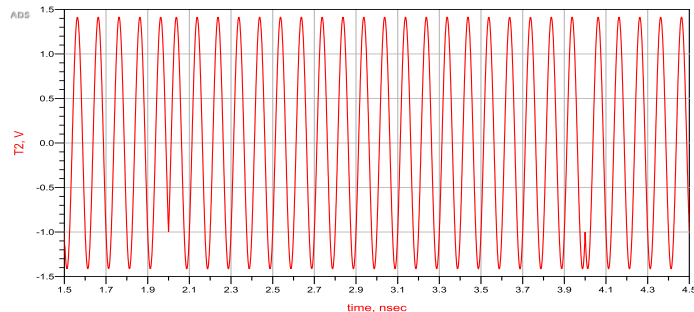


Figura 4. Señal modulada QPSK

B. Diseño del Amplificador de Potencia

Previo a la transmisión, la señal modulada debe atravesar un amplificador de potencia, el diseño del amplificador se ha basado en el artículo realizado por la IJET (International Journal of Engineering and Technology) [6], porque es un diseño con elementos electrónicos sencillos, además que trabaja dentro del rango de frecuencias utilizadas para el análisis posterior. En la figura 5 se tiene el diseño realizado en ADS, utilizando el modelo BSIM4 para los MOSFET, que se encuentra dentro de las librerías, este amplificador se conectará al sistema de modulación realizado en SystemVue mediante co-simulación entre los dos softwares. Dentro del schematic del diseño se coloca el simulador Envelope, el cual trabaja con señales envolventes que serán enviadas desde el sistema de modulación, para ser amplificadas previo a la emisión de la

señal. Por último se crea un símbolo del diseño que posteriormente se utilizará para la co-simulación.

C. Co-simulación y canal

Para la co-simulación entre ADS y SystemVue se deben utilizar las librerías respectivas en cada software. Dentro de ADS se crea un schematic utilizando los bloques de co-simulación de tiempo, como se muestra en la figura 6, configurando estos a la frecuencia que se está trabajando, la señal que se envía desde SystemVue se encuentra a 40 GHz, por lo tanto se colocan estos valores en el bloque. Estos bloques se conectan al símbolo creado del diseño del amplificador de potencia, logrando así que ingrese la señal a través de este y salga para el posterior análisis en SystemVue. En este schematic se coloca el simulador DF (Data Flow) para que se pueda realizar con éxito la co-simulación.

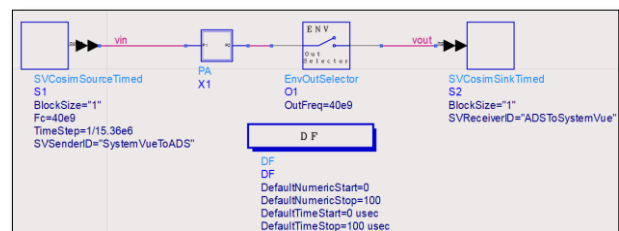


Figura 6. Schematic co-simulación realizado en Advanced Desing System

Una vez realizada la co-simulación, para el análisis se colocó un canal en SystemVue, en el cual se configura el tipo de canal, la distancia que existe entre el transmisor y el receptor como se muestra en la figura 7. Se ha escogido un entorno urbano típico para el análisis, el cual calcula el path loss mediante el modelo de Cost 207[7], puesto que el diseño se orienta a equipos implementados en radio bases dentro de ciudades comunes que tienen edificios y una densidad de población considerable.

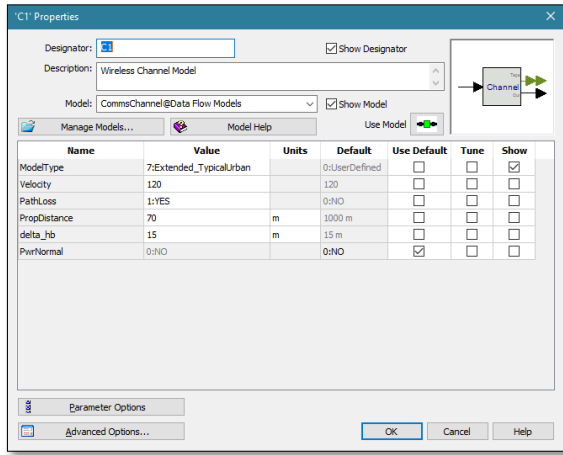


Figura 7. Configuración del canal.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Análisis del sistema a 80 GHz

La propuesta de diseño se realizó a una frecuencia de 80 GHz, a una velocidad de transmisión de 10 Gbps, obteniendo una señal con una amplitud de 7 V previo al paso del canal, como se observa en la figura 7,

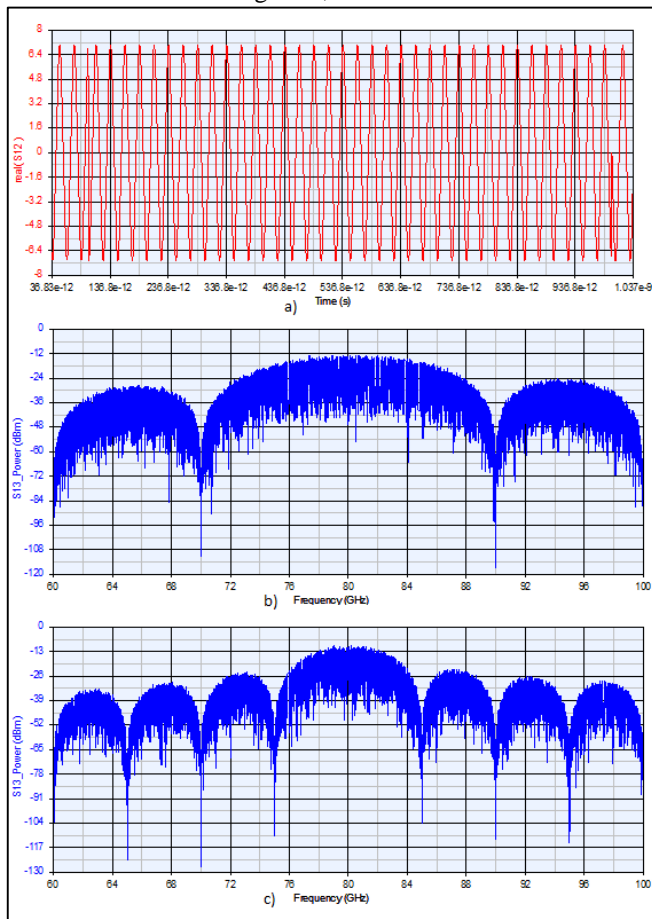


Figura 7. A) Señal emitida en tiempo a 10 Gbps b) Señal emitida en frecuencia a 10 Gbps c) Señal emitida en frecuencia a 5 Gbps

Una vez la señal pasa por el canal, tendrá una disminución en su amplitud dependiendo de la distancia, para este diseño se ha tomado como referencias tres distancias como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de la señal emitida a 80 GHz

Distancia (m)	70	80	90
Potencia(dBm)	-165.101	-166.110	-171.202

Se obtuvieron mediante la simulación los valores de potencia en dBm, los cuales van disminuyendo a mayor distancia entre 1% y 3% cada diez metros, esto se da por la ley del cuadrado inverso, como se puede observar en la gráfica de la figura 8.

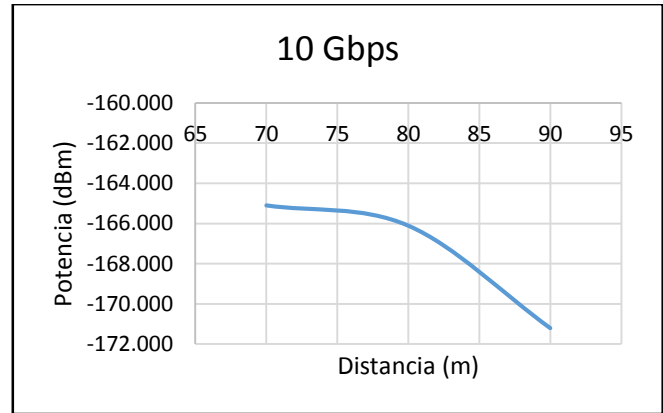


Figura 8. Distancia vs Potencia a 10 Gbps

B. Análisis a diferente velocidad de transmisión

Para el análisis se han tomado valores de potencia en dBm, de las simulaciones realizadas a diferentes velocidades como se muestra en la tabla 2, para observar cual es el comportamiento del sistema.

Tabla 2. Valores de la señal emitida a 80 GHz a diferentes velocidades

Distancia(m)	70	80	90
1 Gbps	-153.582	-156.879	-164.153
5 Gbps	-158.788	-163.869	-167.914
10 Gbps	-165.101	-166.110	-171.202
20 Gbps	-169.443	-171.231	-174.434

La variación de potencia que se tiene en las diferentes velocidades que se muestra en la figura 9, es de un 8% entre los 70 y 90 metros, determinando que entre los valores de velocidad de transmisión de 1 a 20 Gbps se tiene una señal por debajo de -130 dBm, valor mínimo considerado en un sistema de comunicación dentro de la tecnología LTE[8], que se ha tomado como referencia puesto que no hay valores estándar para equipos que trabajen en onda milimétrica, esto es porque el sistema de emisión de señales no cuenta con una antena para la transmisión lo cual es otro tema de investigación,

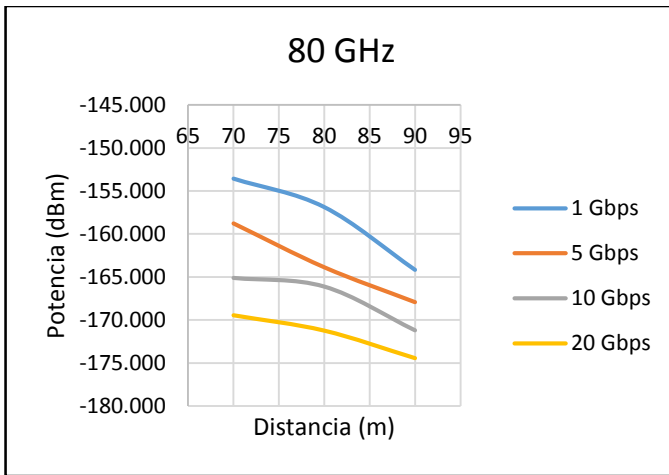


Figura 9. Señal a diferentes velocidades de transmisión

C. Análisis a diferente frecuencia

Se han tomado valores de potencia en dBm a diferentes frecuencias, que según Ofcom entre 60 y 100 GHz se han identificado bandas potencialmente útiles[9], para esta investigación se escogieron los valores mostrados en la tabla 3, para observar si el sistema trabaja de manera adecuada dentro de ese rango.

Tabla 3. Valores obtenidos a diferentes frecuencias

Frecuencia (GHz)	60	70	80
1 Gbps	-151.893	-154.715	-156.879
5 Gbps	-160.605	-161.153	-163.869
10 Gbps	-164.499	-164.843	-166.110

Para las velocidades analizadas el sistema tiene variaciones de 1.5%, debido a la atenuación que se da en la señal dentro de los 80 metros, a mayor frecuencia menor longitud de onda de la señal transmitida, como se muestra en la figura 10, teniendo valores de potencia similares a los mostrados en la tabla 2, por lo tanto el sistema trabaja dentro del rango de velocidades para 5G[2].

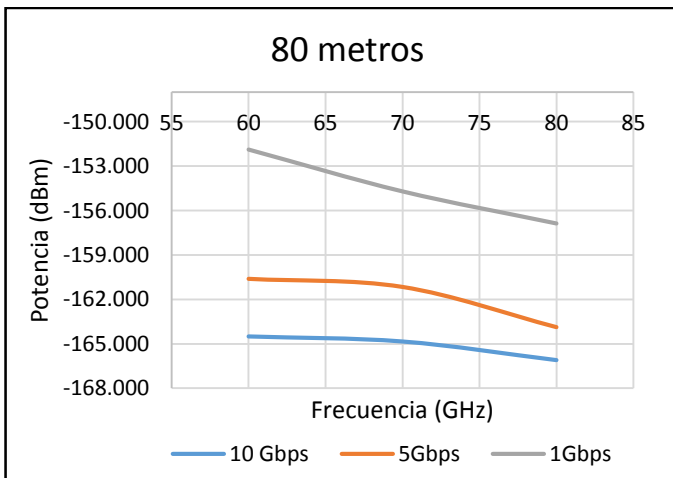


Figura 10. Señal emitida a diferentes frecuencias

D. Análisis de costos del sistema de emisión de señales

El análisis de costos se lo realizó en base a una consulta de mercado dentro del país, estos valores mostrados en la tabla 4 son referenciales, debido a que se han utilizados elementos que trabajan en alta frecuencia, además los proveedores existentes no los comercializan todavía.

Tabla 4. Valores referenciales de equipos

Equipo	Precio
URR TDRU338D DT Mobile	\$10880,00
Generador de señales (Equipo de laboratorio)	\$72000,00

Dentro del análisis se han comparado equipos que trabajan con tecnología LTE utilizados en el país, además de equipos de alta frecuencia utilizados en el laboratorio de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana. El equipo de Unidad Radial Remota TDRU338D de la marca DT Mobile, que tiene un funcionamiento similar al sistema propuesto dentro de este artículo, ha sido comparado con uno de los equipos de generación de señales que se encuentran en el laboratorio de investigación y que cumple con las funciones propuestas para transmitir una señal de alta frecuencia, teniendo una diferencia del 85% en cuanto al precio, y esto se debe a que los componentes requieren de un procesamiento mayor, además que se busca reducir tamaños de los diseños con nuevas tecnologías como CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) o MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) las cuales están teniendo acogida por las propuestas de diseño de los diferentes componentes además de los fabricantes de los equipos.

IV. CONCLUSIONES

El sistema de emisión de señales en onda milimétrica que se ha obtenido mediante la co-simulación, muestra datos coherentes de potencia en dBm, con variaciones de 1.5% entre las frecuencias mostradas en la tabla 3, además con la comparación entre las diferentes velocidades de transmisión que se han establecido para la tecnología 5G, concluyendo que las pérdidas que se tiene son aceptables y que pueden mejorar con un sistema de antenas adecuado para la transmisión completa de la señal.

Comparando las velocidades de transmisión se concluye que en el rango de 1 a 10 Gbps se tiene variaciones de potencia de 1.5%, por lo tanto el sistema trabaja adecuadamente en las frecuencias establecidas, una vez se sube la velocidad a 20 Gbps existen problemas dentro del software de simulación, con la frecuencia de muestreo en ADS y la capacidad de procesamiento del ordenador.

En el sistema de modulación se tiene dos propuestas para la implementación, mediante elementos activos como flip-flops y compuertas, y por medio de elementos complejos como demultiplexores, los cuales se pueden utilizar dependiendo del

alcance que se tenga para obtenerlos y que cumplan con la característica de trabajo en onda milimétrica. Por complicaciones con la obtención de datos en cuanto a los precios de estos elementos, se han presentado valores referenciales de equipos ya construidos y utilizados tanto en el país en lo que es tecnología LTE, como en el laboratorio de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana el cual cuenta con equipos que trabajan a muy altas frecuencias y que se asemejan al diseño presentado en este artículo.

Una recomendación que se da para un futuro desarrollo, es el de diseñar el bloque de recepción para obtener el sistema de comunicación completo que trabaje en onda milimétrica.

V. RECONOCIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por los espacios prestados para realizar la investigación y el artículo académico en beneficio de la educación para las futuras generaciones.

VI. REFERENCIAS

- [1] K. Flynn, "Submission of initial 5G description for IMT-2020", 3gpp.org, 2018. [Online]. Available: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1937-5g_description. [Accessed: 20- Oct- 2018].
- [2] G. Meenal and P. Ajay, "5G Technology-Evolution and Revolution", International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 2014.
- [3] K. Flynn, "Release 15", 3gpp.org, 2018. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/release-15>. [Accessed: 20- Oct- 2018].
- [4] "Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-19)", Itu.int, 2017. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/14/02/R14020000010001PDFS.pdf. [Accessed: 20- Oct- 2018].
- [5] H. Jia, B. Chi, L. Kuang, X. Yu, L. Chen, W. Zhu, M. Wei, Z. Song and Z. Wang, "Research on CMOS mm-wave circuits and systems for wireless communications", China Communications, vol. 12, no. 5, pp. 1-13, 2015.
- [6] A Rashid, A. Raed, U. Imtiaz, W. Mohamed, A. Rania, "Design of CMOS Power Amplifier for Millimeter Wave Systems at 70 GHz", International Journal of Engineering and Technology (IJET), Feb-Mar, 2013.
- [7] "Cost 207 Digital land mobile radio communications", Commission of the European Communities, Luxemburg, 1989.
- [8] "Reliable Communications Systems at Frequencies above 60 GHz", Ofcom, 2019. [Online]. Available: <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/technology/radio-spectrum/spectrum-efficiency/reliable>. [Accessed: 21- Oct- 2018].
- [9] B. Korunur Engiz and Ç. Kurnaz, "Comparison of Signal Strengths of 2G/3G/4G Services on a University Campus", International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, pp. 37-37, 2016. Available: 10.18100/ijamec.270710.