



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS
MILIMÉTRICAS PARA REDES CELULARES DE QUINTA
GENERACIÓN 5G.**

MARCELO PATRICIO YANZA CHÁVEZ

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado
ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito
parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Riobamba – Ecuador

Octubre 2022

@2022, Marcelo Patricio Yanza Chávez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS MILIMÉTRICAS PARA REDES CELULARES DE QUINTA GENERACIÓN 5G”, de responsabilidad del señor MARCELO PATRICIO YANZA CHÁVEZ, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Wilson Armando Zúñiga Vinueza, Mag.
PRESIDENTE

Ing. Diego Lenin Gómez Salcedo, Mag.
DIRECTOR

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés, Ph.D
MIEMBRO

Dr. Edgar Segundo Montoya Zúñiga, Ph.D
MIEMBRO

Riobamba, octubre de 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, MARCELO PATRICIO YANZA CHÁVEZ soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

C.C: 0602940793

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Marcelo Patricio Yanza Chávez, declaro que el presente **Trabajo de titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

MARCELO PATRICIO YANZA CHÁVEZ
C.C: 0602940793

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado, primeramente, a dios y luego a todas las personas que han contribuido en su realización.

Marcelo

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su apoyo incondicional, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Marcelo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii

CAPÍTULO I

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MARCO REFERENCIAL.....	2
1.2	Título	2
1.3	Planteamiento del problema	2
1.3.1	<i>Situación problemática</i>	2
1.3.2	<i>Formulación del problema</i>	3
1.3.3	<i>Preguntas directrices</i>	3
1.3.4	<i>Justificación</i>	4
1.3.5	<i>Objetivos</i>	4
1.3.5.1	<i>Objetivo General</i>	4
1.3.5.2	<i>Objetivos Específicos</i>	5
1.3.6	<i>Hipótesis</i>	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Antecedentes	6
2.2	Historia de la telefonía móvil.....	7
2.2.1	<i>Generaciones de telefonía móvil</i>	7
2.2.2	<i>Primera generación (1G)</i>	7
2.2.3	<i>Segunda generación (2G)</i>	7
2.2.4	<i>Tercera generación (3G)</i>	8
2.2.5	<i>Cuarta generación (4G)</i>	9
2.2.6	<i>Quinta generación (5G)</i>	10
2.2.6.1	<i>Introducción a la quinta generación 5G</i>	11
2.2.6.2	<i>Red de transporte para la 5G</i>	11
2.2.6.3	<i>Red de acceso para la 5G</i>	12
2.2.6.4	<i>Eficiencia de las técnicas para 5G</i>	12
2.2.6.5	<i>Core Network (Núcleo de la red)</i>	14

2.3	Redes celulares de telefonía móvil	15
2.3.1	<i>¿Cómo Funciona la Telefonía Celular?</i>	15
2.4	Tecnología MIMO	16
2.4.1	<i>Principales técnicas de MIMO</i>	17
2.4.2	<i>Funcionamiento MIMO</i>	18
2.5	Modulación OFDM	19
2.5.1	<i>Diagrama de bloques de un sistema OFDM</i>	20
2.6	Modelos de propagación de ondas milimétricas	21
2.7	Modelos de propagación recomendados por la UIT	21
2.7.1	<i>Rec. UIT-R P. 1411-8</i>	21
2.7.2	<i>Rec. UIT-R P. 1238-8</i>	22
2.7.3	<i>Modelos de propagación experimentales</i>	22
2.7.3.1	<i>Modelo Floating intercept (FI)</i>	22
2.7.3.2	<i>Modelo Close – in free space reference (CI)</i>	22
2.7.3.3	<i>Modelo Alpha-Beta-Gama (ABG)</i>	23
2.7.3.4	<i>Modelo Close – in free space reference frecuencia dependant (CIF)</i>	23
2.7.4	<i>Modelos de canal</i>	23
2.7.5	<i>Modelos de canal estocásticos (SCM)</i>	24
2.7.5.1	<i>WINNER+</i>	24
2.7.5.2	<i>3GPP-3D</i>	24
2.7.5.3	<i>QuaDRIGa</i>	24
2.7.5.4	<i>COST 2100</i>	24
2.7.5.5	<i>IEEE 802.11ad</i>	25
2.7.5.6	<i>MiWEBA</i>	25
2.7.5.7	<i>METIS</i>	25
2.7.5.8	<i>NYU Wireless</i>	25
2.8	Modelos de canal basados en mapas	26
2.8.1	<i>Trazado de rayos</i>	26
2.8.2	<i>Modelo METIS basado en mapas</i>	26
2.9	Simulador NYUSIM para 5G	27
2.9.1	<i>Generalidades del Simulador NYUSIM</i>	27
2.9.2	<i>Principales funciones del simulador NYUSIM</i>	28
2.9.3	<i>Estructura de NYUSIM para simular la propagación de ondas milimétricas</i>	28
2.9.3.1	<i>Especificaciones de los parámetros de NYUSIM</i>	29

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1	Diseño de la investigación	31
3.2	Métodos de investigación	31
3.3	Enfoque	31
3.4	Alcance	31
3.5	Población de estudio	32
3.6	Procesamiento, análisis e interpretación de la información	34
3.6.1	<i>Resumen general de la encuesta por opciones de preguntas</i>	44
3.7	Resumen general de entrevista	46
3.8	Desarrollo de la simulación de la propagación en ondas milimétricas para la tecnología 5G con NYUSIM	49
3.9	Desarrollo de simulación de la Velocidad de Transmisión para la tecnología 5G en Matlab	53

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	57
4.1	Simulaciones por frecuencias	57
4.1.1	<i>Interpretación y análisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 35 GHz</i>	59
4.1.2	<i>Interpretación y análisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 50 GHz</i>	62
4.1.3	<i>Interpretación y análisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 18 GHz</i>	65
4.2	Resumen de simulaciones por frecuencias para NYUSIM y Matlab	67
4.3	Diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para el 5G a través del sistema de simulación NYUSIM	70
4.4	Prueba de la hipótesis	74
4.4.1	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	74
4.4.2	<i>Nivel de significación</i>	75
4.4.3	<i>Criterio</i>	75
4.4.4	<i>Cálculos de Chi – Cuadrado</i>	78
4.4.5	<i>Decisión</i>	79

CAPÍTULO V

5.	PROPUESTA ALTERNATIVA	80
5.1	Modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación	80
5.1.1	<i>Introducción</i>	80
5.1.2	<i>Objetivo General</i>	80
5.1.3	<i>Objetivos Específicos</i>	80
5.1.4	<i>Descripción</i>	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	84
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Datos NYUSIM	27
Tabla 2-2: Parámetros NYUSIM.....	29
Tabla 1-3: Población de estudio	32
Tabla 2-3: Resultados de la Pregunta 1	34
Tabla 3-3: Resultados de la Pregunta 2	35
Tabla 4-3: Resultados de la Pregunta 3	36
Tabla 5-3: Resultados de la Pregunta 4	37
Tabla 6-3: Resultados de la Pregunta 5	38
Tabla 7-3: Resultados de la Pregunta 6	39
Tabla 8-3: Resultados de la Pregunta 7	40
Tabla 9-3: Resultados de la Pregunta 8	41
Tabla 10-3: Resultados de la Pregunta 9	42
Tabla 11-3: Resultados de la Pregunta 10	43
Tabla 12-3: Resumen general opciones SI y NO.....	44
Tabla 13-3: Resumen general opciones Excelente, Buena y Mala	45
Tabla 14-3: Resumen general opciones Alto, Medio y Bajo	45
Tabla 15-3: Resumen general Entrevista.....	46
Tabla 16-3: Resumen de simulaciones NYUSIM SISO	50
Tabla 17-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 4 x 4.....	50
Tabla 18-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 8 x 8.....	51
Tabla 19-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 32 x 8.....	51
Tabla 20-3: Resumen de simulaciones del radio máximo de una celda.....	52
Tabla 1-4: Datos de simulación para la frecuencia 35 GHz.....	59
Tabla 2-4: Datos de simulación para la frecuencia 50 GHz.....	62
Tabla 3-4: Datos de simulación para la frecuencia 69 GHz.....	65
Tabla 4-4: Resumen de datos obtenidos de la simulación con NYUSIM para la obtención de campos Rx y pérdidas en el espacio libre.....	67
Tabla 5-4: Resumen de Velocidad de Tx teórica para la Tecnología 5G.....	67
Tabla 6-4: Comparación entre las Velocidades Teóricas de Velocidad de tx 5G vs LTE.....	68
Tabla 7-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM	71
Tabla 8-4: Comparación de valores.....	71
Tabla 9-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 4X4	72
Tabla 10-4: Comparación de valores.....	72

Tabla 11-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 8X8.....	72
Tabla 12-4: Comparación de valores.....	73
Tabla 13-4: Cuadro: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 32X8	73
Tabla 14-4: Comparación de valores.....	74
Tabla 15-4: Distribución Chi - Cuadrado	76
Tabla 16-4: Frecuencia observada.....	77
Tabla 17-4: Frecuencia esperada.....	78
Tabla 18-4: Cálculo de Chi – Cuadrado	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: La nueva tendencia de celdas pequeñas de retorno.....	11
Figura 2-2: Tecnologías potenciales de acceso al medio.....	12
Figura 3-2: Comparación de desempeño de SCMA, MUSA Y PDMA	13
Figura 4-2: Tecnologías potenciales es redes inalámbricas	14
Figura 5-2: Tecnología MIMO	17
Figura 6-2: Funcionamiento MIMO.....	18
Figura 7-2: Diagrama de bloques de un sistema OFDM	20
Figura 8-2: Entorno NYUSIM	28
Figura 1-3: Diagrama de bloques del modelo NYUSIM	49
Figura 2-3: Diagrama de flujo - interfaz de simulación en MATLAB de Vtx - 5G.....	53
Figura 3-3: Interfaz Simulador en Matlab de la velocidad de Tx en la tecnología 5G.	54
Figura 4-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 2X2.....	55
Figura 5-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 4X4.....	55
Figura 6-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 8X8.....	56
Figura 7-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 32X8.....	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Pregunta 1	34
Gráfico 2-3: Pregunta 2	35
Gráfico 3-3: Pregunta 3	36
Gráfico 4-3: Pregunta 4	37
Gráfico 5-3: Pregunta 5	38
Gráfico 6-3: Pregunta 6	39
Gráfico 7-3: Pregunta 7	40
Gráfico 8-3: Pregunta 8	41
Gráfico 9-3: Pregunta 9	42
Gráfico 10-3: Pregunta 10	43
Gráfico 11-3: Resumen general opciones SI y NO	44
Gráfico 12-3: Resumen general opciones SI, Medianamente y No	45
Gráfico 13-3: Resumen general opciones Alto, Medio y Bajo	46
Gráfico 1-4: Simulaciones a una frecuencia de 35 GHz SISO 1X1	58
Gráfico 2-4: Simulaciones a una frecuencia de 35 GHz MIMO 32X8.	59
Gráfico 3-4: Simulaciones a una frecuencia de 50 GHz SISO 1X1	61
Gráfico 4-4: Simulaciones a una frecuencia de 50 GHz MIMO 32X8.	62
Gráfico 5-4: Simulaciones a una frecuencia de 69 GHz SISO 1X1	64
Gráfico 6-4: Simulaciones a una frecuencia de 69 GHz MIMO 32X8	65
Gráfico 7-4: Velocidades de transmisión para 5G	68
Gráfico 8-4: Comparación de V_{tx} LTE vs 5G	69
Gráfico 9-4: Área de aceptación y rechazo de hipótesis	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA

ANEXO B: ENTREVISTA

ANEXO C: PRUEBAS DE SIMULACIONES PARA 5G - LOS

ANEXO D: GRÁFICOS DE SIMULACIONES PARA 5G

RESUMEN

El objetivo fue definir un modelo de propagación de ondas milimétricas ideal para la tecnología 5G mediante el uso del sistema de simulación NYUSIN y Matlab. La generación de la telefonía móvil abarca la primera generación, segunda generación, tercera generación, cuarta generación o LTE 4G (actual), alcanzando a la quinta generación, siendo esta última la nueva propuesta para el desarrollo y conectividad de los dispositivos electrónicos, actualmente es conocido como internet de las cosas. Los modelos de propagación de ondas milimétricas son necesarios al momento de comparar el rendimiento de las propuestas tecnológicas y para valorar el rendimiento global de todos los sistemas 5G existentes, siendo el modelo NYU Wireless el modelo de referencia para cumplir con el objetivo de investigación, es un modelo estadístico 3d, permite lograr consistencia espacial en simulaciones multiusuarios y es de fácil implementación mediante el uso de la herramienta Matlab. La implementación de un modelo de propagación de ondas milimétricas, determino que las mediciones a 200 metros de distancia en diferentes frecuencias se simulación son las más idóneas y que presentan niveles de campos de recepción óptimos y acorde para alcanzar una velocidad en el orden de los Gbps, siendo el arreglo de antenas de 32x8 (MIMO), por los alcances obtenidos se recomienda que las empresas celulares deben ofrecer a los usuarios finales planes de datos planos y flexibles para que en un inicio vivan la experiencia de LTE 4G y que vayan teniendo una visión y expectativa de la red celular 5G.

Palabras Clave: TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA, TELECOMUNICACIONES, MODELO DE PROPAGACIÓN, ONDAS MILIMÉTRICAS, TECNOLOGÍA 5G, VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA, TECNOLOGÍA MIMO, ANCHO DE BANDA, REDES CELULARES, SIMULACIÓN, NYUSIM (SOFTWARE).



Elaborado e-lectrónicamente por:
**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



13-09-2022

0121-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

The objective was to define a millimeter wave propagation model for 5G technology through the NYUSIN and Matlab system simulation. The generation of mobile telecommunications comprises the first generation, second generation, third generation, fourth generation or 4G LTE (current), reaching the fifth generation, being the latter the new proposal for the development and connectivity of electrical devices, it is currently known as the internet of things. The millimeter wave propagation models are necessary when comparing the performance of technological proposals and to assess the overall performance of all existing 5G systems, being the NYU Wireless the reference model to meet the research objective, it is a 3d statistical model, which allows to achieve spatial consistency in multiuser simulations and is easy to implement through the use of the Matlab tool. The millimeter wave propagation models implementation, determined that measurements at 200 meters distance at different simulation frequencies are the most suitable and present optimal reception field levels and according to reach a speed in the order of the Gbps, being the arrangement of antennas of 32x8 (MIMO) for the obtained scopes it is recommended that the cellular companies must offer the final users the flat and flexible data rate plan so that in the beginning they live the experience of 4G LTE and while gaining a better insight and expectation of the 5G cellular network.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <TELECOMMUNICATIONS>, <PROPAGATION MODEL>, <MILLIMETER WAVE>, <5G TECHNOLOGY>, <TRANSFER RATE>, <MIMO TECHNOLOGY>, <BANDWIDTH>, <MOBILE NETWORKS>, <SIMULATION>, <NYUSIN (SOFTWARE)>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación está estructurado por capítulos, en los cuales consta definiciones y conceptos de los términos utilizados y todos los datos que se han utilizado a lo largo de la investigación están presentes en gráficos y tablas, a continuación, el resumen general de cada capítulo.

El **capítulo I** denominado “**MARCO REFERENCIAL**”, describe el problema que es objeto de la investigación, que contempla la situación problemática, la formulación del problema, las preguntas directrices, la justificación, los objetivos generales y específicos y la hipótesis a ser comprobada.

El **capítulo II** denominado “**MARCO TEÓRICO**”, está estructurado por los antecedentes de la investigación, la historia de la telefonía móvil, las generaciones de la telefonía móvil, redes celulares, la tecnología MIMO, la modulación OFDM, los modelos de propagación de ondas milimétricas y el simulador NYUSIM para la tecnología 5G.

El **capítulo III** denominado “**MARCO METODOLÓGICO**”, se describe en nivel o tipo de investigación, los métodos de investigación, el enfoque, el alcance, la población de estudio, la recolección e información y el correspondiente análisis de la información de la encuesta y de la entrevista.

El **capítulo IV** denominado “**ANÁLISIS Y RESULTADOS**”, contempla los resultados de las simulaciones para 5G, el análisis e interpretación de las pruebas de simulación en 5G, comparación de la calidad de comunicación al utilizar ondas milimétricas, la comparación de la calidad de la señal entre las tecnologías LTE 4G y 5G para lo que utilizo el simulador NYUSIM y el entorno de trabajo de Matlab, además consta la prueba de la hipótesis utilizando el estadístico Chi – Cuadrado.

El **capítulo V** denominado “**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**”, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación del problema planteado, están basados en la información y el análisis realizado en los capítulos anteriormente mencionados.

Finalizando con los **Anexos**, que contiene la encuesta y la entrevista aplicada en la recolección de la información, las pruebas de simulaciones para 5G y los gráficos de las simulaciones para distintas frecuencias.

1.1 MARCO REFERENCIAL

1.2 Título

“Estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G”

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problemática

Los desarrollos científicos y tecnológicos de las últimas décadas de los cuales destacan la innovación y desarrollo en el área de las telecomunicaciones, la micro-electrónica y la informática, han contribuido al desarrollo de la llamada Sociedad Digital. Esta sociedad nos ha trasladado directamente a un nuevo escenario totalmente nuevo que es el internet de las cosas.

En la actualidad el desarrollo de los teléfonos celulares de última generación llamados Smartphone ofrecen actualmente altas tasas de transmisión de voz y datos para conectar a las personas en un escenario móvil

“La industria de telefonía móvil en Ecuador ha tenido un despliegue y desarrollo impresionante en los últimos 20 años, el consumismo y el éxito que tiene el servicio de telefonía celular ha roto todos los pronósticos en los escenarios más optimistas realizados hace 20 años atrás, cuando las operadoras internacionales estudiaban al Ecuador como mercado potencial para introducir este negocio exitoso a nivel mundial. El 11 de mayo del 1994 se inauguró el servicio de telefonía móvil en el país. En esa época, dos compañías privadas, Conecel, bajo la marca Porta, y Otecel, con Celular Power, iniciaban la competencia por ganar clientes en Ecuador.” N, n. (2015,29 de enero). En 20 años, la telefonía móvil superó las expectativas. (Revista Lideres, 2017)

“Hasta enero de 2016 se registraron 13’859.020 abonados en telefonía móvil. De este total, el 62,48% corresponde a Conecel (Claro), 29,83% a Otecel (Movistar) y el 7,69% a CNT.

Según los datos de la ARCOTEL se registran los siguientes datos hasta enero del 2016: usuarios de telefonía (voz) son 7'710.845, telefonía e internet 5'232.946 usuarios, internet 460.322 usuarios y datos 454.907 usuarios.” (Arcotel, 2017)

Se tiene el poco crecimiento en líneas fijas, en la última década no ha despuntado por temas de movilidad, que se está atado a un cable, no es inalámbrico y no ofrece tasas de transferencias altas ya que su planta externa es cobre aun, no obstante, el crecimiento de la red celular ha tenido una penetración del 108 % por sus diversas razones de crecimiento como la movilidad, escalabilidad, tendencia y moda y una serie de servicios que nos proporciona actualmente los teléfonos inteligentes

“Al citar las estadísticas de penetración del sistema celular de los mercados de las Américas y el Caribe, se observa que tiene en común que superan 100%, con 5 países marcado la diferencia de una penetración del 130%; otros siete países entre 100% y el resto apenas por debajo del 100%.” OVUM. (2016, junio). (Americas, 2017)

La tendencia para la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles de quinta generación está determinada por la necesidad del incremento del ancho de banda, mejores tasas de transferencia de datos, para poder conectar equipos y cosas de manera transparente a los usuarios.

La solución que deberán presentar las investigaciones para el desarrollo de 5G será poder incrementar la tasa de transferencia de datos máxima de 10Gbps, tasa de datos en el borde de las radiobases de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo de 1ms, la nueva generación 5G deberá evolucionar en la red de acceso RAN y el Core Network.

1.3.2 Formulación del problema

¿Es la propagación de ondas milimétricas la solución para alcanzar mayores velocidades de transferencia de datos en las redes celulares de quinta generación 5G?

1.3.3 Preguntas directrices

- ¿Se comprobará la calidad de la señal utilizando la propagación de ondas milimétricas?
- ¿Cómo la propagación de ondas milimétricas ayudará a la transferencia de datos en redes celulares de quinta generación?

- ¿En qué medida la propagación de ondas milimétricas ayudará al desarrollo de las comunicaciones móviles de quinta generación?

1.3.4 Justificación

Este tema es de importancia significativa para el desarrollo de las de las comunicaciones móviles que están presentes en la sociedad desde la década de los 70, en estos años las comunicaciones móviles han tenido una importante evolución desde la primera generación 1G hasta la actual 4G (LTE), esta constante evolución va servir para proyectarse a futuro para la próxima generación de comunicaciones móviles 5G.

La contribución de este proyecto está dada por el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas que permitirá contribuir a la inserción de las comunicaciones móviles de quinta generación 5 G.

Para incursionar en esta investigación se cuenta con el acceso debido a la información que genera el campo de las telecomunicaciones, no necesita autorización de alguna institución del sector, además se tiene prevista la revisión de una amplia bibliografía que se evidencia en libros, revistas, artículos científicos e internet.

Los beneficiarios son los usuarios de internet móvil, ya que la red 5G ofrecerá altas tasas de transferencia de datos máximas de 10 Gbps, la tasa de datos al borde de la Radio base será de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo de 1ms, también los beneficiarios de este tipo de investigación son las empresas telefónicas ya que se realizará este estudio y así se contribuirá en la inserción de la próxima generación de redes celulares 5G.

1.3.5 Objetivos

1.3.5.1 Objetivo General

Elaborar un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas en redes celulares de quinta generación 5G para simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab.

1.3.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar la propagación de ondas milimétricas para comprobar la calidad de la señal a través de un sistema de simulación NYUSIM.
- Comparar la calidad de la comunicación al utilizar la propagación de ondas milimétricas a través de un sistema de simulación NYUSIM.
- Diseñar un modelo de propagación de ondas milimétricas para el 5G a través de un sistema de simulación NYUSIM.

1.3.6 Hipótesis

La elaboración de un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G permitió simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Revisando repositorios digitales de la web y páginas de la IEEE, se encuentran varias investigaciones:

En España, en la ciudad de Madrid los autores (Alonso Novo Javier, Campos Bermeo Fernando) concluyen que el estudio de bandas milimétricas para la quinta generación, en teoría incrementan la capacidad del canal y así ofrecer altas tasas de transferencia de datos, el utilizar un radio pequeño de cobertura ya que se utiliza ondas milimétricas se debe considerarse económicamente un aumento de radio bases para así garantizar la cobertura.

En Estados Unidos en el departamento de Ingeniería Eléctrica, de la universidad de Hawai los autores (O. Boric-Lubecke, V. M. Lubecke, B. Jokanovic, A. Singh, E. Shahhaidar and B. Padasdao) llegan a la conclusión que esta investigación para el acceso inalámbrico de quinta generación (5G) aportan al mercado de las telecomunicaciones. 5G se refiere a las comunicaciones móviles de próxima generación que se llevarán a cabo después de 2020, y se espera que sea una espina dorsal de internet de los objetos (IO), la vinculación de dispositivos fijos y móviles. 5G debe incluir un conjunto innovador de tecnologías que cambiarán radicalmente las vidas privadas y profesionales de sus usuarios con aplicaciones de nuevos e innovadores servicios.

Demetrio Rakitin, Director de Tecnología e Innovación para Nokia Latinoamérica manifiesta que la región , países como Brasil, Colombia, Chile, Argentina, Perú y México , en donde se evidencia una alta penetración en la telefonía móvil y que cuentan con planes de crecimiento de banda ancha, serán los que más rápidamente deben prepararse para la transición de la cuarta a la quinta generación de comunicación móvil , y no solo tendrán que preparar sus legislaciones o reglamentaciones frente a la nueva tecnología si no que estos países de Latinoamérica deben preparar la infraestructura y limpiar a nivel de espectro y demás regulaciones.

En Ecuador lastimosamente no se ha podido encontrar investigaciones acerca del tema propuesto por lo tanto en ecuador este será el pionero en esta área de investigación.

2.2 Historia de la telefonía móvil

2.2.1 Generaciones de telefonía móvil

La historia de la telefonía móvil se remota a los años 40, cuando por motivos de la segunda guerra mundial la empresa Motorola desarrollo un teléfono móvil llamado Handie Talkie H12-16, usada ondas de radio que en dichos tiempos no superaba los 60 MHz. Hasta los años 80 algunas empresas investigaron y buscaron ofrecer un sistema de comunicación a distancia para el público en general. Además, la historia de la telefonía celular está estrechamente ligada al desarrollo y evolución de la radio, los primeros teléfonos eran grandes y pesados, el servicio no fue muy popular por lo costoso que poseía. (Red Gráfica Latinoamérica, 2013)

Existen varias tecnologías de comunicaciones móviles que ha evolucionado a lo largo del tiempo. La telefonía celular móvil ha tenido varias etapas de evolución las cuales se denominan generaciones, cada generación está compuesta por un conjunto de características y estándares que significan una revolución en comparación con los estándares predecesores.

Desde el comienzo de las comunicaciones celulares móviles en la década de los 70 donde se introdujo el primer radioteléfono. Las comunicaciones móviles han experimentado un vertiginoso crecimiento dando paso a que se desarrollen diversas tecnologías y generaciones.

2.2.2 Primera generación (1G)

La primera generación móvil correspondió a la telefonía analógica y proliferó durante los años 80, funcionaba por canales analógicos de radiofrecuencia, esta tecnología funcionaba exclusivamente para el servicio de voz, la tecnología que predominó esta generación fue el (AMPS) Sistema Avanzado de Telefonía Móvil fue desarrollado en América, (TACS) Sistema de Comunicaciones de Acceso Total esta tecnología operaba en la banda de 900 MHz y Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido (ETACS). El principal problema de estos sistemas radicaba en que al ser su implementación propietaria no era posible interconectar sistemas de distintos proveedores. (González, 2012)

2.2.3 Segunda generación (2G)

Los sistemas de segunda generación aparecen, con el fin de mejorar los problemas de los sistemas analógicos, en cuanto a soportar una mayor capacidad de usuarios y mejorar la calidad de las comunicaciones, así como ofrecer una mayor gama de servicios. (González, 2012)

Los desarrollos tecnológicos en la segunda generación móvil fue el desarrollo de la era digital, los beneficios que trajo esta tecnología fue que trajo consigo la reducción de tamaño, costo y consumo de potencia en los dispositivos. Móviles, además de transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos como: mensajes de texto (SMS) o mensajes multimedia (MMS), identificador de llamadas, entre otros. Con los sistemas de telefonía celular de segunda generación se logró incrementar las velocidades de transmisión de información. Adicionalmente, con los sistemas 2G se logró avances significativos en cuanto a seguridad, calidad de voz y de roaming. Dentro de la segunda generación de celulares puede destacar los sistemas TDMA, GSM y CDMA.

- **Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA):** La multiplexación por división de tiempo es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión. (EcuRed, 2017)
- **Acceso Múltiple por División de Código (CDMA):** emplea conversión de analógico a digital (ADC) en combinación con la tecnología de espectro ensanchado. La entrada de audio se digitaliza primero en elementos binarios. La frecuencia de la señal transmitida se hace a continuación, para variar de acuerdo con un patrón definido (código), por lo que sólo puede ser interceptada por un receptor cuya respuesta de frecuencia se programa con el mismo código, por lo que sigue exactamente junto con la frecuencia del transmisor. CDMA resiste la interferencia intencional y no intencional, atenúa el efecto de propagación multicamino, comparte la misma banda de frecuencia con otros usuarios. (Prezi, 2014)

2.2.4 Tercera generación (3G)

En 1985, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) comenzó a definir la visión de lo que hoy se conoce como sistemas móviles de 3G, está definida por una serie de estándares definida por la UIT 2000 (IMT-2000) para comunicaciones inalámbricas. (González, 2012)

Para la tecnología 3G se incrementó mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad de las redes y mejoras en los servicios de red avanzados que la red 2G, ya se ofrece el acceso a Internet, roaming internacional, servicios de banda ancha, para estos sistemas existe el desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de video e imágenes en tiempo real, y así se fomentó la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como videoconferencia, monitoreo de video. El estándar más importante y difundido en esta tecnología es el UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), donde aparece la siguiente técnica de acceso al

medio CDMA (Acceso Múltiple por división de códigos) y existen dos modos de operación de acceso al medio:

- **Duplexación por división de tiempo (TDD):** Es un método bidireccional, las transmisiones tanto del enlace ascendente (Up-link) y descendente (Down-link) son transportadas en la misma banda de frecuencia asignada, usando intervalos de tiempo de forma síncrona. Así los intervalos de tiempo del canal de transmisión son asignados para los flujos de datos de transmisión y de recepción.
- **Duplexación por división de frecuencia (FDD):** Es un método bidireccional, para Los enlaces de las transmisiones de subida (uplink) y de bajada (downlink) se emplean dos bandas de frecuencia separadas. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace.

La tecnología 3G, permite a las operadoras tarifar ancho de banda de subida y bajada en forma independiente y configurar la calidad de servicio (QoS) en cuatro categorías:

Conversacional: Mínimo retraso en la comunicación, para llamadas de voz y videoconferencias.

Streaming: Baja fluctuación del retardo, pensada para descarga de videos de Internet.

Interactiva: No debe haber grandes retardos, pero sí hay que asegurar la integridad de los datos, útil para la navegación web.

Background: No importan los retardos, pero es fundamental la integridad de los datos, para aplicaciones de correo electrónico.

2.2.5 Cuarta generación (4G)

Designada como “más allá de la 3G”, no es una tecnología como tal o un estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata. Su protocolo de comunicación es basado completamente en IP, en la actualidad existe dos tecnologías para la cuarta generación de sistemas de comunicaciones móviles, la primera Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) y por otro lado la interoperabilidad para acceso por microondas (WIMAX). (González, 2012)

- **Long Term Evolution -Advanced (LTE-A)**

La cuarta generación está definida por su estándar (LTE-A) en el Release 10 del 3GPP cumpliendo los requisitos del IMT-Advanced esta tecnología de cuarta generación está basada en la conmutación de paquetes sobre redes IPv6, alcanzando tasas de transferencias de datos de 100 Mbps o superiores en caso de no estar en movimiento. Con esta tecnología se hace posible el handover entre redes inalámbricas de área local y redes móviles, manteniendo una calidad de servicio de extremo a extremo y alta seguridad en cualquier tiempo.

- **Interoperability for Microwave Access (WiMAX)**

WiMAX es un sistema de comunicaciones inalámbricas que está definido en el estándar de IEEE 802.16 para redes de área metropolitana MAN (Metropolitan Area Network). Su funcionamiento genera señales inalámbricas tipo Wifi que llega a largas distancias de cobertura aproximadamente 50 km para estaciones fijas y 5 a 15 km para estaciones móviles. El estándar 802.16m, conocido como WiMAX móvil, es el que se empleará por las compañías celulares para servicios de 4G.

Tanto LTE, como WiMAX, utilizan la técnica MIMO, la información es enviada en dos o más antenas por celda para mejorar la capacidad en recepción. Estos sistemas también utilizan Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access (OFDMA), una tecnología que soporta transmisiones de video y multimedia.

2.2.6 Quinta generación (5G)

La quinta generación de las redes inalámbricas de alta capacidad será la nueva propuesta para el desarrollo y la conectividad de dispositivos electrónicos e innovación de nuevos mercados como ciudades inteligentes, transporte inteligente, educación, entretenimiento y la e-salud. Conocido como el internet de las cosas, esta nueva tecnología es estandarizando por el 5G-PPP (Public Private Partnership), es un grupo de 24 operadores, fabricantes de sistemas y grupos de investigación que están trabajando en la propuesta de la 5G para Europa, entre los que destacan: Alcatel-Lucent, Ericsson, France Telecom, Huawei, Intel, Nokia y soluciones de redes, y Telecom Italia. Además, paralelamente existe un grupo que está desarrollando las recomendaciones, requisitos y la arquitectura para el 5G en China es el IMT 2020 Promotion Group, ambas entidades están trabajando en conjunto para el desarrollo de esta tecnología.

2.2.6.1 Introducción a la quinta generación 5G

Las soluciones que deben presentar las investigaciones para el desarrollo de 5G deben ser capaces de incrementar la tasa de transferencia de datos máxima de 10 Gbps, tasa de datos en el borde de las radiobase de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo de 1 ms, la nueva generación de 5G deberá evolucionar en la red de acceso RAN y el Core Network. (IMT-2020, 2014)

2.2.6.2 Red de transporte para la 5G

La propuesta de la red de transporte como un medio físico es la fibra óptica, es capaz de llevar grandes cantidades de información, dentro de la cual se establece varias técnicas de multiplexado como en la actual red 4G LTE es utilizada el DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) que es una técnica de multiplexación de varias longitudes de onda ópticas a través de la fibra con una capacidad de 10 Gbps, para la red 5G se necesitaría una capacidad de 100 Gbps lo cual se conseguiría con la tecnología FTTM Mobile Backhaul. (Huawei, 2017)

Esta red de entorno conecta varias redes de datos alámbricas o inalámbricas, con la tecnología FTTM de red de retorno de alta capacidad, la telefonía celular podrá usar para interconectar redes entre sí, esta tecnología puede conectar varias redes ya que es escalable y puede discriminar varias longitudes de onda para poder servir a las diferentes aplicaciones.



Figura 1-2: La nueva tendencia de celdas pequeñas de retorno¹

Fuente: (Huawei, 20222)

¹ Huawei Technologies Company LTD. (2014). Huawei FTTM Mobile Backhaul Solution Introduction. China: Recuperado de <http://www.huawei.com>

2.2.6.3 Red de acceso para la 5G

Con el desarrollo del internet y una globalización masiva de conectividad de equipos y dispositivos móviles que exige la 5G, es necesario el desarrollo de técnicas para conseguir una mayor eficiencia espectral. La interfaz aire deberá ser más flexible entre las tecnologías FDD (Frequency División Duplexing) y TDD (Time Division Duplexing) ambas tendrán que interactuar dependiendo de los escenarios que se necesite, dentro de las técnicas de acceso al medio se investiga cual será la mejor opción para poder ofrecer multiples accesos de diferentes dispositivos y usuarios simultáneamente, estos esquemas son los siguientes SCMA (Sparse code Multiple Access), PDMA (Pattern Division Multiple Access) y MUSA (Multiuser Shared Access) que son técnicas de acceso multiples no ortogonales, a dichas técnicas se les puede combinar con MIMO (Multiple-input Multiple-output) para alcanzar una mejor eficiencia espectral, conectividad masiva y menor latencia de extremo a extremo que es la exigencia del 5G. (Jentel, 2017)

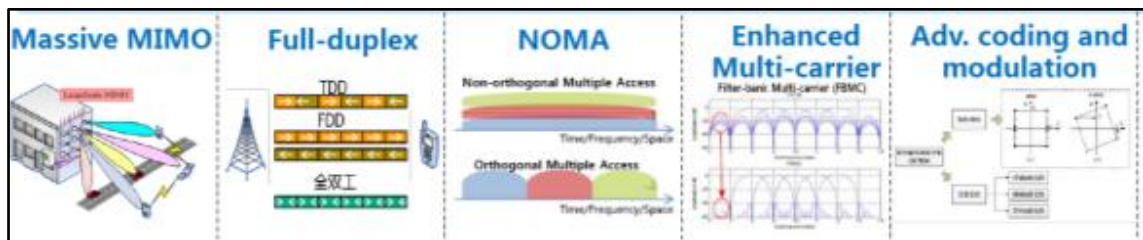


Figura 2-2: Tecnologías potenciales de acceso al medio²
Fuente: (IMT Vision towards, 2014)

2.2.6.4 Eficiencia de las técnicas para 5G

En el siguiente gráfico se observa que la técnica más eficiente es la SCMA que tiene una menor latencia y una relación señal a ruido mayor, al tener una mejor SNR se sabe que se pueden acomodar más usuarios en el canal up-link.

²IMT – 2020 (5G) PROMOTION GROUP (2014). Ginebra, Suiza. Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/R0A0600005D0001PDFE.pdf

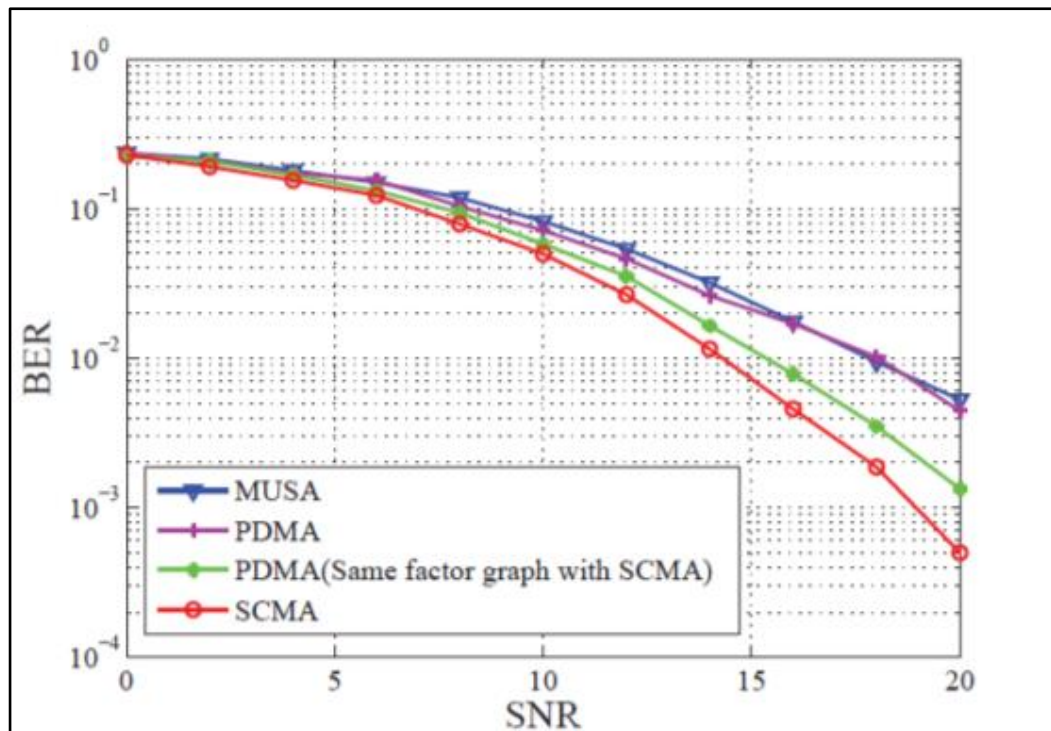


Figura 3-2: Comparación de desempeño de SCMA, MUSA Y PDMA³

Las bandas de operación del 5G aún están en estudio por la FCC (Federal Communication Commission), están considerando la banda de 600 MHz para una masiva comunicación del 5G y también están en estudio las bandas altas de frecuencia: 27,5 – 29,5 GHz, 37-40,5 GHz, 47,2 – 50,2 GHz, 50,4 – 52,6 GHz y 59,3 – 71 GHz. Para estas bandas de operación se hace necesario tener un gran ancho de banda en el orden de los 500 MHz en adelante para poder satisfacer la gran demanda del internet de las cosas para alcanzar tasas de transferencias altas.

La parte de la radiofrecuencia, es decir cómo va irradiar las antenas a los dispositivos es otro punto importante que se debe considerar, para esto se cuenta ya con varios estudios que solucionan dicho requerimiento, como se conoce que las posibles bandas de operación para el 5G están en las bandas de 24 GHz hasta los 95 GHz, que por su longitud de onda están en el orden de ondas milimétricas que son de poca penetración, no son inmunes a factores externos que provocarían atenuaciones y problemas de comunicación de los dispositivos a servir, por lo que se hace necesario el apareamiento de tecnologías de semiconductores y antenas inteligentes, para lo cual se tendría que realizar un rediseño de áreas más pequeñas y con más antenas inteligentes para poder cubrir esta exigencia del 5G.

³Wang Bichai, Wang Kun, Lu Zhaohua. (agosto, 2015 Comparison study of non-orthogonal multiple access schemes for 5G. (EEUU). Recuperado de: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7177186&queryText=MUSA%205G&newsearch=true>

2.2.6.5 Core Network (Núcleo de la red)

Es necesarios potenciar los diferentes equipos y dispositivos existentes en el núcleo de la red, como servidores con más memoria, conmutadores, router, firewall y balanceadores de carga, para así llegar a alcanzar los requerimientos de 5G, se mencionan algunas tecnologías que se están estudiando como posibles técnicas para tener una eficiencia en intercambio de información entre los usuarios y el Core Network.

C-RAN: se basa en una arquitectura centralizada en cloud computing de redes de acceso de radio que soporta estándares 2G, 3G, 4G para poder saltar a la futura 5G que será el próximo estándar de comunicación inalámbrica para que sea suave el salto de 3G-4G al 5G.

NFV: Network Functions Virtualization, consiste en virtualizar los diferentes equipos y dispositivos que componen al Core network, como routers, firewall, servidores de alto tráfico balanceadores de carga y conmutadores, de manera que se evite tener estos equipos físicamente y ocupar espacio y recursos, estos equipos siendo virtualizados cumplirán con las mismas funciones.

SDN: Software Defined Networking, es un conjunto de técnicas relacionadas con el área de redes computacionales, cuyo objetivo es facilitar la implementación e implantación de servicios de red de una manera determinista, dinámica y escalable, evitando al administrador de la red gestionar dichos servicios de bajo nivel, todo eso se consigue por la separación del plano de control (software) del plano de datos (hardware).

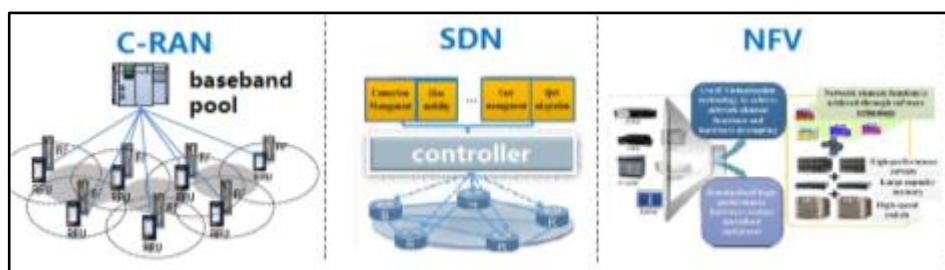


Figura 4-2: Tecnologías potenciales es redes inalámbricas⁴
Fuente: (IMT Vision towards, 2014)

⁴ IMT – 2020 (5G) PROMOTION GROUP (2014). (Ginebra, Suiza). Recuperado de: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/ROA0600005D0001PDFE.pdf

2.3 Redes celulares de telefonía móvil

La conectividad de los teléfonos móviles se consigue gracias a los recursos de telecomunicaciones radio y su funcionamiento se basa de los procedimientos de redes de telefonía fija. La infraestructura final contiene la estación base y los terminales. (Becvar , Mach, & Pravda, 2007)

Las redes celulares están divididas en celdas, cada celda es servida por uno o más radios receptores (transmisor/receptor), las comunicaciones en una red celular es full dúplex, donde la comunicación se logra al enviar y recibir mensajes en 2 frecuencias diferentes. La razón para la topología celular de la red es permitir la reutilización de las frecuencias. Las celdas, separadas a una cierta distancia, pueden reutilizar las mismas frecuencias, lo cual asegura el uso eficiente de los recursos limitados de radio. (Tanenbaum, 1996)

Las infraestructuras de redes celulares están creciendo a alta velocidad, las personas están comprando contratos de telefonía celular porque están proveen un servicio útil y relativamente barato, los servicios de las operadoras de redes celulares se tas extendiendo para incluir datos, la cobertura geográfica de las redes celulares aumenta por medio de la movilidad global. La industria de las telecomunicaciones está trabajando en acelerar el desarrollo de las comunicaciones móviles. El sistema de comunicación ideal tanto de servicios de voz y datos pueden despacharse sin importar la ubicación.⁵

2.3.1 ¿Cómo Funciona la Telefonía Celular?

La telefonía celular requiere de una banda de frecuencia que es asignada por el ente regulador de cada país, en el caso del Ecuador el ente regulador es la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones).

La red celular está dividida en tres subredes:

Red de Acceso

Red de Transporte

Núcleo de la Red (Core)

El objetivo de la red celular es intercambiar información (voz, video y datos) entre dos o más usuarios a larga distancia. El territorio nacional está dividido en celdas , cada celda se llama

⁵ Lourens O Walters y PS Kritzinger. Redes Celulares: Presente, Pasado y futuro. Ciudad del Cabo (Sudáfrica)

estación base que es la encargada de transmitir y recibir los datos que envía el móvil, para esto cada celda maneja un par de frecuencias y que mediante las diferentes técnicas de acceso es posible enviar varias señales y datos entre estación base y móvil, que según ha evolucionado cada generación se consigue enviar varias señales obteniendo una eficiencia del canal de comunicación que en este caso es el aire, con lo cual se obtiene mejores velocidades de transmisión.

Otro aspecto importante de resaltar es la red de transporte que es la encargada de llevar todo el tráfico (voz, video y datos) generado en las estaciones base, encaminarlas hacia la central, esta red de transporte puede ser una red de enlaces de radio, llamados enlaces microondas de alta capacidad (SDH), o enlaces full IP, también se utiliza la Fibra óptica en la actualidad es la más utilizada ya que maneja velocidades de transmisión de alta capacidad en el orden de los Gbps y Tbps.

En la actualidad se está estudiando la posibilidad de mejorar la red de transporte con redes de redundancia y virtualizar la red de transporte

El núcleo de la red, que aun en la actualidad se le llama la central, que es la encargada de asignar canales y conmutar para así enrutar el tráfico, tanto para otra operadora de red fija o móvil, o salida a un ISP (Proveedor de internet), ahora en la actualidad las centrales están evolucionando haciéndose más robustas para soportar el aumento de tráfico que se habla en la quinta generación 5G (IoT), lo están consiguiendo virtualizando la central que consiste en virtualizar los servidores y routers, separando el hardware y el software y que exista una universalidad de equipos que todos tengan un lenguaje abierto de comunicación aunque sean de diferentes marcas y crear un controlador de todo el software y solo tener el hardware necesario.

2.4 Tecnología MIMO

Multiple Input Multiple Output (**Multiple Entrada, Multiple Salida**), es una tecnología que se refiere específicamente al uso de múltiples señales que viajan simultáneamente a la misma frecuencia por un solo canal de radiofrecuencia, y que aprovecha la propagación multicamino para incrementar la eficiencia espectral de los sistemas de comunicaciones inalámbricos. Esto lo consigue mediante el uso de diversidad de antenas, distintas técnicas y complejos algoritmos de tratamiento digital de señales en ambos extremos del enlace: extremo transmisor (múltiple entrada) y extremo receptor (múltiple salida). (Horno, 2008)

MIMO es la primera tecnología que trata el multicamino, permite incrementar extraordinariamente la velocidad, el caudal efectivo, el rango, la capacidad y la fiabilidad de los

sistemas y todo esto sin un incremento del ancho de banda o de la potencia transmitida. En dispositivos WLAN que implementan MIMO se ha demostrado en test de laboratorio su capacidad de cubrir áreas de cobertura al menos 2 veces más grandes que la que cubren los dispositivos convencionales, aumentando la velocidad y disminuyendo la probabilidad de error. (Horno, 2008)

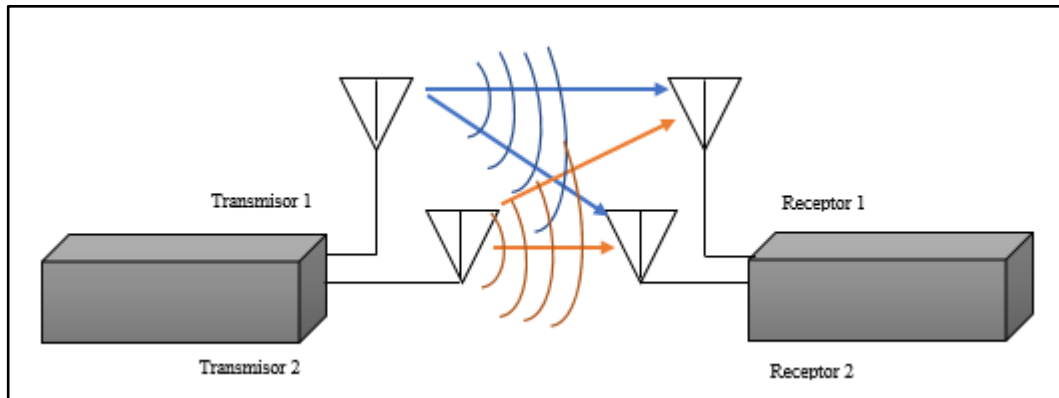


Figura 5-2: Tecnología MIMO
Realizado por: Marcelo Yanza

MIMO, envía varias señales al mismo tiempo y por el mismo canal, creando una transmisión multidimensional. Este sistema doblaría el throughput (caudal efectivo), multiplicando de esta manera la eficiencia espectral. (Horno, 2008)

2.4.1 Principales técnicas de MIMO

MIMO tiene 3 categorías principales: diversidad de antenas, multiplexación espacial y beamforming.

Diversidad de antenas: Los sistemas MIMO usan diversidad espacial para mejorar las prestaciones del sistema, que se consigue mediante el uso de varias antenas en un mismo transmisor. Según en qué extremos de la comunicación se dé la diversidad, diferenciado entre la diversidad de recepción o la diversidad de transmisión; ambas pueden combinarse o darse por separado.

Multiplexación Espacial o Spatial Multiplexing (SM): La multiplexación espacial consiste en la división de una señal de mayor ancho de banda en varias señales iguales de menor ancho de banda. El término espacial hace referencia a la transmisión, simultánea y por el mismo canal de frecuencia, de cada una de estas señales por medio de antenas diferentes; la multiplexación espacial es justamente el proceso contrario: la combinación de varias señales de menor ancho de

banda en una señal de mayor ancho de banda. Estas 2 técnicas se usan en los transmisores y receptores MIMO respectivamente para aprovechar la propagación multicamino y es la responsable del aumento de la tasa de transmisión en dichos sistemas. El orden de multiplexación espacial es el número de flujos de datos transmitidos paralelamente, y su valor máximo estará limitado por el menor del número de antenas transmisoras o de antenas receptoras. El incremento de la eficiencia espectral será proporcional a este orden. (Horno, 2008)

Precording y Beamforming: (precording en español precodificación) se refiere a todas las técnicas de proceso espacial que se realizan en el transmisor MIMO. Beamforming convencional es una técnica de procesamiento de señales usada para controlar el patrón de radiación de la antena, aporta funcionalidad de un filtro espacial y es aplicada tanto en transmisión como en recepción. En **recepción**, beamforming se utiliza para incrementar o disminuir la sensibilidad del receptor en una determinada dirección. En **transmisión**, beamforming se emplea para configurar el patrón de radiación de nuestra antena, Cambiando la forma del haz, se puede aumentar la directividad de la antena en una determinada dirección y minimizar la ganancia de la antena para el resto de direcciones.

2.4.2 Funcionamiento MIMO

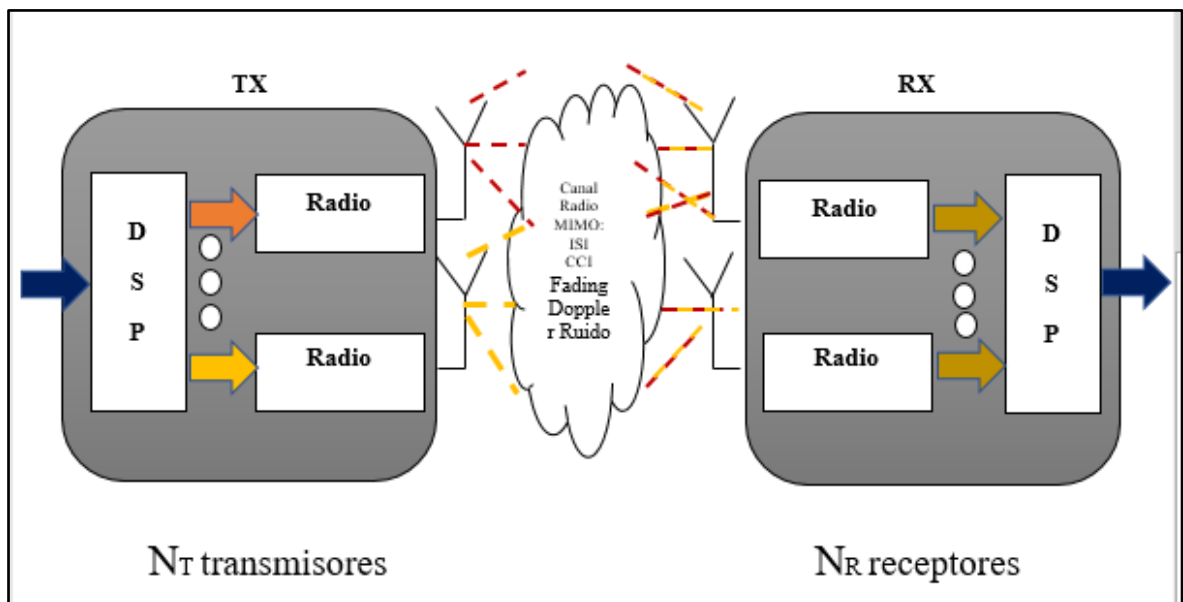


Figura 6-2: Funcionamiento MIMO
Realizado por: Marcelo Yanza

En un sistema MIMO se dispone de un transmisor con N_T antenas transmisoras espacialmente distribuidas, el transmisor también contendrá un DSP (procesador digital de señales) que codificará un flujo de datos de un solo usuario con la velocidad R , en N_T subflujos de velocidad

R/ NT cada uno. Cada subflujo será modulado y enviado en paralelo hacia el canal inalámbrico por una antena diferente, destacar que todos los subflujos se envían en el mismo intervalo de tiempo y a la misma frecuencia y por antenas diferentes, en otras palabras, se enviarán múltiples señales simultáneamente por el mismo radiocanal. (Horno, 2008)

Con un esquema de transmisión MIMO se consigue un incremento lineal de la eficiencia espectral frente al incremento logarítmico que consiguen otros sistemas tradicionales de una sola antena; en consecuencia, la cobertura, la calidad, la capacidad y la tasa de bits se verá mejoradas notablemente. Siendo la ventaja principal de MIMO ser multicamino ya que: cada ruta multicamino será tratada como un canal diferente, creando una especie de cable virtual sobre el cual se transmite la señal, cada ruta será un cable virtual y el canal inalámbrico se comportará como un mazo de cables virtuales; al emplear múltiples antenas separadas espacialmente, se puede aprovechar estos cables virtuales para transmitir datos, multiplicando de esta manera el caudal efectivo. La tasa máxima por canal crecerá linealmente con el número de subflujos de datos diferentes que son transmitidos en el mismo canal, y debido a la diversidad de antenas, se incrementará también la distancia de cobertura. (Horno, 2008)

2.5 Modulación OFDM

La modulación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una técnica utilizada ampliamente para sistemas de comunicación de banda ancha porque permite evitar la interferencia intersimbólica también conocida como ISI por sus siglas en inglés. (Armstrong, 2009)

Al ser un método de modulación donde el espectro asociado a cada dato es una pequeña porción del ancho de banda total, el cual se divide en N subcanales, cada subcanal se modula con un símbolo y se multiplexa en frecuencia. Para evitar un gran número de moduladores y filtros en el transmisor, y filtros complementarios y moduladores en el receptor, se utiliza modernas técnicas de procesamiento digital de señales, tal como la transformada rápida de Fourier. ⁶

Para generar OFDM, se debe tener en cuenta varios parámetros como son: el número de subportadoras, el esquema de modulación y el intervalo de guarda a utilizar.

⁶ D. Matie, "OFDM as possible modulation technique for multimedia applications in the range of mm waves", Introduction to OFDM, II edition, TUD-TVS. October 1998."

2.5.1 Diagrama de bloques de un sistema OFDM

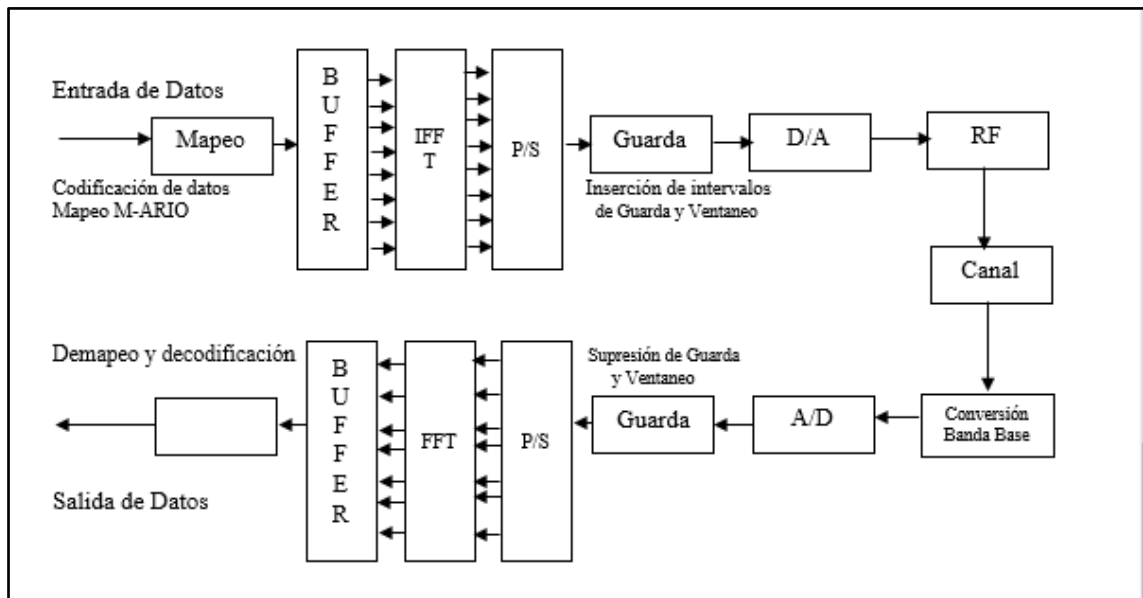


Figura 7-2: Diagrama de bloques de un sistema OFDM

Realizado por: Marcelo Yanza

Como se observa en el gráfico 2-7, la señal de entrada de un sistema OFDM es una trama serial de datos, que pasan a un formato en paralelo formado de n bits de longitud de acuerdo a esquemas de modulación tales como M-OSK o M-QAM (mapeador). A la salida del Mapeador se tienen símbolos, ortogonales entre sí y a cada uno de ellos se les asignará una subportadora por medio de la IFFT. Solo una pequeña cantidad de datos son transportados en cada subportadora y por esto la velocidad de bit por portadora disminuye, reduciendo significativamente la interferencia intersímbolo ISI, el uso del buffer permite almacenar N datos mapeados, para poderlos introducir a la IFFT y así generar los símbolos OFDM. La IFFT genera múltiples portadoras a diferentes frecuencias ortogonales dividiendo el ancho de banda disponible entre un número N de subportadoras. La trama de datos en paralelo sujeta al proceso IFFT constituye la modulación OFDM, la IFFT convierte un número de puntos de datos complejos de longitud N la cual se una potencia de 2, en una señal en el dominio del tiempo de igual número de puntos. Después de la modulación OFDM, los datos son nuevamente convertidos a un formato serial y se agrega un intervalo de guarda en cada símbolo OFDM para suprimir la interferencia intersímbolo (ISI) causado por la distorsión multitrayectoria, la señal OFDM se pasa por un convertidor D/A para producir una señal analógica en banda base, la cual es modulada en RF para ser transmitida. La señal se transmite a través de un canal que agrega desvanecimiento multitrayectoria y ruido aditivo blanco gaussiano. En el receptor se realiza un proceso inverso al transmisor, es decir se realiza la conversión a banda base, la señal recibida se pasa por un convertidor A/D. Posteriormente se lleva a cabo un proceso de sincronización. Después de la sincronización, el prefijo cíclico es removido del símbolo OFDM y se aplica FFT. La transformada rápida de Fourier FFT transforma

una señal periódica en el dominio del tiempo en su equivalente espectro de frecuencia. Esto es hecho para encontrar la forma de onda equivalente, generada por una suma de componentes sinusoidales ortogonales. Los bins de la FFT de la señal en el dominio del tiempo corresponden al peso de cada una de las portadoras, las cuales son subsecuentemente desintercaladas, decodificadas con el algoritmo apropiado y demapeadas para dar un estimativo de los datos originales. (Jiménez Cano, Parrado Galeano, Quiza Montaña, & Suárez, 2001)

2.6 Modelos de propagación de ondas milimétricas

Los modelos de propagación de ondas milimétricas son necesarios al momento de comparar el rendimiento de las propuestas tecnológicas y para valorar el rendimiento global de todos los sistemas 5G existentes.

Existen varias alternativas en cuanto a modelos de propagación de ondas milimétricas y de canal 5G, aunque en 5G está en una etapa inicial de desarrollo donde su uso es básico debido a que no cuenta con estándares definidos, los diferentes casos de aplicación que han surgido en instituciones públicas y privadas, es el punto de partida para conocer en qué consisten, en avance obtenido y lo que se espera de dicha tecnología.

Se detallan los modelos de propagación de ondas milimétricas recomendados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y los modelos de canal 5G con los lineamientos que deben cumplir para ser aplicados en propuestas existentes o en nuevas propuestas.

2.7 Modelos de propagación recomendados por la UIT

2.7.1 Rec. UIT-R P. 1411-8

Proporciona directrices sobre el modelado de la propagación de corto alcance en exteriores en la gama de frecuencias comprendidas entre los 300 MHz y 100 MHz, además facilita información sobre modelos de pérdidas de trayecto para entornos con visibilidad directa (LoS) y sin visibilidad directa (NLoS), pérdidas de penetración en edificios, modelos multitrayectoria para la propagación entre las calles y por encima de los tejados, así como características de polarización y de desvanecimiento. Este modelo se basa en la definición de las categorías de trayectos en función del nivel de ubicación de las estaciones base y en la identificación de tipos de entorno, según la densidad, la estructura y las alturas de las construcciones. Las limitaciones de este modelo radican en que alcanzan frecuencias desde los 5GHz hasta los 6GHz, por lo que, se encuentra aún lejos de las bandas de interés dentro de las ondas milimétricas. (Barrado, 2017)

2.7.2 Rec. UIT-R P. 1238-8

Proporciona orientación sobre la propagación en interiores en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 MHz, además de información sobre los modelos de Pérdida de trayecto, los modelos de dispersión del retardo, los efectos del diagrama de radiación de antena y de la polarización, los efectos de los materiales de construcción, los acabados y el mobiliario, los efectos del movimiento de los objetos y el modelo estadístico en caso de utilización estática. En caso de los sistemas radioeléctricos de interiores, la predicción de la propagación difiere en cierta medida de la que se efectúa en relación a los sistemas de exteriores, porque en los interiores la cobertura depende totalmente de la geometría de los edificios, cuyos límites afectan además a la propagación. (Barrado, 2017)

2.7.3 Modelos de propagación experimentales

Hoy por hoy existen 4 tipos de modelos de propagación empleados en el análisis de las medidas recabadas en las experimentaciones para frecuencias milimétricas por parte de la comunidad científica, dichos modelos son:

- Modelo Floating intercept (FI)
- Modelo Close – in – free space reference (CI)
- Modelo Alpha – beta – Gama (ABG)
- Modelo Close – in – free space reference frequency dependant (CIF)

2.7.3.1 Modelo Floating intercept (FI)

Utilizado en el desarrollo de los modelos de canal WINNER II y 3GPP, se trata de un modelo sin referencia que simplemente busca la línea que mejor se ajusta a los datos medidos, utilizando un método de regresión por mínimos cuadrados. Este modelo cuenta con 2 parámetros propagación y distancia. (Barrado, 2017)

2.7.3.2 Modelo Close – in free space reference (CI)

Es un modelo sencillo que únicamente necesita un solo parámetro para describir las pérdidas de trayecto sobre todas las frecuencias y distancias, se basa en principios físicos fundamentales como el establecimiento de un punto de referencia y puede ser empleado en enlaces con o sin visión directa. Es fácil de implementar en relación a los modelos actuales 3GPP, ya que solo se realiza

una modificación al valor de la frecuencia que antes tenía un valor flotante por una constante independiente, que representa las pérdidas en espacio libre en el primer metro. (Barrado, 2017)

2.7.3.3 *Modelo Alpha-Beta-Gama (ABG)*

Adoptado por el 3GPP, se trata de una evolución del modelo FI que extiende el concepto de este para múltiples frecuencias, mediante la incorporación de un nuevo parámetro **coeficiente de dependencia entre Pérdida de propagación y la frecuencia**, al coeficiente característico de dependencia entre la Pérdida de propagación y la distancia, y a la intersección flotante en dB. Este modelo subestima las pérdidas de propagación en lugares relativamente cercanos al TX, con implicaciones en dispositivos de baja potencia y sobrestima las pérdidas de propagación en posiciones lejanas al TX, con implicaciones en frecuencias milimétricas, ya que estima señales más débiles que deberían alcanzar distancias mayores. (Barrado, 2017)

2.7.3.4 *Modelo Close – in free space reference frequency dependant (CIF)*

Tiene como objetivo extender el modelo CI mediante la introducción de un término dependiente de la frecuencia, además su aplicación es para múltiples frecuencias. (Barrado, 2017)

2.7.4 *Modelos de canal*

Los modelos de canal actuales aceptados por los organismos, tal como el Modelo Espacial de Canal (SCM) 3GPP/3GPP2, los WINNER, el ITU-R IMT- Advanced, el 3GPP 3D-Umi y el 3D-Uma, el IEEE 802.11ad, no resultan ser los más adecuados para 5G ya que no se ajustan a los requerimientos y necesidades que se plantean. (Barrado, 2017)

Los requerimientos de un nuevo modelo de canal que soporte la tecnología 5G a lo largo de bandas de frecuencias hasta los 100 GHz sería:

- Basado en el modelo de canal 3GPP-3D existente, tomando en cuenta requerimientos y escenarios 5G, por ejemplo: array de antenas, elementos individuales de antenas como son los patrones de radiación en acimut y elevación.
- Debe abarcar un amplio rango de frecuencias entre 1 y 100 GHz.
- Debe soportar diferentes rangos en grandes arrays de antenas.
- Debe contemplar la movilidad, en particular la estructura del modelo de canal, debe ser adecuada para velocidades de hasta 350 Km/h.
- Debe garantizar consistencia espacial, temporal y frecuencial.

- Debe contar con una complejidad baja.

2.7.5 *Modelos de canal estocásticos (SCM)*

2.7.5.1 *WINNER+*

Se constituyó en una extensión del proyecto WINNER, siendo su objetivo recoger los efectos de propagación en 3D, se trató de una mejora muy importante ya que implicó un cambio en el modelado definido en WINNER para características como las antenas, dispersión de las agrupaciones, posiciones de estaciones base y móviles. (Barrado, 2017)

2.7.5.2 *3GPP-3D*

Disponible para el uso de tecnologías MIMO masivo que soporta múltiples usuarios para el mismo recurso mediante el empleo de múltiples direccionamientos en acimut y elevación, es necesario disponer de modelos de canal 3D que permitan caracterizar estos sistemas. El modelo 3GPP-3D se define para la banda de 2 GHz y para un ancho de banda estrecho de 100 MHz, cuenta con una buena caracterización en escenarios UMa y UMi, dentro de los que se abarcan propagaciones LoS, NLoS y exterior-interior. Gran parte de su núcleo es idéntica al modelo WINNER+, por lo que se pueden utilizar los mismos parámetros y obtener funcionalidades similares. (Barrado, 2017)

2.7.5.3 *QuaDRIGa*

Se trata de una implementación de código abierto del modelo de canal 3GPP-3D, cuenta con características extendidas en cuanto a consistencia espacial con una evaluación más precisa del rendimiento de MIMO masivo y de las transmisiones MULTI-CELDA gracias a la combinación de las aproximaciones de los modelos SCM-E y COST 273. (Barrado, 2017)

2.7.5.4 *COST 2100*

Sigue una aproximación a nivel de clúster, donde las agrupaciones se sitúan en un entorno simulado y pueden interactuar con uno o más terminales móviles usando el concepto de la región de visibilidad, definido dentro del modelo y que es clave en los modelos de propagación estocásticos, ya que representa el alcance espacial y temporal sobre el cual un grupo de componentes multitrayecto se presentan en una antena genérica. La consistencia espacial es lograda a través del uso de regiones de visibilidad asociadas con cada clúster de componentes

multitrayecto, donde uno o más clústeres son asociados a una región, cuyo tamaño varían según los terminales móviles, se logra obtener más consistencia espacial en un entorno simulado, sin embargo, este modelo no contempla los casos de movilidad en los 2 extremos del enlace y fácilmente no puede ser aplicado. (Barrado, 2017)

2.7.5.5 IEEE 802.11ad

Conocido como WiGig, cubre principalmente las comunicaciones de corto alcance en interiores como en oficinas u hogares, y emplea la banda de 60 GHz, su desarrollo se basó en componentes especulares como el trayecto LoS y algunas reflexiones son modeladas de manera determinista en entornos de propagación 3D, mientras que otras contribuciones son modeladas de forma estocásticas como componentes aleatorias de una agrupación. Siendo una característica importante del modelo, es que soporta beamforming y bloqueo de los rayos para cada trayecto, esto resulta muy útil cuando el modelado de canal 5G requiera de estas características. (Barrado, 2017)

2.7.5.6 MiWEBA

Se trata de una extensión del modelo IEEE 802.11 ad, definido para entornos Umi a frecuencias de 60 GHz, orientado hacia escenarios de accesos exteriores, backhaul y combinaciones D2D, para el acercamiento se usa un modelado determinista. Este modelo es útil para simulaciones a nivel de todo un sistema y para el análisis de la capacidad de la red de acceso, asume clústeres de llegada aleatorios con una distribución de Poisson en intervalos de tiempo exponencialmente distribuidos, mientras que las amplitudes aleatorias de los clusters obedecen a distribuciones Rayleigh. Además, permite cubrir casos como el beamforming y el bloqueo de trayecto por vehículos y humanos. (Barrado, 2017)

2.7.5.7 METIS

Resulta ser una extensión de los modelos de canal WINNER II y WINNER +. Especialmente se centra en modelar las tres dimensiones espaciales del canal en entornos urbanos densamente poblados y en rangos de distancias cortas en entornos interiores y exteriores. (Barrado, 2017)

2.7.5.8 NYU Wireless

Se trata de un modelo de canal estadístico espacial 3D (SSCM) de respuesta al impulso (IR) para entornos urbanos en condiciones LoS y NLoS, cubre de forma generalizada ambientes arbitrarios

y que se puede extender para crear canales direccionales en otras bandas de frecuencias. Este modelo genera parámetros multitrayecto para respuestas al impulso de canales omnidireccionales y direccionales para enlaces entre TX y RX, las contribuciones del modelo son las que se listan a continuación: (Barrado, 2017)

- Modelo estadístico 3d (SSCM) experimental: basado y testeado para las medidas entre los 28 GHz y 73 GHz en ondas milimétricas para generar CIRs para diferentes distancias y sobre áreas locales, utilizable para frecuencias arbitrarias entre los 6 GHz y 100 GHz, con señales de hasta 800 MHz de ancho de banda y haces de antenas mayores a los 7°. (Barrado, 2017)
- Extensión del modelo: para lograr consistencia espacial en simulaciones multiusuario que representan el nacimiento y la muerte de las agrupaciones temporales y de los lóbulos espaciales en ondas milimétricas para escenarios basados en rejillas. (Barrado, 2017)
- El modelo SSCM ha sido implementado mediante la herramienta MATLAB. (Barrado, 2017)

2.8 Modelos de canal basados en mapas

2.8.1 Trazado de rayos

Se trata de un método para aproximar la propagación de una onda en un entorno usando rayos discretos, estos rayos son trazados mediante la determinación de todas las imágenes especulares de TX y RX o lanzando rayos a diferentes direcciones. En ambos casos se determinan los posibles caminos y sus correspondientes interacciones como reflexiones, difracciones y dispersiones. Una simulación precisa utilizar múltiples rayos en una densa red angular. En el caso de imágenes especulares la complejidad crece exponencialmente con el número de interacciones con el medio. Para el trazado de rayos se requiere un determinado conocimiento de todo el entorno, así como de los materiales de los objetos dispuestos. A pesar de que se trata de un modelo preciso para la simulación de ondas en el medio, cuenta con 2 desventajas como son: la necesidad de recrear el entorno de una manera precisa y una carga computacional alta. (Barrado, 2017)

2.8.2 Modelo METIS basado en mapas

Basado en mapas se centra en casos donde es necesaria información precisa y realista acerca de las propiedades espaciales del canal, como, por ejemplo, para el estudio de MIMO masivo, técnicas avanzadas de beamforming, ideal para modelado de casos D2D y V2V. METIS hace uso de trazado de rayos utilizando una descripción geométrica 3D simplificada del entorno de

propagación, y es ahí donde se explican los fenómenos de propagación como la difracción, la reflexión especular, la dispersión y el bloqueo, los muros de los edificios son modelados como superficies rectangulares con propiedades electromagnéticas específicas. A pesar de su complejidad, en términos de correlación entre parámetros resulta más liviano que el modelo estocástico, además, se basa en un entorno geométrico específico y es aplicable para los siguientes escenarios que proveen la suficiente información: celdas urbanas Micro, celdas urbanas Macro, Oficinas, centro comercial, autopistas, festival al aire libre, estadios. (Barrado, 2017)

Proceso del modelo METIS:

- Creación del entorno.
- Determinación de los trayectos de propagación.
- Determinación de las matrices de propagación de canal.

2.9 Simulador NYUSIM para 5G

Tabla 1-2: Datos NYUSIM

Datos NYUSIM	
NYUSIM	Software de simulador de modelos de canal 5G de código abierto para generar respuestas de impulso de canal de banda ancha espacial y temporal.
Tipo de software	Open Source 5G Channel Model Simulator (Simulador de modelo de canal 5G).
Versión	1.5
Última modificación	2017-10-3.
Sistemas Operativos	Windows, MAC.

Realizado por: Marcelo Yanza

2.9.1 Generalidades del Simulador NYUSIM

Lanzado por NYU WIRELESS (), NYUSIM proporciona un modelo de canal estadístico completo y un código de simulación con una interfaz fácil de usar para generar respuestas a impulsos de canal de banda ancha espaciales y temporales.

NYUSIM es aplicable a una amplia gama de frecuencias (100 MHz a 500 MHz), anchos de banda de radiofrecuencia de hasta los 800 MHz, anchos de haz de antena (7° a 360° para azimut y a 45° para elevación), y escenarios operativos (micro-macro células urbanas, macro células rurales) y también incorpora entradas múltiples (MIMO).

2.9.2 Principales funciones del simulador NYUSIM

- Nuevos perfiles de retardo de potencia direccional y funciones de muestreo de Pérdida de trayectoria direccional se producen al mismo tiempo que las funciones de muestreo omnidireccionales.
- Se generan nuevos archivos de datos de salida con información de perfil de retardo de potencia omnidireccional y direccional.
- Se ofrece una comparación entre los modelos de canal 3GPP y NYUSIM.
- Numerosas funciones.
- Correcciones de errores.
- Nombre de la salida de la figura OMNI PDP con ganancia de antena direccional se cambia a PERFIL de retardo de potencia. La información textual sobre los valores de los parámetros del canal, como frecuencia, entorno, distancia, propagación de retardo de la raíz cuadrada media (RMS), potencia recibida y la pérdida de trayecto se añade a la figura de salida PDP Direccional con potencia más fuerte, pérdida es igual a la potencia de transmisión restada por las ganancias de la antena del transmisor (TX) y del receptor (RX) y la potencia recibida.

2.9.3 Estructura de NYUSIM para simular la propagación de ondas milimétricas

1. To begin the simulator, click Start
2. Set your input parameters below
3. Select a folder to save files
4. Click Run
5. To run another simulation, click Reset, and repeat Steps 2-4

Channel Parameters

Frequency (0.5-100 GHz) GHz Barometric Pressure mbar

RF Bandwidth (0-800 MHz) MHz Humidity (0-100%) %

Scenario Environment Rain Rate (0-150 mm/hr) mm/hr

T-R Separation Distance Lower Bound (10-500 m) m Polarization Foliage Loss

Upper Bound (10-500 m) m Distance Within Foliage m

TX Power (0-30 dBm) dBm Foliage Attenuation dB/m

Number of RX Locations

Antenna Properties

TX Array Type Number of TX Antenna Elements Per Row Wt

RX Array Type Number of RX Antenna Elements Per Row Wt

Number of TX Antenna Elements TX Antenna Azimuth HPBW (7°- 360°) °

Number of RX Antenna Elements TX Antenna Elevation HPBW (7°- 45°) °

TX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100) RX Antenna Azimuth HPBW (7°- 360°) °

RX Antenna Spacing (in wavelength, 0.1-100) RX Antenna Elevation HPBW (7°- 45°) °

Select a Folder to Save Files

Output File Type

Start **Reset** **Run** **Exit**

Figura 8-2: Entorno NYUSIM

Fuente: Simulador NYUSIM

2.9.3.1 Especificaciones de los parámetros de NYUSIM

Tabla 2-2: Parámetros NYUSIM

N°	Parámetro	Descripción
El canal parameters están constituidos por 7 parámetros que denotan los valores desde la frecuencia hasta el número de ubicaciones, como se explica a continuación:		
1	Frecuencias portadoras	6 GHz a 70 GHz
2	Anchos de banda de RF	5 MHz a 800 MHz.
3	Entorno	Parámetro seleccionable que denota el entorno, ya sea línea de visión (LOS) o no línea de vista (NLOS). La configuración predeterminada es LOS.
4	Límite inferior de la distancia de separación T-R (m)	Parámetro editable que denota la distancia más pequeña entre el transmisor (TX) y el receptor (RX) en metros con un decimal como máximo. El valor por defecto el valor es de 10 m, y puede variar de 10 m a 500 m, pero no más que el límite superior de la distancia de separación T-R.
5	Límite superior de la distancia de separación T-R (m)	Parámetro editable que denota la mayor distancia entre el TX y el RX en metros con como máximo un lugar decimal. El valor predeterminado es 500 m, y puede ser variar desde 10 m hasta 500 m, pero no menos que el límite inferior del T-R distancia de separación.
6	Potencia TX (dBm)	Parámetro editable que denota la potencia de transmisión en dBm. El valor predeterminado es 30 (dBm) y se puede establecer en cualquier valor que van de 0 a 30 (dBm).
7	Número de ubicaciones de RX	Parámetro editable que denota el número de ubicaciones RX. Puede ser cualquier número entero positivo. El valor por defecto el valor es 1 y se puede establecer en cualquier número entero de 1 a 10,000.
El panel Antenna Properties contiene 12 parámetros de entrada relacionados con el TX y matrices de antenas RX, como se enumeran y explican a continuación:		
1	Tipo de matriz TX	Parámetro seleccionable que denota la matriz de antena tipo TX. La configuración predeterminada es ULA (matriz lineal uniforme) y puede ser cambiado a URA (matriz rectangular uniforme).
2	Tipo de matriz RX	Parámetro seleccionable que denota la matriz de antenas tipo RX. La configuración predeterminada es ULA, y se puede cambiar a URA.
3	Número de elementos de la antena TX N_t	Parámetro editable que denota la cantidad total de elementos de antena TX en la matriz. El valor por defecto es 1 y se puede establecer en cualquier entero de 1 a 128.
4	Número de elementos de antena RX N_r	Parámetro editable que denota la cantidad total de elementos de antena RX en la matriz. El valor por defecto el valor es 1 y se puede establecer en cualquier número entero de 1 a 64.
5	Espaciado de la antena TX (en longitud de onda)	Parámetro editable que denota el espaciado entre antenas TX adyacentes en la matriz en términos

		de la longitud de onda del portador. El valor predeterminado es 0.5 y se puede establecer en cualquier número positivo con hasta un decimal de 0.1 a 100.
6	Separación de la antena RX (en longitud de onda)	Parámetro editable que denota el espaciado entre antenas RX adyacentes en la matriz en términos de la longitud de onda del portador. El valor predeterminado es 0.5 y se puede establecer en cualquier número positivo con hasta un decimal de 0.1 a 100.
7	Número de elementos de la antena TX por fila W_t	Parámetro editable que denota el número de antenas TX en una dimensión cuando el TX Array Type es ULA o URA, que debe dividir el número de TX elementos de antena. El valor predeterminado es 1.
8	Número de elementos de antena RX por fila W_r	Parámetro editable que denota el número de antenas RX en una dimensión cuando el RX Array Type es ULA o URA, que debe dividir el número de RX elementos de antena. El valor predeterminado es 1.
9	Antena TX Azimuth HPBW (grados)	Parámetro editable que denota el acimut half-power-ancho de haz (HPBW) de la antena TX (conjunto) en grados. El valor predeterminado es 10 y se puede establecer en cualquier valor desde 7 a 360 ° (desde el acimut HPBW más pequeño de las antenas utilizado en las mediciones para el simulador fue de 7).
10	Altura de la antena TX HPBW (grados)	Parámetro editable que denota la elevación HPBW de la antena TX (array) en grados. El valor predeterminado es 10 y se puede establecer en cualquier valor desde 7 a 45 (ya que la elevación más pequeña HPBW de las antenas utilizadas en las mediciones para el simulador era 7)
11	Antena RX Azimuth HPBW (grados)	un parámetro editable que denota el acimut HPBW de la antena RX (array) en grados. El valor predeterminado es 10 y se puede establecer en cualquier valor desde 7 a 360 °
12	Elevación de antena RX HPBW (grados)	Parámetro editable que denota la elevación HPBW de la antena RX (array) en grados. El valor predeterminado es 10 y se puede establecer en cualquier valor desde 7 a 45 th.

Realizado por: Marcelo Yanza

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Diseño de la investigación

La investigación fue cuasi-experimental ya que se manipulo las variables independientes objetos de este estudio y así llegar a los objetivos específicos propuestos en la investigación.

3.2 Métodos de investigación

Método Científico: se refiere a la serie de etapas que hay que recorrer para obtener un conocimiento válido desde el punto de vista científico, utilizando para esto instrumentos que resulten fiables. Lo que hace este método es minimizar la influencia de la subjetividad del científico en su trabajo.

Método Deductivo: para la comprensión de conceptos, principios, definiciones, leyes y normas generales que rodean el estándar de telefonía celular de quinta generación, para demostrarlos en el caso particular de esta investigación.

Método Inductivo: ayudo a que, mediante el estudio de casos, hechos o fenómenos relativos a la telefonía celular de quinta generación podamos llegar a la formulación de principios o leyes para la aplicación de esta tecnología en el país.

3.3 Enfoque

Esta investigación tuvo un enfoque deductivo ya que mediante un análisis de las pruebas, observación y análisis de las simulaciones acerca de la propagación de ondas milimétricas para el 5G.

3.4 Alcance

El alcance de la presente investigación es correlacional ya que se evaluó y midió las variables para así probar las hipótesis propuestas.

3.5 Población de estudio

La población objeto de estudio ascendió a 20 unidades de observación dividido en los siguientes estratos Arcotel (1), Operadoras de telefonía celular en Ecuador (3), Usuarios 16 lo manifestado se puede evidenciar en el siguiente cuadro estadístico.

Tabla 1-3: Población de estudio

Estratos	Frecuencia	Porcentaje (%)
Autoridad Arcotel	1	4,17
Técnicos de las Operadoras Celulares en Ecuador	3	12,5
Empleados	16	83,33
Total	20	100

Realizado por: Marcelo Yanza

Unidad de análisis: Modelo de propagación de ondas milimétricas para las redes celulares de quinta generación

Muestra: Como la población fue reducida se trabajó con todo el universo, es decir no se aplicó muestra alguna.

Tamaño de la muestra: Es toda la población

Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

Para el trabajo investigativo, se recurrió a las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **Encuesta:** Es la técnica de medir y recoger información a través de encuestas a varias personas, ya que fue conveniente aplicar la encuesta a autoridades de Arcotel (1), Técnicos de las operadoras celulares del Ecuador (3) y a los empleados (16).
- **Entrevista:** Intercambio de ideas, opiniones mediante una conversación que se da entre una, dos o más personas, especialista en un tema común.

Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

Cuestionarios: Preguntas cerradas y de selección múltiple dirigida a usuarios de la telefonía celular en Ecuador como Claro, Movistar y CNT, aproximadamente 10 ítems.

Instrumentos para procesar datos recolectados

- Recopilación de la información
- Tabulación de datos
- Construcción de gráficos
- Análisis e interpretación de resultados.

3.6 Procesamiento, análisis e interpretación de la información

Pregunta 1. ¿Conoce usted en qué consisten los modelos de propagación de ondas milimétricas en las comunicaciones móviles?

Tabla 2-3: Resultados de la Pregunta 1

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	16	80 %
NO	4	20 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

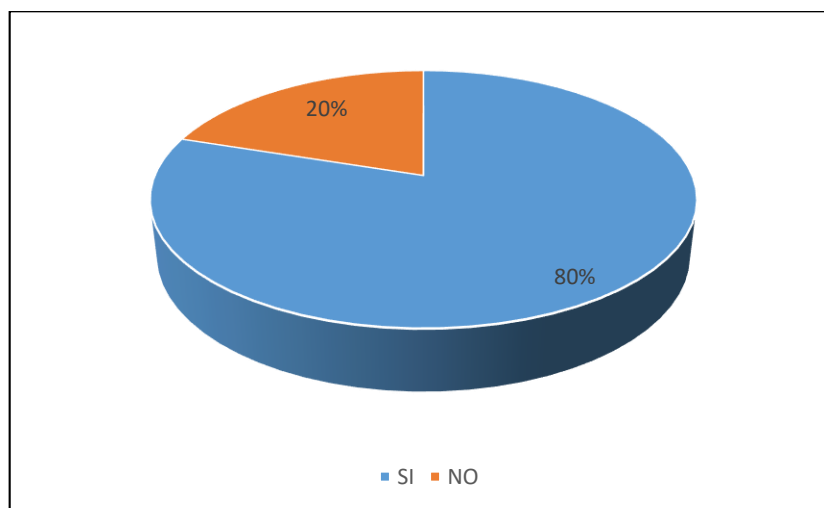


Gráfico 1-3: Pregunta 1

Fuente: Tabla 2-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: Existe un alto porcentaje de expertos que poseen conocimientos en materia de modelos de propagación de ondas milimétricas en las comunicaciones móviles, lo que hace posible determinar los criterios técnicos que se requieren para diseñar un modelo de propagación de ondas milimétricas ideal y que esté disponible para su implantación. Además, que el desconocimiento puede darse por que la tecnología móvil está siendo explotada desde hace pocas décadas en el Ecuador.

Interpretación: Se evidencia que el 80% de los encuestados conocen en qué consisten los modelos de propagación de ondas milimétricas en las comunicaciones móviles y el 20% de los encuestados no conocen en que consiste.

Pregunta 2. ¿La tecnología 5G, conectividad móvil de última generación tiene entre sus retos desarrollar modelos que incrementen la tasa de transferencia de datos máxima de 10Gbps, tasa de datos en el borde de las radiobases de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo de 1ms?

Tabla 3-3: Resultados de la Pregunta 2

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	18	90 %
NO	2	10 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

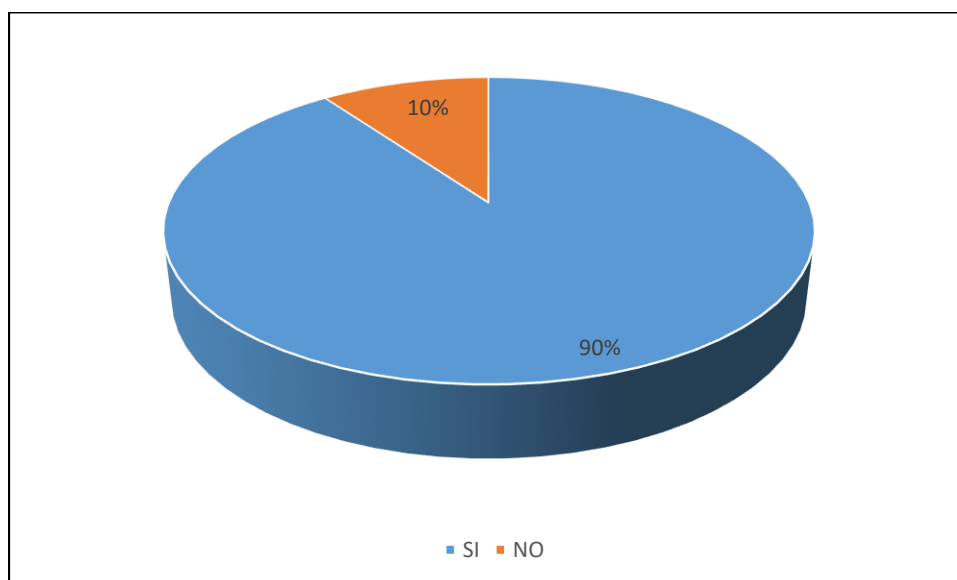


Gráfico 2-3: Pregunta 2

Fuente: Tabla 3.3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: Los retos de la tecnología 5G es desarrollar modelos que incrementen la tasa de transferencia de datos, tasa de datos en el borde de las radiobases y reducir la latencia de extremo a extremo, en sus niveles máximos y mínimos posibles.

Interpretación: Se evidencia que el 90% de encuestados están de acuerdo con la afirmación acerca de que: La tecnología 5G, conectividad móvil de última generación tiene entre sus retos desarrollar modelos que incrementen la tasa de transferencia de datos máxima de 10Gbps, tasa de datos en el borde de las radiobases de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo en 1 ms; frente al 10% que no está de acuerdo.

Pregunta 3. ¿Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será:

Tabla 4-3: Resultados de la Pregunta 3

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	15	75 %
Buena	5	25 %
Mala	0	0%
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

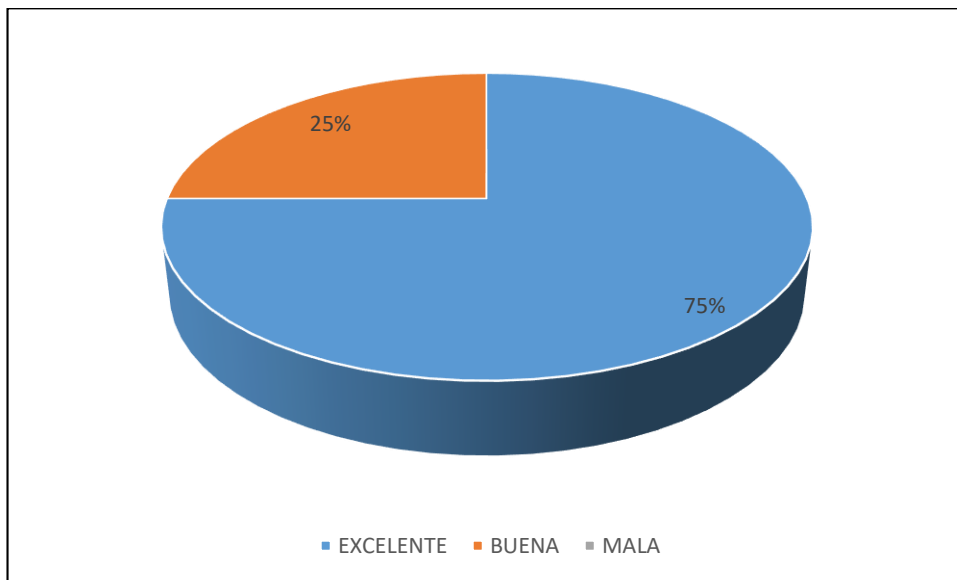


Gráfico 3-3: Pregunta 3

Fuente: Tabla 4-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: El estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación es clave para proponer un nuevo modelo con excelentes niveles de señal, considerando todos los parámetros técnicos y físicos que determinan el mejor modelo de propagación. Por lo tanto, 5G será considerado una tecnología de masiva aceptación por los usuarios y todo depende del modelo que se proponga para su construcción.

Interpretación: Se evidencia que el 75% de encuestados si considera que un estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirá proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será excelente; frente al 25% de encuestados que considera que el nivel de la señal buena. Ningún encuestado considera que el nivel de la señal sea Malo.

Pregunta 4. ¿La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea:

Tabla 5-3: Resultados de la Pregunta 4

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Excelente	1	5 %
Buena	3	15 %
Mala	16	80%
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

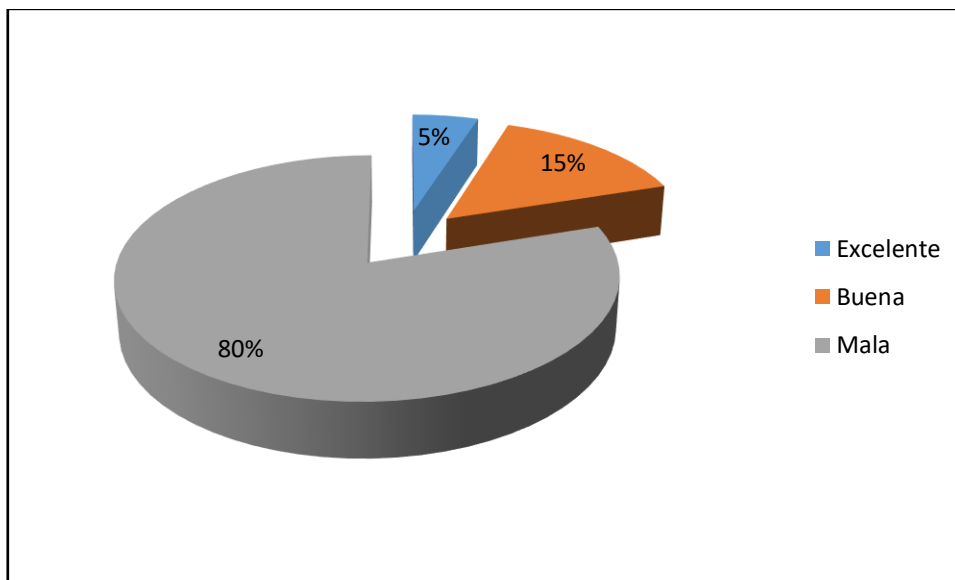


Gráfico 4-3: Pregunta 4

Fuente: Tabla 5-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: El ancho de banda ideal para obtener altas tasas de transferencia de datos en una red celular de quinta generación debería estar considerado en un nivel excelente mayor o igual a los 300MHz, Un parámetro importante al momento de definir un modelo ideal para 5G es el ancho de banda, ya que este garantizará que el éxito para acceder a los datos esté garantizado en todo momento y lugar.

Interpretación: Se evidencia que el 80% de encuestados afirman que la posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda que se utiliza es bajo, frente al 15% que afirma que obtener bajas tasas de transferencias es debido al uso de un ancho de banda aceptable y tan solo el 5% considera que con un ancho de banda excelente es posible obtener bajas tasas de transferencias.

Pregunta 5. ¿En qué nivel influye el análisis de la propagación de ondas milimétricas para determinar la calidad de la señal en una red celular de quinta generación:

Tabla 6-3: Resultados de la Pregunta 5

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Alto	14	70 %
Medio	6	30 %
Bajo	0	0 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

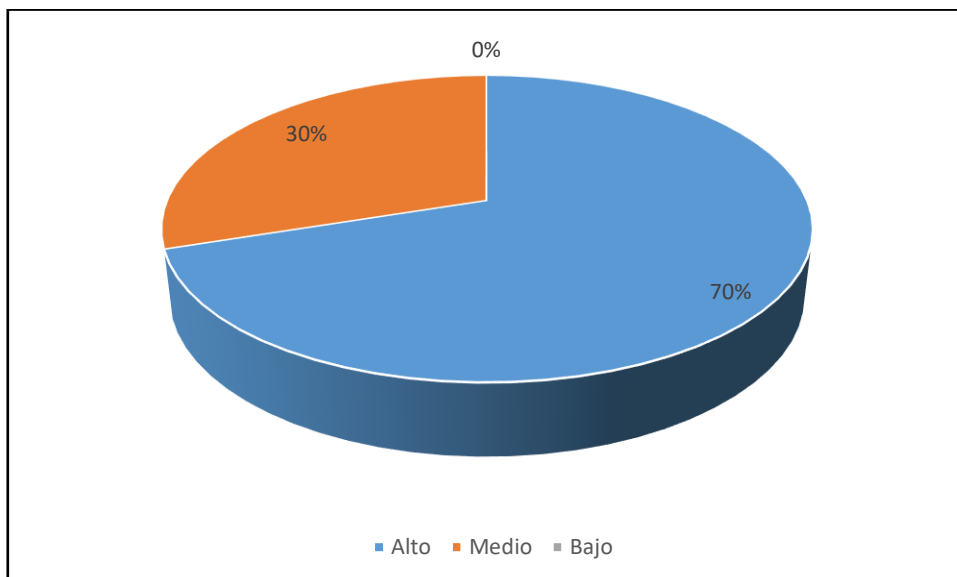


Gráfico 5-3: Pregunta 5

Fuente: Tabla 6-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: El análisis de la propagación de ondas milimétricas influye altamente en la determinación de la calidad de la señal en una red celular de quinta generación. El modelo ideal será dependiente de todos los parámetros que requieran identificar sus valores óptimos de aceptación.

Interpretación: Se evidencia que para el 70% de los encuestados el análisis de la propagación de ondas milimétricas si influye en la determinación de la calidad de la señal en las redes de quinta generación; frente al 30% de encuestados que asegura que no influye. Con el 0% no hay frecuencia de aceptación.

Pregunta 6. ¿La calidad de la señal está garantizada por el análisis de la propagación de ondas milimétricas en una red celular de quinta generación?

Tabla 7-3: Resultados de la Pregunta 6

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Si	13	65 %
Medianamente	6	30 %
No	1	5 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

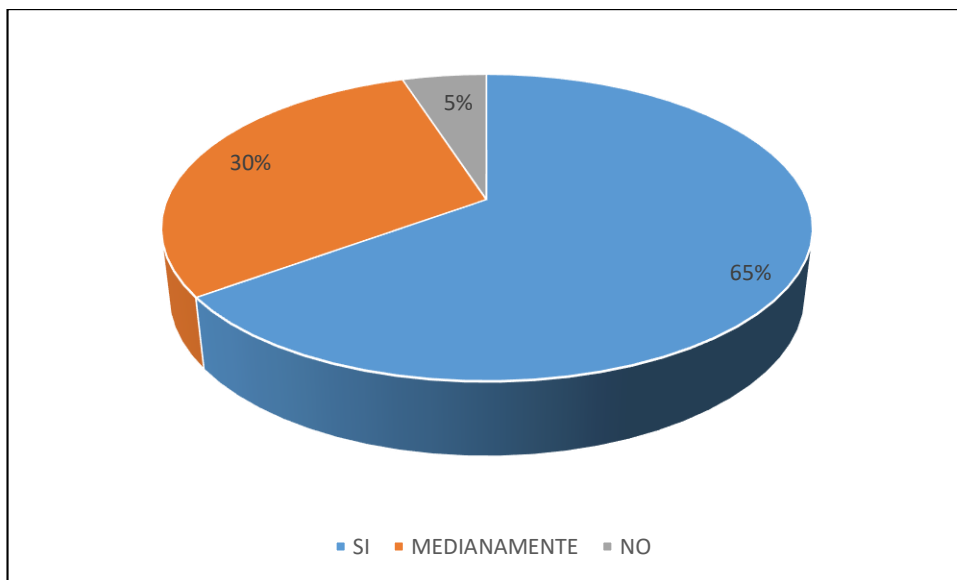


Gráfico 6-3: Pregunta 6

Fuente: Tabla 7-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: La calidad de la señal en una red celular de quinta generación si está garantizada por el análisis de la propagación de ondas milimétricas, ya que se toma en cuenta factores como valores de frecuencia, transmisión de la señal, recepción de la señal, entorno de propagación, distancias, tiempo, consistencia espacial, velocidad alcanzada.

Interpretación: Para el 65% de encuestados la calidad de la señal si está garantizada por el análisis de la propagación de ondas milimétricas en una red celular de quinta generación, frente al 30% de encuestados que están medianamente de acuerdo y para el 5% de encuestados la calidad de la señal no está garantizado por el análisis de la propagación de ondas milimétricas en redes celulares de quinta generación.

Pregunta 7. ¿Bajo qué criterios técnicos, la calidad de la comunicación al utilizar la propagación de ondas milimétricas es:

Tabla 8-3: Resultados de la Pregunta 7

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Alta	13	65 %
Media	7	35 %
Baja	0	0 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

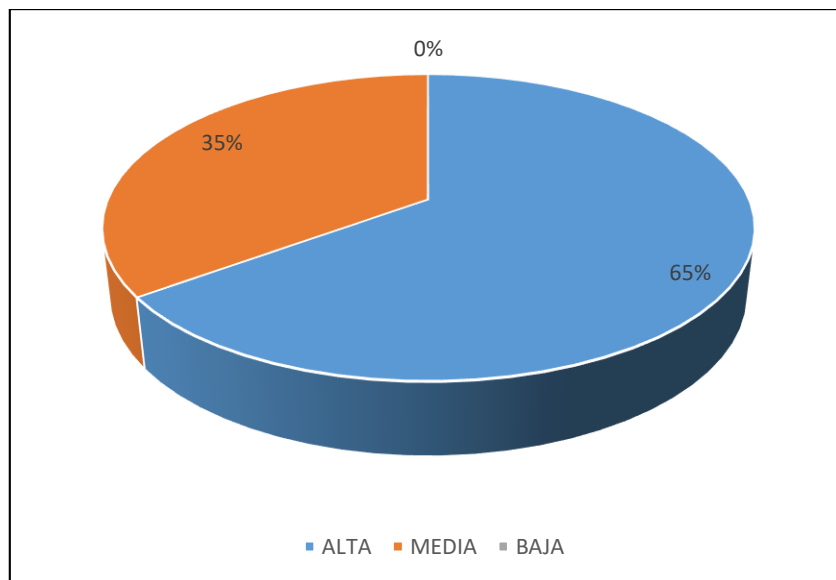


Gráfico 7-3: Pregunta 7

Fuente: Tabla 8-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Alta: Frecuencia, Ancho de banda, Distancia.

Media: Consistencia espacial, Frecuencia, Ancho de banda.

Baja: Distancia, Ancho de Banda, Tiempo.

Análisis: A menor distancia entre la estación base y móvil, medio indoor (), outdoor (), la calidad de la señal es alta, explotaran frecuencias superiores a los 10 GHz, logrando satisfacer las necesidades del usuario final y del tráfico que se genera en la red.

Interpretación: Para el 65% de los encuestados los criterios de calidad que definen una calidad de señal alta es Frecuencia, Ancho de banda, Distancia. Para el 35% de los encuestados los criterios de calidad que definen una calidad de señal media es Consistencia espacial, Frecuencia, Ancho de banda.

Pregunta 8. ¿Para alcanzar altas tasas de transferencia de datos es necesario que las técnicas de acceso al medio sean más eficientes:

Tabla 9-3: Resultados de la Pregunta 8

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
SI	20	100 %
NO	0	0 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

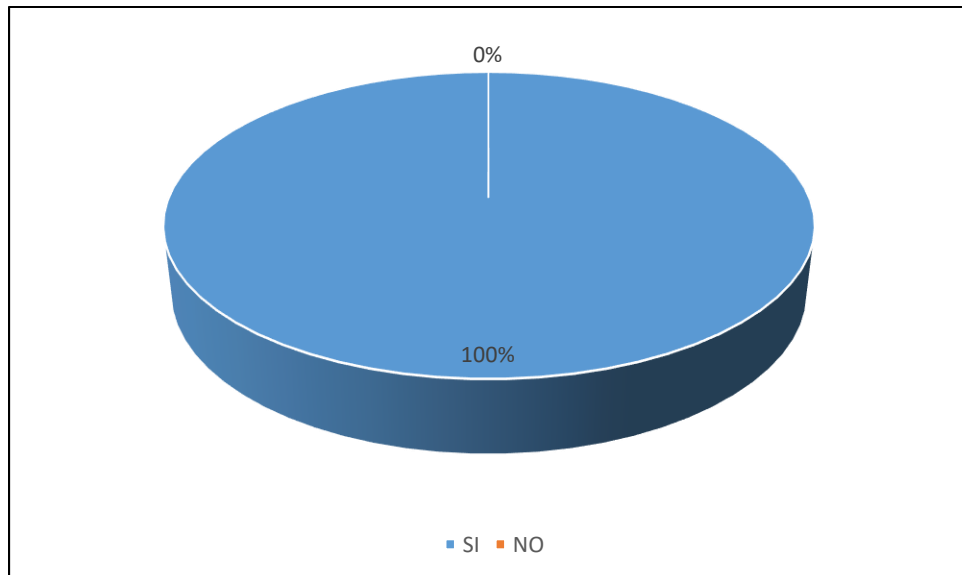


Gráfico 8-3: Pregunta 8

Fuente: Tabla 9-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: Para alcanzar altas tasas de transferencia de datos es necesario que las técnicas de acceso al medio sean completamente eficientes. Es decir, técnicas de acceso múltiples que permitan obtener mayores velocidades agregadas entre los usuarios además de repartirlas de manera más justa que las tecnologías anteriores 4G y 3G.

Interpretación: Se evidencia que el 100% de encuestados están de acuerdo con que, para alcanzar altas tasas de transferencia de datos es necesario que las técnicas de acceso al medio sean más eficientes.

Pregunta 9. ¿El diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G, involucra aspectos como:

Tabla 10-3: Resultados de la Pregunta 9

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Arquitectura	1	5%
Red de acceso	9	45%
Red de transporte	2	10%
Todas las anteriores	8	40%
Ninguna	0	0%
Otros	0	0%
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

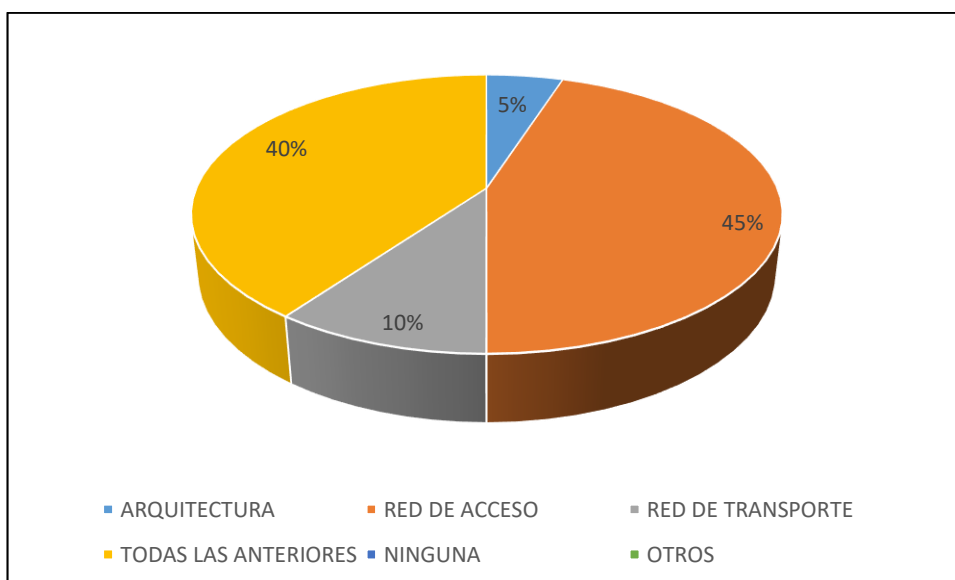


Gráfico 9-3: Pregunta 9

Fuente: Tabla 10-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: El diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G, involucra las redes de acceso disponibles, red de transporte de datos y la arquitectura.

Interpretación: El 45% de encuestados afirma que el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G involucra aspectos de red de acceso; el 40% de encuestados afirma que el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G involucra aspectos de red de acceso, red de transporte y la arquitectura; el 10% de encuestados afirma que el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G involucra

aspectos como la red de transporte; y el 5% de encuestado afirma que se involucra solo la arquitectura.

Pregunta 10. ¿El diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación definirá que la conectividad móvil de última generación tenga un nivel de permanencia y aceptación:

Tabla 11-3: Resultados de la Pregunta 10

Manifestaciones	Frecuencia	Porcentaje
Alto	18	90 %
Medio	2	10 %
Bajo	0	0 %
Total	20	100%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

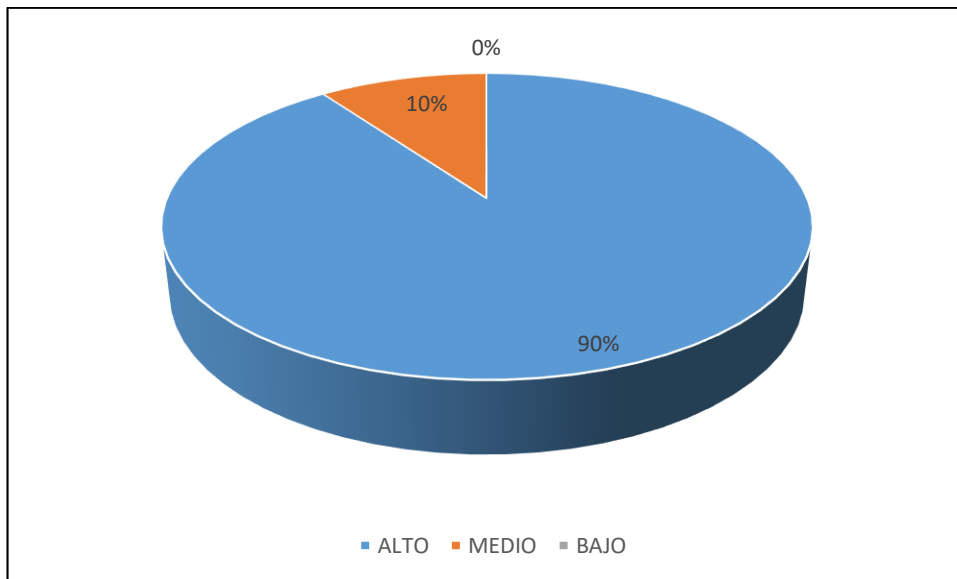


Gráfico 10-3: Pregunta 10

Fuente: Tabla 11-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: El nivel de permanencia y aceptación de la conectividad móvil de última generación estará garantizada por el excelente diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de 5G. Por lo que 5G es una tecnología que se define como el Internet de las cosas.

Interpretación: Para el 90% de encuestados el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación definirá que la conectividad móvil de última generación tenga un nivel de permanencia y aceptación alto; frente al 10% de encuestados que afirman que el diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares

de quinta generación definirá que la conectividad móvil de última generación tenga un nivel de permanencia y aceptación medio.

3.6.1 Resumen general de la encuesta por opciones de preguntas

Tabla 12-3: Resumen general opciones SI y NO

N° Pregunta	Manifestaciones	
	SI	NO
1	80%	20%
2	90%	10%
8	100%	0%
Promedio	90%	10%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

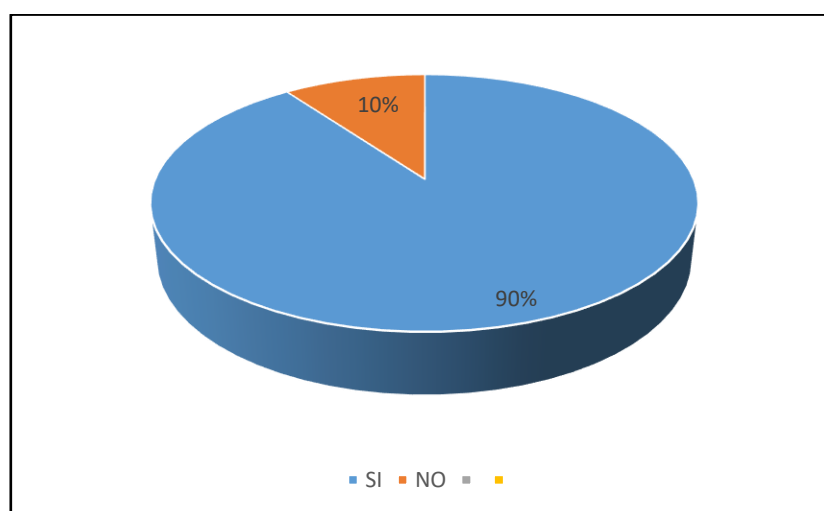


Gráfico 11-3: Resumen general opciones SI y NO

Fuente: Tabla 12-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Conclusión: Con un alto porcentaje de información se afirma que los encuestados poseen conocimientos en materia de modelos de propagación de ondas milimétricas en las comunicaciones móviles, lo que hace posible determinar los criterios técnicos que se requieren para diseñar un modelo de propagación de ondas milimétricas ideal y que esté disponible para su implantación. Los retos de la tecnología 5G es desarrollar modelos que incrementen la tasa de transferencia de datos, tasa de datos en el borde de las radiobases y reducir la latencia de extremo a extremo, en sus niveles máximos y mínimos posibles. Para alcanzar altas tasas de transferencia de datos, los encuestados coinciden que: es necesario que las técnicas de acceso al medio sean completamente eficientes, es decir, técnicas de acceso múltiples que permitan obtener mayores velocidades agregadas entre los usuarios además de repartirlas de manera más justa que las tecnologías anteriores 4G y 3G.

Tabla 13-3: Resumen general opciones Excelente, Buena y Mala

N° Pregunta	Manifestaciones		
	Excelente	Buena	Mala
3	75%	25%	0%
4	5%	15%	80%
Promedio	40%	20%	40%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

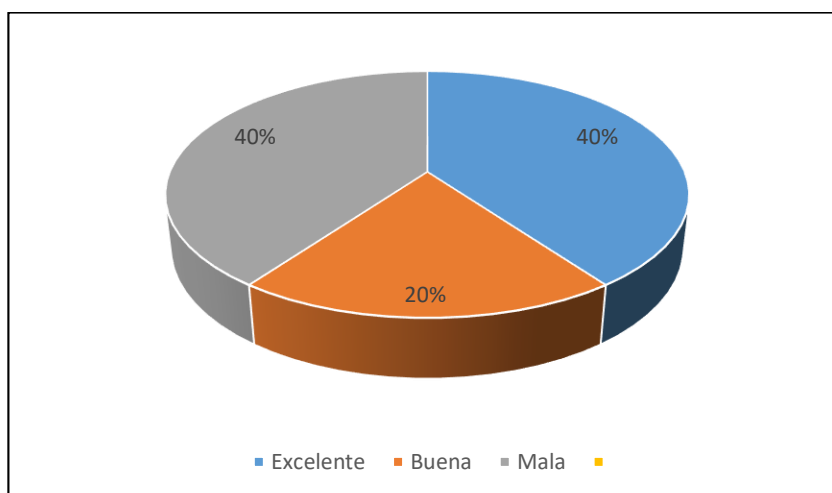


Gráfico 12-3: Resumen general opciones SI, Medianamente y No

Fuente: Tabla: 13-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Conclusión: El estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación es clave para proponer un nuevo modelo con excelentes niveles de señal, considerando todos los parámetros técnicos y físicos que determinan el mejor modelo de propagación; 5G será considerado una tecnología de masiva aceptación por los usuarios y todo depende del modelo que se proponga para su construcción, el ancho de banda ideal para obtener altas tasas de transferencia de datos en una red celular de quinta generación debe estar considerado en un nivel excelente mayor o igual a los 300MHz (no debe ser un valor bajo) ya que así se garantizará el éxito para acceder a los datos en todo momento y lugar.

Tabla 14-3: Resumen general opciones Alto, Medio y Bajo

N° Pregunta	Manifestaciones		
	Alto	Medio	Bajo
5	70%	30%	0%
7	65%	35%	0%
10	90%	10%	0%
Promedio	75%	25%	0%

Fuente: Encuesta

Realizado por: Marcelo Yanza

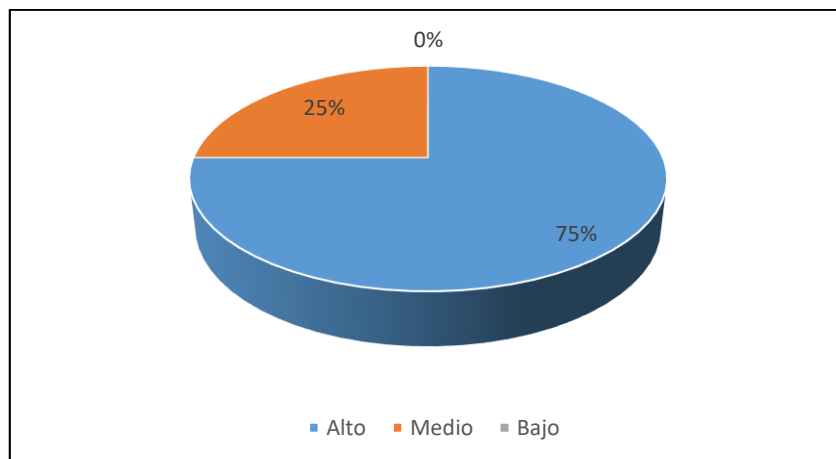


Gráfico 13-3: Resumen general opciones Alto, Medio y Bajo

Fuente: Tabla 14-3

Realizado por: Marcelo Yanza

Conclusión: Analizar la propagación de ondas milimétricas influye altamente en la determinación de la calidad de la señal en una red celular de quinta generación, un modelo ideal será dependiente de todos los parámetros que requieran identificar sus valores óptimos de aceptación, por indicar que: a menor distancia entre la estación base y móvil, medio indoor (), outdoor (), la calidad de la señal es alta, explotaran frecuencias superiores a los 10 GHz, logrando satisfacer las necesidades del usuario final y del tráfico que se genera en la red, así el nivel de permanencia y aceptación de la conectividad móvil de última generación estará garantizado por el excelente diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de 5G, así es una tecnología que se define ya como el Internet de las cosas.

3.7 Resumen general de entrevista

Los siguientes datos son obtenidos de la entrevista aplicada a los directivos y técnicos de las empresas de telefonía móvil del Ecuador, llegando a determinar la siguiente información: (VER TABLA 15-3

Tabla 15-3: Resumen general Entrevista

Nombre	Cargo	Pregunta	Respuesta
Ing. Santiago Noriega	Especialista en Telecomunicaciones (ARCOTEL)	1. ¿Cree Ud. que con un ancho de banda mayor a los actuales que se manejan en la tecnología 4G (LTE) se conseguirá mejores tasas de transferencia de datos?	El mejoramiento del ancho de banda servirá para alcanzar mayor velocidad de transmisión.
		2. ¿Considera Ud. que con las redes de quinta generación celular se	Se podrá alcanzar mayor capacidad de usuarios es lo que

		conseguirá mayores capacidades de usuarios conectados?	pretende esta nueva tecnología.
		3.¿Cómo describe la calidad de la señal entre la tecnología 4G y 5G?	La expectativa es que la 5G sea superior a la 4G (LTE) en velocidad de descarga de datos.
		4. ¿Por qué 5G es considerado el internet de las cosas?	Se habla de conectar dispositivos, sensores a la red del internet.
Ing. Guido Rosero	Jefe técnico O Y M Claro	1. ¿Cree Ud. que con un ancho de banda mayor a los actuales que se manejan en la tecnología 4G (LTE) se conseguirá mejores tasas de transferencia de datos?	Si se alcanzara mayores velocidades porque se tendrá una canalización mayor se puede tener más usuarios y mayores tasas de datos.
		2. ¿Considera Ud. que con las redes de quinta generación celular se conseguirá mayores capacidades de usuarios conectados?	Al tener un gran ancho de banda se tendrá mayor acceso de usuarios al canal.
		3.¿Cómo describe la calidad de la señal entre la tecnología 4G y 5G?	Al hablar de calidad, el usuario debe experimentar mejores tasas de descargas de datos
		4. ¿Por qué 5G es considerado el internet de las cosas?	La tecnología 5G será la vía para alcanzar el internet de las cosas
Ing. Aleix Olalla	Jefe técnico Área de calidad de Claro	1. ¿Cree Ud. que con un ancho de banda mayor a los actuales que se manejan en la tecnología 4G (LTE) se conseguirá mejores tasas de transferencia de datos?	Con un ancho de banda mayor se obtiene altas velocidades de datos
		2. ¿Considera Ud. que con las redes de quinta generación celular se conseguirá mayores capacidades de usuarios conectados?	Al tener un ancho de banda mayor a los actuales se puede conseguir más usuarios por km ²
		3.¿Cómo describe la calidad de la señal entre la tecnología 4G y 5G?	Se debería explotar bien la tecnología actual como para hacer el salto a la próxima generación
		4. ¿Por qué 5G es considerado el internet de las cosas?	Esta tecnología que están proponiendo IoT es para formar una gran red de

			dispositivos inteligentes conectados entre sí y que todo el tiempo se estén monitoreando y enviando datos a la red
Ing. Roberto Vallejo	Jefe técnico OYM Movistar	1. ¿Cree Ud. que con un ancho de banda mayor a los actuales que se manejan en la tecnología 4G (LTE) se conseguirá mejores tasas de transferencia de datos?	Si mejora la velocidad de transmisión de datos con un Ancho de banda mayor
		2. ¿Considera Ud. que con las redes de quinta generación celular se conseguirá mayores capacidades de usuarios conectados?	Si se conseguirá mayores conexiones porque se tendrá anchos de banda mayores porque se va utilizar la frecuencia de portadora en el orden de los GHz
		3. ¿Cómo describe la calidad de la señal entre la tecnología 4G y 5G?	La penetración en el mundo de utilización del celular requiere mayores tasas de datos
		4. ¿Por qué 5G es considerado el internet de las cosas?	Es llamado así porque según los objetivos del 5G es tener mayores tasas de datos y altas capacidades de usuarios y dispositivos inteligentes conectados

Fuente: Entrevista

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis de la información: Luego de los criterios y análisis obtenidos de la entrevista realizadas a los diferentes ingenieros en telecomunicaciones sobre la propuesta de modelos de propagación en ondas milimétricas se afirma que se necesita mayores anchos de bandas que se consigue utilizando portadoras en el orden de los GHz ya que este espectro de frecuencia no está saturado, con un ancho de banda mayor se alcanzara mayores tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps que pretende alcanzar la tecnología 5G que es la vía para el internet de las cosas.

3.8 Desarrollo de la simulación de la propagación en ondas milimétricas para la tecnología 5G con NYUSIM

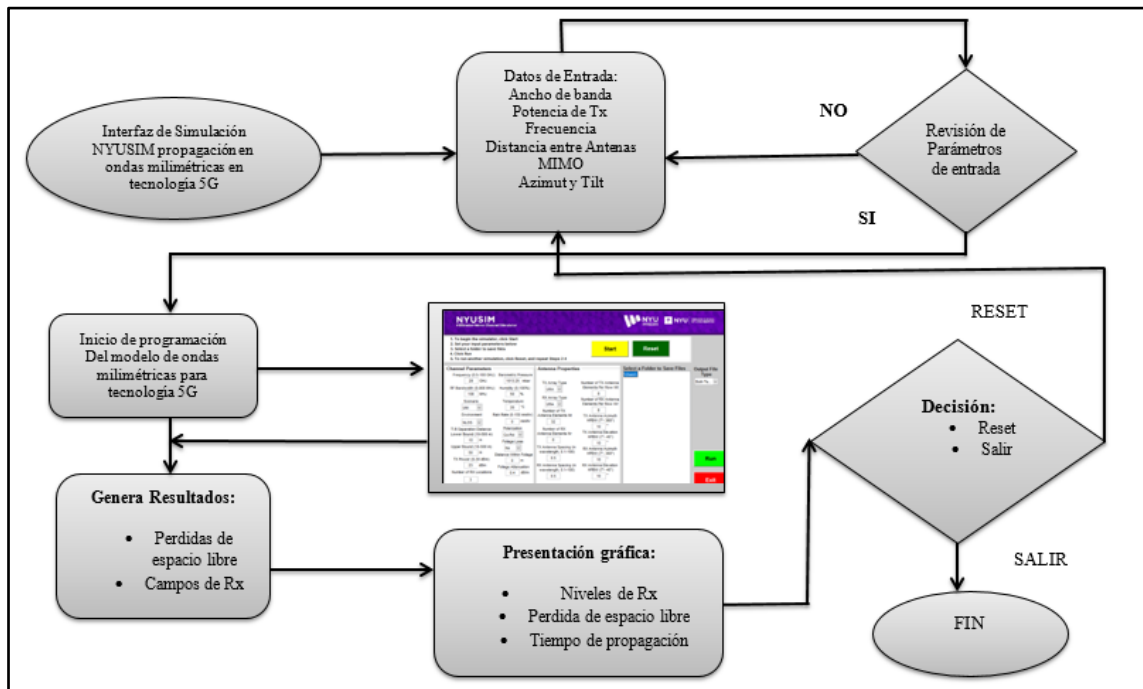


Figura 1-3: Diagrama de bloques del modelo NYUSIM

Realizado por: Marcelo Yanza

Introducción: NYUSIM, este simulador se basa en el cálculo estadístico del canal de transmisión, con un rango de frecuencias de portadoras en el orden de las microondas desde 6 GHz hasta 70 GHz con un ancho de banda de canalización que va de 5 MHz hasta los 800 MHz y sistemas de múltiples antenas MIMO.

Antecedentes: Este estudio se realizó las simulaciones mediante los siguientes parámetros para cumplir con los siguientes objetivos específicos de la tecnología 5G que son:

1. Cobertura amplia y robusta
2. Capacidad y altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps
3. Conexiones masivas de dispositivos conocidos como el internet de las cosas.

Procedimiento: Se realizan las simulaciones ingresando los siguientes datos:

Tabla 16-3: Resumen de simulaciones NYUSIM SISO

Frecuencia GHz	Ancho de banda (MHz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
35	500	1	1	30	24,6	9	50	103,2	-73,2	-85
35	500	1	1	30	24,6	9	100	109,1	-79,1	-85
35	500	1	1	30	24,6	9	200	111,9	-81,9	-85
35	500	1	1	30	24,6	9	500	119,3	-89,3	-85
50	500	1	1	30	24,6	9	50	106,4	-76,4	-85
50	500	1	1	30	24,6	9	100	110,6	-80,6	-85
50	500	1	1	30	24,6	9	200	110,9	-80,9	-85
50	500	1	1	30	24,6	9	500	116,8	-86,8	-85
69	500	1	1	30	24,6	9	50	95,9	-65,9	-85
69	500	1	1	30	24,6	9	100	111,5	-81,5	-85
69	500	1	1	30	24,6	9	200	114,6	-84,6	-85
69	500	1	1	30	24,6	9	500	124,5	-94,5	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 17-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 4 x 4

Frecuencia GHz	Ancho de banda (Mhz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
35	500	4	4	30	24,6	9	50	103,2	-73,2	-85
35	500	4	4	30	24,6	9	100	106,8	-76,8	-85
35	500	4	4	30	24,6	9	200	108,7	-78,7	-85
35	500	4	4	30	24,6	9	500	122,3	-92,3	-85
50	500	4	4	30	24,6	9	50	95,8	-65,8	-85
50	500	4	4	30	24,6	9	100	107,7	-77,7	-85
50	500	4	4	30	24,6	9	200	116,6	-86,6	-85
50	500	4	4	30	24,6	9	500	119,6	-89,6	-85
69	500	4	4	30	24,6	9	50	93,2	-63,2	-85
69	500	4	4	30	24,6	9	100	115,3	-85,3	-85
69	500	4	4	30	24,6	9	200	119,2	-89,2	-85
69	500	4	4	30	24,6	9	500	125,3	-95,3	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 18-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 8 x 8

Frecuencia GHz	Ancho de banda (Mhz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
35	500	8	8	30	24,6	9	50	96,7	-54,3	-85
35	500	8	8	30	24,6	9	100	101,8	-71,8	-85
35	500	8	8	30	24,6	9	200	107,9	-77,9	-85
35	500	8	8	30	24,6	9	500	117,9	-87,9	-85
50	500	8	8	30	24,6	9	50	100	-72,5	-85
50	500	8	8	30	24,6	9	100	105,7	-75,7	-85
50	500	8	8	30	24,6	9	200	109,3	-79,3	-85
50	500	8	8	30	24,6	9	500	125,6	-81,9	-85
69	500	8	8	30	24,6	9	50	107,2	-65,3	-85
69	500	8	8	30	24,6	9	100	111,3	-77,2	-85
69	500	8	8	30	24,6	9	200	120,3	-90,3	-85
69	500	8	8	30	24,6	9	500	123,7	-93,7	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 19-3: Cuadro de simulaciones NYUSIM MIMO 32 x 8

Frecuencia GHz	Ancho de banda (Mhz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
35	500	32	8	30	24,6	9	50	88,9	-58,9	-85
35	500	32	8	30	24,6	9	100	94,5	-64,5	-85
35	500	32	8	30	24,6	9	200	107,5	-77,5	-85
35	500	32	8	30	24,6	9	500	120,2	-90,2	-85
50	500	32	8	30	24,6	9	50	102,9	-72,9	-85
50	500	32	8	30	24,6	9	100	106,9	-76,9	-85
50	500	32	8	30	24,6	9	200	109,6	-79,6	-85
50	500	32	8	30	24,6	9	500	127	-83,6	-85
69	500	32	8	30	24,6	9	50	97,3	-67,3	-85
69	500	32	8	30	24,6	9	100	107,4	-77,4	-85
69	500	32	8	30	24,6	9	200	117,1	-80,1	-85
69	500	32	8	30	24,6	9	500	125,7	-95,7	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 20-3: Resumen de simulaciones del radio máximo de una celda

Entorno	Frecuencia GHz	Ancho de banda (Mhz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
LOS	35	500	1	1	30	24,6	9	200	111,9	-81,9	-85
LOS	35	500	4	4	30	24,6	9	200	108,7	-78,7	-85
LOS	35	500	8	8	30	24,6	9	200	107,9	-77,9	-85
LOS	35	500	32	8	30	24,6	9	200	107,5	-77,5	-85
LOS	50	500	1	1	30	24,6	9	200	110,9	-80,9	-85
LOS	50	500	4	4	30	24,6	9	200	116,6	-86,6	-85
LOS	50	500	8	8	30	24,6	9	200	109,3	-79,6	-85
LOS	50	500	32	8	30	24,6	9	200	109,6	-79,3	-85
LOS	69	500	1	1	30	24,6	9	200	114,6	-84,6	-85
LOS	69	500	4	4	30	24,6	9	200	119,2	-89,2	-85
LOS	69	500	8	8	30	24,6	9	200	120,3	-90,3	-85
LOS	69	500	32	8	30	24,6	9	200	117,1	-84,43	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

3.9 Desarrollo de simulación de la Velocidad de Transmisión para la tecnología 5G en Matlab

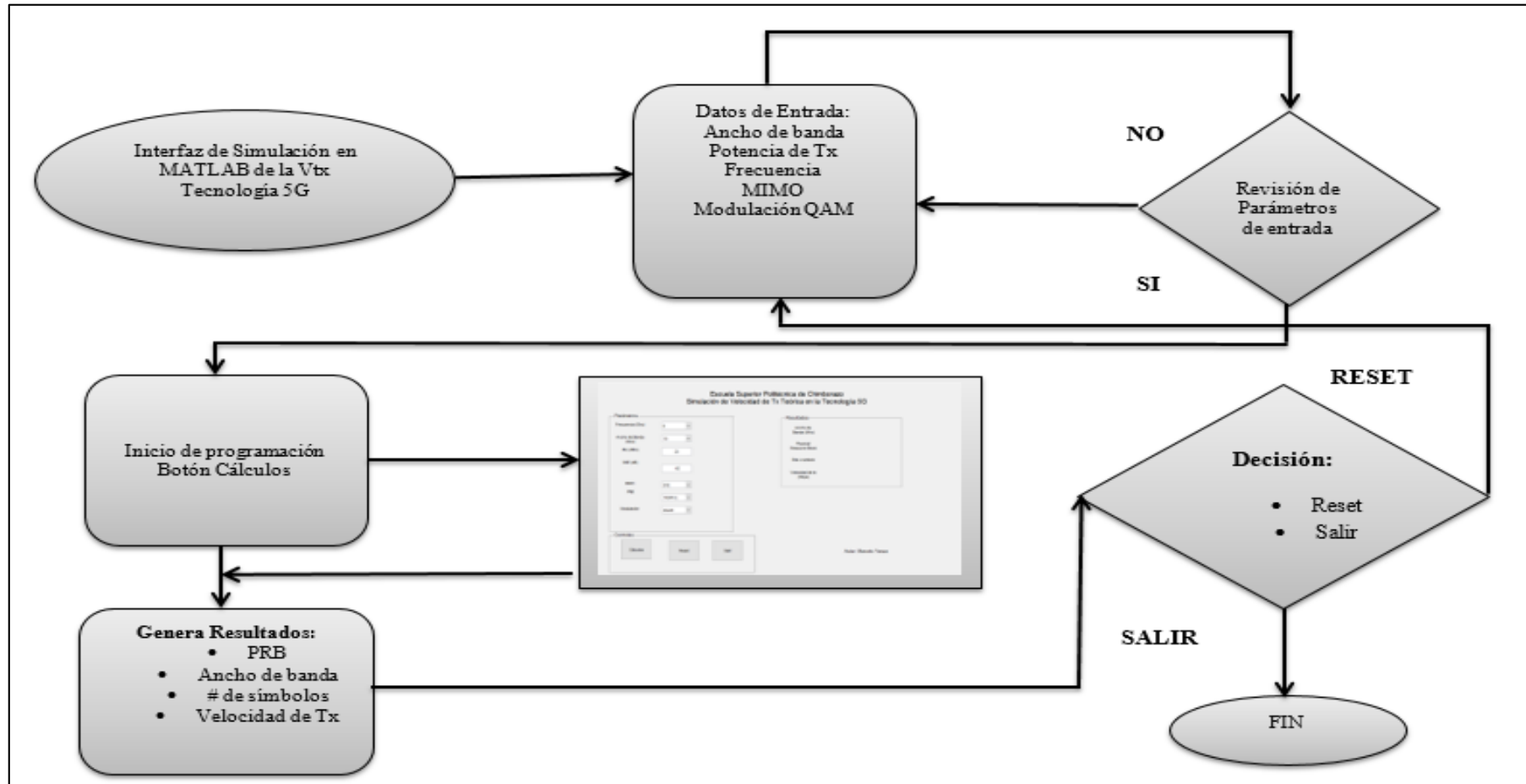


Figura 2-3: Diagrama de flujo - interfaz de simulación en MATLAB de Vtx - 5G

Realizado por: Marcelo Yanza

Introducción: Matlab es una herramienta matemática usada por ingenieros de diferentes áreas para realizar cálculos complejos, este software es especializado en sistemas de telecomunicaciones, el cual se escogió para el desarrollo de la simulación de la velocidad de transmisión para la tecnología 5G, mediante su herramienta grafica (GUIDE), esta interfaz es amigable para el ingreso y el procesamiento de datos.

Procedimiento: Se realizan las simulaciones ingresando los siguientes datos:

El Ancho de banda de canalización es de 100 MHz con una potencia de transmisión de 23 dBm, con una modulación digital de 64QAM con una trama OFDM y sistemas de múltiples antenas MIMO se obteniendo los siguientes datos:

$$\text{Fórmula: } V_{tx} = MIMO (PRB \times 12 \times 14 \times 6/1ms)$$

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Simulación de Velocidad de Tx Teórica en la Tecnología 5G

Parámetros

Frecuencia (Ghz) 6

Ancho de Banda (Mhz) 10

Ptx (dBm) 23

SNR (dB) 15

MIMO 2x2

PRB 10(MHz)

Modulación 4QAM

Resultados

Ancho de Banda (MHz)

Physical Resource Block

Bits x simbolo

Velocidad de tx (Gbps)

Controles

Cálculos Reset Salir

Autor: Marcelo Yanza

Figura 3-3: Interfaz Simulador en Matlab de la velocidad de Tx en la tecnología 5G.

Fuente: Simulación en Matlab

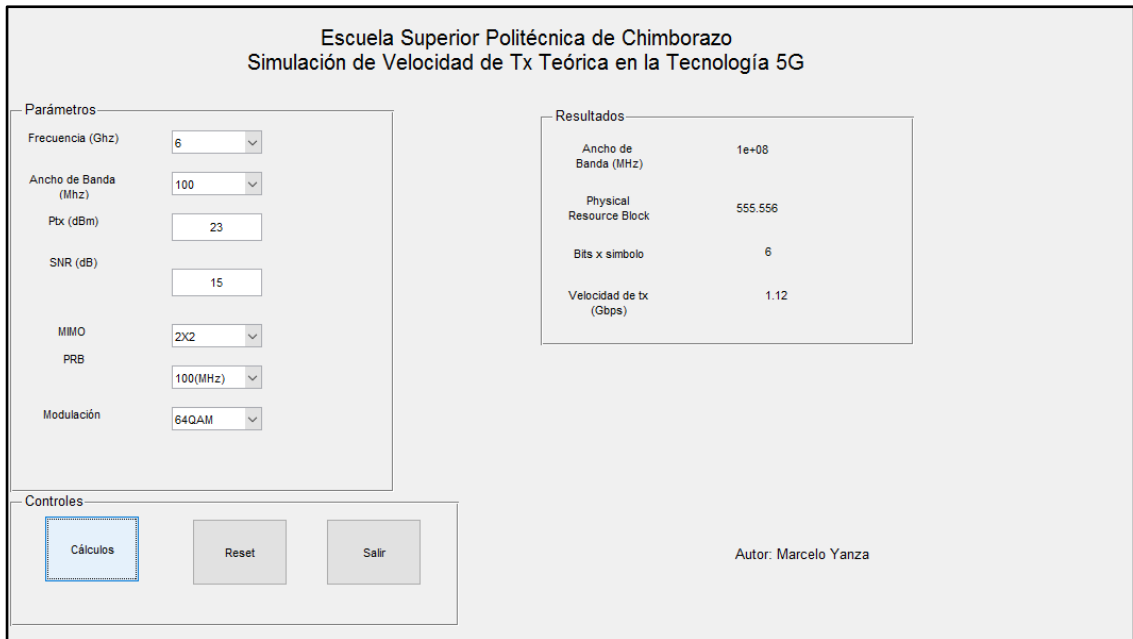


Figura 4-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 2X2.

Fuente: Simulación en Matlab

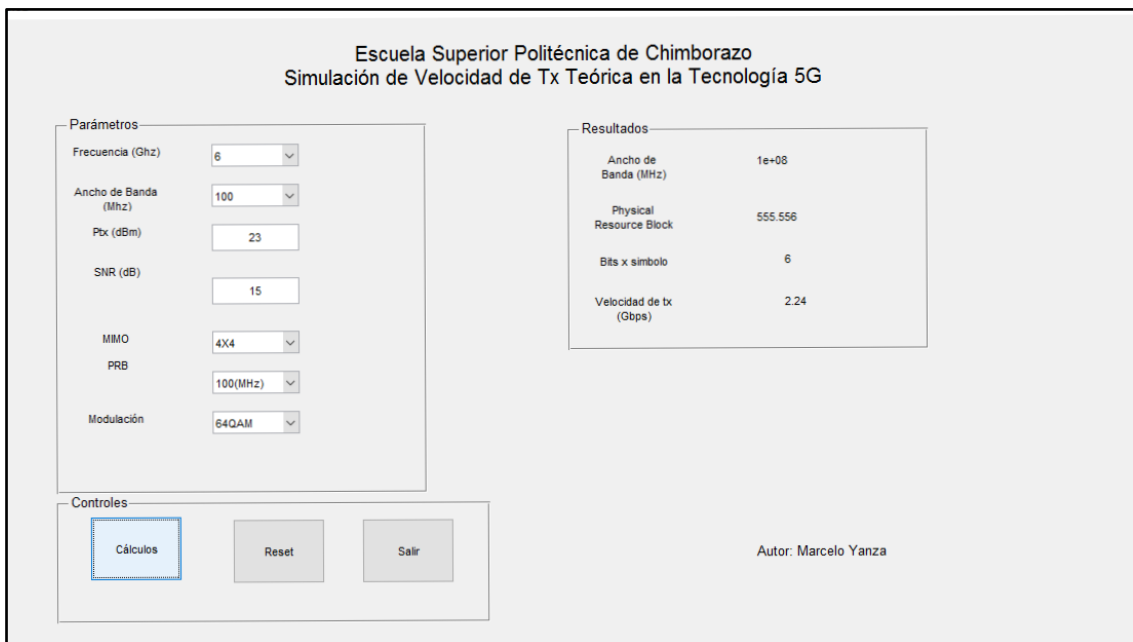


Figura 5-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 4X4.

Fuente: Simulación en Matlab

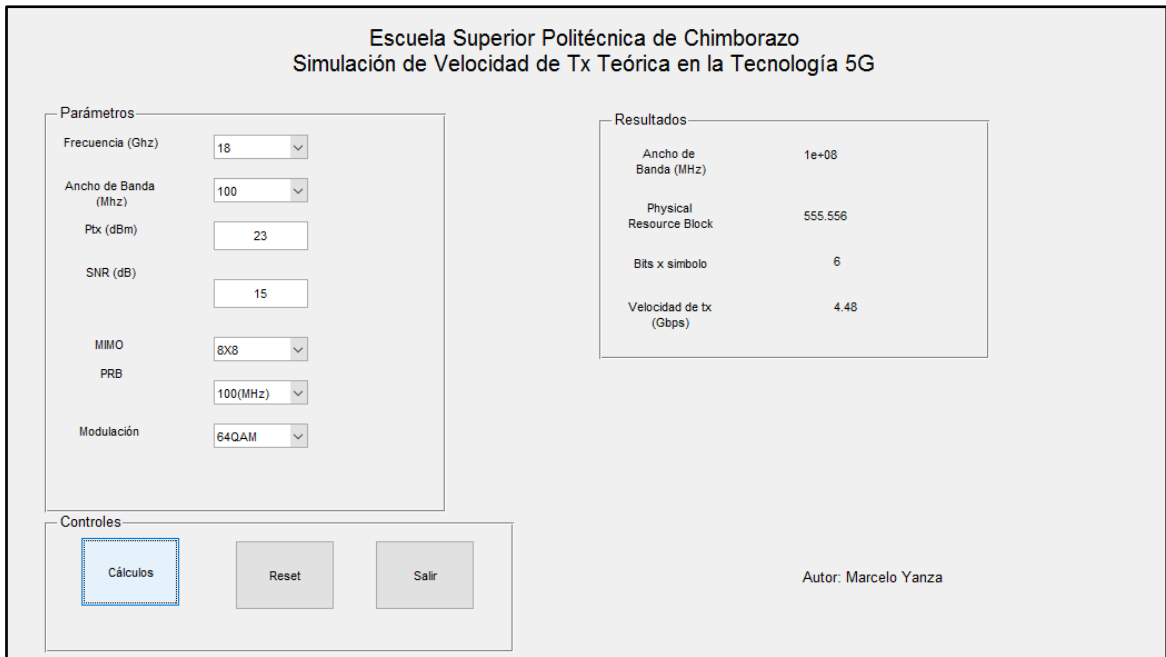


Figura 6-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 8X8.
Fuente: Simulación en Matlab

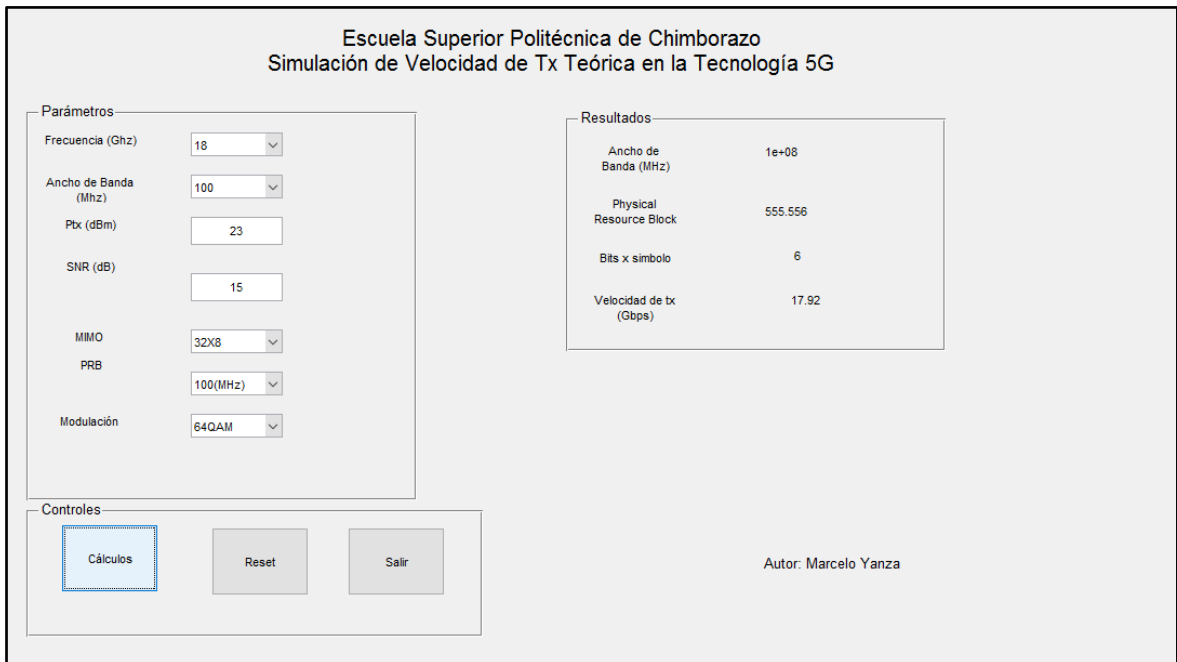
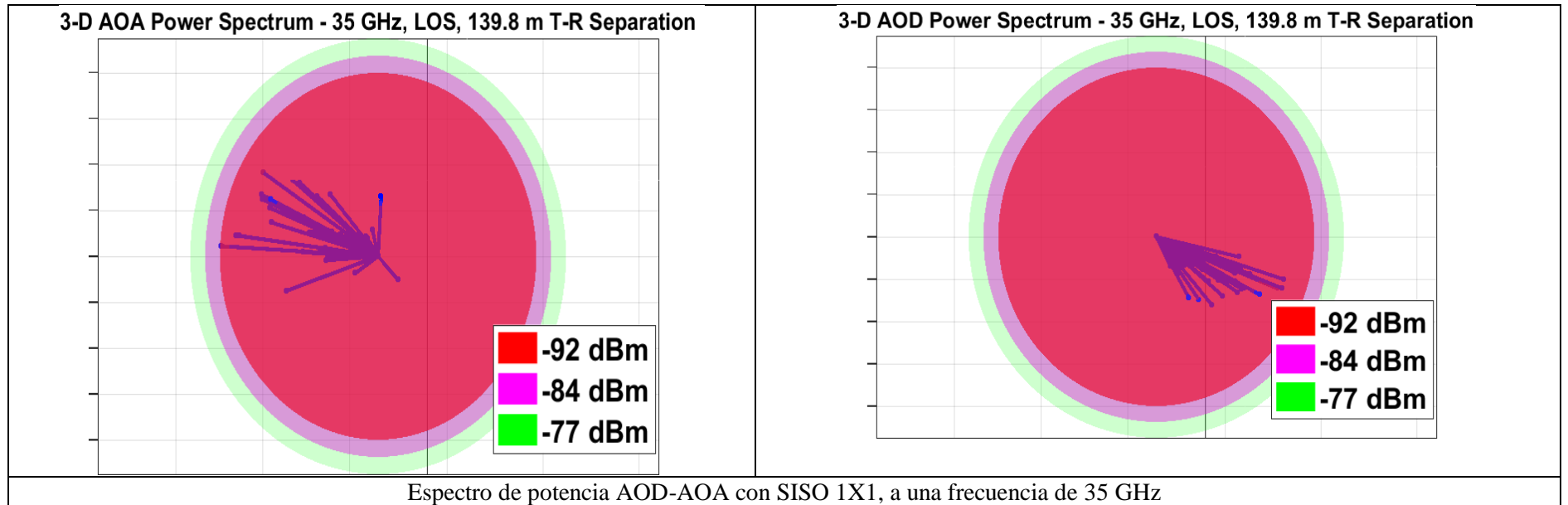


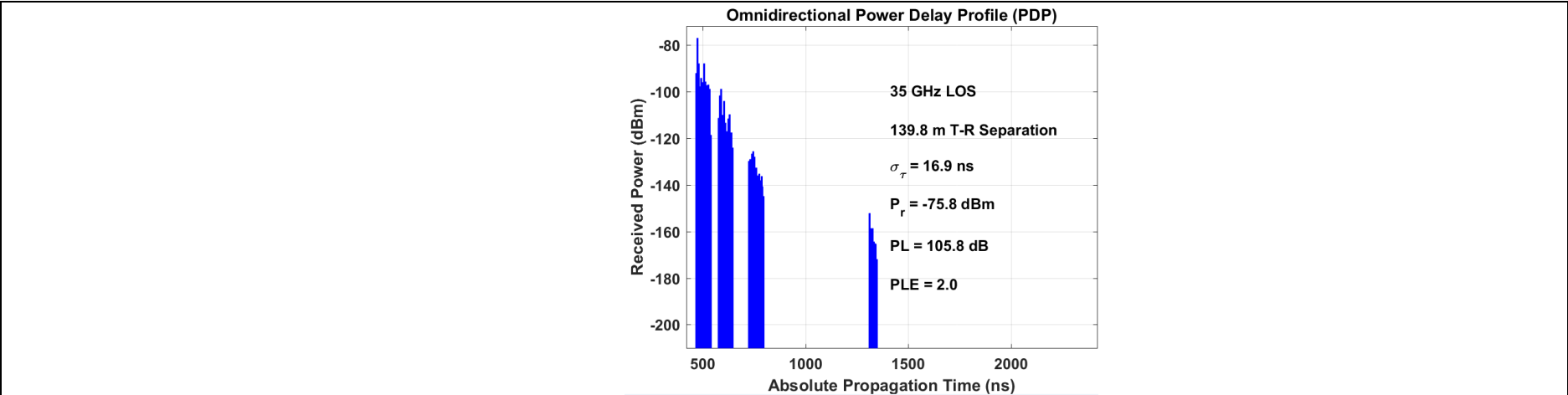
Figura 7-3: Interfaz de velocidad de Tx con modulación 64QAM y MIMO 32X8.
Fuente: Simulación en Matlab

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

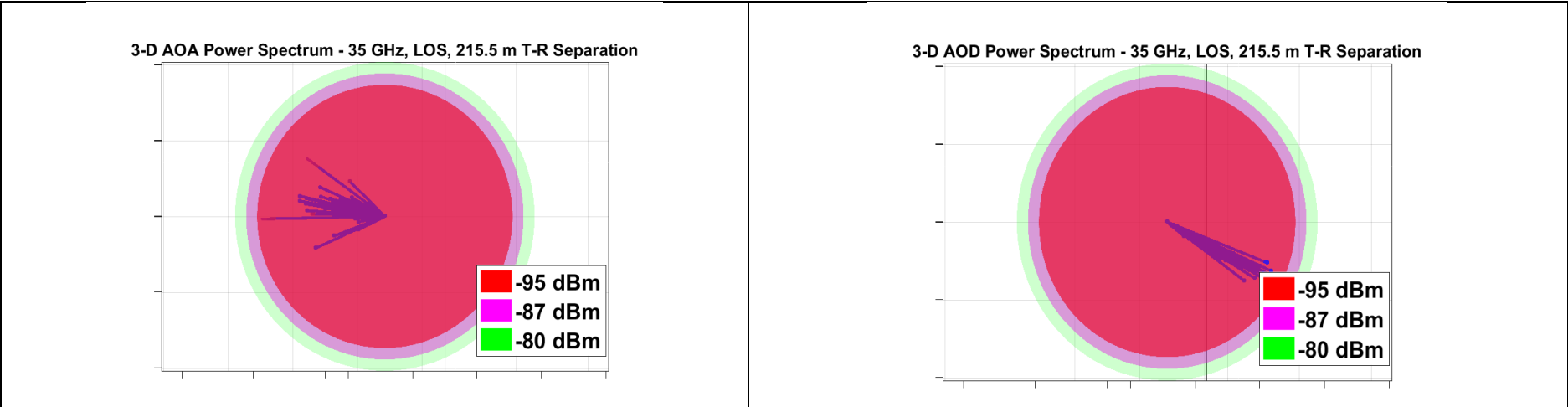
4.1 Simulaciones por frecuencias





Potencia de Rx a una frecuencia de 6 GHz con SISO 1X1

Gráfico 1-4: Simulaciones a una frecuencia de 35 GHz SISO 1X1.
Realizado por: Marcelo Yanza



Espectro de potencia AOD-AOA con MIMO 32X8, a una frecuencia de 35 GHZ

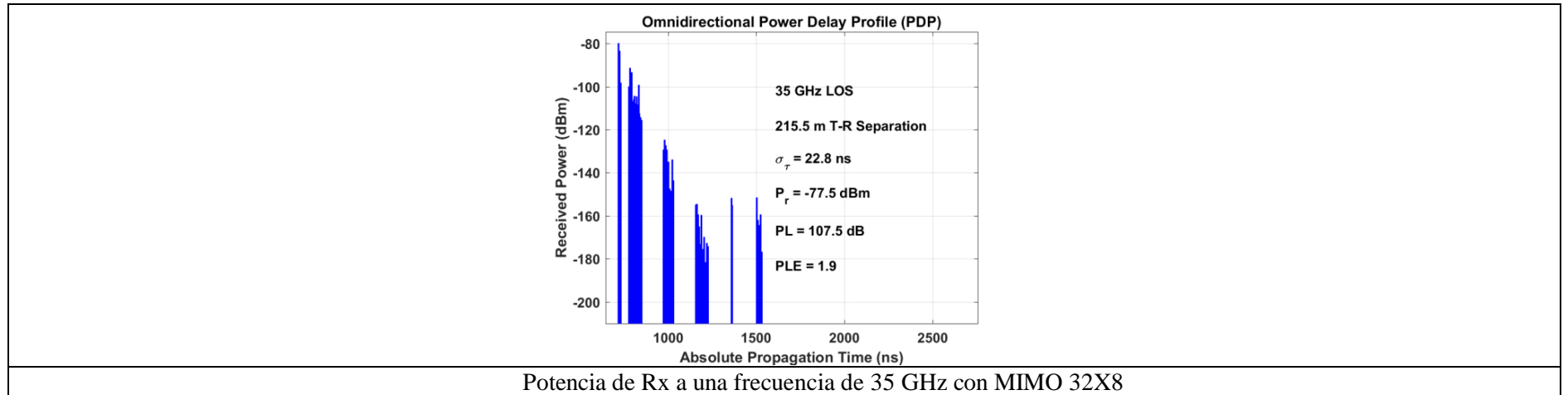


Gráfico 2-4: Simulaciones a una frecuencia de 35 GHz MIMO 32X8.

Realizado por: Marcelo Yanza

4.1.1 Interpretación y analisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 35 GHz

Se obtienen los siguientes datos:

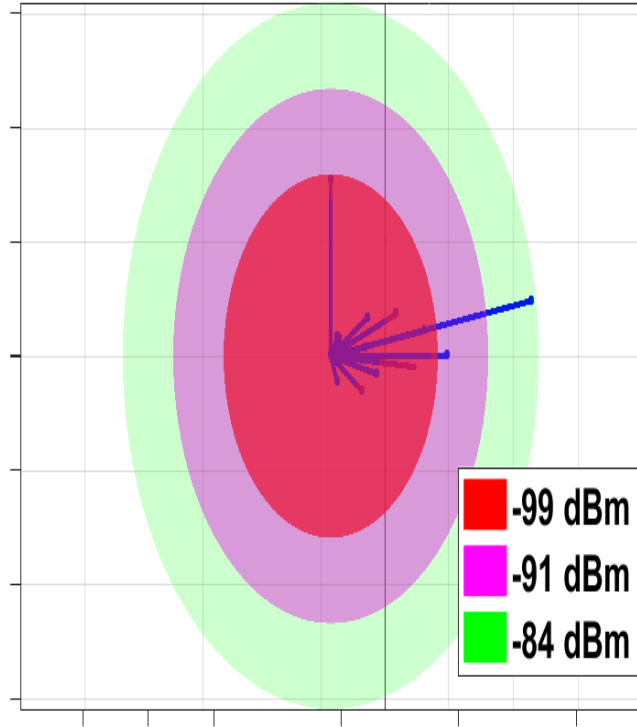
Tabla 1-4: Datos de simulación para la frecuencia 35 GHz

Arreglo de antenas	Potencia de Tx	Distancia entre Tx-Rx	Frecuencia	Ancho de banda	Entorno	Potencia de recepción	Path Los	PLE	RMS Dispersión de retardo
SISO 1X1	23 dBm	200 m	35 GHz	100 MHz	LOS	-81,9	111,9	2,1	22,1 ns
MIMO 32X8	23 dBm	200 m	35 GHz	100 MHz	LOS	-77,5	107,5	1,7	22,8 ns

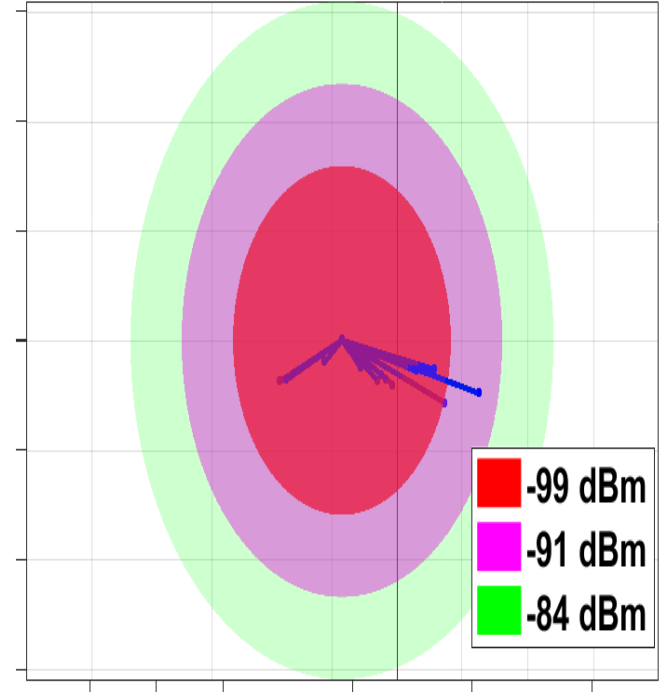
Realizado por: Marcelo Yanza

Como se puede apreciar la simulación del canal es mejor cuando se aplica un arreglo de antenas de 32x8 ya que se mejora el campo de recepción, la pérdida de espacio libre y la pérdida exponencial se reducen y el tiempo de retardo se reduce a la mitad, concluyendo que el comportamiento del canal con este arreglo de antena será mejor para tener campos de recepción robustos para tener un mayor alcance y no atenuarse por penetración.

3-D AOA Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 174.8 m T-R Separation



3-D AOD Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 174.8 m T-R Separation



Espectro de potencia AOD-AOA con SISO 1X1, a una frecuencia de 50 GHz

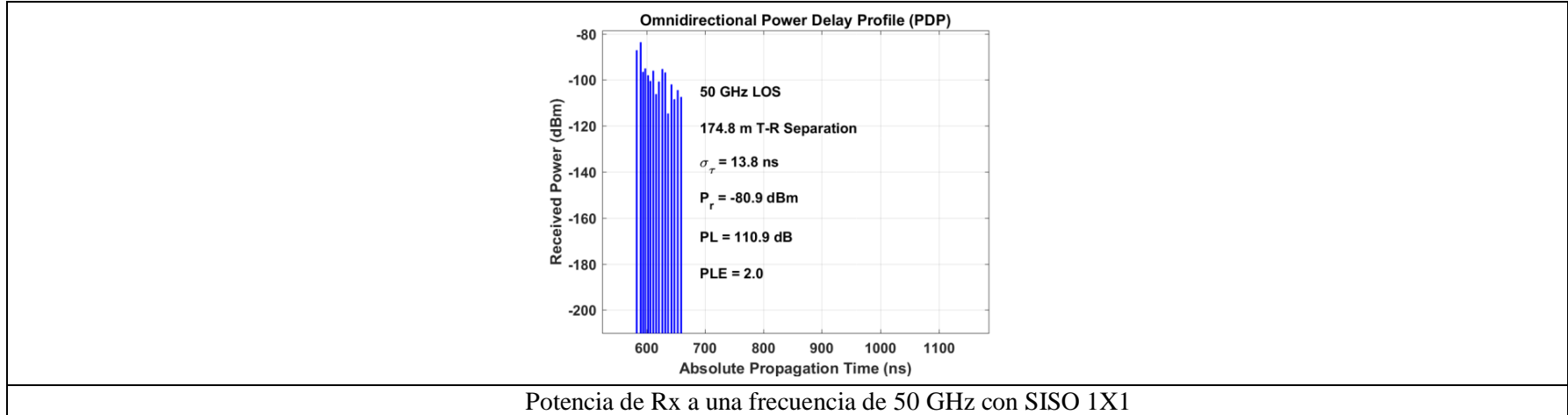
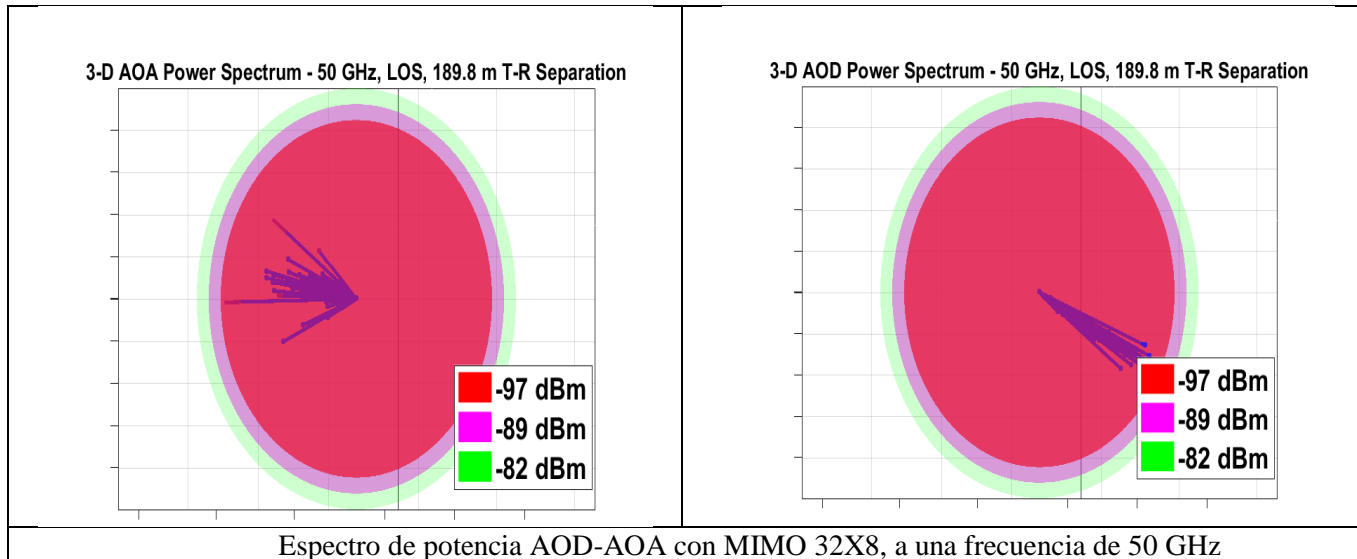


Gráfico 3-4: Simulaciones a una frecuencia de 50 GHz SISO 1X1.

Realizado por: Marcelo Yanza



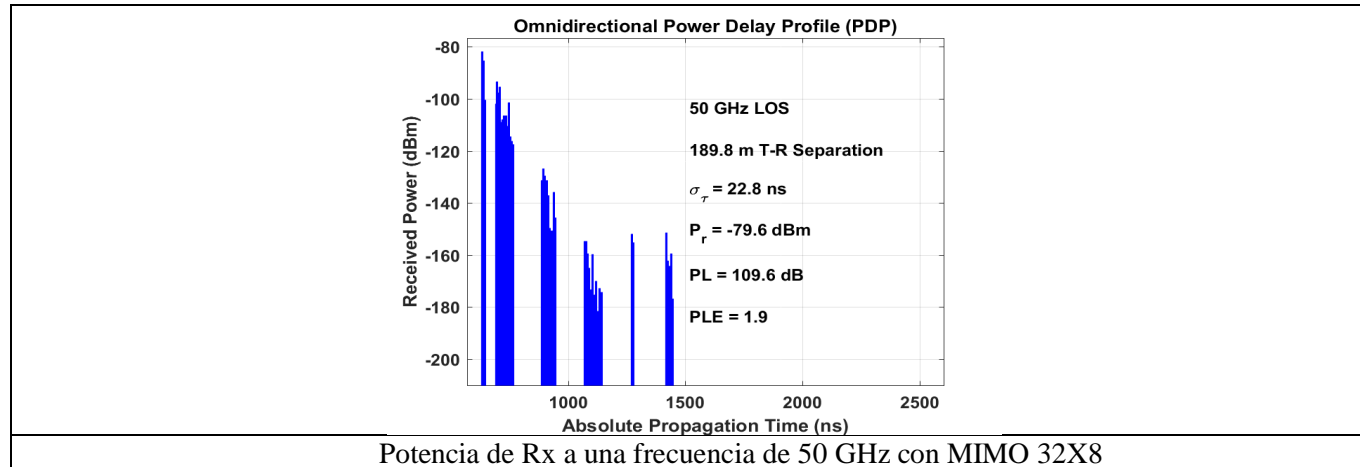


Gráfico 4-4: Simulaciones a una frecuencia de 50 GHz MIMO 32X8.

Realizado por: Marcelo Yanza

4.1.2 Interpretación y análisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 50 GHz

Se obtienen los siguientes datos:

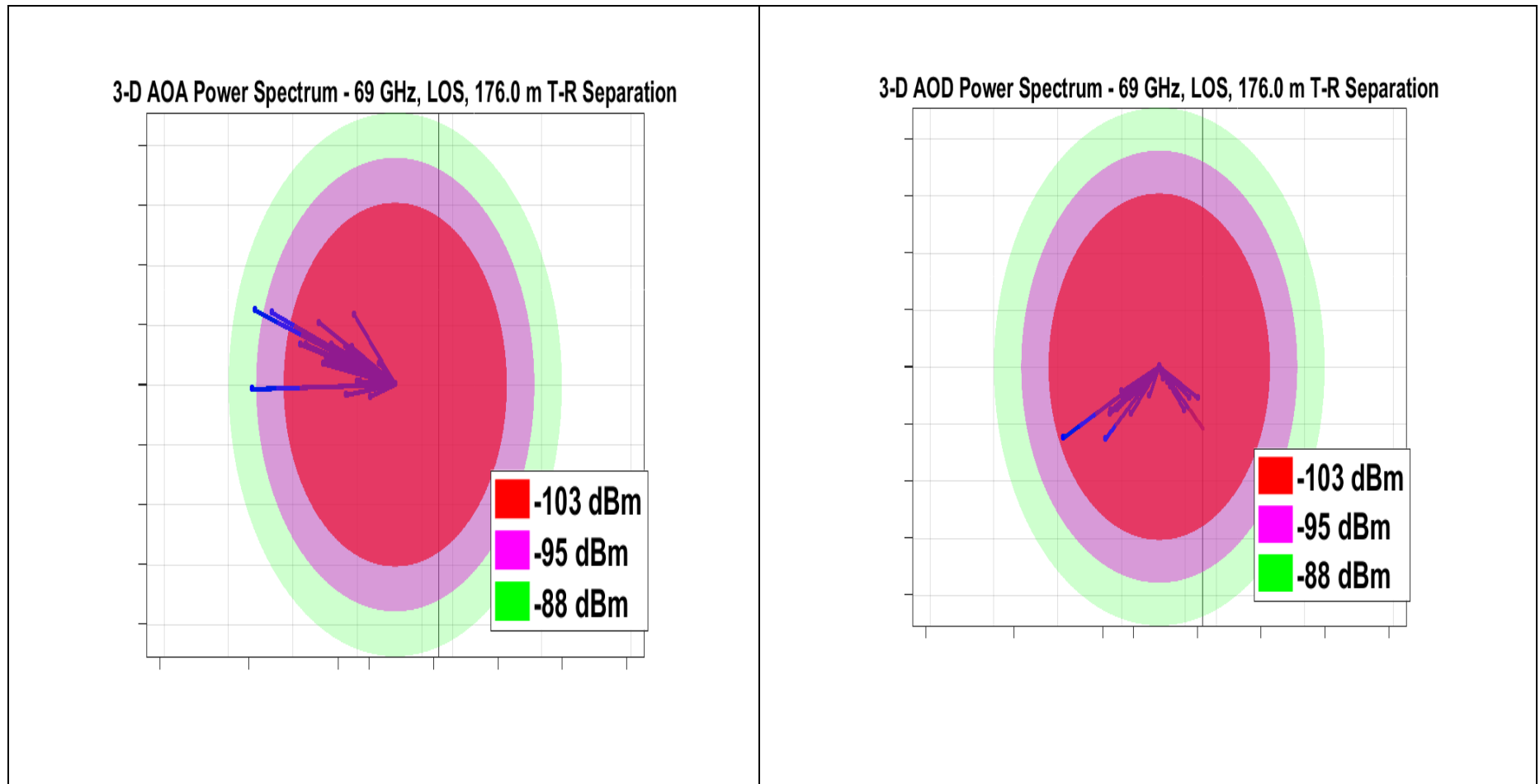
Tabla 2-4: Datos de simulación para la frecuencia 50 GHz

Arreglo de antenas	Potencia de Tx	Distancia entre Tx-Rx	Frecuencia	Ancho de banda	Entorno	Potencia de recepción dBm	Path Loss	PLE	RMS Dispersión de retardo
SISO 1X1	23 dBm	200 m	50 GHz	100 MHz	LOS	-80,9	110,9	2	13,8 ns
MIMO 32X8	23 dBm	200 m	50 GHz	100 MHz	LOS	-79,3	109,6	1,9	22,8 ns

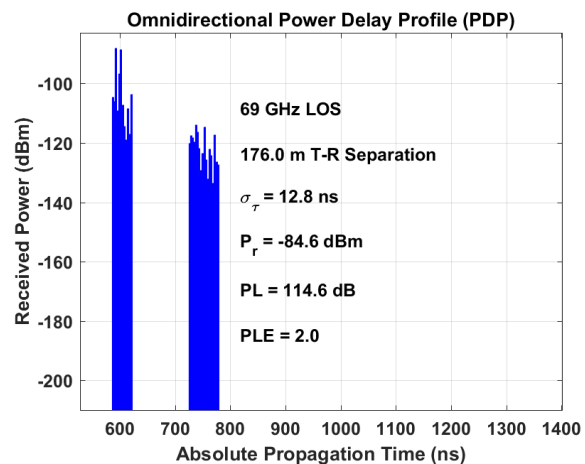
Realizado por: Marcelo Yanza

Como se puede apreciar la simulación del canal es mejor cuando se aplica un arreglo de antenas de 32x8 ya que se mejora el campo de recepción, la pérdida de espacio libre y la pérdida exponencial, el tiempo de retardo se reduce, concluyendo que el comportamiento del canal con este arreglo de

antena sera mejor para tener campos de recepción mejores , se tendra un ancho de banda mayor ya que se esta utilizando frecuencias altas por ende se podra acomodar mas portadoras en el canal y asi cumplir con el objetivo de capacidad del canal para asi tener varias conexiones y mejores tasa de transferencia de datos.



Espectro de potencia AOD-AOA con SISO 1X1 a una frecuencia de 69 GHz

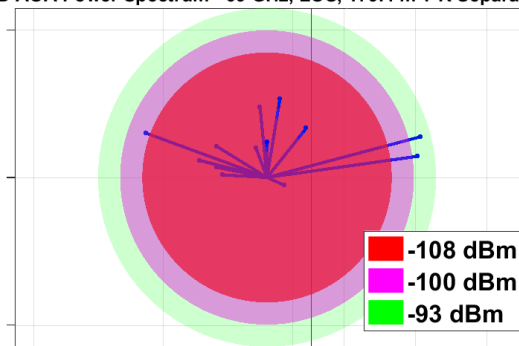


Potencia de Rx a una frecuencia de 69 GHz con SISO 1X1

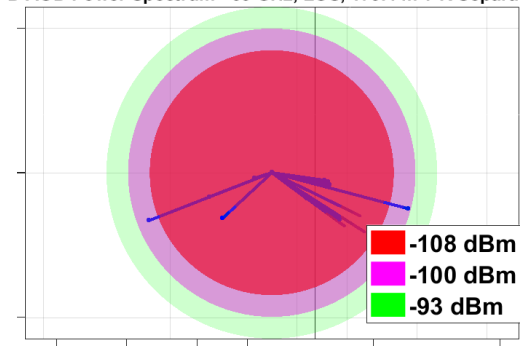
Gráfico 5-4: Simulaciones a una frecuencia de 69 GHz SISO 1X1

Realizado por: Marcelo Yanza

3-D AOA Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 179.4 m T-R Separation



3-D AOD Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 179.4 m T-R Separation



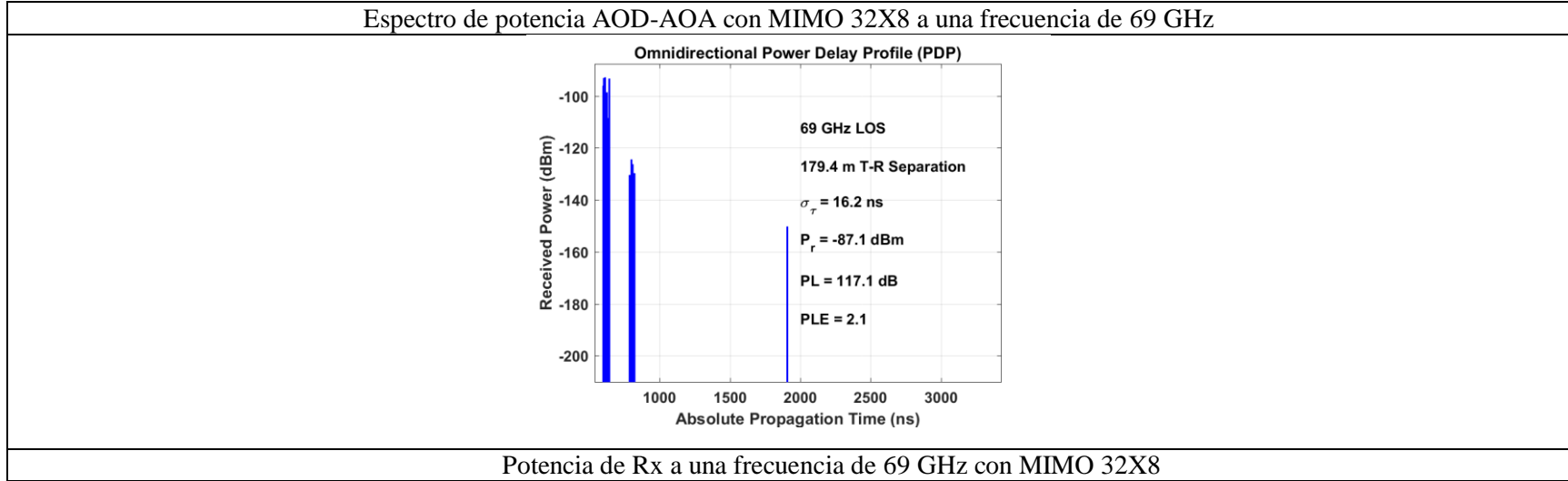


Gráfico 6-4: Simulaciones a una frecuencia de 69 GHz MIMO 32X8

Realizado por: Marcelo Yanza

4.1.3 Interpretación y análisis de simulación con el software NYUSIM a una frecuencia de portadora de 18 GHz

Se obtienen los siguientes datos:

Tabla 3-4: Datos de simulación para la frecuencia 69 GHz

Arreglo de antenas	Potencia de Tx	Distancia entre Tx-Rx	Frecuencia	Ancho de banda	Entorno	Potencia de recepción dBm	Path Loss	PLE	RMS Dispersión de retardo
SISO 1X1	23 dBm	200 m	69 GHz	100 MHz	LOS	-84,6	114,6	1,9	12,8ns
MIMO 32X8	23 dBm	200 m	69 GHz	100 MHz	LOS	-87,1	117,1	1,7	16,2 ns

Realizado por: Marcelo Yanza

Como se puede apreciar la simulación del canal es mejor cuando se aplica un arreglo de antenas de 32x8 ya que se mejora el campo de recepción , la pérdida de espacio libre y la pérdida exponencial, el tiempo de retardo se reduce , concluyendo que el comportamiento del canal con este arreglo de antena sera mejor para tener campos de recepción mejores, se tendra un mayor ancho de banda ya que se utilizará frecuencias altas así se tendrá una canalización mejor para ingresar mas portadoras con lo cual la capacidad de conexiones es alta para equipos y dispositivos, reducción de la latencia y mejorar las velocidades de transmisión.

4.2 Resumen de simulaciones por frecuencias para NYUSIM y Matlab

Tabla 4-4: Resumen de datos obtenidos de la simulación con NYUSIM para la obtención de campos Rx y pérdidas en el espacio libre.

Entorno	Frecuencia GHz	Ancho de banda (Mhz)	Número de antenas Tx	Número de antenas Rx	Potencia Tx (dbm)	Ganancia Tx (dbi)	Ganancia Rx (dbi)	Distancia (m)	Path Loss dB	Prx dBm	Sensibilidad
LOS	35	500	1	1	30	24,6	9	200	111,9	-81,9	-85
LOS	35	500	4	4	30	24,6	9	200	108,7	-78,7	-85
LOS	35	500	8	8	30	24,6	9	200	107,9	-77,9	-85
LOS	35	500	32	8	30	24,6	9	200	107,5	-77,5	-85
LOS	50	500	1	1	30	24,6	9	200	110,9	-80,9	-85
LOS	50	500	4	4	30	24,6	9	200	116,6	-86,6	-85
LOS	50	500	8	8	30	24,6	9	200	109,3	-79,6	-85
LOS	50	500	32	8	30	24,6	9	200	109,6	-79,3	-85
LOS	69	500	1	1	30	24,6	9	200	114,6	-84,6	-85
LOS	69	500	4	4	30	24,6	9	200	119,2	-89,2	-85
LOS	69	500	8	8	30	24,6	9	200	120,3	-90,3	-85
LOS	69	500	32	8	30	24,6	9	200	117,1	-84,43	-85

Realizado por: Marcelo Yanza

Análisis: Se puede apreciar del resumen de las simulaciones de las frecuencias de 35 GHz, 50 GHz y 69 GHz con el simulador NYUSYM se observa que los mejores campos de Rx son los datos obtenidos con MIMO 32x 8 a 200 m, estos campos de recepción cumplen con el nivel de sensibilidad propuesto.

Se concluye que según las mediciones del simulador en altas frecuencias, en ondas milimétricas las pérdidas que sufre la señal en su trayecto del transmisor al receptor se compensa con las diferentes técnicas que existen en la tecnología como MIMO, se sugiere que el radio máximo de cada estación base para el 5G debe ser de 200 m , con lo cual se deberá poner más estaciones base para cubrir distancias pequeñas y así aumentar la capacidad del canal ya que al trabajar en ondas milimétricas se aumenta el ancho de banda y la velocidad de transmisión en el orden de los Gbps.

Tabla 5-4: Resumen de Velocidad de Tx teórica para la Tecnología 5G.

MIMO	Velocidad de Tx (Gbps)	Velocidad de Tx (Gbps)
	Ancho de banda (100 MHz)	Ancho de banda (500 MHz)
1	0,56	2,8
2	1,12	5,6
4	2,24	11,2
8	4,48	22,4
32	17,92	89,6

Realizado por: Marcelo Yanza

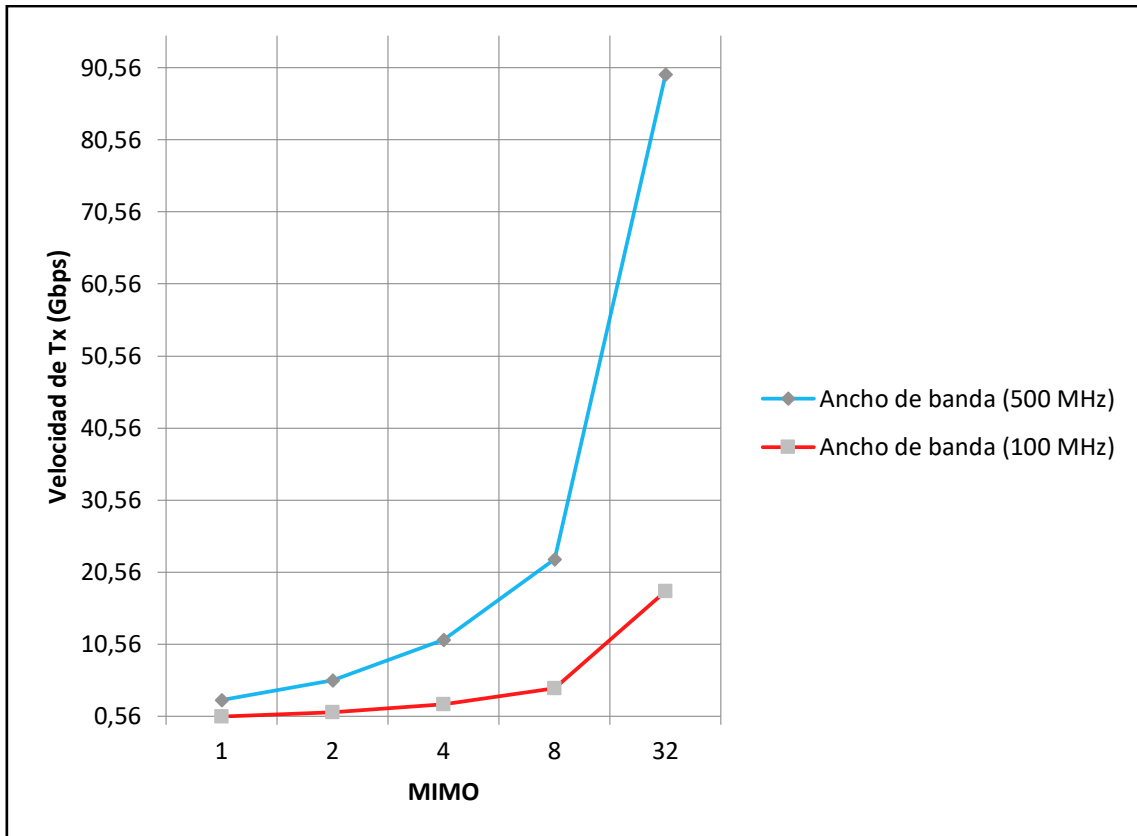


Gráfico 7-4: Velocidades de transmisión para 5G

Realizado por: Marcelo Yanza

Conclusión: Se aprecia en la gráfica se concluye que las mejores velocidades de transmisión teóricas para el 5G serán con MIMO 32x8 y un ancho de banda de 500 MHz.

Comparación entre las Velocidades Teóricas de Velocidad de tx 5G vs LTE

Tabla 6-4: Comparación entre las Velocidades Teóricas de Velocidad de tx 5G vs LTE

Parámetros	Ancho de banda					
	4G LTE				5G	
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	100 MHz	500 MHz
PRB	28	56	83	100	556	2778
Vtx Teórica	28	56	84	100,8	560	2800
MIMO 2X2	56	112	168	201,6	1120	5600
MIMO 4X4	No existen				2240	11200
MIMO 8X8					4480	22400
MIMO 32X8					17920	89600

Realizado por: Marcelo Yanza

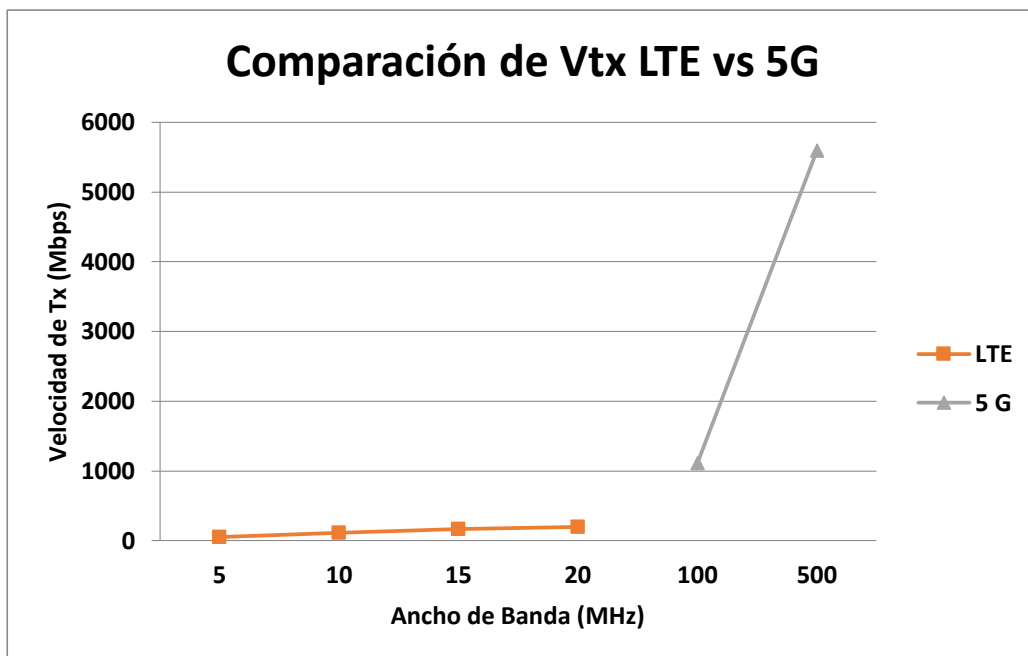


Gráfico 8-4: Comparación de Vtx LTE vs 5G

Realizado por: Marcelo Yanza

Conclusiones del Gráfico 8-4:

- Se puede apreciar en el gráfico N° 4-2, la velocidad de transmisión teórica de 5G es superior a la velocidad de transmisión de 4G LTE, ya que el LTE actualmente solo llega a un ancho de banda máximo de 20 MHz y con la tecnología 5G, se propone anchos de banda superiores desde 100 MHz hasta 800 MHz, razón por la cual, cuando se tenga un mayor ancho de banda se puede aumentar la velocidad de transmisión, que está en el orden de los Gigabits por segundo (Gbps). Análisis e interpretación de los resultados de las pruebas de simulación 5G.
- Como se puede apreciar la simulación del canal es mejor cuando se aplica un arreglo de antenas de 32x8 ya que se mejora el campo de recepción, la pérdida de espacio libre y la pérdida exponencial, el tiempo de retardo se reduce, concluyendo que el comportamiento del canal con este arreglo de antena será mejor para tener campos de recepción mejores, se tendrá un mayor ancho de banda ya que se utilizará frecuencias altas así se tendrá una canalización mejor para ingresar más portadoras con lo cual la capacidad de conexiones es alta para equipos y dispositivos, reducción de la latencia y mejorar las velocidades de transmisión.
- Como se puede apreciar del resumen de las simulaciones de las frecuencias de 35 GHz, 50 GHz y 69 GHz con el simulador NYUSYM se observa que los mejores campos de Rx son los

datos obtenidos con MIMO 32x 8 a 200 m, estos campos de recepción cumplen con el nivel de sensibilidad propuesto.

- Se concluye que según las mediciones del simulador en altas frecuencias, en ondas milimétricas las pérdidas que sufre la señal en su trayecto del transmisor al receptor se compensa con las diferentes técnicas que existen en la tecnología como MIMO, se sugiere que el radio máximo de cada estación base para el 5G debe ser de 200 m, con lo cual se deberá poner más estaciones base para cubrir distancias pequeñas y así aumentar la capacidad del canal ya que al trabajar en ondas milimétricas se aumenta el ancho de banda, con lo cual se puede incrementar el número de usuarios y obtener altas tasas de transferencias de datos el orden de los Gbps.
- Las frecuencias en el orden de los 50 GHz a los 69 GHz ayudarán para suplir la necesidad de cubrir sitios altamente poblados y una gran conectividad de equipos inteligentes, ya que esta tecnología del 5G será la vía para conectar todos los equipos del llamado Internet de las cosas.

4.3 Diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para el 5G a través del sistema de simulación NYUSIM

Para la realización del modelo de propagación con los datos obtenidos del software NYUSIM, nos basamos en los datos del Path-Loss (L), que se obtuvieron de las simulaciones a diferentes frecuencias de 35 GHz, 50 GHz y 69 GHz, se planteó las siguientes ecuaciones:

$$L=A+B \text{ Log } f(\text{GHz})+C \text{ log } d(\text{Km})$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (35 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (35 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,50)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (69 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (35 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (35 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,50)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (50 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (50 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (50 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,50)$$

$$L(\text{Nyusim})= A+B \text{ Log } (69 \text{ GHz}) +C \text{ log } (0,05)$$

Luego de las combinaciones del modelo de ecuaciones que se muestran, se obtuvieron 48 ecuaciones por cada MIMO y frecuencias, obteniendo como resultado una semejanza a la curva del path-loss del software Nyusim.

Resultados:

Tabla 7-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM

Distancia	Path-Loss Nyusim (35 GHz)	Path-Loss Nyusim (50 GHz)	Path-Loss Nyusim (69 GHz)	Ec PathLoss (35 GHz)	Ec PathLoss (50 GHz)	Ec PathLoss (69 GHz)
50	103,2	106,4	95,9	104,1606617	103,9503048	103,760349
100	109,1	110,6	111,5	109,1273556	108,9169987	108,7270429
200	111,9	110,9	114,6	114,0940495	113,8836926	113,6937368
500	119,3	116,8	124,5	120,6596617	120,4493048	120,259349

Realizado por: Marcelo Yanza

$$\text{Fórmula: } L = A + B \log f(\text{GHz}) + C \log d(\text{Km})$$

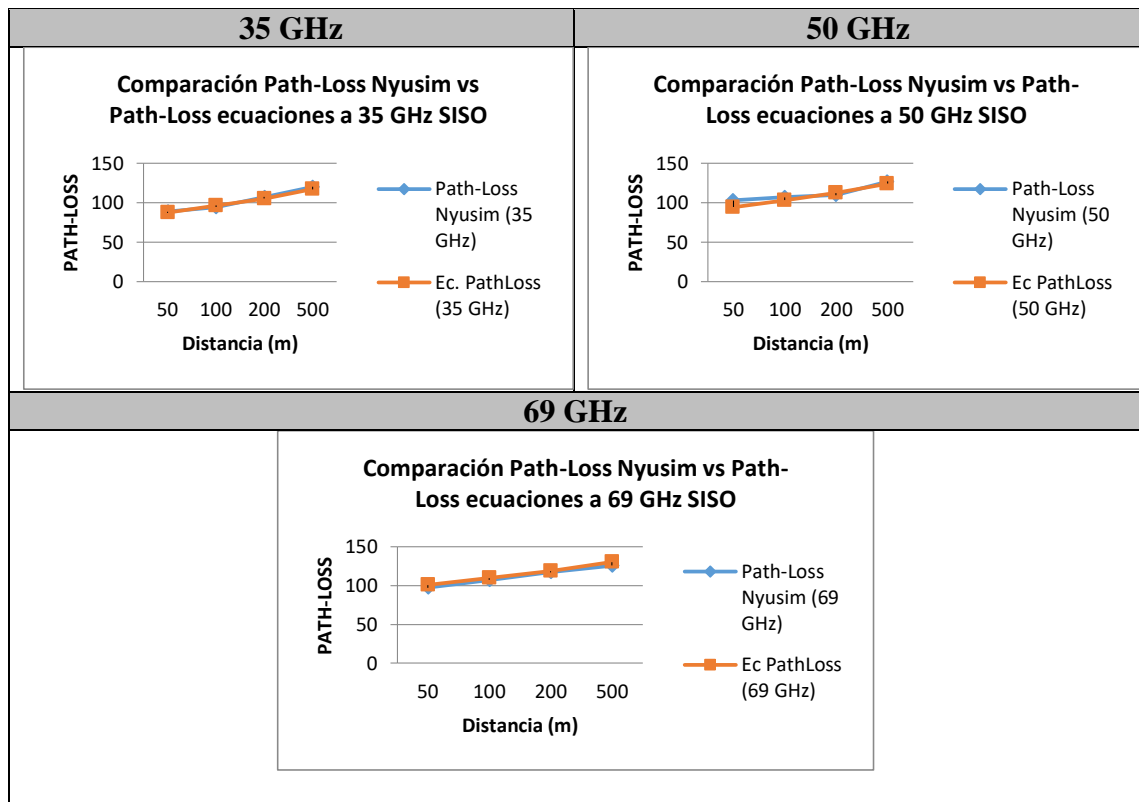
$$A=139,9452$$

$$B=-1,3580$$

$$C=16,4990$$

Comparación de valores de Path-Loss NYUSIM vs ecuaciones planteadas 35 GHz

Tabla 8-4: Comparación de valores



Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 9-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 4X4

MIMO 4x4					
Path-Loss Nyusim (35 GHz)	Ec. PathLoss (35 GHz)	Path-Loss Nyusim (50 GHz)	Ec PathLoss (50 GHz)	Path-Loss Nyusim (69 GHz)	Ec PathLoss (69 GHz)
103,2	101,6243792	95,8	100,934167	93,2	100,3108938
106,8	108,1659416	107,7	107,4757295	115,3	106,8524562
108,7	114,707504	116,6	114,0172919	119,2	113,3940186
122,3	123,3549792	119,6	122,664767	125,3	122,0414938

Realizado por: Marcelo Yanza

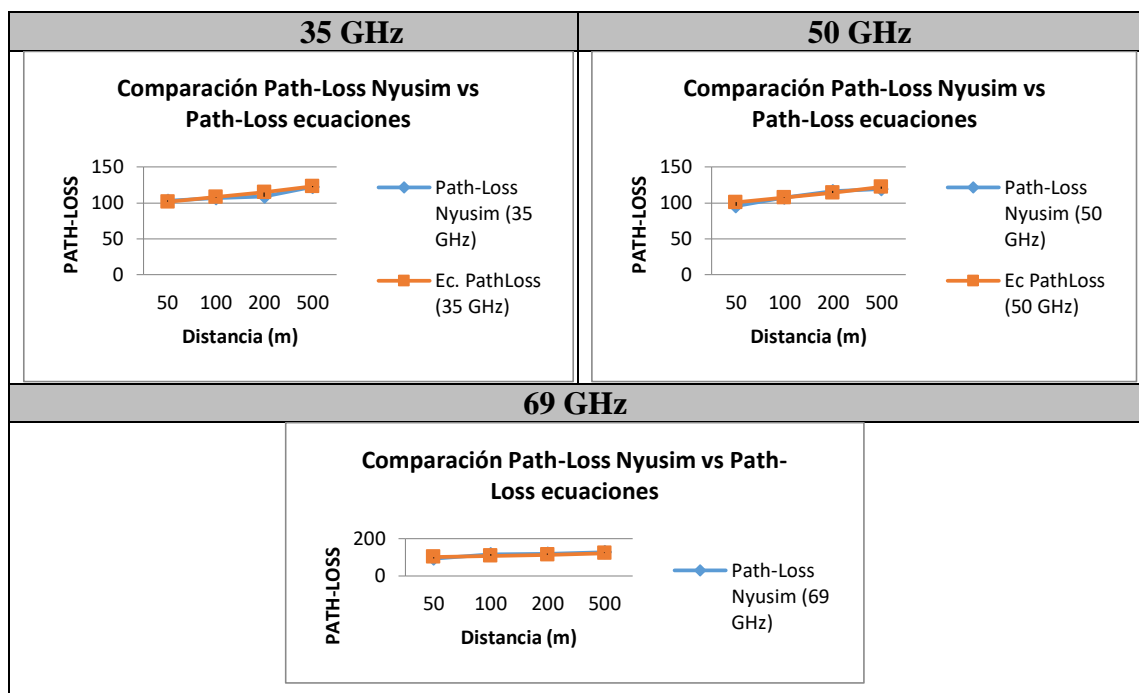
$$\text{Fórmula: } L = A + B \log f(\text{GHz}) + C \log d(\text{Km})$$

$$A=176,8788$$

$$B=-4,4558$$

$$C=21,7306$$

Tabla 10-4: Comparación de valores



Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 11-4: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 8X8

MIMO 8X8					
Path-Loss Nyusim (35 GHz)	Ec. PathLoss (35 GHz)	Path-Loss Nyusim (50 GHz)	Ec PathLoss (50 GHz)	Path-Loss Nyusim (69 GHz)	Ec PathLoss (69 GHz)
96,7	95,11886609	100	99,89210802	107,2	104,2024261
101,8	101,4180392	105,7	106,1912811	111,3	110,5015992
107,9	107,7172122	109,3	112,4904542	120,3	116,8007723
117,9	116,0442661	125,6	120,817508	123,7	125,1278261

Realizado por: Marcelo Yanza

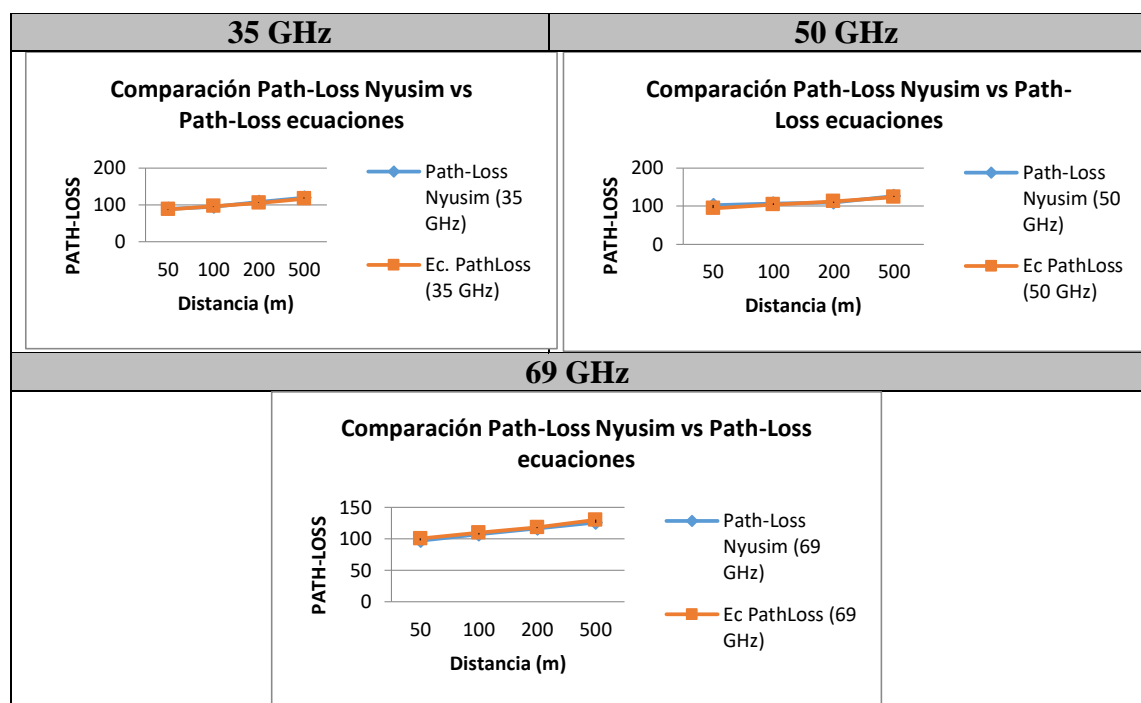
$$\text{Fórmula: } L = A + B \log f(\text{GHz}) + C \log d(\text{Km})$$

$$A = -202,5678$$

$$B = 30,8146$$

$$C = 20,9254$$

Tabla 12-4: Comparación de valores



Realizado por: Marcelo Yanza

Tabla 13-4: Cuadro: Planteamiento de las ecuaciones de Path-Loss según los datos del NYUSIM MIMO 32X8

MIMO 32X8					
Path-Loss Nyusim (35 GHz)	Ec. PathLoss (35 GHz)	Path-Loss Nyusim (50 GHz)	Ec PathLoss (50 GHz)	Path-Loss Nyusim (69 GHz)	Ec PathLoss (69 GHz)
88,9	87,58679667	102,9	94,5167231	97,3	100,7745637
94,5	96,49424413	106,9	103,4241706	107,4	109,6820112
107,5	105,4016916	109,6	112,331618	117,1	118,5894587
120,2	117,1766967	127	124,1066231	125,7	130,3644637

Realizado por: Marcelo Yanza

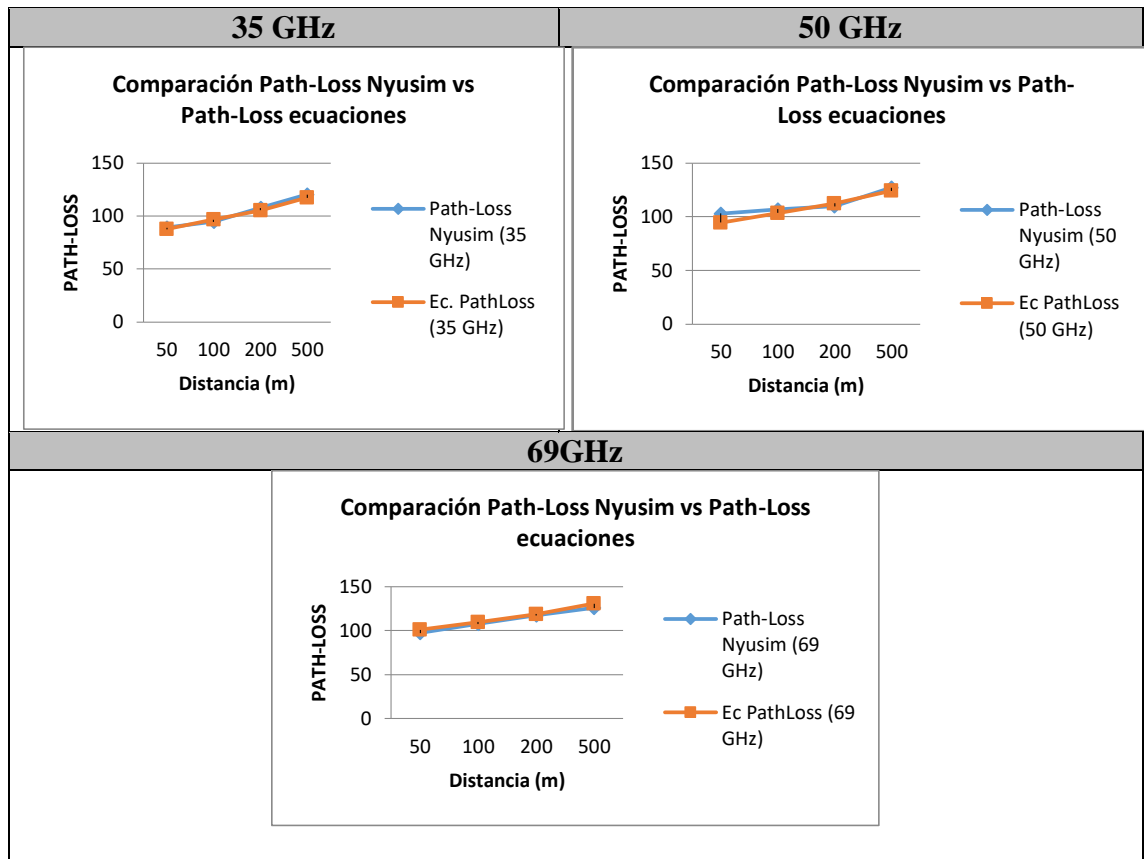
$$\text{Fórmula: } L = A + B \log f(\text{GHz}) + C \log d(\text{Km})$$

$$A = -345,6311$$

$$B = 44,7375$$

$$C = 29,5899$$

Tabla 14-4: Comparación de valores



Realizado por: Marcelo Yanza

4.4 Prueba de la hipótesis

4.4.1 Planteamiento de la hipótesis

Hipótesis Nula (H0):

La elaboración de un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G NO permitió simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab.

Hipótesis Alternativa (H1):

La elaboración de un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G SI permitió simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab.

4.4.2 Nivel de significación

Una vez establecida la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, se determina el nivel de significancia, y para este caso de estudio, se utiliza el nivel de significancia de $\alpha=0.10$.

4.4.3 Criterio

Como estadístico en la prueba de hipótesis se utiliza la técnica Chi-cuadrado, siendo su fórmula la siguiente expresión:

$$x^2 = \sum_i \frac{(\text{observada}_i - \text{esperada}_i)^2}{\text{esperada}_i}$$
$$x^2 = \sum \left(\frac{f_0 - f_e}{f_e} \right)^2$$

Simbología:

$$x^2 = \text{Ji} - \text{Cuadrado}$$

$$\sum = \text{Sumatoria}$$

f_0 = Frecuencia observada de realización de un acontecimiento determinado.

f_e = Frecuencia esperada

Frecuencia esperada: el cálculo de la frecuencia esperada, se obtiene a través del producto de los totales marginales dividido por el número total de casos:

Total, marginales: (total del renglón). (total de la columna)

Número total de casos: gran total

$$f_e = \frac{(\text{total del filas}) \cdot (\text{total de la columna})}{\text{gran total}}$$

Obtención de los grados de libertad:

$$Gl = (f - 1)(c - 1)$$

Dónde:

G1 = Grado de libertad

f= Filas

c= Columnas

Entonces:

$$Gl = (2 - 1)(3 - 1)$$

$$Gl = (1)(2)$$

$$Gl = 2 \text{ de libertad}$$

De acuerdo a la tabla estadística de distribución de Chi – Cuadrado, con un nivel de significancia 0,1 a 2 grados de libertad, genera un valor de $X^2 \text{ tabla} = 4.605$.

Tabla 15-4: Distribución Chi - Cuadrado

Grados de libertad	Posibilidad de casualidad en porcentaje (5% o menos considerado significativo)								
	90%	80%	70%	50%	30%	20%	10%	5%	1%
1	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,706	3,841	6,635
2	0,211	0,446	0,713	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	9,210
3	0,584	1,005	1,424	2,366	2,665	4,642	6,251	7,815	11,341

Fuente: Estadística de Distribución de Chi – Cuadrado.

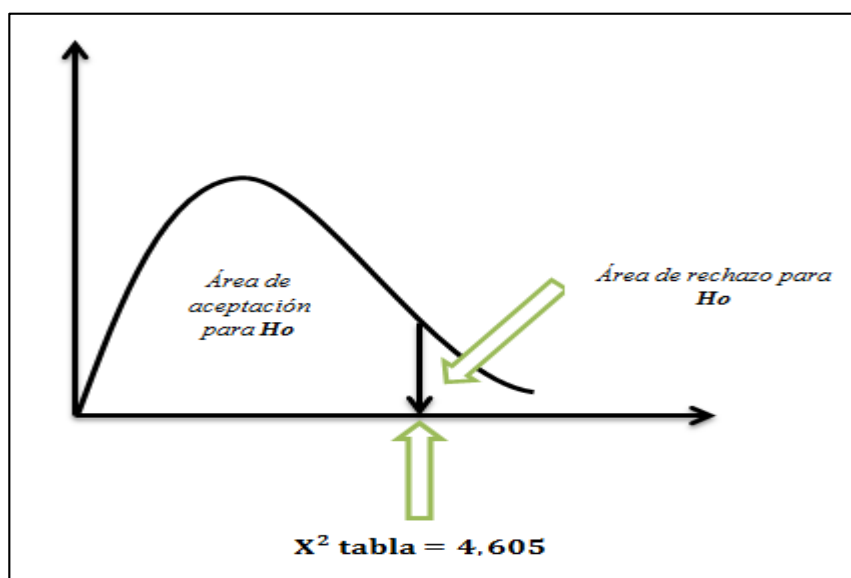


Gráfico 9-4: Área de aceptación y rechazo de hipótesis

Realizado por: Marcelo Yanza

La regla de decisión será: No rechazar H_0 si el valor que encuentra para de X^2 calculado es menor que 4,605. Si el valor que se encuentra es mayor o igual al valor crítico, se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Se seleccionan las siguientes preguntas para la comprobación de la hipótesis, las cuales se detallan a continuación:

La elaboración de un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G SI permitirá simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab.

Pregunta 3. ¿Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será?

Excelente Buena Mala

Pregunta 4. ¿La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea?

Excelente Buena Mala

Frecuencia Observada: La matriz de resultados se conforma de la siguiente manera:

Tabla 16-4: Frecuencia observada

Parámetros	Alternativas			Total
	Excelente	Buena	Mala	
Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será	15	5	0	20
La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea.	1	3	16	20
Total	16	8	16	40

Realizado por: Marcelo Yanza

Para obtener las frecuencias esperadas se multiplica el total de cada columna por el total de cada fila entre el total de la fila columna.

Frecuencia Esperada: Se obtienen los siguientes valores:

Tabla 17-4: Frecuencia esperada

Parámetros	Alternativas		
	Excelente	Buena	Mala
Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será.	8	4	8
La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea.	8	4	8

Realizado por: Marcelo Yanza

4.4.4 Cálculos de Chi – Cuadrado

Tabla 18-4: Cálculo de Chi – Cuadrado

Alternativas	f_0	f_e	$f_0 - f_e$	$(f_0 - f_e)^2$	$(f_0 - f_e)^2 / f_e$
Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será / EXCELENTE	15	8	7	49	6,125
Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será / BUENA	5	4	1	1	0,25
Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirán proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será / MALA	0	8	-8	64	8
La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea. / EXCELENTE	1	8	-7	49	6,125
La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea / BUENA	3	4	-1	1	0,25
La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea / MALA	16	8	8	64	8
$\chi^2 =$					28,75

Realizado por: Marcelo Yanza

4.4.5 Decisión

Si $X^2 \text{ calculado} = 28,75$ y $X^2 \text{ tabla} = 4,605$ Entonces:

$$X^2 \text{ calculado} > X^2 \text{ tabla}$$

Por lo tanto: $X^2 \text{ calculado}$ está en la zona de rechazo de la H_0 entonces se llega a la conclusión que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis H_1 (hipótesis alterna) que es: “La elaboración de un estudio y análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G SI permitirá simular altas tasas de transferencia de datos en el orden de los Gbps con Matlab”.

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA ALTERNATIVA

5.1 Modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación

5.1.1 *Introducción*

Se presenta a continuación una propuesta alternativa de mejorar la velocidad de transmisión de datos en redes celulares de quinta generación mediante el estudio realizado de la propagación de ondas electromagnéticas que su longitud de onda está en el orden de los milímetros, se estudió el comportamiento de estas ondas electromagnéticas por dos razones importantes la una es la saturación del espectro radioeléctrico en la actualidad a nivel mundial y el otro aspecto es conseguir mayores anchos de banda de canalización que se conseguirá en bandas de frecuencias altas en el orden de los 30 a 100 GHz, dándonos como resultados que al aumentar las frecuencias de operación del sistema celular, se obtendrá mayores anchos de banda de canalización que nos sirve para acomodar más portadoras en el canal, y con diferentes técnicas de acceso como MIMO se incrementa la capacidad espectral, aumentando la velocidad de transferencia de datos en el orden de Gbps que es la vía de la quinta generación del sistema celular el 5G el llamado internet de las cosas que necesita altas velocidades y alta capacidad de usuarios por km cuadrado.

5.1.2 *Objetivo General*

Proponer el modelo de propagación de ondas electromagnéticas en el orden de los milímetros para conseguir altas tasas de transferencias de datos en Gbps.

5.1.3 *Objetivos Específicos*

- Analizar las bandas de frecuencias para el 5G
- Dialogar con personas expertas en redes celulares
- Diseñar indicadores del modelo de propagación para el 5G
- Presentar la propuesta a las Gerencias del Área Técnica de las diferentes operadoras del sistema celular en el Ecuador

5.1.4 Descripción

La propuesta en mención para su mejor comprensión se lo ha estructurado en tres enfoques a saber:

a) Análisis de la frecuencia

Es de suma importancia el estudio y análisis de las frecuencias para cumplir con las altas tasas de transferencias de datos , ya que en la actualidad el espectro radioeléctrico está saturado a nivel mundial, las frecuencias a ser estudiadas son frecuencias altas que su longitud de onda cumple en ondas milimétricas , se realizó el estudio del comportamiento de las ondas electromagnéticas en el medio de transmisión que es el aire con todas sus propiedades físicas que tiene el aire, como atenuación por gases, por lluvia, presión atmosférica, reflexiones , difracciones que son propios del aire.

Se trabajó para este estudio con las siguientes frecuencias 35 GHz, 50 GHz y 69 GHz y a diferentes distancias entre estación base y móvil de 50m, 100 m, 200 m y 500 m con diferentes arreglos de antenas MIMO.

b) Análisis del Ancho de Banda

En la actualidad el ancho de banda de canalización para la tecnología 4G (LTE) es de 20 MHz que significa que en esa longitud espectral deben acomodar varias portadoras que son las que van a transportar los datos por el canal, la velocidad de transmisión teórica del 4G (LTE) con un ancho de banda de 20 MHz es de 100 Mbps , esta velocidad de transferencia para las nuevas aplicaciones que cada vez requieren mayores anchos de banda y que generan altas capacidades de tráfico de video, datos e internet no suplirá estas grandes capacidades razón por la cual se hace necesario el estudio de nuevas bandas de frecuencias en el orden de 30 GHz a 100 GHz que con estas frecuencias fácilmente se obtienen mayores anchos de banda de canalización que el requerimiento del 5G (IoT) los anchos de banda que se sugiere para este estudio está en el orden de los 500 MHz a 800 MHz, con estos anchos de banda se pueden acomodar más portadoras y con las diferentes técnicas de acceso al medio se puede tener una eficiencia espectral.

En este estudio se demuestra que las velocidades de transmisión teóricas del 5G vs 4G LTE, supera en 5 veces, ya que la propuesta para el 5G es de trabajar en bandas milimétricas, al operar en estas bandas se incrementa el ancho de banda, al tener un mayor ancho de banda se pueden acomodar más usuarios en el canal de transmisión con diferentes técnicas como MIMO,

Modulación 64 QAM y acceso al medio, incrementándose la velocidad de transmisión para el 5G en el orden de los Gbps.

c) **Análisis de campos de recepción en estas ondas milimétricas**

Al analizar la propagación de ondas milimétricas para comprobar la calidad de la señal a través de un sistema de simulación NYUSIM.

Se concluye que según las mediciones del simulador en bandas milimétricas se observa que los mejores campos de Rx, menores pérdidas en el espacio libre, y tiempo de propagación son los obtenidos en las simulaciones MIMO 32X8 a una distancia de 200 m entre móvil y estación base, estos campos de recepción cumplen con el nivel de sensibilidad propuesto. Se sugiere que el radio máximo de cada estación base para el 5G debe ser de 200 m, con lo cual se deberá poner más estaciones base para cubrir distancias pequeñas y así aumentar la capacidad de usuarios. Cumpliendo con la densificación de la red celular.

CONCLUSIONES

- Al analizar la propagación de ondas milimétricas para comprobar la calidad de la señal a través de un sistema de simulación NYUSIM, Se concluye que según las mediciones del simulador en bandas milimétricas se observa que los mejores campos de Rx, menor pérdidas en el espacio libre, y tiempo de propagación son los obtenidos en las simulaciones MIMO 32X8 a una distancia de 200 m entre móvil y estación base, estos campos de recepción cumplen con el nivel de sensibilidad propuesto. Se sugiere que el radio máximo de cada estación base para el 5G debe ser de 200 m, con lo cual se deberá poner más estaciones base para cubrir distancias pequeñas y así aumentar la capacidad de usuarios.
- Se concluye que las velocidades de transmisión teóricas del 5G vs 4G LTE, supera en 5 veces, ya que la propuesta para el 5G es de trabajar en bandas milimétricas, al operar en estas bandas se incrementa el ancho de banda, al tener un mayor ancho de banda se pueden acomodar más usuarios en el canal de transmisión con diferentes técnicas como MIMO, Modulación 64 QAM y acceso al medio, incrementándose la velocidad de transmisión para el 5G en el orden de los Gbps.
- Se concluye que al diseñar un modelo de propagación en ondas milimétricas permitirá predecir el comportamiento de la transmisión en ambientes urbanos densamente poblados, para esto se sugiere que se deberá trabajar con antenas de elevada ganancia y directividad, para así compensar la atenuación que sufren este tipo de ondas.
- Se concluye al diseñar el modelo de propagación en base a los datos obtenidos del NYUSIM, se puede realizar cálculos matemáticos sencillos y prácticos, en relación a modelos de propagación ya establecidos que son complejos de realizar y que necesitan cálculos matemáticos complejos y hardware para comprobar las medidas, con los datos obtenidos del nuestro diseño se observa que estos datos se asemejan a los datos del NYUSIM del Path-Loss.
- Se concluye que al aplicar el método estadístico del chi-cuadrado se obtiene la decisión de mejorar la velocidad de transmisión utilizando la propagación de ondas milimétricas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, para definir un modelo de propagación de ondas milimétricas se establezca en base a las situaciones NLOS, tomando en cuenta las principales bandas de frecuencias propuestas para albergar comunicaciones a nivel de 5G, ir incrementando las distancias, así como los objetos interferentes, ya que de esta manera se ira determinando el comportamiento del canal, se evaluara las pérdidas que permite obtener dicha tecnología.
- Se recomienda, seguir y profundizar las investigaciones del modelo de propagación de ondas milimétricas a frecuencias de 70 GHz al 100 GHz y probar el comportamiento ante atenuaciones atmosféricas, lo que permitirá lograr establecer los estándares concretos para estas medidas, que serán ideales para su despliegue.
- Se recomienda, seguir las investigaciones del modelo de propagación de ondas milimétricas aumentando el MIMO y el ancho de banda, para predecir que la velocidad de transmisión aumentara notablemente.
- Se recomienda que, las empresas celulares deberán ofrecer planes de datos planos y flexibles, para que el usuario final viva la experiencia actual del LTE y tenga una visión y expectativa de la red celular de quinta generación.

GLOSARIO

Antena: Dispositivo que emite o recibe señales radioeléctricas. (Artículo 5° del Reglamento de la Ley N° 29022, Ley para el Fortalecimiento de la Expansión de Infraestructura en Telecomunicaciones aprobado por Decreto Supremo N° 003-2015-MTC)

Banda de frecuencias: Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencias.

Cobertura: Zona geográfica cubierta por las emisiones radioeléctricas de la Estación Base, omnidireccionalmente o por sectores.

Enlace: Medio por el cual se transmiten datos entre un emisor y un receptor: Para servicios de voz, Conexión bidireccional formada por un canal de ida y un canal de retorno entre dos nodos de conmutación telefónica.

Sistema móvil: Es el sistema compuesto por centrales de conmutación, estaciones base, repetidoras, medios de transmisión, estaciones móviles o terminales y otros elementos, técnicos utilizados para la prestación de servicios públicos móviles.

Telecomunicaciones: Es toda transmisión y/o emisión y recepción de señales que representan signos, escrituras, imágenes, sonidos o información de cualquier naturaleza por medios físicos, medios electromagnéticos, medios ópticos u otros.

WIFI: Tecnología de red inalámbrica que permite a los computadores, teléfonos móviles y otros dispositivos, comunicarse a través de una señal inalámbrica. Esta tecnología describe los componentes de red que se basan en el estándar 802.11 desarrollado por la IEEE y adoptados por la Wi-Fi Alliance.

Zona de cobertura: Zona asociada a una estación transmisora para un servicio dado y una frecuencia específica, en el interior de la cual y en condiciones técnicas determinadas, puede establecerse una Radiocomunicación con otra u otras estaciones receptoras.

BIBLIOGRAFÍA

- Americas, 5. (2017). *www.5gamericas.org*. Obtenido de <http://www.5gamericas.org/en/resources/statistics/statistics-global/>
- Arcotel. (2017). <http://www.arcotel.gob.ec/>. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>
- Armstrong , J. (2009). OFDM for Optical Communications. *Journal of Lighthwave Technology.*, 189-204.
- Barrado, A. D. (24 de Julio de 2017). *Archivo Digital UPM*. Obtenido de <http://oa.upm.es/47318/>
- Becvar , Z., Mach, P., & Pravda, I. (2007). *Redes móviles*. IMPROVET.
- EcuRed. (Viernes de Noviembre de 2017). *www.ecured.cu*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/TDM>
- González, M. (2012). *oa.upm.es*. Obtenido de http://oa.upm.es/14078/1/PFC_MARTA_GONZALEZ_MATA.pdf
- Horno, J. J. (Marzo de 2008). <http://bibing.us.es>. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11579/fichero/a.+Portada.pdf>
- Huawei. (2017). <http://www.huawei.com>. Obtenido de <http://www.huawei.com/en/>
- IMT-2020. (Febrero de 2014). *www.itu.int*. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/06/R0A0600005D0001PDFE.pdf
- Jentel. (2017). *www.jentel.mx*. Obtenido de <http://www.jentel.mx/ocde/item/9268-fcc-expone-banda-600-mhz-para-5g.html>
- Jiménez Cano, L., Parrado Galeano, J. J., Quiza Montaña, C. A., & Suárez , C. (2001). *Modulación multiplataforma OFDM*. Valencia.
- Prezi. (17 de Mayo de 2014). *www.prezi.com*. Obtenido de <https://prezi.com/syy-wjauchrh2/acceso-multiple-por-division-de-codigo-cdma/>
- Red Gráfica Latinoamérica. (1 de ENERO de 2013). *RED GRÁFICA*. Obtenido de <http://redgrafica.com/Breve-historia-de-los-celulares-y>
- Revista Lideres. (2017). *En 20 años, la telefonía móvil superó las expectativas*. Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/20-anos-telefonía-movil-supero.html>
- Tanenbaum, A. (1996). *Computer Networks*. Prentice Hall.
- telecomunicaciones, A. d. (2017). *ARCOTEL*. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>

ANEXOS

ANEXO A: ENCUESTA

ENCUESTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

Encuesta dirigida a las autoridades, técnicos, empleados de las empresas telefónicas del sector de las comunicaciones del Ecuador - Riobamba.

OBJETIVO: Conocer el criterio de los expertos del beneficio y alcances que tiene la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G.

INSTRUCCIONES:

- Al ser anónima la encuesta, responda con toda libertad y sinceridad.
- Antes de contestar las preguntas, lea detenidamente.
- Marque con una X dentro de la caja de texto la respuesta que usted considere.
- Complete las preguntas cualitativas de forma específica.

CUESTIONARIO

1. ¿Conoce usted en qué consiste los modelos de propagación de ondas milimétricas en las comunicaciones móviles?
 - a) Si
 - b) No
2. ¿La tecnología 5G, conectividad móvil de última generación tiene entre sus retos desarrollar modelos que incrementen la tasa de transferencia de datos máxima de 10Gbps, tasa de datos en el borde de las radios bases de 100 Mbps y reducir la latencia de extremo a extremo de 1ms?
 - a) Si
 - b) No
3. ¿Considera que el estudio y el análisis de la propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación permitirá proponer un nuevo modelo en los que el nivel de la señal será:
 - a) Excelente
 - b) Buena
 - c) Mala

4. ¿La posibilidad de obtener bajas tasas de transferencias de datos en una red celular de quinta generación se debe a que el ancho de banda sea:
- a) Excelente
 - b) Buena
 - c) Mala
5. ¿En qué nivel influye el análisis de la propagación de ondas milimétricas para determinar la calidad de la señal en una red celular de quinta generación:
- a) Alto
 - b) Medio
 - c) Bajo
6. ¿La calidad de la señal está garantizada por el análisis de la propagación de ondas milimétricas en una red celular de quinta generación?
- a) Si
 - b) Medianamente
 - c) No
7. ¿Bajo qué criterios técnicos, la calidad de la comunicación al utilizar la propagación de ondas milimétricas es:
- a) Alta
Frecuencia Ancho de banda Distancia
 - b) Media
Consistencia espacial Frecuencia Ancho de banda
 - c) Baja
Distancia Ancho de Banda Tiempo
8. ¿Para alcanzar altas tasas de transferencia de datos es necesario que las técnicas de acceso al medio sean más eficientes:
- a) Si
 - b) No
9. ¿El diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación 5G, involucra aspectos como:
- a) Arquitectura
 - b) Red de acceso

- c) Red de transporte
- d) Todas las anteriores
- e) Ninguna
- f) Otros _____

10. ¿El diseño de un modelo de propagación de ondas milimétricas para redes celulares de quinta generación definirá que la conectividad móvil de última generación tenga un nivel de permanencia y aceptación:

- a) Alto
- b) Medio
- c) Bajo

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

ANEXO B: ENTREVISTA

GUIA DE ENTREVISTA

1. **Título:** _____

2. **Objetivo:** _____

3. **Lugar:** _____

4. **Datos generales**

Nombre del entrevistado: _____

Profesión: _____

Ocupación: _____

Edad: _____

Escolaridad: _____

Institución donde labora: _____

5. **Nombre del entrevistador:** _____

6. **Preguntas de la entrevista:**

Pregunta 1. ¿Cree Ud. que con un ancho de banda mayor a los actuales que se manejan en la tecnología 4G (LTE) se conseguirá mejores tasas de transferencia de datos?

Pregunta 2. ¿Considera Ud. que con las redes de quinta generación celular se conseguirá mayores capacidades de usuarios conectados?

Pregunta 3. ¿Cómo describe la calidad de la señal entre la tecnología 4G y 5G?

Pregunta 4. ¿Por qué 5G es considerado el internet de las cosas?

Gracias por su colaboración

ANEXO C: PRUEBAS DE SIMULACIONES PARA 5G - LOS

Simulaciones en 35 GHz 1x1 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuencia (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	18,2	-73,2	103,2	URA	1	1	10	10	10	360
100	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	18,2	-79,2	109,1	URA	1	1	10	10	10	360
200	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	22,1	-81,9	111,9	URA	1	1	10	10	10	360
500	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	20,5	-89,3	119,3	URA	1	1	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 35 GHz 4x4 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuencia (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	18,2	-73,2	103,2	URA	4	4	10	10	10	360
100	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	18,2	-76,8	106,8	URA	4	4	10	10	10	360
200	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	18,2	-78,7	108,7	URA	4	4	10	10	10	360
500	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	20,4	-92,3	122,3	URA	4	4	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 35 GHz 8x8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	RainRate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	19,7	-54,3	96,7	URA	8	8	10	10	10	360
100	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	13,8	-71,8	101,8	URA	8	8	10	10	10	360
200	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	21,4	-77,9	107,9	URA	8	8	10	10	10	360
500	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27.3	22,0	-87,9	117,9	URA	8	8	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 35 GHz 32x8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	RainRate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	0,0	13,5	-58,9	88,9	URA	32	8	10	10	10	360
100	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	0,0	17,4	-64,5	94,5	URA	32	8	10	10	10	360
200	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	0,0	22,8	-77,5	107,5	URA	32	8	10	10	10	360
500	35,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	0,0	16,8	-90,2	120,2	URA	32	8	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 50 GHz 1x1 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scen ario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	18,2	-76,4	106,4	URA	1	1	10	10	10	360
100	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	22,1	-80,6	110,6	URA	1	1	10	10	10	360
200	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	13,8	-80,9	110,9	URA	1	1	10	10	10	360
500	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	16,9	-86,8	116,8	URA	1	1	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 50 GHz 4X4 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scen ario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	16,0	-65,8	95,8	URA	4	4	10	10	10	360
100	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	12,8	-77,7	107,7	URA	4	4	10	10	10	360
200	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	4,0	-86,6	116,6	URA	4	4	10	10	10	360
500	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	18,2	-89,6	119,6	URA	4	4	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 50 GHz 8X8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	RainRate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	27,3	21,5	-72,5	100,0	URA	8	8	10	10	10	360
100	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	27,3	14,1	-75,7	105,7	URA	8	8	10	10	10	360
200	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	27,3	16,9	-79,6	109,3	URA	8	8	10	10	10	360
500	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	27,3	10,4	-81,9	125,6	URA	8	8	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 50 GHz 32X8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	RainRate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	0,0	20,5	-72,9	102,9	URA	32	8	10	10	10	360
100	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	0,0	12,8	-76,9	106,9	URA	32	8	10	10	10	360
200	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	0,0	22,8	-79,3	109,6	URA	32	8	10	10	10	360
500	50,0	500	30,0	LOS	UMI	1013,25	50	20,0	0,0	18,3	-83,6	127,0	URA	32	8	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 69 GHz 1X1 para LOS

Parámetros básicos																			
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	13,3	-65,9	95,9	URA	1	1	10	10	10	360
100	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	20,2	-89,5	111,5	URA	1	1	10	10	10	360
200	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	12,8	-84,6	114,6	URA	1	1	10	10	10	360
500	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	23,4	-94,5	124,5	URA	1	1	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 69 GHz 4X4 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenario	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	6,7	-63,2	93,2	URA	4	4	10	10	10	360
100	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	18,5	-85,3	115,3	URA	4	4	10	10	10	360
200	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	4,0	-89,2	119,2	URA	4	4	10	10	10	360
500	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20.0	27,3	15,3	-95,3	125,3	URA	4	4	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

Simulaciones en 69 GHz 8X8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	12,3	-65,3	107,2	URA	8	8	10	10	10	360
100	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	21,3	-77,2	111,3	URA	8	8	10	10	10	360
200	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	20,4	-90,3	120,3	URA	8	8	10	10	10	360
500	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	18,2	-93,7	123,7	URA	8	8	10	10	10	360

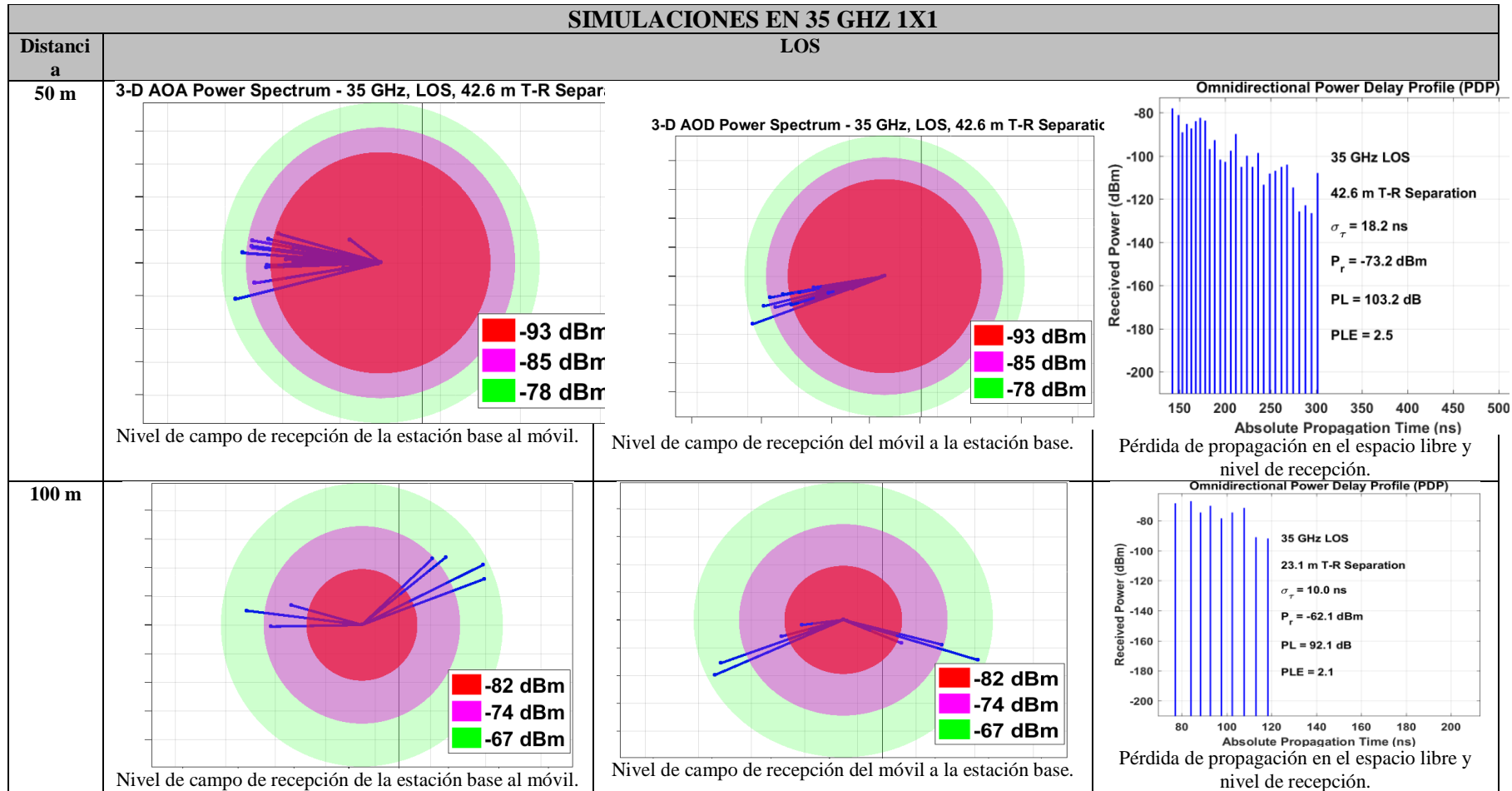
Realizado por: Marcelo Yanza

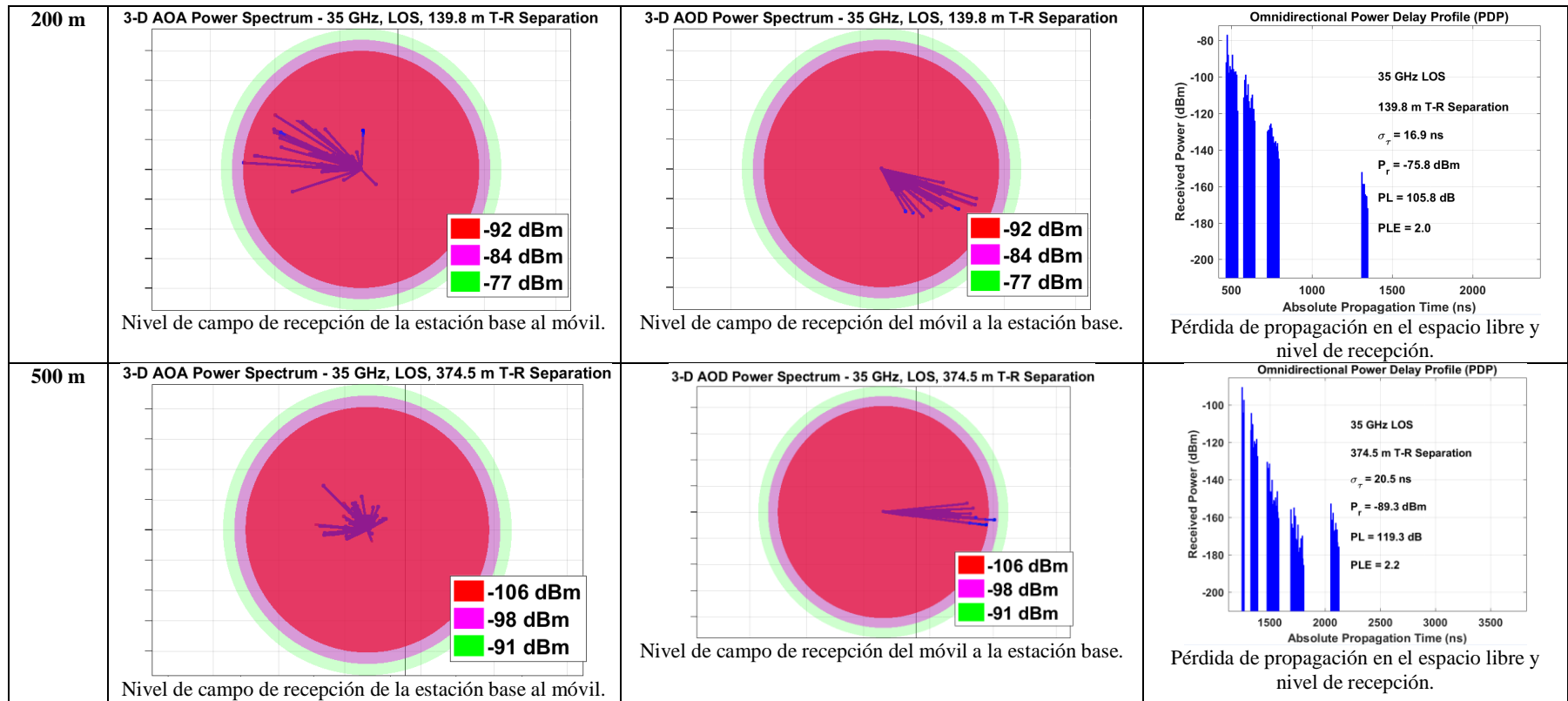
Simulaciones en 69 GHz 32X8 para LOS

Parámetros básicos																			
Distancia (m)	Frecuency (GHz)	Bandwidth (MHz)	TXPower (dBm)	Environment	Scenari	Pressure (mBar)	Humidity	Temperature (Celsius)	Rain Rate (mm/hr)	RMS Delay Spread (ns)	Received Power (dBm)	Path Loss (dB)	TxArray Type	RxArray Type	#TXElements	#RXElements	TXAziH PBW	TXElvH PBW	RXAziH PBW (°)
50	69,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	18,4	-67,3	97,3	URA	32	8	10	10	10	360
100	9,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	8,6	-77,4	107,4	URA	32	8	10	10	10	360
200	9,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	16,2	-87,1	117,1	URA	32	8	10	10	10	360
500	9,0	500	30,0	LOS	UMI	1013.25	50	20,0	27,3	21,0	-95,7	125,7	URA	32	8	10	10	10	360

Realizado por: Marcelo Yanza

ANEXO D: GRÁFICOS DE SIMULACIONES PARA 5G





Realizado por: Marcelo Yanza

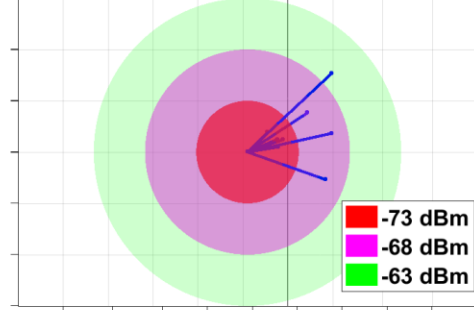
SIMULACIONES EN 35 GHZ 32x8

LOS

Distancia

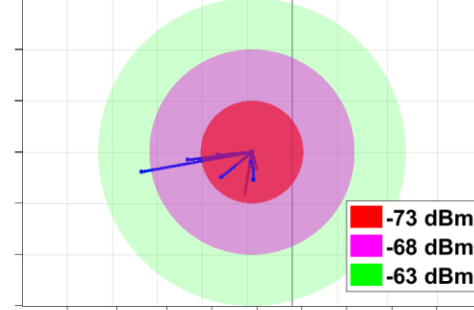
50 m

3-D AOA Power Spectrum - 35 GHz, LOS, 23.4 m T-R Separation

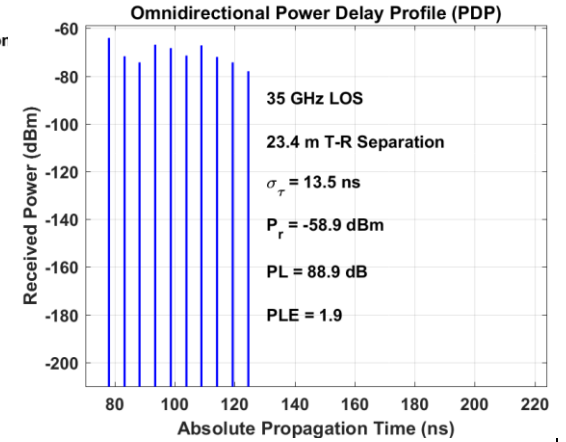


Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 35 GHz, LOS, 23.4 m T-R Separation



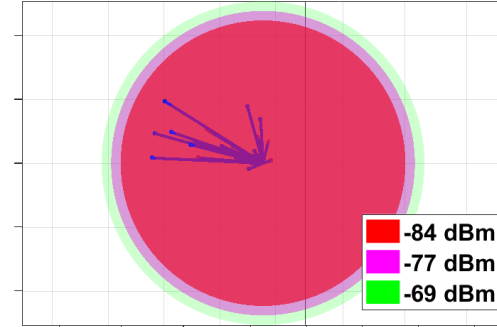
Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.

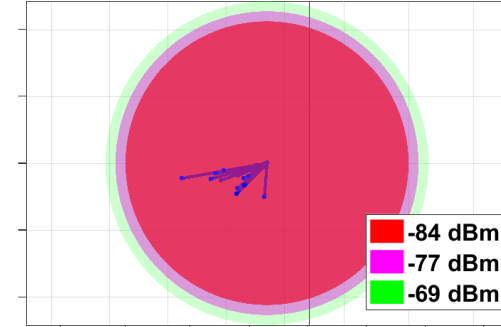
100 m

3-D AOA Power Spectrum - 35 GHz, LOS, 73.8 m T-R Separation

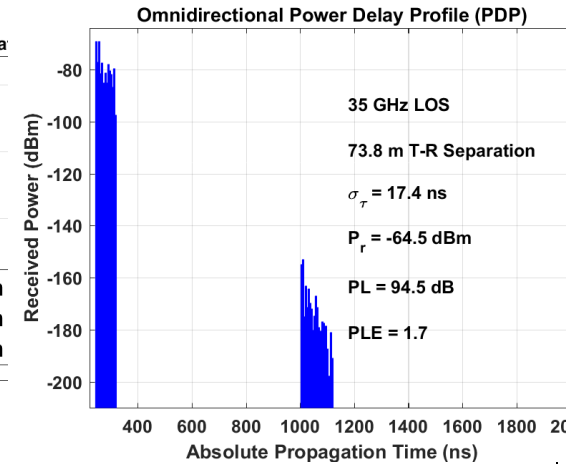


Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

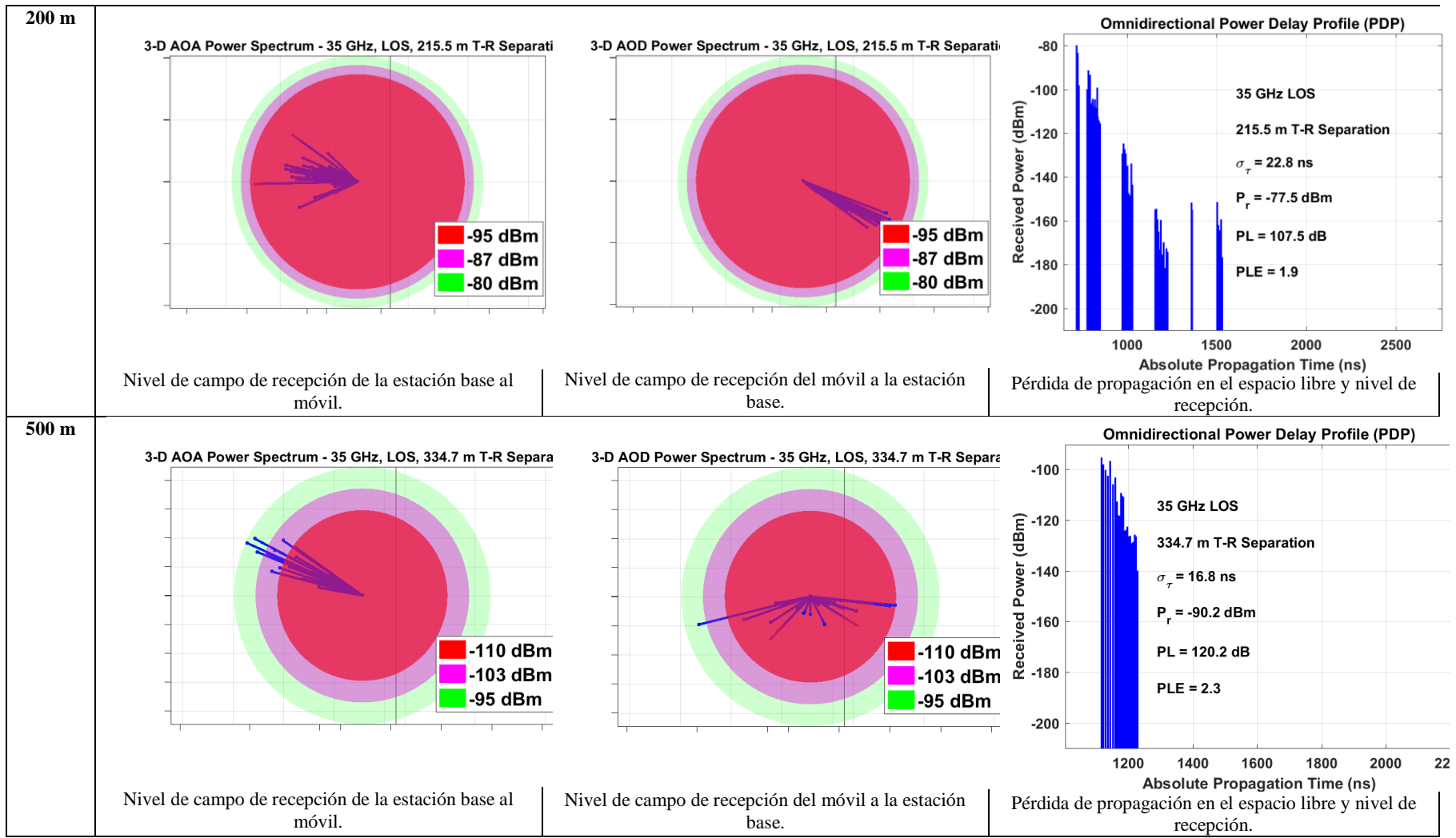
3-D AOD Power Spectrum - 35 GHz, LOS, 73.8 m T-R Separation



Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.



Realizado por: Marcelo Yanza

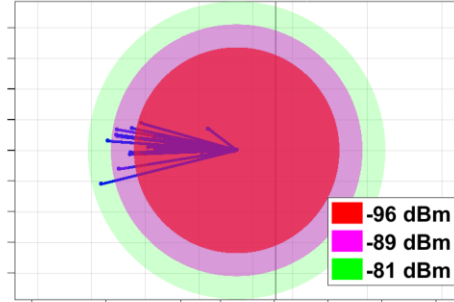
SIMULACIONES EN 50 GHZ 1x1

LOS

Distancia
a

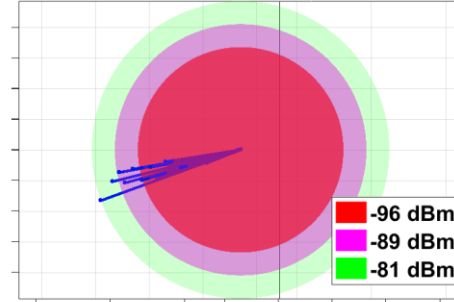
50 m

3-D AOA Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 42.6 m T-R Separation



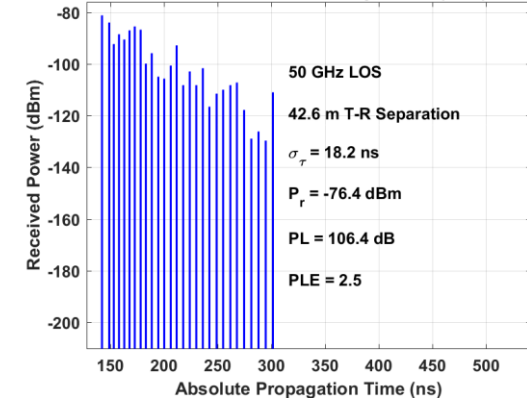
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 42.6 m T-R Separation



Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

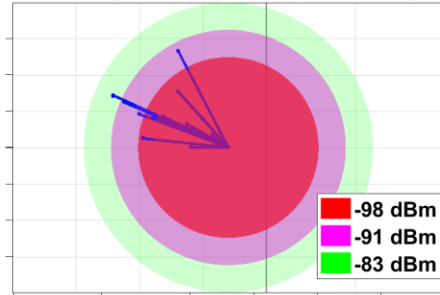
Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.

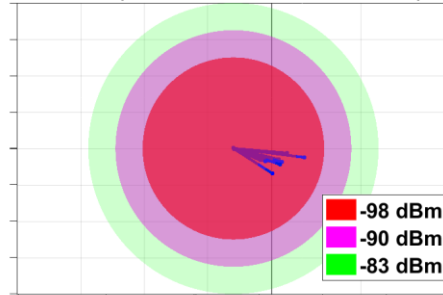
100 m

3-D AOA Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 118.7 m T-R Separation



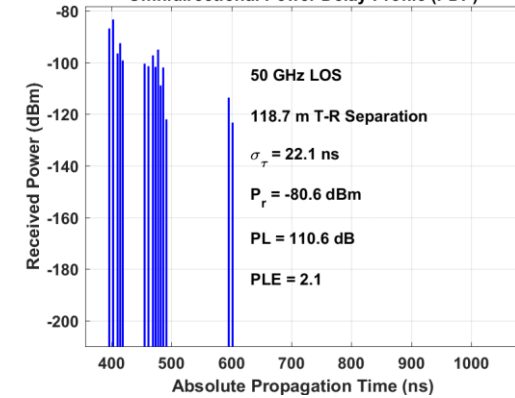
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 118.7 m T-R Separation

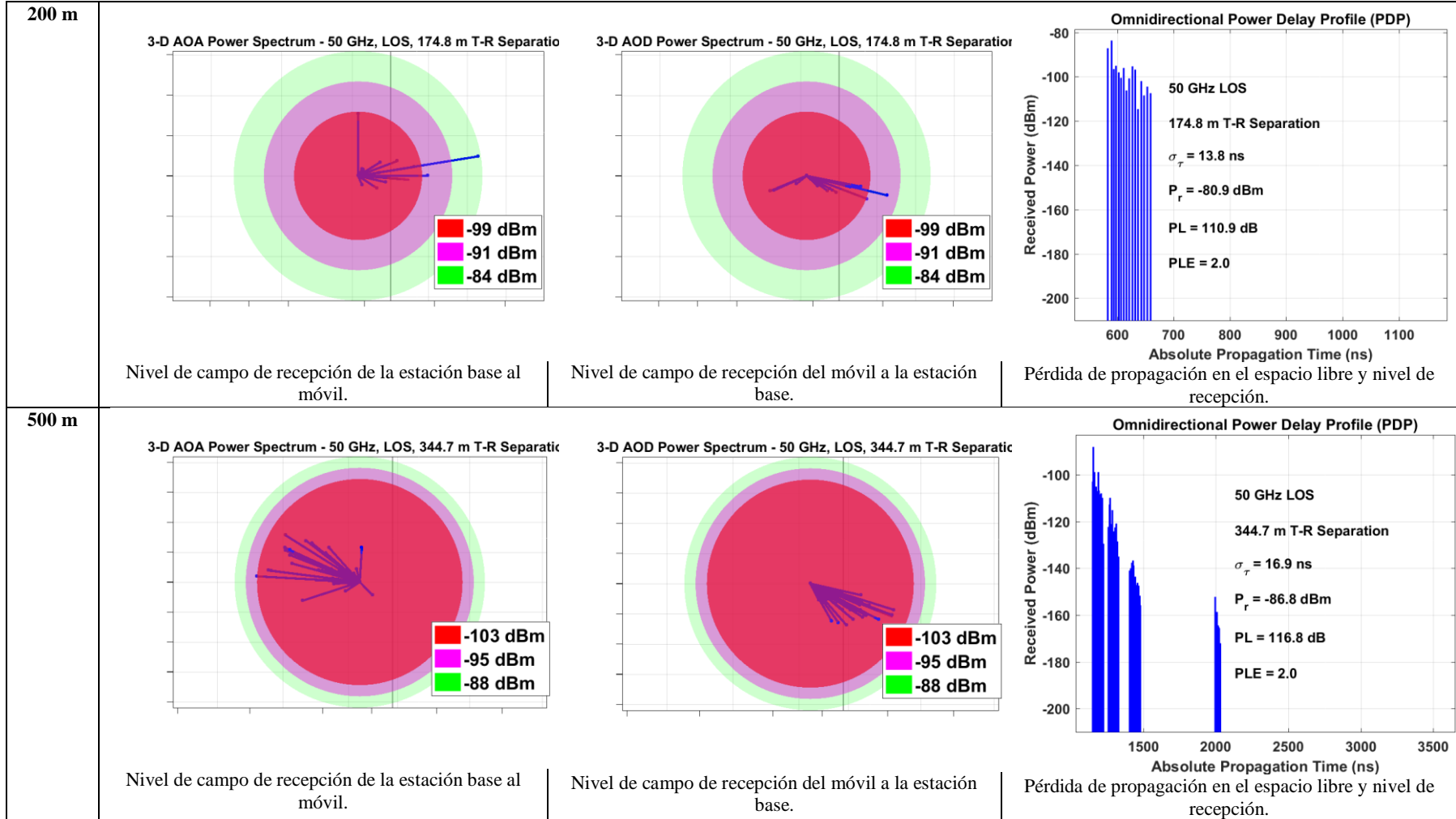


Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



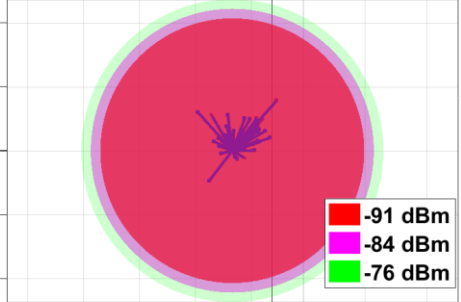
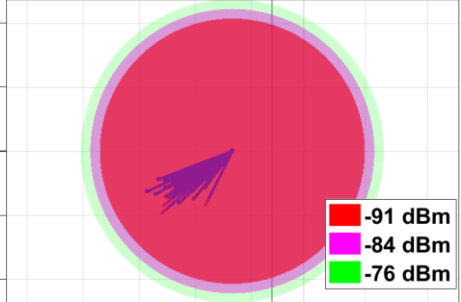
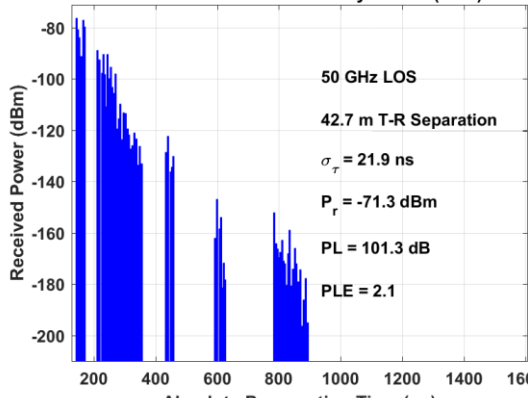
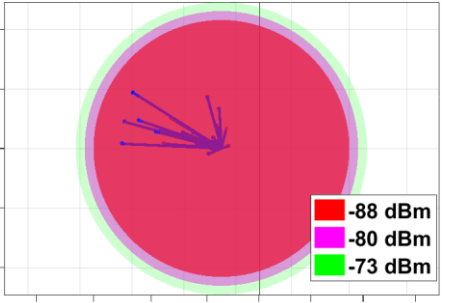
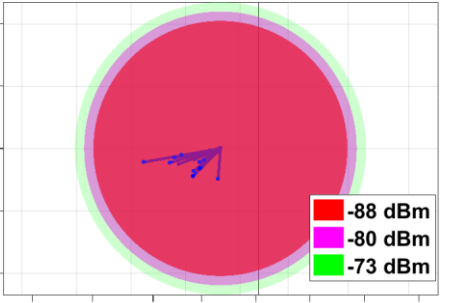
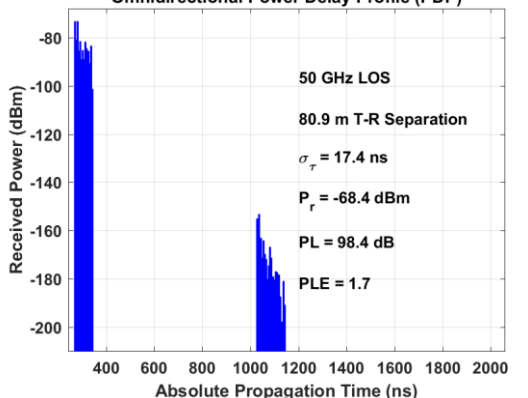
Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.

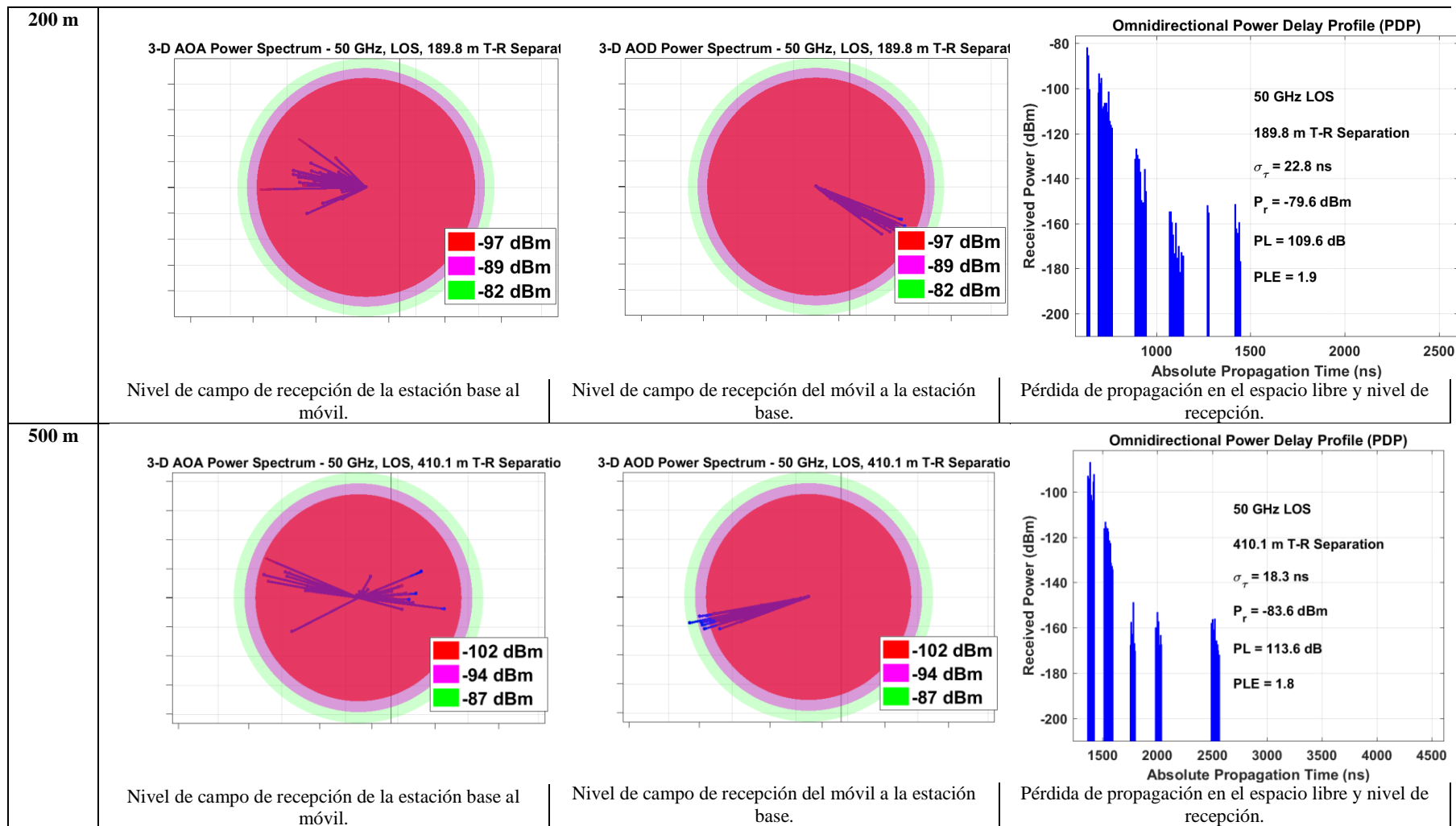


Realizado por: Marcelo Yanza

SIMULACIONES EN 50 GHZ 32x8

LOS

Distancia	LOS					
50 m	<p>3-D AOA Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 42.7 m T-R Separation</p>  <p style="text-align: right;"> ■ -91 dBm ■ -84 dBm ■ -76 dBm </p>	<p>3-D AOD Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 42.7 m T-R Separation</p>  <p style="text-align: right;"> ■ -91 dBm ■ -84 dBm ■ -76 dBm </p>	<p>Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)</p>  <p style="text-align: right;"> 50 GHz LOS 42.7 m T-R Separation $\sigma_\tau = 21.9$ ns $P_r = -71.3$ dBm PL = 101.3 dB PLE = 2.1 </p>			
	<p>Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.</p>	<p>Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.</p>	<p>Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.</p>			
100 m	<p>3-D AOA Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 80.9 m T-R Separation</p>  <p style="text-align: right;"> ■ -88 dBm ■ -80 dBm ■ -73 dBm </p>	<p>3-D AOD Power Spectrum - 50 GHz, LOS, 80.9 m T-R Separation</p>  <p style="text-align: right;"> ■ -88 dBm ■ -80 dBm ■ -73 dBm </p>	<p>Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)</p>  <p style="text-align: right;"> 50 GHz LOS 80.9 m T-R Separation $\sigma_\tau = 17.4$ ns $P_r = -68.4$ dBm PL = 98.4 dB PLE = 1.7 </p>			
	<p>Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.</p>	<p>Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.</p>	<p>Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.</p>			



Realizado por: Marcelo Yanza

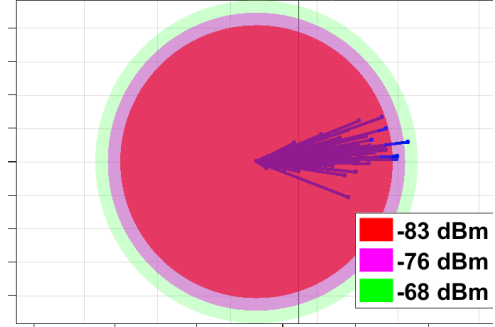
SIMULACIONES EN 69 GHZ 1x1

LOS

Distancia

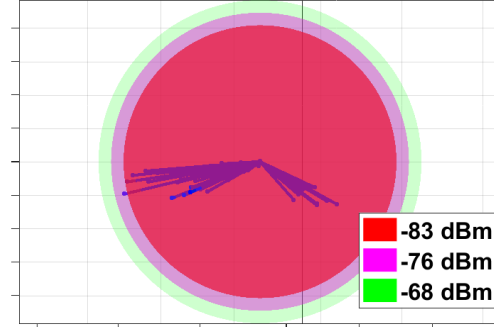
50 m

3-D AOA Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 34.5 m T-R Separation



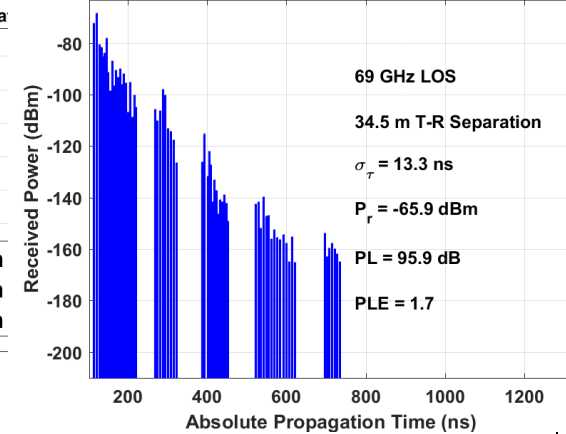
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 34.5 m T-R Separation



Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

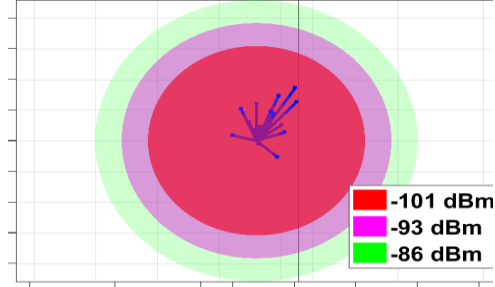
Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.

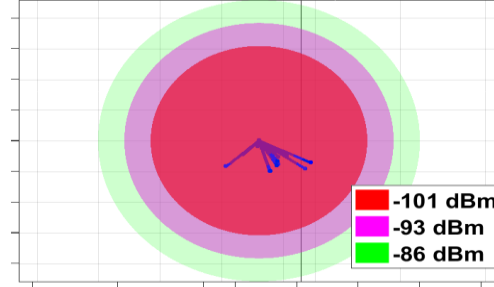
100 m

3-D AOA Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 74.9 m T-R Separation



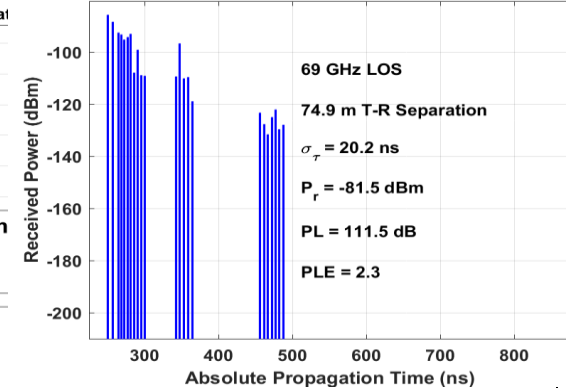
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 74.9 m T-R Separation

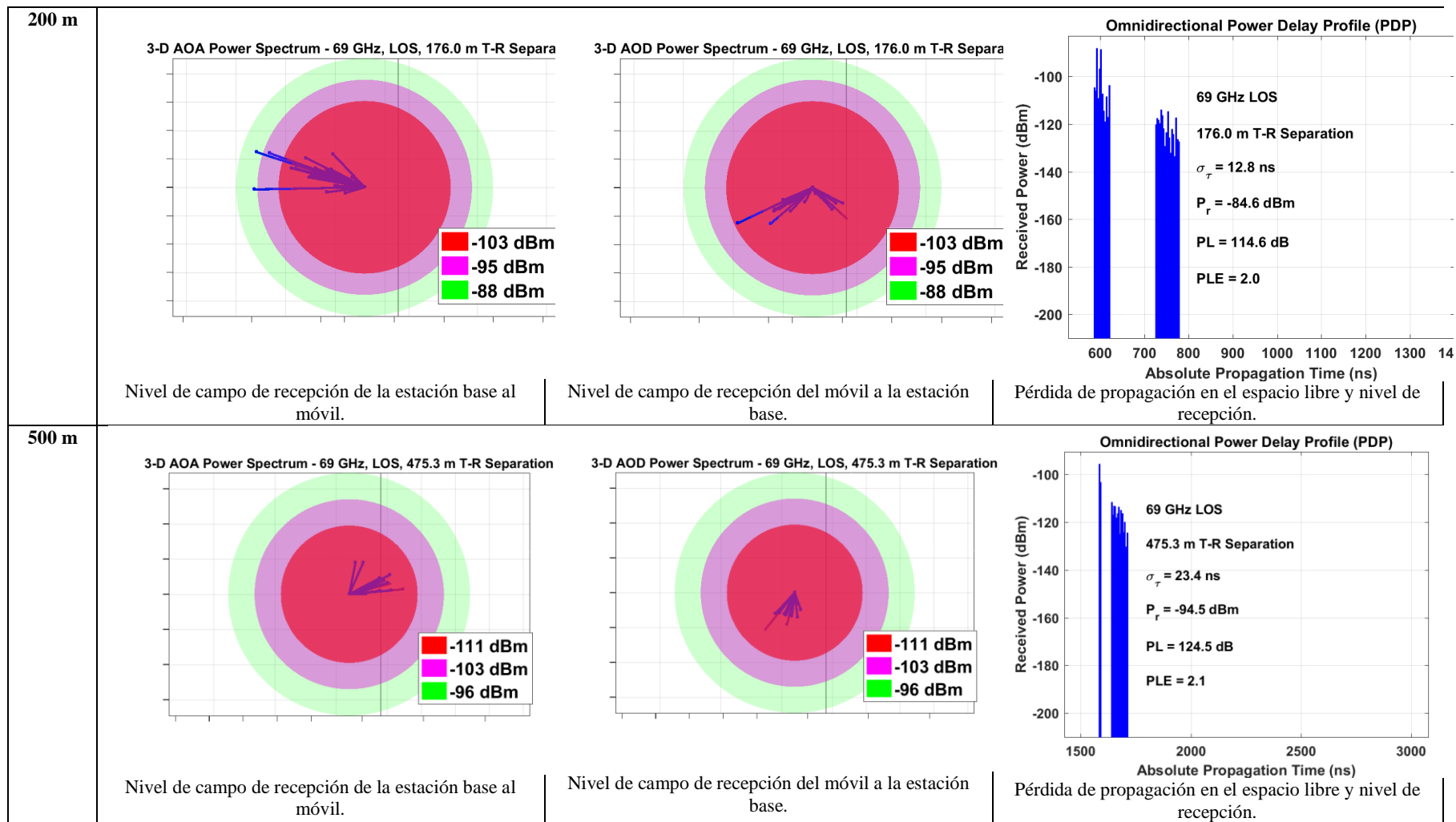


Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.



Realizado por: Marcelo Yanza

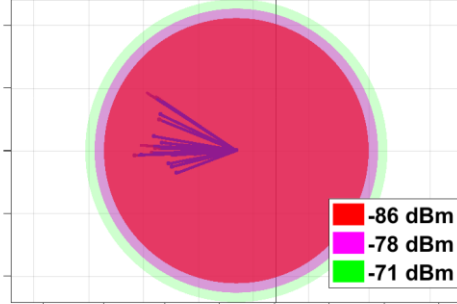
SIMULACIONES EN 69 GHZ 32x8

LOS

Distancia

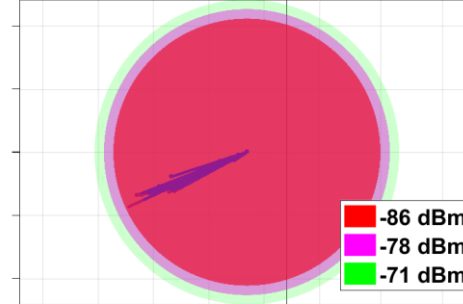
50 m

3-D AOA Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 32.5 m T-R Separation



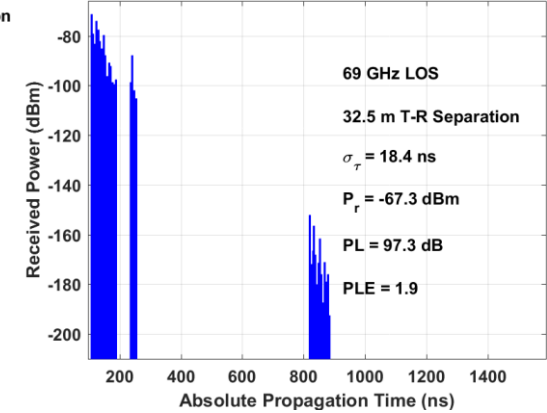
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 32.5 m T-R Separation



Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

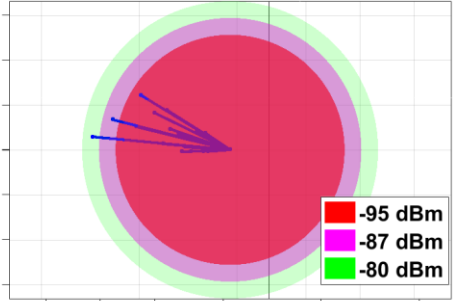
Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.

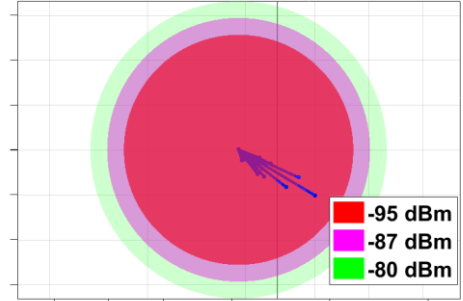
100 m

3-D AOA Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 98.2 m T-R Separation



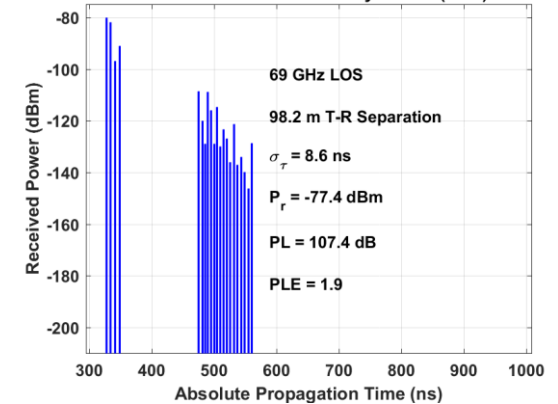
Nivel de campo de recepción de la estación base al móvil.

3-D AOD Power Spectrum - 69 GHz, LOS, 98.2 m T-R Separation

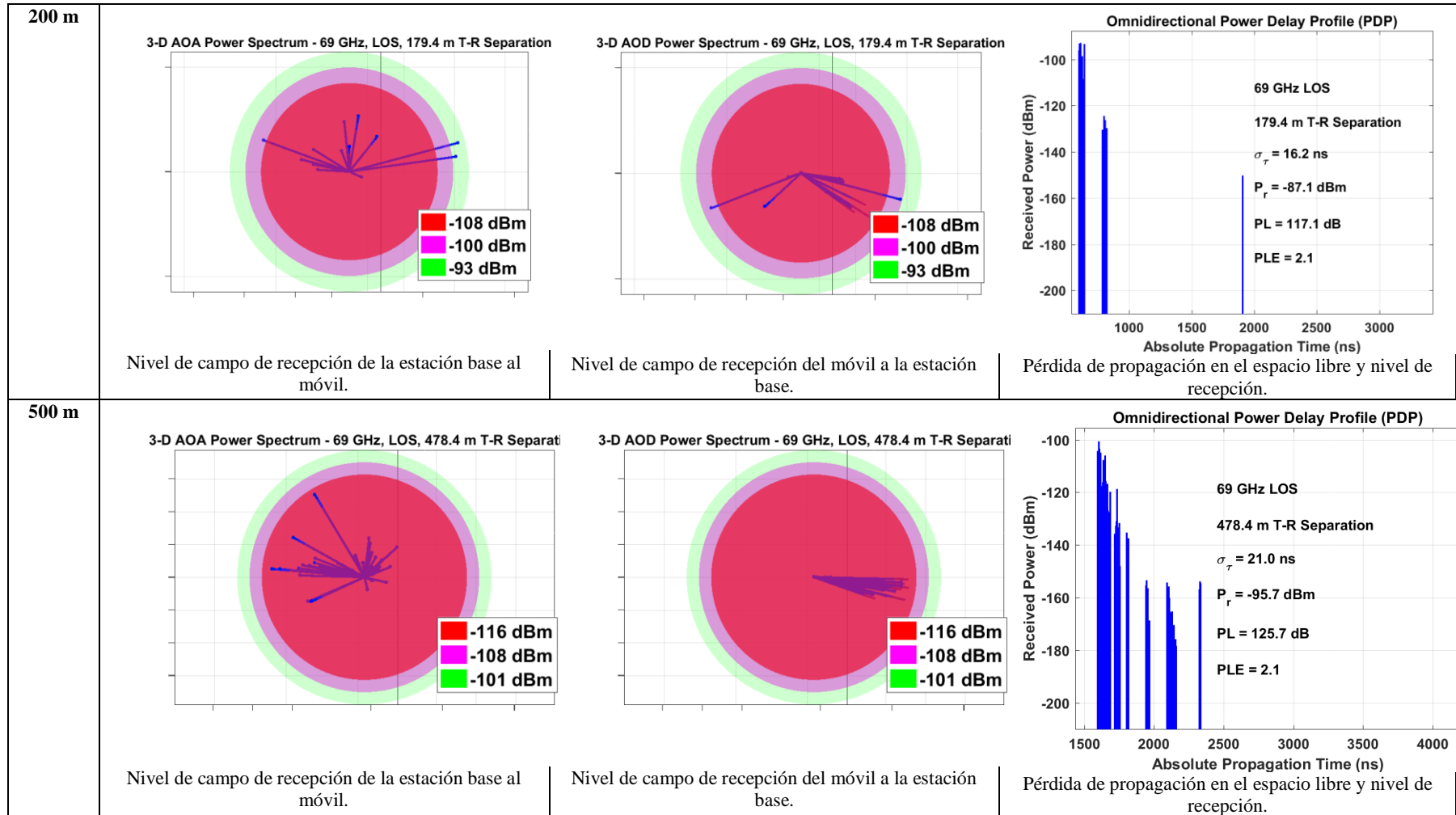


Nivel de campo de recepción del móvil a la estación base.

Omnidirectional Power Delay Profile (PDP)



Pérdida de propagación en el espacio libre y nivel de recepción.



Realizado por: Marcelo Yanza



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 13 / 09 / 2022

INFORMACION DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Marcelo Patricio Yanza Chávez</i>
INFORMACION INSTITUCIONAL
<i>Instituto de Posgrado y Educación Continua</i>
Título a optar: <i>Magíster en Sistemas de Telecomunicaciones</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



0121-DBRA-UPT-IPEC-2022