



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**MEDICIÓN Y SIMULACIÓN DE CONMUTACIÓN DE LA RED
4G LTE A 5G MEDIANTE UNA FEMTOCELDA EN LA ZONA
CENTRO DE RIOBAMBA**

**Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

Autor:

Remache Estrella Nataly Cristina

Tutor:

PhD. Daniel Antonio Santillán Haro

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Nataly Cristina Remache Estrella**, con cédula de ciudadanía **060513509-4**, autora del trabajo de investigación titulado: **MEDICION Y SIMULACION DE CONMUTACION DE LA RED 4G LTE A 5G MEDIANTE UNA FEMTOCELDA EN LA ZONA CENTRO DE RIOBAMBA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 9 de noviembre de 2023.



Nataly Cristina Remache Estrella

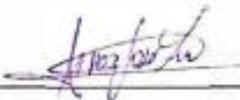
C.I: 060513509-4

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

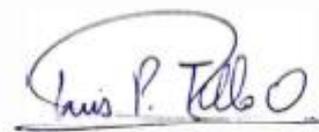
Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **MEDICIÓN Y SIMULACIÓN DE CONMUTACIÓN DE LA RED 4G LTE A 5G MEDIANTE UNA FEMTOCELDA EN LA ZONA CENTRO DE RIOBAMBA**, presentado por Nataly Cristina Remache Estrella, con cédula de identidad número 0605135094, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 09 noviembre de 2023.

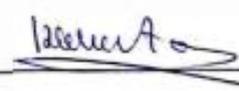
José Luis Jinéz Tapia, Msc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez, Msc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Daniel Antonio Santillán Haro, PhD.
TUTOR

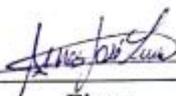


CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **MEDICIÓN Y SIMULACIÓN DE CONMUTACIÓN DE LA RED 4G LTE A 5G MEDIANTE UNA FEMTOCELDA EN LA ZONA CENTRO DE RIOBAMBA**, presentado por Nataly Cristina Remache Estrella, con cédula de identidad número 060513509-4, bajo la tutoría de PhD. Daniel Antonio Santillán Haro; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 09 de noviembre de 2023

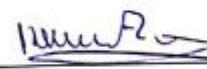
José Luis Jinéz Tapia, Msc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma

Luis Patricio Tello Oquendo, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma

Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez, Msc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


Firma



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



CERTIFICACIÓN

Que, **REMACHE ESTRELLA NATALY CRISTINA** con CC: **0605135094**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**MEDICION Y SIMULACION DE CONMUTACION DE LAS RED 4G LTE A 5G MEDIANTE UNA FEMTOCELDA EN LA ZONA CENTRO DE RIOBAMBA**", cumple con el 2 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 09 de noviembre de 2023



Este documento es propiedad de:
DANIEL ANTONIO
SANTILÁN HARO

PhD. Daniel Antonio Santilán Haro
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi Mami Natti quien fue el ejemplo de dedicación, perseverancia y el motivo diario para cumplir con esta meta, te llevo en mi corazón.

A mi madre Mónica y mi tía Elena, por enseñarme a ser mejor cada día, siendo mi apoyo constante, y eje central de mi vida.

A mis tíos, por ser esa figura paterna y ejemplo claro de fortaleza. A Andrea y Josué, mis hermanos, que me acompañaron en cada paso que di en mi camino de vida.

A mi querido sobrino Gael por esos momentos de alegría y amor puro.

A mi querido Oso por los momentos de felicidad.

Nataly Cristina Remache Estrella

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud a Dios por sus bendiciones y experiencias adquiridas en mi vida. Cada día, reconozco tu amor, guía y apoyo que me han permitido alcanzar mis objetivos. Tu gracia y misericordia han sido una fuente constante de fortaleza y motivación. Estoy agradecida por cada paso en mi camino y por todas las oportunidades que me has brindado. Que tu amor y gracia continúen guiando mi camino en el futuro. Gracias Dios por todas tus bendiciones.

A mi familia por la motivación diaria y el ejemplo a seguir de lucha constante.

A los docentes de la Universidad, por sus enseñanzas académicas y lo primordial por infundir en mis los mejores valores humanos.

Nataly Cristina Remache Estrella

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Planteamiento del Problema.....	17
1.2 Justificación	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo General.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
CAPÍTULO II.....	20
2. MARCO TEÓRICO.	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.2 Redes Móviles.....	20
2.3 Evolución de las redes móviles a lo largo del tiempo	21
2.3.1 Tecnología 1G	21
2.3.2 Tecnología 2G	22
2.3.3 Tecnología 3G	22
2.3.4 Tecnología 4G	23
2.3.5 Tecnología 5G	23
2.3.6 Estandarización por el 3GPP para 5G.....	25

2.4	Tecnologías móviles 4G y 5G en el Ecuador.....	26
2.4.1	Tecnología 4G LTE.....	26
2.4.2	Tecnología 5G.....	27
2.5	Sistemas Femtoceldas.....	28
2.5.1	Definición de Femtocelda.....	28
CAPÍTULO III.....		29
3.	METODOLOGIA.....	29
3.1	Tipo y Diseño de la investigación.....	29
3.1.1	Tipo de investigación.....	29
3.2	Método de Investigación.....	29
3.3	Fuentes de Recopilación de la Información.....	29
3.4	Diseño de Investigación.....	29
3.5	Técnicas de recolección de Datos.....	30
3.6	Población de estudio y Tamaño de muestra.....	31
3.6.1	Población de estudio.....	31
3.6.2	Tamaño de muestra.....	31
3.7	Operacionalización de las Variables.....	31
3.7.1	Variable Dependiente e Independiente.....	31
3.8	Análisis y procesamiento de datos.....	32
3.9	Etapas de Desarrollo.....	32
3.9.1	Fase I: Recolección de la Información.....	32
3.9.2	Fase II: Investigación de los principales parámetros de la tecnología 5G.....	32
3.9.3	Fase III: Simulación de la femtocelda para la conmutación de la red 4G a una red 5G nativa..	33
3.9.4	Fase IV: Comparación de las tecnologías 4G y 5G.....	33
3.9.5	Fase V: Presentación de los resultados de la medición de la red 4G LTE y la conmutación a una red 5G nativa.....	33
3.10	Desarrollo.....	33
3.10.1	Realización de Medidas.....	33
3.10.2	Procesamiento de Datos.....	35
3.10.3	Simulación en Matlab.....	36
3.10.4	Análisis Estadístico.....	40

CAPÍTULO IV	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1 Resultados de las simulaciones de Matlab	41
4.1.1 Cobertura de una Celda 4G.....	41
4.1.2 Simulación y análisis de una red de comunicaciones 5G	41
4.1.3 Señal 5G NR generada	42
4.2 Análisis de la simulación de conmutación de la red 4G LTE a 5G.....	43
4.2.1 Análisis de Rendimiento.....	44
4.2.2 Prueba de Hipótesis	48
4.2.3 Análisis de Latencia.....	49
4.2.4 Comparativa 4G LTE y 5G estudios previos	53
CAPÍTULO V.	54
5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	54
5.1 Propuesta de mejora a la red 4G	54
5.2 Conclusiones	54
5.3 Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de mejoras a la red 5G por el 3GPP en el reléase 15, 16 y 17.	26
Tabla 2. Funcionalidad del proyecto de investigación dado por etapas.	30
Tabla 3. Operacionalización de Variables.	31
Tabla 4. Resumen del procesamiento de casos en el software SPSS análisis de rendimiento.	44
Tabla 5. Descripción de parámetros estadísticos de las redes de 4G LTE y 5G.	45
Tabla 6. Prueba de normalidad de los valores de la red 4G LTE y 5G.	46
Tabla 7. Parámetros estadísticos de Mann-Whitney para las redes 4G LTE Y 5G.	47
Tabla 8. Estadísticos de Prueba para la red 4G LTE Y 5G.	47
Tabla 9. P-valor de cada una de las tecnologías.	48
Tabla 10. P-valor de cada una de las tecnologías.	49
Tabla 11. Resumen del procesamiento de casos en el software SPSS análisis de latencia.	49
Tabla 12. Descripción de parámetros estadísticos de latencia en 4G LTE y 5G.	50
Tabla 13. Prueba de normalidad de los valores de la red 4G LTE y 5G.	51
Tabla 14. Prueba de Mann - Whitney de latencia entre 4G LTE Y 5G.	52
Tabla 15. P-valor de cada una de las tecnologías.	52
Tabla 16. P-valor de cada una de las tecnologías.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la Redes Móviles en términos de servicio.	21
Figura 2. Estándares tecnológicos en 1G.....	21
Figura 3. Diferentes estándares de 2G.....	22
Figura 4. Modos y estándares tecnológicos bajo 3G.	22
Figura 5. Beneficios de la tecnología 4G LTE.	23
Figura 6. Características de la red 5G.....	23
Figura 7. Estándares para la implementación de 5G.	25
Figura 8. Cobertura Poblacional del servicio móvil avanzado 4G.	27
Figura 9. Diagrama de desarrollo del procesamiento de datos.	32
Figura 10. Menú principal y configuración de la aplicación Net monitor.	34
Figura 11. Recorrido de medición en los nodos con la aplicación Net monitor.	35
Figura 12. Exportar en extensión KML para su procesamiento y tabulación.	35
Figura 13. Archivo xlsx generado con los datos obtenidos en Netmonitor.	36
Figura 14. Simulación de cobertura de una celda 4G en un área rectangular.....	36
Figura 15. Simulación de una red de comunicación inalámbrica con usuarios, antenas y condiciones de canal aleatorias.....	37
Figura 16. Cálculos relacionados con la potencia de señal, pérdida de trayectoria y relación señal-ruido (SNR) en una red de comunicación inalámbrica.....	38
Figura 17. Generación de una señal 5G NR simulada con un ancho de banda, espaciado de subportadoras y símbolos aleatorios.	38
Figura 18. El código se utiliza para leer datos desde un archivo de Excel, comparar dos columnas de datos y mostrar los resultados de la comparación en MATLAB.	39
Figura 19. Simulación de rendimiento para una red que incluye usuarios 4G y usuarios 5G a lo largo del tiempo.....	39
Figura 20. Gestión de datos y resultados del análisis estadístico.	40
Figura 21. Simulación de cobertura de una red 4G rectangular.	41
Figura 22. <i>Generación de Topología de red 5G</i>	42
Figura 23. Señal 5G NR generada.....	43
Figura 24. Comparación de la velocidad de transmisión de la red 4G LTE medida y la red 5G generada mediante la conmutación.....	44
Figura 25. Comparación de latencia de la red 4G LTE medida y la red 5G generada mediante la simulación de conmutación.	50
Figura 26. Latencia presentada por (a) las dos tecnologías en el estudio previo y (b) las dos tecnologías en el estudio presente realizado.....	53
Figura 27. Código y simulación de cobertura de la red 4G LTE.....	59
Figura 28. Código y simulación de la topología de la red 5G	59
Figura 29. Análisis del rendimiento de la red 4G LTE y 5G.....	60

Figura 30. Análisis comparativo de los niveles de Señal.	60
Figura 31. Resultados de la señal 5G NR generada.....	61
Figura 32. Especificaciones técnicas del dispositivo 5G para el diseño de la femtocelda.....	62

RESUMEN

En Ecuador las comunicaciones inalámbricas evolucionaron hasta llegar a la puesta en marcha, en su etapa inicial de la tecnología. A pesar de las expectativas y el potencial que ofrece, existen varios desafíos que abordar antes de lograr una adopción generalizada. La implementación de 5G requiere de una infraestructura robusta, incluyendo estaciones base y antenas, lo que conlleva importantes inversiones por parte de las empresas de telecomunicaciones. Razón por la cual, se plantea como objetivo, medir y simular la transición de la red 4G LTE a 5G mediante una femtocelda en la zona central de Riobamba. Inicialmente se realizaron mediciones en la red comercial 4G LTE actual, con el objetivo de conocer los recursos que ofrece. Posteriormente se simuló mediante una femtocelda la conmutación de esta red 4G LTE a una red 5G nativa. La propuesta presentada, mejora la red de servicio 4G LTE existente, evaluando la viabilidad de la transición a la tecnología 5G utilizando los recursos disponibles en la red actual. El uso de femtoceldas se presentaron como una solución económica y sencilla para acceder a los servicios ofrecidos por 5G, revolucionando potencialmente diversas industrias como la atención médica, la manufactura, el transporte y más. Se espera que los usuarios se beneficien de estas innovaciones una vez que la tecnología esté más disponible.

Palabras claves: 4G LTE, 5G, conmutación, femtoceldas, simulación.

ABSTRACT

Wireless communication is underway in Ecuador but remains in its initial stage. Despite this technology's expectations and potential, issues must be addressed before widespread adoption can be achieved. Implementing 5G requires a robust infrastructure, including base stations and antennas, which entails significant investments by telecommunications companies. That is why the objective is to measure and simulate the transition from the 4G LTE network to 5G using a femtocell in the central area of Riobamba. Initially, measurements will be taken in the current commercial 4G LTE network to understand the resources it offers. Subsequently, the transition from this 4G LTE network to a native 5G network will be simulated using a femtocell. Upon the project's conclusion, a proposal for improving the existing 4G LTE service network will be presented, evaluating the feasibility of transitioning to 5G technology using the available resources in the current network. The use of femtocells will be presented as an economical and straightforward solution to access the services offered by 5G, potentially revolutionizing various industries such as healthcare, manufacturing, transportation, and more. Users are expected to benefit from these innovations once the technology becomes more widely available.

Keywords: 4G LTE, 5G, switching, femtocells, simulation.



MARIA FERNANDA
PONCE MARCILLO

Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, resulta inconcebible que un usuario pueda llevar a cabo sus actividades cotidianas sin permanecer conectado a un servicio con un sistema de comunicación inalámbrico disponible. Debido, a que cada operador móvil, con sus estaciones base e infraestructura, cubre gran parte del territorio nacional. A inicios de la década de 1980, las redes móviles experimentaron un significativo desarrollo, que transformó la esencia del propio sistema, afectando la propia tecnología, el rango de frecuencias cubiertas y la velocidad, diferenciando a cada generación implementada [1]. La evolución de la tecnología celular está definida por generaciones nominalmente conocidas como 1G, 2G, 3G, 4G y el modelo más reciente la tecnología 5G [2].

La tecnología 1G, también conocida como General Packet Radio Service (GPRS), representa el tipo de red más sencillo y lento disponible, con una velocidad teórica de tan solo 80 Kbps. En esta tecnología, se limita principalmente a la mensajería de texto y llamadas, con posibilidad de navegación muy limitada. La tecnología 2G, o Global System for Mobile Communications (GSM), ofrece una velocidad máxima teórica de 236 Kbps. En este tipo de redes, la velocidad es inferior, y la comunicación de voz tiende a predominar sobre la transmisión de datos. En cuanto a la tecnología 3G, denominada Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), ofrece una velocidad teórica máxima de 2 Mbps. Presenta características como transmisión asimétrica altamente confiable, soporte de conmutación de paquetes y la capacidad de mantener múltiples servicios concurrentes en una sola conexión, entre otras ventajas. [3].

Long Term Evolution (LTE), la cuarta generación (4G), es una extensión de 2G y 3G. LTE proporciona a los usuarios un servicio mejor y más rápido, basado en el protocolo IP [4].

China con la empresa Huawei, fue la impulsora a nivel mundial de la quinta generación (5G). A medida que su presencia crece, dos factores clave se consideran de gran importancia: la saturación de canales y frecuencias de sus predecesoras, y la creciente demanda de velocidades de servicio más rápidas por parte de los usuarios móviles. Esto ha generado problemas de latencia y caídas persistentes del servicio. La tecnología 5G se propone ampliar o reemplazar por completo las redes móviles 4G LTE. Se utilizan frecuencias de trabajo considerablemente más altas, llegando a alcanzar rangos mayores a los 3GHz, siendo

utilizadas ampliamente en otras aplicaciones, como radios inalámbricas y escáneres, entre otras [5].

El avance de 5G, se basa en varios factores, como el desarrollo de la infraestructura, la implementación de redes de fibra, los costos del espectro y otros elementos que pueden frenar esta evolución [6]. La tecnología 5G ofrece una velocidad muy alta, baja latencia y una conectividad altamente escalable entre múltiples dispositivos. Además, proporciona un modelo muy flexible para el uso de nuevas aplicaciones [7].

Ante la creciente demanda de 5G, se hace cada vez más imperativo recurrir a soluciones inalámbricas de alta capacidad, que permitan garantizar una conectividad estable y minimizar interferencias en el uso de dispositivos inteligentes. Siendo posible una transición de una manera amigable y segura. Además, en este despliegue, se anticipa el desarrollo de varios planes piloto para su implementación a nivel nacional.

El uso de femtoceldas se plantea como una solución económica y sencilla. Estos dispositivos tienen la capacidad de conmutar tecnología mediante la utilización de un nodo 4G, actuando como si fuera una red 5G nativa, adoptando los parámetros básicos de esta nueva generación de redes móviles. Dos razones fundamentales respaldan la recomendación del uso de femtoceldas: en primer lugar, se ahorran costos al reducir la necesidad de sistemas de radio bases externas; en segundo lugar, se mejora la cobertura en espacios interiores sin requerir una inversión adicional.

Se pretende con el proyecto, la evaluación de 4G LTE en la parte céntrica de Riobamba, a través del uso de un teléfono móvil. La transición de la red 4G LTE a 5G se llevará a cabo mediante la simulación de una femtocelda. Esta femtocelda permitirá aprovechar las características de la red 4G para crear una red 5G nativa, lo que permitirá obtener resultados experimentales que puedan ser considerados para su futura implementación.

1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente, la humanidad se enfrenta a un rápido avance tecnológico que demanda el uso de dispositivos móviles inteligentes. Estos dispositivos posibilitan una comunicación constante, flexible y segura. A medida que el aprendizaje a través de diversas plataformas virtuales sigue expandiéndose, se requieren recursos digitales en constante crecimiento, como mayor velocidad, menor latencia y un amplio ancho de banda. En estas áreas, las tecnologías 3G y 4G resultan insuficientes para respaldar la creciente demanda de datos [1]. La tecnología 5G se vislumbra como una solución evidente para abordar esta problemática

actual. Con mejoras significativas en la conectividad, se espera una reducción drástica de la latencia, que podría disminuir a tan solo 5 milisegundos. Además, 5G permitirá velocidades de navegación de hasta 10 Gbps. Su despliegue marca una auténtica revolución tecnológica [8].

En Ecuador, la implementación de los servicios 5Gm ha sufrido retrasos. Por lo tanto, el punto de partida implica una comprensión profunda de todos los requisitos necesarios, para realizar la transición hacia estas nuevas tecnologías. Se prevé como un proceso a largo plazo debido a los requerimientos técnicos y la inversión económica necesarios. Por lo tanto, el inicio de la operación puede llevarse a cabo a pruebas piloto [9].

Se debe contar con un presupuesto adecuado, debido a la necesidad de considerar numerosos factores, como el incremento en la capacidad de las antenas, el reemplazo de componentes y la expansión de estaciones base. Es importante tener en cuenta que la energía necesaria para 5G, es significativamente mayor que en 3G y 4G. Para los operadores móviles, este supone un desafío en términos de cómo lograr rentabilidad en la inversión del despliegue 5G, así como todos los aspectos relacionados con ello. Además, se reconoce que los clientes pueden ser reacios a pagar tarifas más altas a pesar de la mayor velocidad que ofrece la tecnología 5G [10]. Dado los potenciales costos significativos asociados a la implementación de la tecnología móvil 5G, se llevarán a cabo mediciones del servicio proporcionado por las operadoras en la red 4G LTE, que se ofrece a los usuarios. A partir de las características recopiladas, se realizará una simulación de la red 4G LTE a 5G por medio de una femtocelda.

1.2 Justificación

En 2020, el país tenía como objetivo el despliegue de la tecnología 5G, tal como había sido anunciado por el Ministerio de Telecomunicaciones. Sin embargo, una de las barreras para la adopción de esta tecnología se relaciona con el factor económico. La implementación de 5G requiere inversiones significativas, que abarcan desde la adquisición de espectro radioeléctrico hasta la compra de equipos de procesamiento y la instalación de infraestructura. Los operadores han destacado el alto costo asociado a su implementación, lo que podría dificultar la plena explotación de esta tecnología de quinta generación [11].

Con el desarrollo de este trabajo, se busca obtener datos experimentales sobre el comportamiento de la red 5G en vista de una futura implementación de esta tecnología en el país. Se realizarán mediciones de la red comercial 4G LTE en la parte céntrica de Riobamba.

Una vez que se hayan identificado las características de funcionamiento de esta red en la ciudad, se procederá a efectuar la transición de la misma a una red 5G nativa a través de la simulación mediante una femtocelda.

Los resultados de este trabajo son de gran importancia, ya que proporcionarán información acerca de las mejoras que se podrían lograr al implementar la red 5G en el país en comparación con la red 4G LTE, basada en parámetros técnicos y el uso de las femtoceldas como una solución económica para los operadores. Esto permitirá que los usuarios accedan y aprovechen al máximo la tecnología de quinta generación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Medir y Simular la conmutación de la red 4G LTE a 5G mediante una femtocelda en la zona centro de la ciudad de Riobamba.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar medidas en la ciudad de Riobamba de la red comercial 4G LTE, que se ofrece a los usuarios mediante la aplicación móvil Net-monitor Cell y analizar la calidad de servicio que se ofrece al usuario.
- Simular la conmutación la red 4G LTE a una red 5G nativa a una frecuencia de trabajo de 3.4 GHz, simulando una femtocelda mediante el uso del simulador MATLAB que nos proporciona herramientas de simulación para redes móviles.
- Desarrollar una propuesta de mejora a la red 4G LTE existente, mediante el análisis y evaluación de los datos extraídos de las medidas realizadas en cada uno de los nodos.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes

La adopción de la tecnología 5G en Ecuador se perfila como un proceso a largo plazo, en vista de los considerables requisitos técnicos y económicos involucrados. Como resultado, el inicio de operaciones podría concretarse a través de proyectos piloto en las principales ciudades del país. La implementación de la red 5G para uso comercial está próxima, pero ello no implica el obsoleto de generaciones previas, sino, su coexistencia. En base a, continuar brindando servicios de telecomunicaciones a un gran número de usuarios que todavía usan tecnologías antiguas, especialmente en áreas rurales de todas las regiones del país.

La tecnología 4G se encuentra disponible en numerosas regiones del país, con una cobertura del 76%. Esto resalta la necesidad de implementar mejoras, optimizaciones y medidas para fortalecer y consolidar esta tecnología [9].

En 2022 un trabajo titulado "Análisis de factibilidad para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Riobamba mediante un banco de pruebas", analizó sobre tecnologías de acceso móvil, enfocado en las tecnologías 4G y 5G. En este trabajo se detallaron los requisitos establecidos en las normativas para 5G, en cuanto a infraestructura y tecnología para su migración. Los resultados del estudio sugirieron que las redes 4G LTE y 5G comparten similitudes, como la conmutación mediante el uso de femtoceldas [1].

Las actuales condiciones de las redes inalámbricas en Ecuador presentan ciertas limitaciones en términos de eficacia. Por tanto, para avanzar hacia nuevas tecnologías, sería esencial facilitar el acceso a investigadores especializados, lo que permitiría la búsqueda de soluciones efectivas [12].

2.2 Redes Móviles

Las redes móviles permiten a los operadores brindar servicios de telefonía y datos, por medio de una infraestructura desplegada a través de radio bases, desempeñando un papel fundamental en las comunicaciones modernas y permitiendo la conectividad global. Estas redes móviles se basan en torres de telefonía celular que dividen una región en celdas o células. Cada celda está equipada con una estación base que ofrece cobertura inalámbrica en un área geográfica específica. Cada dispositivo se enlaza con la base más cercana y pueden

cambiar de una celda a otra a medida que los usuarios se desplazan, lo que posibilita la movilidad sin perder la conexión [13].

2.3 Evolución de las redes móviles a lo largo del tiempo

Desde la invención de las redes móviles, se ha experimentado mejoras significativas a medida que la tecnología ha evolucionado a lo largo de diferentes generaciones, ver Figura 1, cada una con mejoras notables en velocidad, capacidad, rendimiento y funcionalidad [3].



Figura 1. Evolución de la Redes Móviles en términos de servicio.

2.3.1 Tecnología 1G

La tecnología 1G aparece en la década de 1980 y se basó en un sistema analógico que empleaba una red de circuitos conmutados. Este sistema móvil se utilizaba exclusivamente para realizar llamadas de voz a través de una técnica llamada Acceso Múltiple por División de Frecuencia (*FDMA*). Las frecuencias de operación se encontraban en el rango de aproximadamente 800 a 900 MHz, y la capacidad del canal estaba limitada a 30 KHz. La tecnología 1G tenía limitaciones notables, como una capacidad limitada, mala calidad de recepción, un rendimiento deficiente de la batería y la presencia de interferencias de ruido de fondo. Sin embargo, como se observa en la Figura 2, uno de sus méritos fue la simplicidad de su infraestructura, que requería menos elementos de red para su implementación [14].

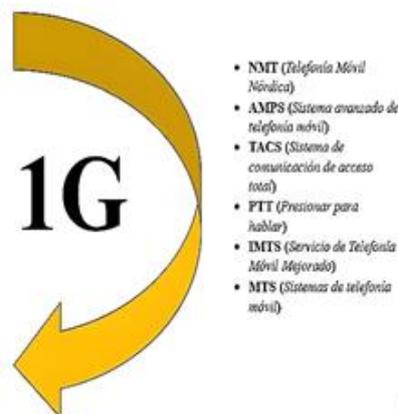


Figura 2. Estándares tecnológicos en 1G.

2.3.2 Tecnología 2G

La tecnología celular 2G marca un avance significativo en la evolución móvil desde 1990, ver Figura 3. En sus primeras etapas, se introdujeron servicios de datos limitados comercialmente, Además, se registraron mejoras en la calidad de la voz y una reducción de las interferencias de ruido. En este contexto, se implementó el cifrado digital como una medida de seguridad [14].

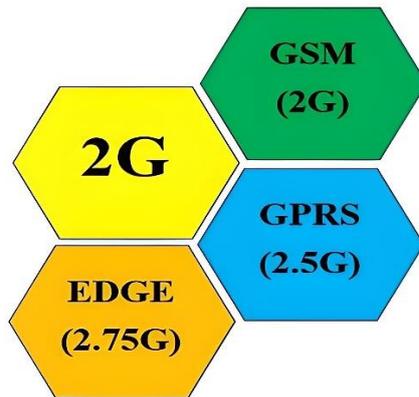


Figura 3. Diferentes estándares de 2G.

2.3.3 Tecnología 3G

La tecnología 3G surge con el propósito de mejorar los servicios de voz, el rendimiento de datos, garantizar alta calidad de servicio y reforzar la seguridad, ver Figura 4. Esta tecnología celular se introdujo en el año 2000 [14].

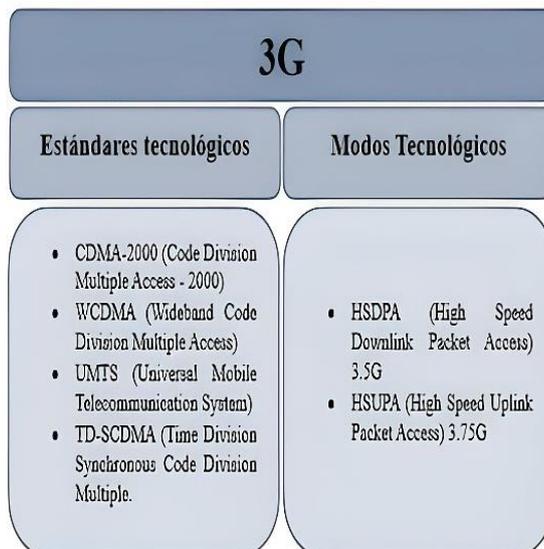


Figura 4. Modos y estándares tecnológicos bajo 3G.

2.3.4 Tecnología 4G

En 2010 la tecnología celular 4G, muestra cambios significativos en comparación con sus predecesoras. La norma ITU-IMT incorporó la capacidad de hasta 40 MHz y estableció un requisito de velocidad máxima de 100 Mbps durante las transiciones entre celdas [14], ver Figura 5.



Figura 5. Beneficios de la tecnología 4G LTE.

En la primera versión del estándar LTE se implementó comercialmente en la tecnología 4G y se caracteriza por no admitir redes de conmutación de circuitos, sino que se basa en un sistema de red basado en IP [15]. El retraso antes de que se inicie la transferencia de datos es de menos de cinco milisegundos [16].

2.3.5 Tecnología 5G

Las redes 5G permite un espectro de comunicación más amplio, y con una mejor robustez, permitiendo la implementación de servicios innovadores en diversos sectores industriales. Se espera que cada usuario experimente velocidades de datos de al menos 100 Mbps, con un pico máximo de 20 Gbps, ver Figura 6 [17].

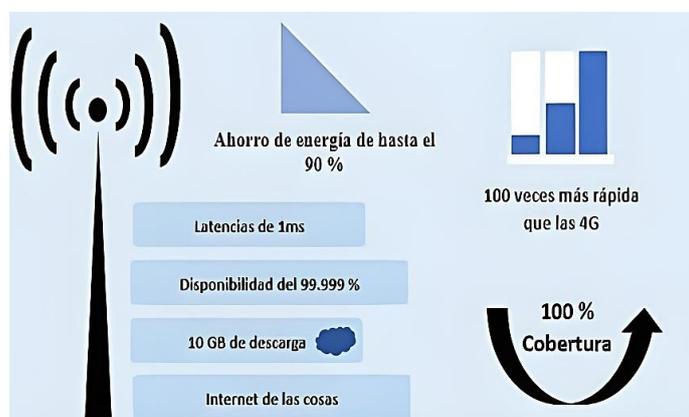


Figura 6. Características de la red 5G.

La tecnología 5G está caracterizada por algunas especificaciones como se muestra en la Figura 6 [18]:

- Una cobertura del 100% implica la necesidad de realizar inversiones significativas en lo que respecta a la infraestructura física.
- Se tendrá un AB de 1,000 unidades por área.
- Los dispositivos de IoT tendrán una vida útil de batería de 10 años.
- La velocidad de conexión varía según el dispositivo, pudiendo alcanzar hasta 10 gigabits por segundo en algunos casos.
- La red experimentará una notable reducción del consumo de energía, llegando hasta un 90% de disminución.
- La cantidad de dispositivos conectados aumentará de 10 a 100 veces.
- La disponibilidad de la red se mantendrá en un alto nivel del 99.99%.
- En aras de salvaguardar la integridad de la información transmitida, las redes 5G implementarán estándares de seguridad para prevenir posibles ataques cibernéticos.

2.3.5.1 Ventajas de la tecnología 5G

Las principales ventajas son [19]:

- Aumento notable de la velocidad en las transmisiones, con la posibilidad de alcanzar velocidades de hasta 15 o 20 Gbps.
- Reducción significativa de la latencia, ya que en 5G será aproximadamente diez veces menor que en 4G, permitiendo la ejecución de acciones remotas en tiempo real.
- Ampliación considerable en el número de dispositivos conectados al sistema, con la llegada del 5G, llegando a una escala de millones por kilómetro cuadrado.

2.3.5.2 Desventajas de la tecnología 5G

La tecnología 5G presenta numerosas ventajas, pero también tiene algunas desventajas y desafíos que deben considerarse [20]:

- Requisitos de Infraestructura: La implementación de redes 5G requiere mejoras significativas en la infraestructura, lo cual puede ser una inversión costosa y llevar un tiempo considerable, especialmente en áreas rurales o remotas que cuentan con infraestructura limitada.
- Posible interferencia: A más alta frecuencia en las redes 5G puede hacerlas susceptibles a interferencias causadas por objetos físicos. Estas interferencias pueden

afectar la intensidad y la cobertura de la señal, particularmente en entornos con numerosos obstáculos.

- Costo: La construcción e implementación de redes 5G son más costosas en comparación con las redes 4G LTE, lo que significa que podría pasar algún tiempo antes de que la disponibilidad de 5G sea generalizada.
- Alcance: Las señales 5G no tienen la misma capacidad de alcance que las señales 4G LTE, lo que resulta en una cobertura potencialmente más limitada en comparación con la tecnología 4G LTE.

En general, el 5G representa una mejora significativa con respecto al 4G LTE. Ofrece velocidades más rápidas, menor latencia, mayor capacidad y nuevas aplicaciones [20].

2.3.6 Estandarización por el 3GPP para 5G

La transición de 4G LTE a 5G sigue las pautas establecidas por el 3GPP, ver Figura 7. 3GPP tiene un calendario específico para garantizar que los releases entre 4G y 5G se realicen de manera regular y que el estándar se entregue puntualmente [21].

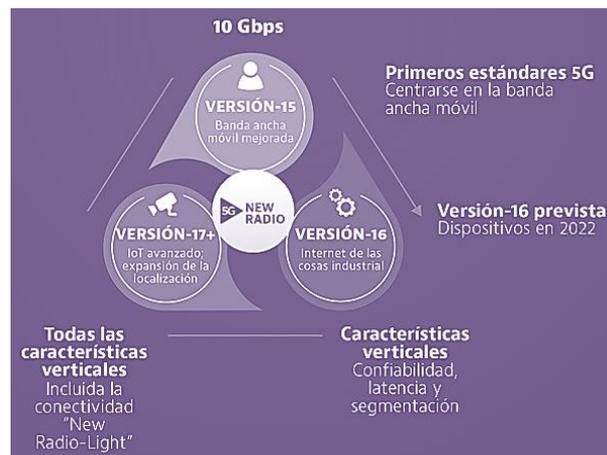


Figura 7. Estándares para la implementación de 5G.

2.3.6.1 Release 15

El estándar (Release 15) sienta las bases de 5G a nivel mundial. Este constituye un logro significativo en el avance de las comunicaciones móviles y facilita la primera implementación comercial de redes 5G en varios países.

2.3.6.2 Release 16

EL estándar (release 16) marca un punto destacado en el desarrollo de la tecnología 5G al incorporar características mejoradas y mejoras que expanden las capacidades de las redes móviles.

2.3.6.3 Release 17

Según estándar (release 17) se prevé como una continuación en la evolución de la tecnología 5G y se anticipaba que incorporaría mejoras y características adicionales con el propósito de ampliar aún más las capacidades de 5G, ver Tabla 1.

Tabla 1. Estándares de mejoras a la red 5G por el 3GPP en el reléase 15, 16 y 17.

Estandarización 3GPP para 5G		
Características		
Release 15	Release 16	Release 17
<ul style="list-style-type: none"> - 5G NR (New Radio) - 5G Core Network (5GC) - 5G Standalone (SA) y Non-Standalone (NSA) - Bandas de frecuencia y espectro - Latencia baja y alta velocidad - Coexistencia con 4G LTE 	<ul style="list-style-type: none"> - Características avanzadas de 5G - Ultra confiabilidad y baja latencia (URLLC) - Redes privadas 5G - Mejoras en el soporte para vehículos conectados y comunicación entre vehículos (V2X) - Soporte para espectro compartido y compartido dinámico - Avances en IoT - Mejoras en seguridad y privacidad - Múltiples conexiones y servicios 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejoras en IoT - Más aplicaciones para vehículos conectados - Servicios de baja latencia - Soporte para nuevas bandas de frecuencia y espectro compartido - Mejoras en la eficiencia energética - Seguridad y privacidad mejoradas

Fuente: Autor

2.4 Tecnologías móviles 4G y 5G en el Ecuador

2.4.1 Tecnología 4G LTE

El primer proveedor en ofrecer este servicio en el país, fue el operador estatal CNT EP. Posteriormente, en 2015, los operadores Movistar, Tuenti y Claro también iniciaron la prestación de esta tecnología [24].

El MINTEL contribuye significativamente en ampliar la disponibilidad de los servicios móviles avanzados 4G. En Figura 8, observamos un crecimiento ascendente de la cobertura con tecnología 4G que alcanzo el 75.92%, lo que representa un aumento de 10,635,965 personas en 2021 a 13,476,769 personas, es decir, el 78% con fecha de corte en diciembre de 2022 [9]. En general, la cobertura suele evaluarse en función del número de estaciones base en lugar de considerar principalmente aspectos geográficos [25].

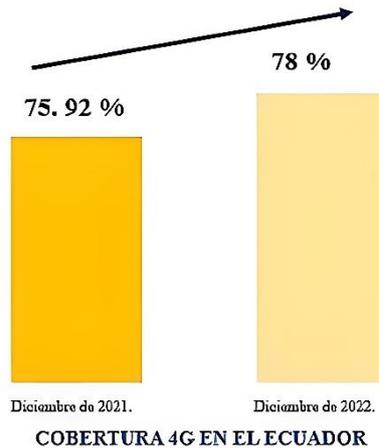


Figura 8. Cobertura Poblacional del servicio móvil avanzado 4G.

2.4.2 Tecnología 5G

La tecnología 5G implica el desarrollo de un sistema dividido en dos componentes [9]:

- **Recepción:** Se requiere disponer de dispositivos de clientes que sean compatibles y capaces de aprovechar las innovaciones tecnológicas de la red 5G.
- **Transmisión:** Se debe llevar a cabo la instalación de antenas interconectadas mediante comunicación óptica y la actualización de radio bases compatibles con 5G. Con 4G la distancia era de 200km. Con 5G será de dos mazanas.

El gobierno de Ecuador tiene previsto emplear la tecnología 5G para la implementar la política de "Ecuador Digital". Sin embargo, aún no ha establecido un plan detallado para la implementación de esta tecnología [26].

2.4.2.1 Frecuencias de Operación 5G

Se anticipa que las redes 5G funcionen en diversas frecuencias con y sin licencia, abarcando rangos de espectro en frecuencias bajas, medias y altas. Es importante mencionar que algunas de estas frecuencias aún no han sido definidas de manera específica por 3GPP y ITU-R. De esta forma, la red 5G puede aprovechar el espectro en diversas bandas. [27]:

- En las bandas bajas, que abarcan de 700MHz a 850MHz, se logra una mayor cobertura y una mejor penetración de la señal.
- Las bandas medias incluyen frecuencias alrededor de 1.9GHz, 2.3GHz, 2.5GHz y 3.5 GHz, lo que ofrece una combinación de características tanto de las bandas bajas como de las altas, lo que resulta en un equilibrio en la prestación de servicios.
- Por otro lado, en las bandas altas, que oscilan entre 24 GHz y 28 GHz, la propagación es limitada, pero mejora el AB y la velocidad.

2.5 Sistemas Femtoceldas

2.5.1 Definición de Femtocelda

Una Femtocelda es un dispositivo que actúa como estación base de baja potencia con un rango de cobertura que oscila entre 10 y 50 metros. Esta tecnología se utiliza principalmente para proporcionar cobertura en interiores y requiere una licencia específica para su operación. La Femtocelda se integra con interfaces de tecnologías móviles ya existentes [22].

2.5.1.1 Aspectos técnicos de las Femtoceldas

Una mejor calidad del sistema, al mismo tiempo que ofrece el beneficio adicional de aumentar la capacidad. Para implementar un sistema de femtocelda, se requiere una conexión a Internet. Dado que se trata de una tecnología novedosa, es esencial tener en cuenta los siguientes problemas relacionados con la radiofrecuencia: manejo de interferencias, aspectos regulatorios, e instalación [23].

2.5.1.2 Atributos distintivos de las femtoceldas.

Es importante destacar que el concepto y la tecnología relacionados con las femtoceldas se desarrollaron en el contexto de las tecnologías 3G y 4G. Además, estas siguen siendo relevantes en el despliegue de redes 5G adaptadas a esta tecnología [23].

2.5.1.3 Marco Legal

Es relevante destacar que, hasta el año en curso, aún no se han establecido por completo las especificaciones regulatorias y los marcos normativos conforme para la 5G en Ecuador, pero a nivel internacional, desde 2015, se dispone del estándar IMT-2020 [1].

2.5.1.3.1 Constitución de la República del Ecuador

En el Artículo número 16 de la “Constitución de la República del Ecuador” indica que, *“todas las personas, en forma individual o colectiva, tienen derecho a”*: *“Acceso en igualdad de condiciones al uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para la gestión de estaciones de radio y televisión públicas, privadas y comunitarias, y a bandas libres para la explotación de redes inalámbricas”* [28].

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGIA.

3.1 Tipo y Diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

En el marco de este estudio, se expondrán las particularidades de funcionamiento de la red 5G en una eventual implementación en el territorio. La investigación es experimental que hará uso de las capacidades de la red 4G LTE, la cual se evaluará en una aplicación móvil en varios puntos de la localidad. Posteriormente, se realizará una transición mediante la simulación de una femtocelda.

3.2 Método de Investigación

El proyecto usa un método experimental inductivo. Esto implica la medición de la latencia y la velocidad de transmisión en una red 4G LTE en un entorno de campo. Se recopila datos observacionales de la red y se medirán las variables pertinentes.

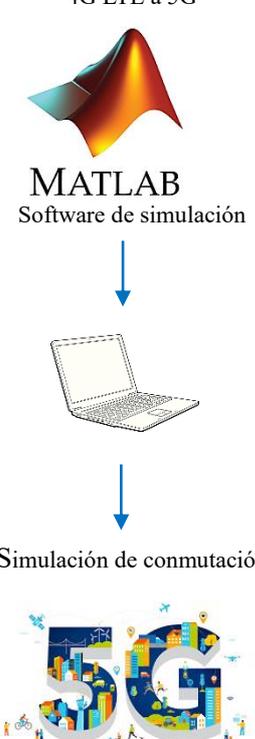
3.3 Fuentes de Recopilación de la Información

Búsqueda de fuentes de información científica en revistas especializadas y conferencias científicas. El objetivo de esta búsqueda es explorar el diseño y la construcción de femtoceldas, con el propósito de comprender el funcionamiento y la implementación de este proyecto final.

3.4 Diseño de Investigación

Para describir la funcionalidad del sistema, se detallan tres aspectos fundamentales, como se ilustra en la Tabla 2. En una primera etapa, se analiza la red 4G LTE. Posteriormente, se procede con la fase de diseño de la femtocelda y las especificaciones técnicas. Como resultado de esta tercera etapa, se produce la transición de la red 4G LTE a una red 5G nativa.

Tabla 2. Funcionalidad del proyecto de investigación dado por etapas.

Diseño del proceso de investigación		
<p>Toma de medidas de la red 4G LTE</p>  <p>netmonitor Software de medición</p> <p>Toma de medidas</p> <p>Desarrollo</p>	<p>Simulación de la femtocelda</p>  <p>Modelo de simulación y especificaciones técnicas</p> <p>MATLAB Software de simulación</p> <p>Diseño y desarrollo.</p>	<p>Simulación y Conmutación de la red 4G LTE a 5G</p>  <p>MATLAB Software de simulación</p> <p>Simulación de conmutación</p>
<p>Se realizará la medición de la red 4G LTE en cada uno de los nodos, los datos serán exportados a EXCEL para obtener las características específicas de la misma.</p>	<p>La simulación de la femtocelda se desarrollará en función a las especificaciones técnicas del Indoor NR Remote Radio Unit (RRU) Model: 52434</p> <p>Al momento del desarrollo de este trabajo de investigación las femtoceldas se encuentran discontinuadas.</p>	<p>Simulación de la red 4G LTE A 5G mediante el software Matlab nos permitirá conocer el comportamiento y funcionalidad de esta red.</p>

Fuente: Autor

3.5 Técnicas de recolección de Datos

Se condiciona por factores como los recursos disponibles, el acceso a la infraestructura de red y los objetivos concretos del estudio. Dado que se llevarán a cabo mediciones y simulaciones, se contará con una combinación de datos experimentales y datos generados a través de simulaciones.

- Pruebas de Campo: Mediante este enfoque, se llevarán a cabo mediciones en ubicaciones reales donde las redes 4G LTE están operativas. Se hará uso de equipos y herramientas de medición especializados con el propósito de recopilar datos relacionados con la latencia y la velocidad de transmisión.

- Prueba U de Mann-Whitney: se compara dos conjuntos independientes para hallar la significancia estadística.

3.6 Población de estudio y Tamaño de muestra

3.6.1 Población de estudio

Se analizarán poblaciones que consisten en datos recopilados de la medición de variables definidas por los parámetros técnicos de 12 nodos administrados. En total, se llevarán a cabo 360 mediciones, con 30 mediciones realizadas en cada nodo (*10 mediciones por cada parámetro*).

3.6.2 Tamaño de muestra

La muestra serán las 360 mediciones que se realizarán en los 12 nodos de la ciudad de Riobamba.

3.7 Operacionalización de las Variables

3.7.1 Variable Dependiente e Independiente

Se denomina como variable independiente a la latencia y velocidad de transmisión y como variable dependiente al tiempo de carga y descarga de archivos multimedia, ver Tabla 3.

Tabla 3. Operacionalización de Variables.

Tipo de variables		
Independiente	Concepto	Indicadores
Tecnología 4G	Medir los principales parámetros con los que cuenta la red 4G LTE de los nodos a ser censados en la Zona centro de Riobamba.	<ul style="list-style-type: none"> • Latencia en un rango de 30 a 50 milisegundos. • Velocidad de transmisión
Dependiente	Concepto	Indicadores
Tecnología 4G	Analizar las características derivadas de la red 4G LTE en función a las variables independientes de los nodos de la Zona Centro de Riobamba.	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de carga y descarga de archivos multimedia.

Fuente: Autor

3.8 Análisis y procesamiento de datos

En un formato estructurado se recopilan datos, se examina en busca de errores, valores atípicos o datos faltantes, para resumir las características clave de tus datos, como estadísticas de resumen, ver Figura 9.



Figura 9. Diagrama de desarrollo del procesamiento de datos.

3.9 Etapas de Desarrollo

3.9.1 Fase I: Recolección de la Información

La información se genera en los nodos de diversas operadoras móviles en la ciudad de Riobamba, se considerarán parámetros técnicos relevantes, relacionados con la tecnología 4G. Esto se llevará a cabo a través de aplicaciones de monitoreo, tales como:

Net-monitor Cell: Esta aplicación proporciona información detallada acerca de todos los parámetros utilizados en la radio base.

3.9.2 Fase II: Investigación de los principales parámetros de la tecnología 5G

Se toma como referencia el estándar 3GPP, que especifica los diversos parámetros de la Quinta Generación de telefonía móvil y los requisitos fundamentales para su implementación en el país. Se explorará la viabilidad de la transición de 4G LTE a 5G, basado en las normativas propias de cada uno.

3.9.3 Fase III: Simulación de la femtocelda para la conmutación de la red 4G a una red 5G nativa.

En esta fase, se simula la red 4G utilizando las herramientas de redes móviles proporcionadas por el software Matlab. Se desarrollará un diseño que permitirá simular la implementación de una femtocelda y, posteriormente, la transición a la tecnología 5G.

3.9.4 Fase IV: Comparación de las tecnologías 4G y 5G

En el estudio, se examinarán las mejoras que ofrece la tecnología 5G en comparación con la tecnología 4G LTE. Esto se llevará a cabo a través de la comparación de los parámetros clave de transmisión en telefonía móvil.

3.9.5 Fase V: Presentación de los resultados de la medición de la red 4G LTE y la conmutación a una red 5G nativa.

Se obtiene información respecto a la calidad de servicio de cada usuario de la red 4G LTE, basada en parámetros como latencia, velocidad, carga y descarga de archivos multimedia. Además, se expondrá una propuesta de mejora para la red 4G LTE, así como la simulación de la femtocelda y la transición a una red 5G nativa, con miras a una futura implementación de esta tecnología en el país y la ciudad.

3.10 Desarrollo

3.10.1 Realización de Medidas

El requisito fundamental para llevar a cabo la realización de mediciones en la red 4G LTE es configurar la aplicación Netmonitor, como se ilustra en la Figura 10. En el menú principal de la aplicación, se presentarán las opciones "Mostrar diagrama de señal" y "Mostrar celdas vecinas", las cuales deben activarse para poder visualizar todos los parámetros de la red que se está midiendo.

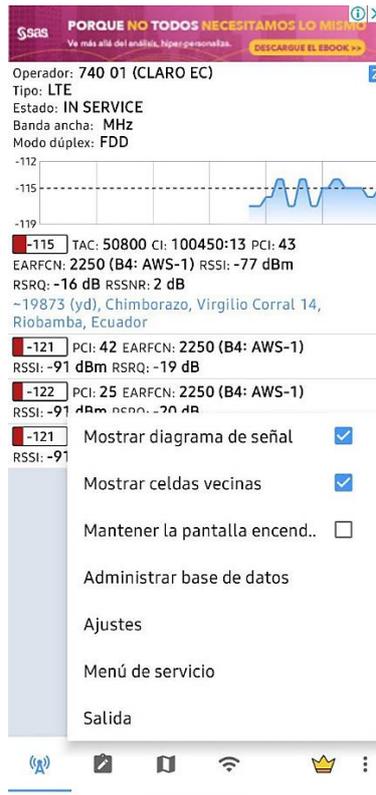


Figura 10. Menú principal y configuración de la aplicación Net monitor.

Para la toma de medidas se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Activar el *GPS*, para un funcionamiento adecuado, y conocer el recorrido de la medición como se representa en la Figura 11 la franja de color naranja representa el recorrido actual de la ruta y la franja de color amarillo representa el recorrido de sesiones grabadas anteriormente.
- En segundo lugar, se procede a abrir la aplicación Net Monitor.
- Luego, se realizare un recorrido por la zona en la que se desea evaluar la calidad de la señal de nuestro proveedor de servicios móviles, así como la ubicación y conexión de las estaciones base en cada momento.
- Es importante tener en cuenta que las conexiones a diferentes estaciones base no serán idénticas, incluso si se repite el mismo recorrido en distintos días o momentos del día. Esto se debe a que las estaciones base gestionan sus conexiones en función del tráfico que están manejando en ese momento, la congestión de la red, entre otros factores. Por lo tanto, pueden optar por redirigir la conexión a otra estación base menos saturada.



Figura 11. Recorrido de medición en los nodos con la aplicación Net monitor.

3.10.2 Procesamiento de Datos

Una vez que se haya hecho el recorrido, se accede al menú para generar un archivo con extensión KML como se observa en la Figura 12. Se debe tener en cuenta que para obtener los archivos para poder exportar la sesión de recorrido debe ser grabada por la misma aplicación.



Figura 12. Exportar en extensión KML para su procesamiento y tabulación.

El archivo KML generado por NetMonitor se puede abrir en formato de tabla en Excel. Una vez que se abre el archivo, ver Figura 13, las radio base son agrupadas para mejorar la

señalización. También se puede acceder a datos como el controlador de red de radio, el momento en que se realizaron las mediciones, la fecha y hora de cada medición.

report	sys_time	sim_state	net_op	nam_net_op	cod_roaming	net_type	call_state	data_state	data_act	data_rx	data_tx	gsm_neighb	umts_neighb	lte_neighb	rssi_stronger_tech	
2	0	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
3	1	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
4	2	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
5	3	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
6	4	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
7	5	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
8	6	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
9	7	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
10	8	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
11	9	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
12	10	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
13	11	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
14	12	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
15	13	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
16	14	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
17	15	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
18	16	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
19	17	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
20	18	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
21	19	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
22	20	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
23	21	2,0221E+13	READY	CNT		74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	2147483647 LTE

Figura 13. Archivo.xlsx generado con los datos obtenidos en Netmonitor.

3.10.3 Simulación en Matlab

```

1 frecuencia = 2.1e9;
2 potenciaTransmisor = 20;
3 distanciaMaxima = 5000;
4
5 pl0 = 60;
6 n = 3;
7
8 numPuntos = 100;
9 x = rand(1, numPuntos) * distanciaMaxima;
10 y = rand(1, numPuntos) * distanciaMaxima;
11
12
13 pl = pl0 + 10 * n * log10(sqrt(x.^2 + y.^2));
14 potenciaRecibida = potenciaTransmisor - pl;
15
16
17 scatter(x, y, [], potenciaRecibida, 'filled');
18 colorbar;
19 xlabel('Distancia (m)');
20 ylabel('Distancia (m)');
21 title('Cobertura de una celda 4G');

```

Figura 14. Simulación de cobertura de una celda 4G en un área rectangular

En la Figura 14. se definen los parámetros de la simulación, que incluyen la frecuencia de operación de la red, la potencia del transmisor y la distancia máxima de la celda. Además, se especifican los parámetros del modelo de atenuación.

A continuación, se generan aleatoriamente un número especificado de puntos en un área rectangular. Estos puntos se distribuyen de manera aleatoria en las coordenadas x e y, dentro del rango de la distancia máxima de la celda. Luego, se calcula la potencia recibida en cada uno de estos puntos, determinada en de acuerdo al trayecto de cada punto y el emisor, utilizando el modelo de atenuación.

```

1
2   numUsuarios = 10;
3   numAntenas = 4;
4   numSimbolos = 100;
5
6   posUsuarios = rand(numUsuarios, 2);
7
8   posAntenas = rand(numAntenas, 2);
9
10  distancias = pdist2(posUsuarios, posAntenas);
11
12  [~, antenasAsignadas] = min(distancias, [], 2);
13
14  datosCanal = randn(numUsuarios, numAntenas);
15
16  senalRecibida = zeros(numUsuarios, numSimbolos);
17  senalCombinada = zeros(1, numSimbolos);
18
19  for simbolo = 1:numSimbolos
20
21      senalTransmitida = datosCanal(row, antenasAsignadas)*randn(numAntenas, 1);
22

```

Figura 15. Simulación de una red de comunicación inalámbrica con usuarios, antenas y condiciones de canal aleatorias.

El código de la Figura 15 representa una simulación de una red de comunicación inalámbrica con múltiples usuarios y antenas en una estación base. En primer lugar, se establecen los parámetros de la simulación, como la cuantía de clientes en el sistema, las antenas y de símbolos en una trama.

A continuación, se genera de manera aleatoria las ubicaciones de los usuarios y las antenas en un espacio bidimensional. Se calcula la distancia entre cada usuario y cada antena según sus coordenadas espaciales para determinar a cuál antena está más cerca cada usuario. Además, se generan datos de canal aleatorios que modelan las condiciones de propagación inalámbrica entre usuarios y antenas, representando la respuesta del canal de comunicación entre cada usuario y cada antena.

El código inicializa matrices para registrar la señal recibida por cada usuario y la señal combinada en la estación base. Luego, se simula la transmisión y recepción de la señal para cada símbolo en la trama. En cada paso, se genera una señal transmitida por cada antena, afectada por los datos de canal y el ruido aleatorio. Estas señales transmitidas se suman para formar la señal recibida por cada usuario.

Finalmente, los resultados de la simulación se presenta, mostrando las posiciones de los usuarios, las antenas asignadas a cada usuario y los gráficos que representa la señal recibida por cada usuario y la señal combinada en la estación base. En resumen, este código simula y analiza la comunicación inalámbrica en una red, considerando la ubicación de los usuarios, las condiciones del canal y la transmisión de señales entre antenas y usuarios.

```

1  numUsuarios = 10;
2  potenciaTx = 20;
3  distancia = 10;
4  gananciaAntena = 5;
5
6  frecuencia = 2.4e9;
7  lambda = physconst('LightSpeed') / frecuencia;
8  pathLoss = (4 * pi * distancia / lambda).^2;
9
10 potenciaRx = potenciaTx + gananciaAntena - pathLoss;
11
12 ruido = -100;
13 snr = potenciaRx - ruido;
14
15 for i = 1:numUsuarios
16     fprintf('Usuario %d:\n', i);
17     fprintf('Potencia recibida: %.2f dBm\n', potenciaRx);
18     fprintf('Relación señal a ruido (SNR): %.2f dB\n', snr);
19     fprintf('-----\n');
20 end
21

```

Figura 16. Cálculos relacionados con la potencia de señal, pérdida de trayectoria y relación señal-ruido (SNR) en una red de comunicación inalámbrica.

El propósito de este código es evaluar el rendimiento de una red de comunicación inalámbrica al calcular y presentar la potencia de señal, la pérdida de trayectoria y la relación señal-ruido para un grupo de usuarios en una femtocelda. Esto resulta valioso para analizar cómo se comporta la red en función de la distancia y otros parámetros específicos. El código, ver Figura 16, establece las cuantificaciones iniciales relacionadas con la red y la femtocelda, como la cantidad de usuarios, la potencia de transmisión de la femtocelda, la distancia entre la femtocelda, los usuarios y la ganancia de la antena de la femtocelda. El bucle finaliza la evaluación al mostrar la potencia recibida y la relación señal-ruido para cada usuario en la femtocelda, lo que permite obtener una comprensión detallada del rendimiento de la red.

```

1  bandwidth = 10e6;
2  subcarrierSpacing = 15e3;
3  numSymbols = 100;
4
5
6  time = 0:(1/subcarrierSpacing):(numSymbols-1)/subcarrierSpacing;
7
8
9  for i = 1:numSymbols
10     symbolIndex = floor((time(i) * bandwidth) / subcarrierSpacing) + 1;
11     signal(symbolIndex) = symbols(i);
12 end
13
14
15 plot(time, signal);
16 xlabel('Tiempo');
17 ylabel('Amplitud');
18 title('Señal 5G NR generada');

```

Figura 17. Generación de una señal 5G NR simulada con un ancho de banda, espaciado de subportadoras y símbolos aleatorios.

La generación de una señal de comunicación siguiendo los estándares comunes de la tecnología 5G NR (New Radio), se observa en la Figura 17. En las redes 5G NR, las subportadoras desempeñan un papel fundamental en el transporte de datos. Además, se especifica la cantidad de símbolos que se generarán en la señal.

El código crea un vector de tiempo que representa el momento en que se generará la señal. La escala de tiempo se ajusta en función del espaciado entre las subportadoras y la cantidad de símbolos deseados para la creación de la señal. Luego se genera de manera aleatoria secuencias de símbolos binarios (0 y 1) que se utilizarán en la señal. Es importante mencionar que esta representación es una versión simplificada y generada de forma aleatoria de una señal 5G NR, diseñada principalmente con fines de demostración o experimentación. En la realidad, las señales 5G NR son considerablemente más complejas y se generan de manera mucho más sofisticada.

```

1 filename = 'estadio_20220414_171105.xlsx';
2 sheet = 1;
3 range = 'A1:C10';
4 [data, headers] = xlsread(filename, sheet, range);
5
6 column2 = data(:, 2);
7 comparison = column1;
8
9 disp('Comparación de datos:');
10

```

Figura 18. El código se utiliza para leer datos desde un archivo de Excel, comparar dos columnas de datos y mostrar los resultados de la comparación en MATLAB.

El código realizado MATLAB que se encarga de leer datos desde un archivo de Excel y luego realizar una comparación entre dos columnas de datos, ver Figura 18.

```

1 num_4G_users = 10;
2 num_5G_users = 10;
3 sim_duration = 10;
4 femtocelda = cell(2, 1);
5 femtocelda{1}.velocidad_maxima = 10;
6 femtocelda{1}.throughput = 100;
7 femtocelda{2}.velocidad_maxima = 100;
8 femtocelda{2}.throughput = 1000;
9 users = cell(2, 1);
10 users{1}.velocidad = rand(num_4G_users, 1) * femtocelda{1}.velocidad_maxima;
11 users{2}.velocidad = rand(num_5G_users, 1) * femtocelda{2}.velocidad_maxima;
12 for t = 0:sim_duration
13
14     rendimiento_actual = zeros(2, 1);
15     for i = 1:2
16         num_usuarios = numel(users{i}.velocidad);
17         rendimiento_actual(i) = min(femtocelda{i}.throughput, sum(users{i}.velocidad) / num_usuarios);
18     end
19
20     fprintf('Tiempo: %d segundos\n', t);
21     fprintf('Rendimiento 4G: %.2f Mbps\n', rendimiento_actual(1));
22     fprintf('Rendimiento 5G: %.2f Mbps\n', rendimiento_actual(2));
23     |
24     for i = 1:2
25         num_usuarios = numel(users{i}.velocidad);

```

Figura 19. Simulación de rendimiento para una red que incluye usuarios 4G y usuarios 5G a lo largo del tiempo.

Este código, que se observa en la Figura 19, incorpora la evaluación de dos femtoceldas con distintas características de rendimiento, así como un grupo de usuarios 4G y 5G. El propósito es observar cómo varía el rendimiento de la red a lo largo del tiempo al calcular y

mostrar el rendimiento actual en cada fase de la simulación. Este tipo de simulación resulta valioso para llevar a cabo una comparativa entre diferentes tecnologías de red en un entorno específico.

El código comienza por configurar parámetros iniciales, tales como la cantidad de usuarios 4G, 5G y la duración de la simulación en segundos. Luego, se crean dos femtoceldas con distintas velocidades máximas y capacidades de rendimiento. La primera femtocelda tiene una velocidad máxima de 10 Mbps y un throughput de 100 Mbps, mientras que la segunda femtocelda es de máximo 100 Mbps y un throughput de 1000 Mbps.

3.10.4 Análisis Estadístico

El software SPSS es un instrumento para la estadística y la investigación como se observa en la Figura 20. Permite que los usuarios llevar a cabo análisis estadísticos complejos de manera relativamente sencilla.

	VT	TC	VAR00001	VAR00002	VAR00003	VAR00004	VAR00005	VAR00006	VAR00007	VAR00008	VAR00009	var	var
1	5,110	1,000	-99,00	80,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
2	4,780	1,000	-99,00	80,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
3	5,110	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
4	5,110	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
5	4,850	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
6	4,870	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
7	5,090	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
8	5,010	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
9	4,880	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
10	4,890	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
11	5,010	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
12	5,170	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
13	4,990	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
14	4,970	1,000	-97,00	60,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
15	4,810	1,000	-99,00	70,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
16	4,890	1,000	-99,00	70,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
17	5,160	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
18	4,970	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
19	4,990	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
20	4,980	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
21	4,940	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		
22	4,770	1,000	-101,00	130,00	2,15E+9	,00	-1,00	-10,00	-10,00	-1,00	2,15E+9		

Figura 20. Gestión de datos y resultados del análisis estadístico.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de las simulaciones de Matlab

4.1.1 Cobertura de una Celda 4G

La cobertura de una celda 4G, se observa en la Figura 21. Los puntos representan ubicaciones aleatorias de los usuarios dentro de la celda, y el color de cada punto indica la potencia de la señal recibida en esa ubicación. Esto permite visualizar la intensidad de la señal en diversas áreas de la celda, simulando cómo se distribuye la potencia de la señal en una celda de red 4G y mostrando la cobertura de la celda en función de la ubicación de los puntos generados aleatoriamente. Los "datos 1" representan documentos de texto planos, mientras que los "datos 2" son multimedia. Para cada nodo, la mayoría de los datos permitidos por las redes 4G son el tipo de dato 1 y dato 2. Los puntos de color verde representan a los usuarios que se están alejando considerablemente de la radio base, los círculos de color amarillo son los puntos muertos o las áreas que no presentan cobertura.

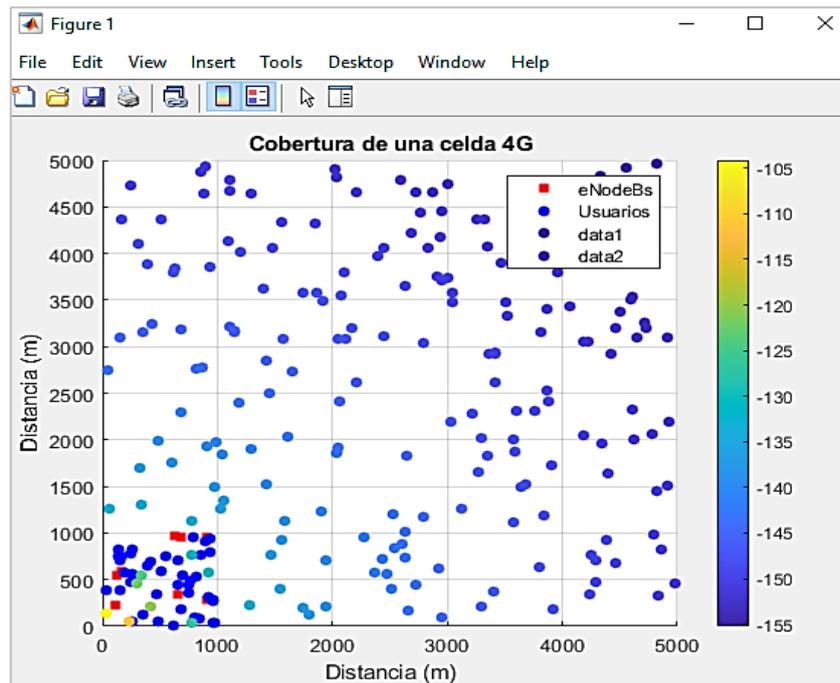


Figura 21. Simulación de cobertura de una red 4G rectangular.

4.1.2 Simulación y análisis de una red de comunicaciones 5G

En esta sección, se establece una topología de red simulada que incluye estaciones base (eNodeBs) y usuarios. Se generan ubicaciones aleatorias tanto para las estaciones base como para los usuarios en un área de simulación rectangular.

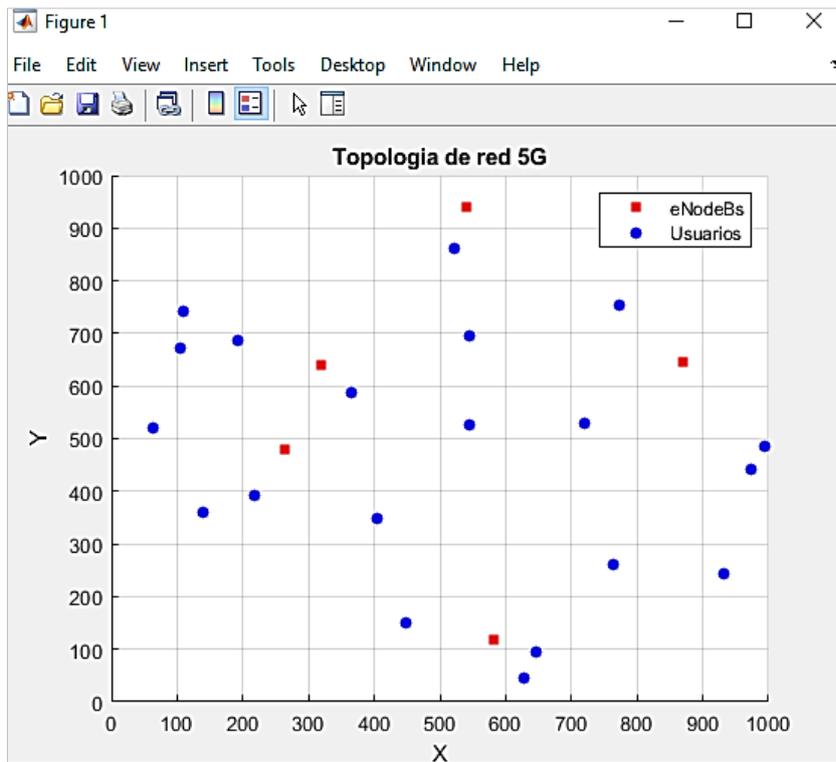


Figura 22. Generación de Topología de red 5G.

La generación de la topología de red, la cual está definida por parámetros tales como la cantidad de usuarios y la cifra de iteraciones de simulación con estaciones base (eNodeBs) y usuarios en un área de simulación específica, ver Figura 22. En esta generación de topología, se utilizan coordenadas aleatorias para la ubicación de estaciones base y usuarios.

4.1.3 Señal 5G NR generada

En la Figura 23, se observa una señal de comunicación en el contexto de la tecnología 5G NR. Esta señal se define mediante varios parámetros relevantes, como el ancho de banda en Hz, el espaciado de las subportadoras y el número de símbolos a generar. Para representar la señal 5G NR, se crea un vector de señal lleno de ceros.

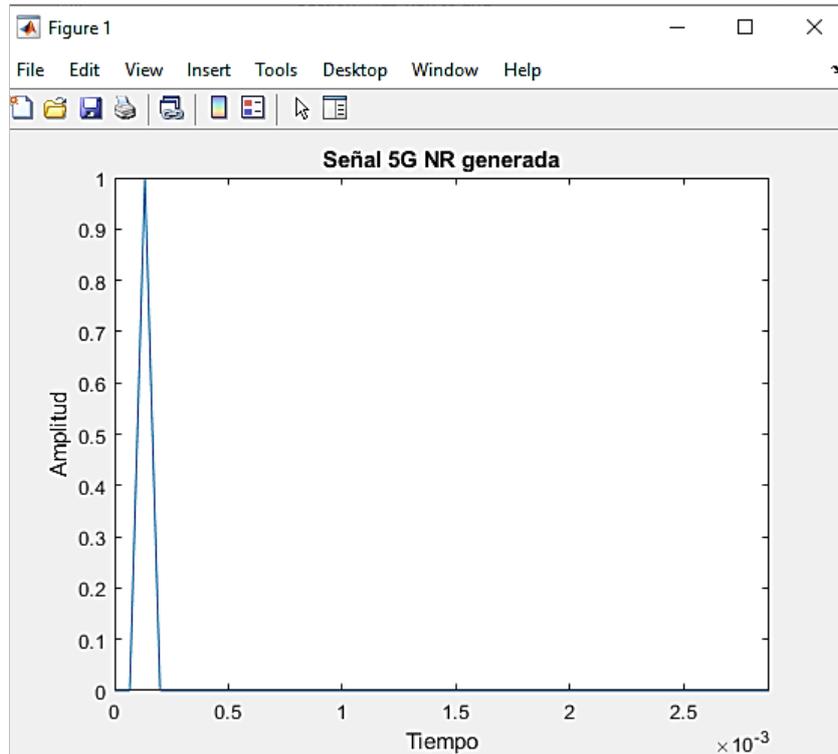


Figura 23. Señal 5G NR generada

4.2 Análisis de la simulación de conmutación de la red 4G LTE a 5G

Este apartado proporciona estadísticas comparativas sobre velocidades de transmisión y latencia para 4G LTE y 5G.

Una Hipótesis se define por:

H_0 = los datos siguen una distribución normal.

H_α = los datos no siguen una distribución normal

Si $n > 50$ se aplica Kolmogorov – Sminov

Si $n \leq 50$ se aplica Shapiro – Wilk

Si p – valor < 0.05 , se rechaza H_0

Si p – valor ≥ 0.05 , se acepta H_0 y se rechaza H_α

4.2.1 Análisis de Rendimiento

Tabla 4. Resumen del procesamiento de casos en el software SPSS análisis de rendimiento.

Resumen de procesamiento de casos							
	Tecnología de Conmutación	Datos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	N	Porc	N
Velocidad de Transmisión	T4G	360	100,0%	0	0,0%	360	100,0%
	T5G	360	100,0%	0	0,0%	360	100,0%

Fuente: Autor

Validos perdidos

En la Tabla 4 nos indica el resumen del procesamiento de datos, se observa que 360 casos válidos, es decir que todos los casos se han podido procesar.

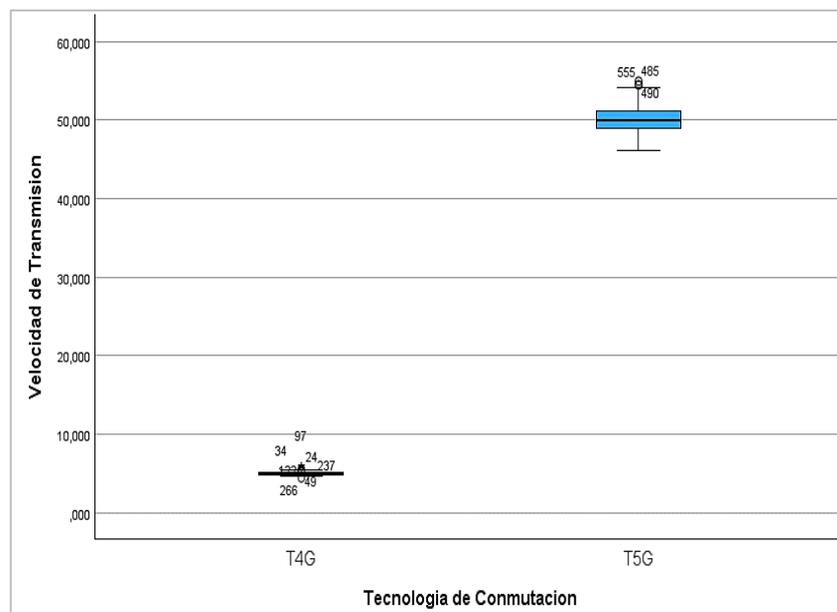


Figura 24. Comparación de la velocidad de transmisión de la red 4G LTE medida y la red 5G generada mediante la conmutación.

Los resultados recabados a partir de la simulación de conmutación de la red 4G LTE a 5G, se observa en la Figura 24. Dichos resultados establecen mediciones de velocidad de transmisión. En el caso de la tecnología 4G LTE, el rango de velocidades de transmisión varía entre 4.99 Mbps y 5.03 Mbps. En contraste, la velocidad de transmisión en la tecnología 5G se encuentra en un rango que oscila entre 48.33 Mbps y 50.16 Mbps, lo que representa una velocidad aproximadamente 10 veces superior. Esta comparativa evidencia

claramente que la velocidad de transmisión en la tecnología 4G es significativamente menor en comparación con la tecnología 5G.

Tabla 5. Descripción de parámetros estadísticos de las redes de 4G LTE y 5G.

Descriptivos					
	Tecnología de Conmutación		Estadístico	Error estándar	
Velocidad de Transmisión	T4G	<i>Media</i>		5,01342	,009021
		95% de IC para la media	<i>Límite inferior</i>	4,99568	
			<i>Límite superior</i>	5,03116	
		<i>media dispersa al 5%</i>		5,00704	
		<i>Mediana</i>		5,01000	
		<i>Varianza</i>		,029	
		<i>Desviación estándar</i>		,171169	
		<i>Mínimo</i>		4,450	
		<i>Máximo</i>		5,950	
	T5G	<i>media</i>		49,99808	,082726
		95% de IC para la media	<i>Límite inferior</i>	49,83540	
			<i>Límite superior</i>	50,16077	
		<i>media dispersa al 5%</i>		49,98019	
		<i>Mediana</i>		49,92500	
		<i>Varianza</i>		2,464	
		<i>Desviación estándar</i>		1,569609	
		<i>Mínimo</i>		46,180	
<i>Máximo</i>		54,970			

Fuente: Autor

Los parámetros estadísticos de las variables T4G y T5G, que representan las tecnologías de red 4G LTE y 5G, respectivamente, se presentan en la Tabla 5. La variable T4G tiene una media de 5.01342, mientras que la variable T5G tiene un valor medio de 49.99808. El error para T4G es de 0.009021, y para T5G es de 0.082726.

Los IC del 95% para la media de T4G tienen un límite inferior de 4.99568 y un valor límite superior de 5.03116, mientras que para T5G, el valor límite inferior es 49.83540 y el valor

límite superior es 50.16077. Estos rangos permiten tener cierta confianza en la ubicación de la media, considerando una específica cuantía de datos.

La Media recortada al 5% de T4G es 5.00704, y para T5G es 49.98019. Estos valores proporcionan una medida más robusta de la tendencia central, siendo menos sensible a los valores atípicos. La mediana de T4G es 5.01000, y para T5G es 49.92500. Estos valores representan los puntos centrales de los conjuntos de datos, sin verse influenciados por valores extremos. La varianza de T4G es relativamente baja en comparación con T5G, lo que sugiere que T4G tiene una velocidad de transmisión más constante. Por otro lado, la varianza en T5G indica que la velocidad de transmisión puede ser considerablemente más rápida, como se refleja en los resultados del estudio.

Tabla 6. Prueba de normalidad de los valores de la red 4G LTE y 5G.

Pruebas de normalidad							
	Tecnología de Conmutación	<i>Kolmogórov – Smirnov</i>			<i>Shapiro – Wilk</i>		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Velocidad de Transmisión	T4G	,081	360	<,001	,923	360	<,001
	T5G	,035	360	,200*	,995	360	,261

Fuente: Autor

En lo referente a T4G, al aplicar la prueba del método de Kolmogórov-Smirnov, se obtiene un valor del estadístico igual a 0.081, y el p-valor resulta ser menor que 0.001. Esto implica que los datos no siguen una distribución normal, dado que el p – valor es considerablemente pequeño. De manera similar, al emplear la prueba de Shapiro-Wilk en los mismos datos, se obtiene un valor del estadístico de 0.923, y el p-valor es inferior a 0.001, lo que también indica que los datos no siguen una distribución normal.

En cuanto a la prueba aplicada a T5G utilizando el método de Kolmogorov-Smirnov, se observa que el valor del estadístico es de 0.035, y el p-valor resulta ser 0.200. Aunque el valor p no desciende por debajo de 0.05, lo cual sugeriría evidencia sólida de no normalidad, es importante destacar que se señala con un asterisco (*) que este valor representa un límite inferior de significación real. Esto podría indicar que la prueba es menos concluyente en términos de la no normalidad. Por otro lado, al utilizar la prueba de Shapiro-Wilk en los mismos datos, se obtiene un valor del estadístico de 0.995 y un p – valor de 0.261, lo que nuevamente apunta a que los datos no siguen una distribución normal.

Los resultados de las pruebas de normalidad para los dos grupos de datos, T4G y T5G, indican que, no existe una distribución normal, ver Tabla 6. Dado que los datos no siguen una distribución normal según estas pruebas, se consideraría la utilización de métodos estadísticos no paramétricos. La técnica de la Prueba de Mann – Whitney U sería la más adecuada, ya que se emplea para comparar dos grupos independientes y determinar si existe diferencias significativas entre ellos. Esta prueba es el equivalente no paramétrico de la prueba t de Student.

Prueba de Mann-Whitney

Tabla 7. Parámetros estadísticos de Mann-Whitney para las redes 4G LTE Y 5G.

Rangos				
	Tecnología de Conmutación	N	Rango promedio	Suma de rangos
Velocidad de Transmisión	T4G	360	180,50	64980,00
	T5G	360	540,50	194580,00
	Total	720		

Fuente: Autor

Se puede observar en la Tabla 7 que T5G tiene un rango promedio considerablemente más alto que T4G, lo que indica una diferencia significativa en la velocidad de transmisión entre las dos tecnologías. Es decir, la velocidad de transmisión de T5G es mucho más rápida, lo que hace que esta tecnología sea más eficaz y proporcione una mayor satisfacción al usuario.

Tabla 8. Estadísticos de Prueba para la red 4G LTE Y 5G.

Estadísticos de prueba^a	
	Velocidad de Transmisión
<i>U de Mann – Whitney</i>	,000
<i>W de Wilcoxon</i>	64980,000
<i>Z</i>	-23,223
<i>Sig. asin. (bilateral)</i>	<,001

a. Variable de agrupación: Tecnología de Conmutación

Fuente: Autor

Los estadísticos de prueba presentados en la Tabla 8 incluyen:

- U de Mann – Whitney: El valor de 0.000 sugiere que se encontraron diferencias significativas entre las dos tecnologías de conmutación en términos de velocidad de

transmisión. El valor cero indica que no hay superposición en las distribuciones de las dos tecnologías, respaldando la existencia de diferencias significativas.

- **W de Wilcoxon:** El valor de 64,980.000 es el valor calculado de W en este caso, y su significado específico depende de la prueba exacta que se realizó. Puede indicar el grado de diferencia o la fuerza de la prueba.
- **Z:** El valor de -23.223 es el valor Z calculado. En general, cuanto mayor sea el valor Z, más fuerte será la evidencia en contra de la hipótesis nula.
- **Sig. asin. (bilateral):** Este es el valor de significación (p-valor) asociado con la prueba de Mann – Whitney. Un valor de < 0.001 significa que el p-valor es menor que 0.001, lo que indica una fuerte evidencia de que existen diferencias significativas en la velocidad de transmisión entre las dos tecnologías de conmutación.

Los resultados de las pruebas de Mann-Whitney y Wilcoxon sugieren que existen diferencias significativas en la velocidad de transmisión entre las dos tecnologías de conmutación (T4G y T5G). El valor extremadamente bajo del p-valor (<0.001) respalda la conclusión de que las diferencias son estadísticamente significativas. Esto indica que estas dos tecnologías tienen un impacto significativo en la velocidad de transmisión.

4.2.2 Prueba de Hipótesis

Después de realizar un análisis de normalidad de los datos, se verifica la hipótesis que se aplica para este caso.

Hipótesis:

$$H_0: \text{med } 1 = \text{med } 2$$

$$H_\alpha: \text{med } 1 \neq \text{med } 2$$

4.2.2.1 Hipótesis Nula

Las medidas muestrales tomadas del software Net Monitor para la red 4G LTE y los resultados de la conmutación hacia una red 5G en el software Matlab se detallan a continuación en un análisis estadístico de p-valor como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9. P-valor de cada una de las tecnologías.

	Estadístico	P-valor
T4G	,081	<,001
T5G	,035	,200*

Fuente: Autor

El p-valor en la tecnología 4G LTE (T4G) es $<,001$ y para 5G (T5G) el p-valor es $,200^*$ es importante destacar que se señala con un asterisco (*) que este valor representa un límite inferior de significación real. Esto podría indicar que la prueba es menos concluyente en términos de la no normalidad, se rechaza H_0 , debido a la existencia de diferencias significativas en la velocidad de transmisión de las tecnologías.

4.2.2.2 Hipótesis Alternativa

Las medidas muestrales tomadas del software Net Monitor para la red 4G LTE y los resultados de la conmutación hacia una red 5G en el software Matlab se detallan a continuación en un análisis estadístico de p-valor.

Tabla 10. P-valor de cada una de las tecnologías.

	Estadístico	P-valor
T4G	,081	$<,001$
T5G	,035	$,200^*$

Fuente: Autor

El p-valor que se muestra en la Tabla 10, indica que la tecnología 4G LTE (T4G) es $<,001$ y para 5G (T5G) el p-valor es $,200^*$ es importante destacar que se señala con un asterisco (*) que este valor representa un límite inferior de significación real. Esto indica que la prueba es menos concluyente en términos de la no normalidad evidenciando diferencias significativas, se acepta la hipótesis alternativa concluyendo que la red 5G es mucho más rápida de la red 4G LTE en términos de velocidad de transmisión.

4.2.3 Análisis de Latencia

Tabla 11. Resumen del procesamiento de casos en el software SPSS análisis de latencia.

Resumen de procesamiento de casos							
	Tecnología de Conmutación	Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		<i>N</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>N</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>N</i>	<i>Porcentaje</i>
Latencia	T4G	360	100,0%	0	0,0%	360	100,0%
	T5G	360	100,0%	0	0,0%	360	100,0%

Fuente: Autor

En la Tabla 11. nos indica el resumen del procesamiento de casos, se observa que 360 casos son válidos, es decir que todos los casos se han podido procesar.

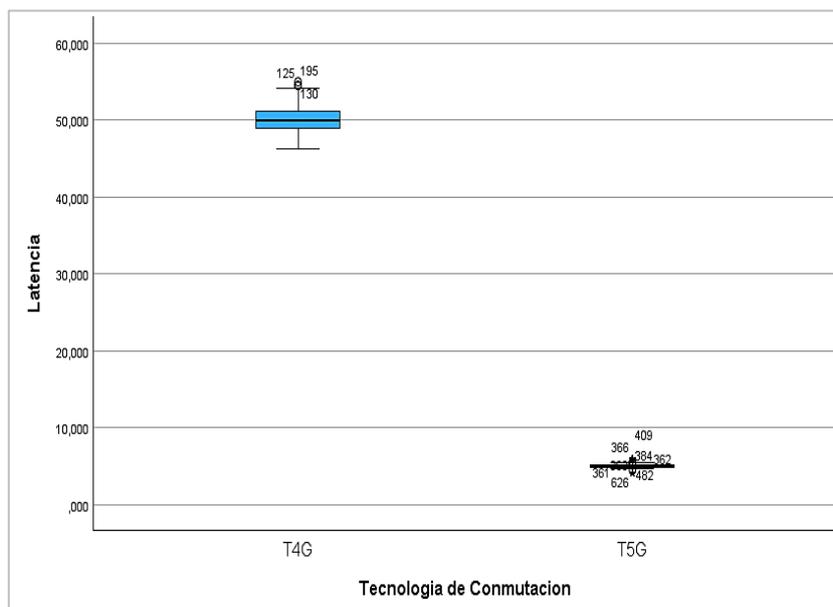


Figura 25. Comparación de latencia de la red 4G LTE medida y la red 5G generada mediante la simulación de conmutación.

Los resultados recabados a partir de la simulación de conmutación de la red 4G LTE a 5G, se observan en la Figura 25. Dichos resultados establecen mediciones latencia. En el caso de la tecnología 4G LTE, el rango de latencia varía entre 10,07 ms y 15,03 ms. En contraste, la latencia en la tecnología 5G se encuentra en un rango muy bajo, lo que representa una latencia aproximadamente 10 veces inferior. Esta comparativa evidencia claramente que la latencia en la tecnología 4G es significativamente mayor en comparación con la tecnología 5G. A partir de estos datos, se concluye que, en la red 5G, sus comunicaciones son extraordinariamente rápidas.

Tabla 12. Descripción de parámetros estadísticos de latencia en 4G LTE y 5G.

Descriptivos					
	Tecnología de Conmutación		Estadístico	Error estándar	
Latencia	T4G	<i>Media</i>		,99808	,082726
		<i>95% de IC para la media</i>	49,83540	,99568	
			50,16077	,03116	
		<i>media dispersa al 5%</i>		,98019	
		<i>Mediana</i>		,92500	
		<i>Varianza</i>		2,464	
		<i>Desviación estándar</i>		1,569609	
		<i>Mínimo</i>		,180	
<i>Máximo</i>		,970			

T5G	<i>Media</i>		,01342	,010174
	<i>95% de IC para la media</i>	4,99341		
		5,03343		
	<i>media dispersa al 5%</i>		,00753	
	<i>Mediana</i>		,01000	
	<i>Varianza</i>		,037	
	<i>Desviación estándar</i>		,193043	
	<i>Mínimo</i>		,110	
<i>Máximo</i>		,0950		

Fuente: Autor

Para la tecnología T4G, la latencia media es de aproximadamente 0.99808, con un error estándar de 0.082726, como se observa en la Tabla 12. El IC del 95% para la \bar{X} , se sitúa entre 0.83540 y 0.16077. La \bar{X} al 5% es 0.98019, y la *Me* es de 0.92500. La σ de los datos es de 2.464, y la σ^2 es de aproximadamente 1.569609. La latencia más baja registrada es 0.180, mientras que la más alta es 0.970.

En cuanto a la tecnología T5G, la latencia media es de alrededor de 0.01342, con un ε de 0.010174. El IC del 95% para la \bar{X} , se encuentra entre 0.099341 y 0.03343. La \bar{X} al 5% es 0.00753, y la *Me* es de 0.01000. La σ de los datos es de 0.037, y la σ^2 es aproximadamente 0.193043, la latencia más baja registrada es 0.0110, mientras que la más alta es 0.0950.

Tabla 13. Prueba de normalidad de los valores de la red 4G LTE y 5G.

Pruebas de normalidad							
	Tecnología de Conmutación	<i>Kolmogórov – Smirnov</i>			<i>Shapiro – Wilk</i>		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Latencia	T4G	,035	360	<,001	,995	360	<,001
	T5G	,101	360	<,001	,891	360	<,001

Fuente: Autor

Para T4G, el estadístico de Kolmogorov-Smirnov fue de aproximadamente 0.035, con 360 grados de libertad, y el valor p asociado fue <,001, ver Tabla 13. Mientras tanto, el estadístico de Shapiro-Wilk fue aproximadamente 0.995, con 360 grados de libertad, y el valor p asociado fue <,001. Estos resultados sugieren que, en el caso de T4G, hay evidencia significativa que no existe una distribución normal.

En cambio, en T5G, Kolmogorov-Smirnov en su estadístico, muestra un valor de aproximadamente 0.101, con 360 grados de libertad, y el valor p asociado fue menor que 0.001.

Prueba de Mann – Whitney

Tabla 14. Prueba de Mann - Whitney de latencia entre 4G LTE Y 5G

Rangos				
	Tecnología de Conmutación	N	Rango promedio	Suma de rangos
Latencia	T4G	360	740,50	64980,00
	T5G	360	108,50	194580,00
	Total	720		

Fuente: Autor

T5G tiene un rango promedio considerablemente más bajo que T4G, indicando una discrepancia con significancia en la latencia de las dos tecnologías, ver Tabla 14. Es decir, la latencia de T5G es mucho menor, lo que hace que esta tecnología sea más eficaz y proporcione una mayor satisfacción al usuario en términos de tiempo.

4.2.3.1 Hipótesis Nula

Las medidas tomadas del software Net Monitor para la red 4G LTE y los resultados de la conmutación hacia una red 5G en el software Matlab se detallan a continuación en un análisis estadístico de p-valor.

Tabla 15. P-valor de cada una de las tecnologías.

	Estadístico	P-valor
T4G	,035	,200*
T5G	,0101	<,001

Fuente: Autor

El p-valor que se detalla en la Tabla 15 muestra que la tecnología 4G LTE (T4G) es ,200* y para 5G (T5G) el p-valor es <,001 es importante destacar que se señala con un asterisco (*) que este valor representa un límite inferior de significación real. Esto podría indicar que la prueba es menos concluyente en términos de la no normalidad, se rechaza H_0 , debido a la presencia de disconformidades significativas en la latencia de las tecnologías.

4.2.3.2 Hipótesis Alternativa

Las medidas tomadas del software Net Monitor para la red 4G LTE y los resultados de la conmutación hacia una red 5G en el software Matlab se detallan a continuación en un análisis estadístico de p-valor.

Tabla 16. P-valor de cada una de las tecnologías.

	Estadístico	P-valor
T4G	,035	,200*
T5G	,0101	<,001

Fuente: Autor

El p-valor en la Tabla 16 indica que la tecnología 4G LTE (T4G) es ,200* y para 5G (T5G) el p-valor es <,001 es importante destacar que se señala con un asterisco (*) que este valor representa un límite inferior de significación real. Se acepta H_1 y rechaza H_0 , concluyendo que la red 5G tiene un tiempo de respuesta mucho más rápida de la red 4G LTE en términos de latencia.

4.2.4 Comparativa 4G LTE y 5G estudios previos

La Figura 26, muestra la comparativa entre 4G y 5G. Se puede deducir que la red 5G es superior en un 70 % en comparación con la red 4G LTE.

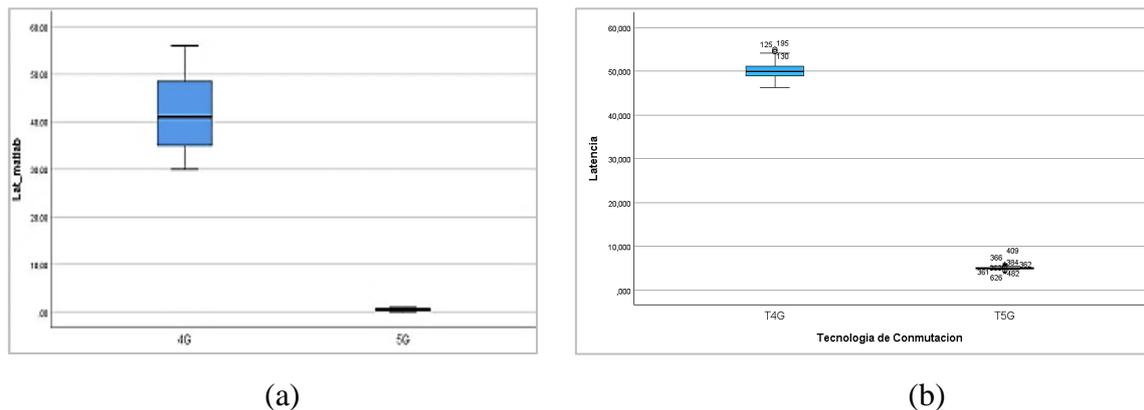


Figura 26. Latencia presentada por (a) las dos tecnologías en el estudio previo y (b) las dos tecnologías en el estudio presente realizado.

Fuente: [1]

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Propuesta de mejora a la red 4G

Con base en las medidas realizadas, se infiere que los diversos operadores móviles deberían planificar una mejor ubicación de torres de telefonía móvil y estaciones base. Esto permitiría ofrecer una cobertura eficiente tanto en áreas urbanas como rurales, mejorando la calidad del servicio y reduciendo la interferencia. Además, se podría abordar posibles deficiencias en la cobertura, con el propósito de proporcionar una conectividad confiable a los usuarios.

5.2 Conclusiones

- la implementación exitosa de 5G requiere una planificación detallada, evaluación de la infraestructura, pruebas rigurosas, colaboración con las autoridades pertinentes y un enfoque en la eficiencia energética. Estas medidas son esenciales para garantizar una transición exitosa hacia la tecnología 5G en las redes de telecomunicaciones.
- Simulando la conmutación experimental de la red 4G LTE a 5G con una femtocelda, se obtiene información sobre la distancia óptima en las radio-bases y cómo los usuarios se conectan a ellas. Esto resulta en una valiosa ayuda para las empresas de telecomunicaciones al dimensionar sus recursos con el fin de satisfacer la demanda. Es esencial para que la red funcione eficientemente y ofrezca un servicio de calidad a los usuarios, permitiendo a las empresas identificar problemas y oportunidades de mejora en la red. Estos hallazgos se basan en datos con el propósito de comprender el desempeño de la red 5G.
- Si se implementaran este tipo de redes dentro del país, las comunicaciones mejorarían en un 60-70% en los principales parámetros de redes móviles. Es importante tener en cuenta que las redes 5G requieren un mayor número de recursos técnicos para su implementación, ya que operan a distancias más cortas en comparación con las redes 4G. Las redes 5G al ser implementadas los recursos de los usuarios finales se reducirían en menos energía para transmisión de recursos.
- La tecnología 5G es esencial para mejorar nuestra experiencia de comunicación y habilitar aplicaciones avanzadas en nuestra vida cotidiana, desde la transmisión de entretenimiento hasta la automatización y la transmisión en tiempo real.

- Las femtoceldas facilitarían la accesibilidad a la red 5G, generando un impacto en nuestra vida cotidiana garantizando una mejor cobertura, y una comunicación móvil más confiable en entornos domésticos y empresariales, optimizando el rendimiento de la red 5G sobre la red 4G LTE.

5.3 Recomendaciones

- Antes de llevar a cabo la implementación de 5G, es crucial realizar una evaluación exhaustiva de la infraestructura de red existente, que abarca desde las torres de celulares hasta las estaciones base y las fibras ópticas. Este proceso permite determinar qué componentes son reutilizables y cuáles requieren actualizaciones significativas.
- La cobertura desempeña un papel fundamental en el éxito de una adopción de tecnología 5G. Por ende, se recomienda realizar un análisis detallado de la cobertura para identificar las áreas donde se necesitarán estaciones base 5G. Este análisis debe tener en cuenta cómo se superpondrán las estaciones base 5G con las estaciones 4G/LTE existentes, para avalar una transición fácil y una cobertura segura en todas las áreas.
- Además, es esencial llevar a cabo pruebas exhaustivas tanto antes como durante la implementación de 5G para asegurarse de que la red funcione de acuerdo con las expectativas. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real es crucial para identificar posibles problemas y optimizar continuamente el rendimiento de la red.
- La colaboración activa con las autoridades reguladoras y los gobiernos es de suma importancia para una adopción de las redes 5G. Esto garantiza el cumplimiento de las regulaciones estatales y proporciona el apoyo necesario para llevar a cabo el despliegue de la tecnología de manera efectiva.
- Dado que la implementación de 5G puede aumentar el consumo de energía, es importante considerar soluciones que mejoren este aspecto. Para reducir costos operativos y mejorar el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. S. Guillén Santillán, «Análisis de Factibilidad para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Riobamba mediante un banco de pruebas», *Tesis, Universidad Nacional de Chimborazo*, 2022.
- [2] B. Samaniego-Moncayo, J. Herrera-Tapia, J. P. Ponce, J. C. Sendón-Varela, y P. Henríquez-Coronel, «Análisis del despliegue y uso de la tecnología celular en Ecuador», *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, n.º E29, pp. 51-66, 2020.
- [3] J. R. B. Gomez, «Evolución de las redes móviles hasta hoy en día y el impacto de la red móvil de quinta generación», *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, vol. 3, n.º 3, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://www.redtis.org/index.php/Redtis/article/view/36>
- [4] C. D. Radicelli-García, M. Pomboza-Floril, L. Cepeda-Astudillo, C. D. Radicelli-García, M. Pomboza-Floril, y L. Cepeda-Astudillo, «Conectividad a Internet en zonas rurales mediante tecnologías de TDT (dvb-rct2), o telefonía móvil (4g-lte)», *DYNA*, vol. 85, n.º 204, pp. 319-324, 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n204.62690.
- [5] K. D. Vasquez Benito, G. F. Rengel Pilco, y A. Zarate Ramirez, «5G características y aplicaciones en salud», *Jour. Bol. Cien.*, vol. 18, n.º 53, pp. 85-93, dic. 2022, doi: 10.52428/20758944.v18i53.372.
- [6] P. A. G. T. H. your say, «La promesa del 5G en Latinoamérica se retrasa en el tiempo». Consultado: 5 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/la-promesa-del-5g-en-latinoamerica-se-retrasa-en-el-tiempo/>
- [7] R. Dangi, P. Lalwani, G. Choudhary, I. You, y G. Pau, «Study and Investigation on 5G Technology: A Systematic Review», *Sensors*, vol. 22, n.º 1, p. 26, dic. 2021, doi: 10.3390/s22010026.
- [8] J. Flores, «Qué es el 5G y cómo nos cambiará la vida», www.nationalgeographic.com.es. Consultado: 8 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-es-5g-y-como-nos-cambiara-vida_14449
- [9] F. E. C. Fernando, «Estudio de la infraestructura y el espectro radioeléctrico en la evolución de la tecnología 4G y su convergencia a 5G en redes de telefonía móvil en el Ecuador», *Tesis*, 2022.

- [10] A. D. Villacis Valarezo, «Análisis de la coexistencia de las tecnologías 4G y 5G en el Ecuador», *Tesis, Quito: Universidad de las Americas*, 2020, [En línea]. Disponible en: <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12427/1/UDLA-EC-TIRT-2020-27.pdf>
- [11] F. Herrera y R. Carlos, «Factores tecnológicos y sociales que afectan la implementación de la tecnología 5G en el contexto ecuatoriano», 2023, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25486>
- [12] M. V. L. Estefania y Z. A. D. Kathiusca, «Análisis técnico para el despliegue de una red 5g en el Ecuador», 2021, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9779295e-2ffd-4e29-b774-4ef25334d11a/content>
- [13] ruge.axessnet, «Redes de telefonía móvil o celular: qué son y cómo funcionan», axessnet. Accedido: 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://axessnet.com/redes-de-telefonía-móvil-o-celular-que-son-y-como-funcionan/>
- [14] Q. K. Ud Din Arshad, A. U. Kashif, y I. M. Quershi, «A Review on the Evolution of Cellular Technologies», en *2019 16th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)*, Islamabad, Pakistan: IEEE, ene. 2019, pp. 989-993. doi: 10.1109/IBCAST.2019.8667173.
- [15] E. Mihret y G. Haile, «4G, 5G, 6G, 7G and Future Mobile Technologies», *American Journal of Computer Science and Technology*, vol. 9, p. 75, feb. 2021.
- [16] L. Garcia, J. M. Jiménez, M. Taha, y J. Lloret, «Wireless Technologies for IoT in Smart Cities», *NPA*, vol. 10, n.º 1, p. 23, abr. 2018, doi: 10.5296/npa.v10i1.12798.
- [17] W. S. H. M. W. Ahmad *et al.*, «5G Technology: Towards Dynamic Spectrum Sharing Using Cognitive Radio Networks», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 14460-14488, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966271.
- [18] V. A. Figueroa Castillo, J. E. Chóez Calle, J. X. Barreto Pin, y C. A. Villacreses Parrales, «5G tecnología inalámbrica que cambiará el mundo por completo», *UNESUM-Ciencias*, vol. 6, n.º 3, pp. 39-48, may 2022, doi: 10.47230/unsum-ciencias.v6.n3.2022.393.
- [19] «ADVANTAGES OF 5G AND HOW WILL BENEFIT IOT», IOT Solutions World Congress | MAY 21 – 23 BARCELONA. Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.iotsworldcongress.com/advantatges-of-5g-and-how-will-benefit-iot/>

- [20] «5G Technology Advantages and Disadvantages». Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://telcomaglobal.com/p/5g-technology-advantages-and-disadvantages>
- [21] «3GPP Release 15 Overview - IEEE Spectrum». Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/3gpp-release-15-overview>
- [22] «4G es la cuarta generación de tecnología de telefonía móvil.», Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. Accedido: 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/4g/>
- [23] «60% de líneas móviles tienen 4G en Ecuador; el 5G, una utopía», Primicias. Accedido: 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/lineas-moviles-tecnologia-4g-ecuador/>
- [24] N. O. Campos y J. Casierra-Cavada, «Analysis for the implementation of 5G technology based on the GSMA model and its interaction with the Internet of Things in Ecuador».
- [25] D. C. C. Sánchez, J. R. M. Calderón, y I.- Ecuador, «ESTUDIO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL SERVICIO DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO (FWA) DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES DEL ECUADOR, PROYECTADO EN REDES DE QUINTA GENERACIÓN (5G)».
- [26] H. A. H. H. A. Kim y M. Alrammahi, «The transition from 4G to 5G by employing femto cells proven through data rate, PLR and delay», *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 96, pp. 6267-6277, oct. 2018.
- [27] G. Guamán y P. Enrique, «Análisis de la implementación de femtoceldas para mejorar la capacidad de un operador móvil».
- [28] «Constitucion del Ecuador 2008». Accedido: 5 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/jppuembo/constitucion-del-ecuador-2008-62065170>

ANEXOS

Anexo I

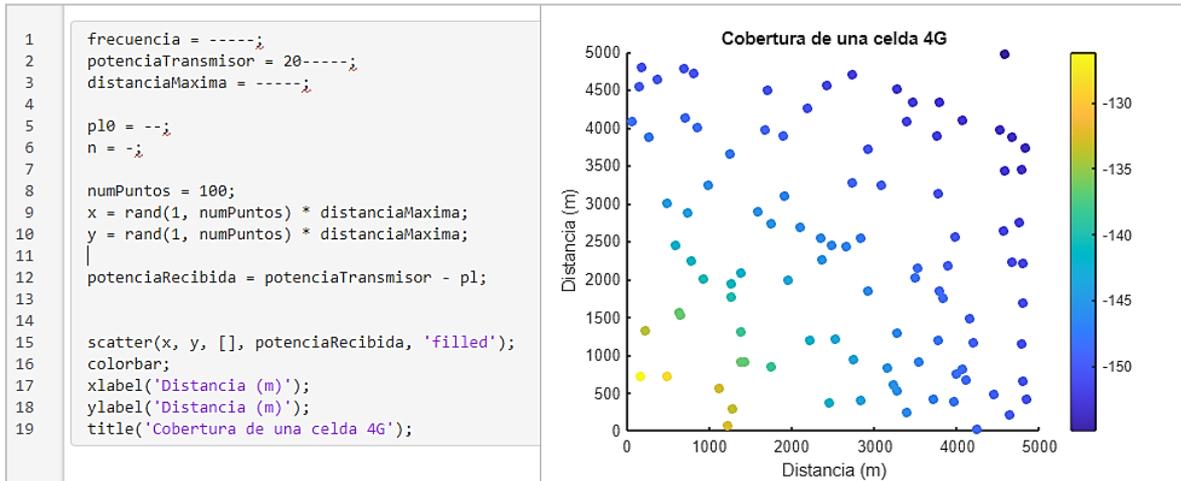


Figura 27. Código y simulación de cobertura de la red 4G LTE

En la Figura 27, se muestra el código de simulación de la cobertura de una celda 4G. Este código considera diversos factores como, la frecuencia de operación, la potencia del transmisor, la distancia máxima de la celda en metros, los parámetros del modelo de atenuación, la generación de puntos dentro de un área rectangular y la medición de la potencia recibida en cada uno de los puntos. El resultado final es una representación gráfica que ilustra la cobertura de la celda 4G.

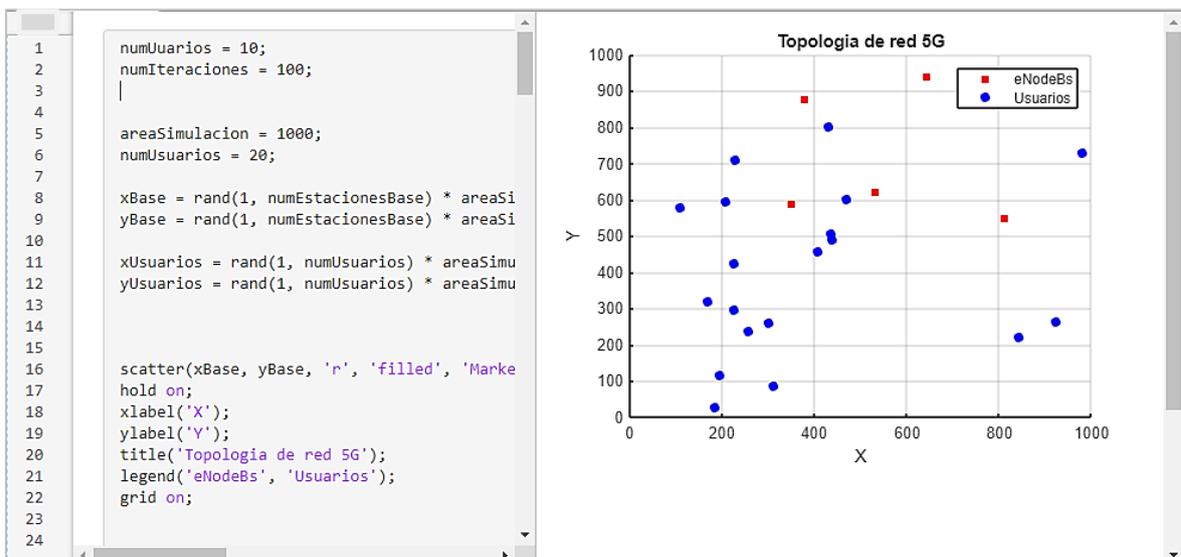


Figura 28. Código y simulación de la topología de la red 5G

La Figura 28, muestra el código de simulación de 5G, se visualiza la disposición de estaciones base y los usuarios presentes en el área de simulación.

```

1  num_4G_users = 50;
2  num_5G_users = 50;
3  sim_duration = 10;
4
5  fentocelda = cell(2, 1);
6  fentocelda{1}.velocidad_maxima = 10;
7  fentocelda{1}.throughput = 100;
8  fentocelda{2}.velocidad_maxima = 100;
9  fentocelda{2}.throughput = 1000;
10
11
12  users = cell(2, 1);
13  users{1}.velocidad = rand(num_4G_users, 1)
14  users{2}.velocidad = rand(num_5G_users, 1)
15
16
17
18  for t = 0:sim_duration
19
20      for i = 1:2
21          num_usuarios = numel(users{i}).veloc
22          rendimiento_actual(i) = min(fentoc
23      end
24

```

Tiempo: 0 segundos
Rendimiento 4G: 5.45 Mbps
Rendimiento 5G: 48.08 Mbps
Tiempo: 1 segundos
Rendimiento 4G: 4.76 Mbps
Rendimiento 5G: 48.99 Mbps
Tiempo: 2 segundos
Rendimiento 4G: 4.96 Mbps
Rendimiento 5G: 49.77 Mbps
Tiempo: 3 segundos
Rendimiento 4G: 5.04 Mbps
Rendimiento 5G: 56.98 Mbps
Tiempo: 4 segundos
Rendimiento 4G: 4.67 Mbps
Rendimiento 5G: 44.24 Mbps
Tiempo: 5 segundos
Rendimiento 4G: 4.67 Mbps
Rendimiento 5G: 47.05 Mbps
Tiempo: 6 segundos
Rendimiento 4G: 3.91 Mbps
Rendimiento 5G: 48.38 Mbps
Tiempo: 7 segundos
Rendimiento 4G: 5.10 Mbps
Rendimiento 5G: 48.38 Mbps

Figura 29. Análisis del rendimiento de la red 4G LTE y 5G

El código de Matlab que se que se observa en la Figura 29, es una simulación de un sistema de comunicaciones inalámbricas, muestra como cambia el rendimiento de las celdas 4G y 5G a medida que los usuarios se mueven y sus velocidades varían.

```

1  numUsuarios = 10;
2  potenciaTx = 20;
3  distancia = 10;
4  gananciaAntena = 5;
5
6
7  frecuencia = 2.4e9;
8  pathLoss = (4 * pi * distancia / lambda).^2;
9
10
11  potenciaRx = potenciaTx + gananciaAntena - pathLoss;
12
13
14  ruido = -100;
15  snr = potenciaRx - ruido;
16
17  for i = 1:numUsuarios
18      fprintf('Usuario %d:\n', i);
19      fprintf('Relación señal a ruido (SNR): %.2f dB\n', snr
20      fprintf('-----\n');
21  end
22

```

Usuario 1:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Usuario 2:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Usuario 3:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Usuario 4:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Usuario 5:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Usuario 6:
Potencia recibida: -1012022.29 dBm
Relación señal a ruido (SNR): -1011922.29 dB

Figura 30. Análisis comparativo de los niveles de Señal.

La Figura 30, muestra el código para calcular y detalla como la potencia y la S/N varía según el número de usuarios en una femtocelda, lo que facilita la comprensión de la calidad de la señal inalámbrica en un entorno específico.

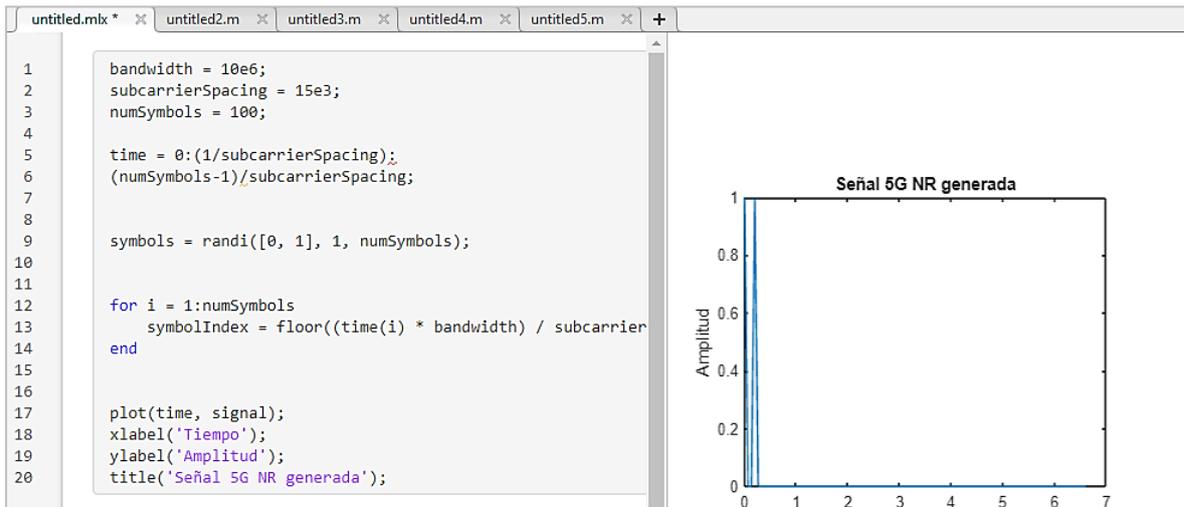


Figura 31. Resultados de la señal 5G NR generada

El código de la Figura 31, genera una señal de comunicación simulada para la tecnología 5G NR, donde se crean símbolos aleatorios, los cuales son asignados a la señal en función del tiempo, ancho de banda, permitiendo la visualización de la señal en un gráfico.

Anexo II

I SPECIFICATION	
TECHNOLOGY	
Standard	LTE/NR
LTE Mode	TDD, FDD
RF Standard	3GPP 38.104 / Category B
Frequency Bands	LTE: - B48 (3550 MHz – 3700 MHz) NR: - N41 (2496 MHz – 2690 MHz) - N78 (3300 MHz – 3600 MHz) LTE+NR: - B3(U/L: 1/10MHz-1/85MHz, DL: 1805MHz-1880MHz) + N41 (2496MHz – 2690MHz) - B3(U/L: 1/10MHz-1/85MHz, DL: 1805MHz-1880MHz) + N78 (3300MHz – 3600MHz)*
Channel Bandwidth	LTE: 5/10/15/20 MHz NR: 100MHz
IBW	Maximum 100MHz
OBW	LTE: 40MHz NR: 100MHz
Carrier Config.	LTE: Maximum 2 carriers NR: 1 carrier
Multiplexing	DL: 2x2 or 4x4
INTERFACE	
Interface Type	CPR1
Data Interface	1 x 10GE optical fiber interface (SFP+), LC 1 x 10GE Ethernet interface (RJ-45)
Power Supply	-40VDC ~ -57 VDC, nominal -48VDC or 48V PoE+ power supply, comply with IEEE 802.3bt standard
LED Indicators	2 x status LED; RUN/PWR
LINK BUDGET	
Antenna	4T4R built-in high gain antenna 3dBi@N41 4dBi@N78 4dBi@B48 1.5dBi@B3
Max Output Power	24 dBm / channel x 4 channels
Rx Sensitivity	LTE: -102 dBm NR: -94 dBm

Figura 32. Especificaciones técnicas del dispositivo 5G para el diseño de la femtocelda.

La Figura 32, presenta las especificaciones técnicas de un dispositivo 5G, Estas especificaciones se utilizaron como base para el diseño y la simulación de la femtocelda, garantizando así que el estudio cuente con valores técnicos reales, muy precisos y cercanos a la realidad.