



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

TEMA:

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
UNA RED MÓVIL 5G EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA MEDIANTE
UN BANCO DE PRUEBAS**

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

Autor:

Guillén Santillán Oscar Stalin

Tutor:

PhD. Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés

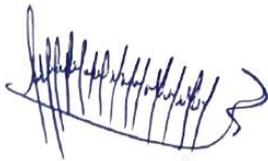
Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **Oscar Stalin Guillén Santillán**, con cédula de ciudadanía **0604034074**, autor del trabajo de investigación titulado: “**Análisis de factibilidad para la implementación de una red 5G en la ciudad de Riobamba mediante un banco de pruebas**”, 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, 12 de Octubre del 2022.



Oscar Stalin Guillén Santillán

C.I: 0604034074

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 **Análisis de factibilidad para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Riobamba mediante un banco de pruebas** por Oscar Stalin Guillén Santillán, con cédula de identidad número 060403407- 4, 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.

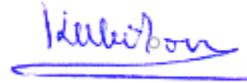
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Dr. LUIS PATRICIO TELLO OQUENDO
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Mgs. Klever Herman Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

PhD. Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Análisis de factibilidad para la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Riobamba mediante un banco de pruebas**”, presentado por Oscar Stalin Guillen Santillán, con cédula de identidad número 060403407-4, bajo la tutoría de la PhD. Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés; 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.

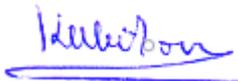
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación.

Presidente del Tribunal De Grado
Dr. Luis Patricio Tello Oquendo.



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
Mgs. Klever Herman Torres Rodríguez



Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Daniel Antonio Santillán Haro



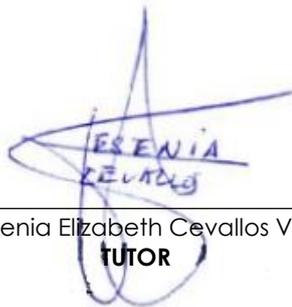
Firma

CERTIFICADO ANTI-PLAGIO

CERTIFICACIÓN

Que, **GUILLÉN SANTILLÁN OSCAR STALIN** con CC: **0604034074**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado ” **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED MÓVIL 5G EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA MEDIANTE UN BANCO DE PRUEBAS**”, cumple con el 4 %, 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, 13 de octubre de 2022



PhD. Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés
tutor

Document Information

Analyzed document TESIS-final.pdf (D146349238)
Submitted 10/13/2022 6:01:00 PM
Submitted by
Submitter email ycevallos@unach.edu.ec
Similarity 4%
Analysis address ycevallos.unach@analysis.turnit.com

Recorte de ventana

Sources included in the report

SA	ok Ite-Analuisa Muso Jaime Daniel.pdf Document ok Ite-Analuisa Muso Jaime Daniel.pdf (D11082781)	1
SA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO / BRASALES_ACANI.pdf Document BRASALES_ACANI.pdf (D47821540) Submitted by: dinca@unach.edu.ec Receiver: dinca.unach@analysis.turnit.com	4
W	URL: https://repositorio.unach.edu.ec/bitstream/20.500.12411/2602/2/TFG_Ulatina_Jeremy_Vasquez_Suezo.pdf Fetched: 5/4/2021 10:07:26 PM	6
W	URL: http://www.cepetel.org.ar/wp-content/uploads/2021/08/CURSO-REDES-5-G-NI-MODULO-1.pdf Fetched: 11/15/2021 2:38:35 AM	7
SA	TESIS JENNIFER OVIEDO.pdf Document TESIS JENNIFER OVIEDO.pdf (D130228758)	4

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado primeramente a Dios, por haberme acompañado en cada escalón que avanzaba, motivándome a seguir luchando cada día por mis sueños y no dejarme vencer aun cuando se presentaran obstáculos.

A mis padres que me dieron todo su apoyo de manera incondicional durante mi carrera Universitaria, por orientarme, guiarme, enseñarme que nada en esta vida se puede lograr sin esfuerzo, por el apoyo brindado a pesar de las adversidades que se presentan durante el camino hacia el éxito.

A mis sobrinos (Valentina, Samantha, Cayetana y Felipe) por ser el motor que me impulsaba a seguir adelante y no rendirme durante este arduo camino.

A mis hermanos por estar en los momentos más complicados, en especial a Joselin la cual mediante sus consejos y palabras de aliento nunca dejó que me rindiera para conquistar mis sueños.

A mi familia en general y amigos que con sus palabras de aliento y consejos me han impulsado a conquistar este gran sueño en mi vida, y a todas las personas que me han apoyado y han hecho posible la consagración de este trabajo, de manera especial a todos aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos conmigo.

Oscar Stalin Guillén Santillán

AGRADECIMIENTO

“La gratitud se da cuando la memoria se almacena en el corazón y no en la mente”.

Lionel Hampton

Agradezco a Dios, ya que con él todo y sin él nada, porque gracias a su voluntad me permitió concluir una etapa más en mi vida, a mis abuelitos Ariosto Guillén, Enriqueta Calderón, Augusto Santillán y Mercedes Santillán que mediante sus consejos y amor me enseñaron una mejor persona, entendiendo que un título no hace más ni menos una persona, a mis padres por ser esos amigos incondicionales que están siempre a mi lado ayudándome a crecer de manera personal y profesional.

De la misma forma a los Ingenieros Yesenia Elizabeth Cevallos Villacrés PhD. y Daniel Antonio Santillan Haro , por su apoyo, su guía y dedicación hacia mí persona para que logre culminar el proyecto de investigación.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por ser la instrucción que me dio la oportunidad de formarme como profesional con todos sus recursos humanos y tecnológicos.

A los docentes, por brindarme sus conocimientos durante estos años, por su tiempo y dedicación, por enseñarme que nunca se deja de aprender y por ser esas personas que te exigen con la finalidad de ser mejor cada día.

Oscar Stalin Guillén Santillán

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	3
1.1.	Antecedentes	7
1.2.	Planteamiento del Problema.....	10
1.3.	Justificación	13
1.4.	OBJETIVOS	14
1.4.1.	Objetivo general.....	14
1.4.2.	Objetivos específicos.....	14
2.1.	Antecedentes del estudio	15
2.2.	Tecnologías base para 5G.....	16
2.3.	Evolución de las redes móviles.....	18
2.3.1.	Tecnología móvil 0G.....	18
2.3.2.	Tecnología móvil 1G	18
2.3.3.	Tecnología móvil 2G.....	20
2.3.4.	Tecnología móvil 2.5 G.....	21
2.3.5.	Tecnología móvil 3G.....	22
2.3.6.	Tecnología móvil 4G.....	23
2.3.7.	Tecnología móvil 5G.....	25
2.3.8.	Fundamentación legal	27
2.4.	Parámetro para estudio de redes 4G y 5G dentro del país.....	29
2.4.1.	Tipos de Handover	29
2.4.2.	Pérdidas por penetración	29
3.1.1.	NET-MONITOR	35
3.1.1.3.	Realización de medidas.....	37
3.1.2.	EXCEL	38
3.1.3.	Matlab.....	41
3.2.2.	Investigación Comparativa.....	45
3.2.3.	Investigación Experimental.....	45
3.2.4.	Estudio Analítico.....	46
3.2.5.	Diseño de Investigación	46
3.2.6.	Técnicas de recolección de datos	47

3.2.7.	Pruebas Paramétricas.....	47
3.3.	Población de estudio y tamaño de muestra.....	47
3.3.1.	Población de estudio.....	47
3.3.2.	Tamaño de muestra	48
3.4.	Análisis de cobertura	49
3.4.1.	Redes 4G	49
3.4.2.	Redes 5G	50
3.5.	Hipótesis	50
3.5.1.	Lecturas para redes 4G y 5G	51
3.5.1.1.	Hipótesis nula:.....	51
3.5.1.2.	Hipótesis alternativa:.....	51
3.6.	PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.	52
3.6.1.	FASE I: Recolección de información.....	52
3.6.2.	FASE II: Investigación de los principales parámetros de la tecnología 5G	53
3.6.3.	FASE III: Simulación del banco de pruebas virtuales en Matlab para 5G.....	54
3.6.4.	FASE IV Comparación de las tecnologías 4G y 5G	56
3.6.5.	FASE V: Presentación de Resultados del banco de pruebas 5G	56
4.1.	Resultados de las mediciones	57
4.1.1.	Nivel de Señal.....	57
5.1.	Conclusiones	68
5.2.	Recomendaciones.....	69

ANEXOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Mapa de Riobamba desde Google Maps.....	6
Ilustración 2-1. Características base para la tecnología 5G	17
Ilustración 2-2. Evolución en términos de velocidad de la telefonía móvil.....	18
Ilustración 2-3. Móviles de primera generación (1G).....	20
Ilustración 2-4. Dispositivos móviles 2G	21
Ilustración 2-5. Modelos de Smart Phone 4G.....	24
Ilustración 2-6. Esquema de los servicios que se podría obtener con 5G.....	26
Ilustración 2-7. Servicios Integrados de 5G.....	27
Ilustración 2-8. Cronograma de la ITU para 5G.....	27
Ilustración 3-1. Visualización de la aplicación Net Monitor	35
Ilustración 3-2. Net Monitor segunda pestaña	36
Ilustración 3-3. Net Monitor mapa de radio bases.....	36
Ilustración 3-4. Menú principal de Net Monitor.....	37
Ilustración 3-5. Tipo de archivos en Net Monitor	38
Ilustración 3-6. Salir de la aplicación	38
Ilustración 3-7. Abrir archivo kml en Excel	38
Ilustración 3-8. Cómo archivo .kml en Excel	39
Ilustración 3-9. Creación esquema del archivo .kml	39
Ilustración 3-10. Tabla de los datos de Net Monitor en Excel.....	40
Ilustración 3-11. Crear un nuevo Script en Matlab.....	41
Ilustración 3-12. Ventana principal de Xirio Online	43
Ilustración 3-13. Asignación de las variables en SPSS.	44
Ilustración 3-14. Network Cell Life	53
Ilustración 3-15. OpenSignal	53
Ilustración 3-16. Net monitor	53
Ilustración 3-17. Parámetros iniciales de la 3GPP para redes 5G.....	54
Ilustración 4-1. Niveles del nodo Estadio.....	58

Ilustración 4-2. Nodo Politécnica	58
Ilustración 4-3. Nodo UNACH-DOLOROSA.....	59
Ilustración 4-4. Nodo Vasija.....	59
Ilustración 4-5. Cobertura global de los nodos	60
Ilustración 4-6. Archivo generado de cada nodo en Net monitor	60
Ilustración 4-7. Datos obtenidos de Matlab	61
Ilustración 4-8. Datos en SPSS	61
Ilustración 4-9. Comparación de Latencias entre 4G y 5G en Atoll.....	62
Ilustración 4-10. Latencia en Xirio.....	63
Ilustración 4-11. Latencia presentada por el banco de pruebas	63
Ilustración 4-12. Comparación de velocidades entre tecnología y en los diferentes simuladores ...	64
Ilustración 4-13. Tiempos de subida por tecnología y visualización por software.....	65
Ilustración 4-14. Redes 4G y 5G	66
Ilustración 4-15. Histograma por SB en 5G	66
Ilustración 1. Cuadro resumen de las tecnologías.....	74
Ilustración 2. Código del banco de pruebas	75
Ilustración 3. Lóbulo de radiación 4G	76
Ilustración 4. Datos del banco de pruebas	76
Ilustración 5. Densidad de potencia.....	77
Ilustración 6. Grafica de radiación de los 6 nodos.....	77
Ilustración 7. Simulación en Xirio.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 1. Tabla de Operación por Operadora.....	4
Tabla 2-1. Características de la tecnología 1G.....	19
Tabla 2- 2. Características notables de la tecnología 2G.....	21
Tabla 2- 3. Características relevantes de la tecnología 2.5G.....	22
Tabla 2- 4. Características principales de las redes 3G.....	23
Tabla 2- 5. Características de las redes 4G.....	24
Tabla 2- 6. Bandas de frecuencia asignadas para 5G según la resolución COM6/20.....	28
Tabla 2- 7. Pérdidas por entorno.....	30
Tabla 2- 8. Perdidas por el Usuario.....	30
Tabla 2- 9. Tasa de penetración por servicio.....	30
Tabla 3-1. Nivel de Confianza	48
Tabla 4- 1. Tabla comparativa entre software.....	62

RESUMEN

El proyecto de investigación se basa en un estudio técnico para la implementación de la tecnología 5G en la ciudad de Riobamba. Se describirán los aspectos teóricos más notables que implica la nueva generación de teléfonos móviles (sucesores de LTE), a partir de los cuales se pueden determinar las características de mayor relevancia, teniendo en cuenta el legado de 3G y 4G, para poder desplegar 5G encima de la infraestructura existente.

Luego, se identificarán las herramientas metodológicas necesarias para que se pueda estudiar a la población objetivo y su percepción sobre el impacto del 5G en el país, de modo que pueda ser considerado como una de las características que afectará el posible desarrollo de la futura tecnología en el país.

A través del análisis estadístico se obtendrá esta información para determinar qué tan grande es la brecha digital y cómo se puede cerrar dependiendo de cómo se aborde el tema.

Mediante la utilización del software Matlab se procederá a hacer un banco de pruebas virtuales en el cual se podrá visualizar como se comportaría esta tecnología dentro de la ciudad de Riobamba y cuáles serían las mejoras que presentaría la misma.

Finalmente, se realizará una comparación de las características que presenta la tecnología 4G y cuáles son las mejoras de esta nueva generación de telefonía móvil, describiendo los factores más importantes y el costo de implementarlos, así como el funcionamiento y los beneficios asociados a las características importantes de la tecnología 5G.

Palabras claves: <5G>, <LTE>, <brecha digital>, <arquitectura SDN>, <ambientes controlados>, <BANCO DE PRUEBAS

ABSTRACT

The research project is based on a technical study to implement 5G technology in Riobamba. It will describe the most notable theoretical aspects involved in the new generation of cell phones (successors of LTE), from which the most relevant features can be determined, taking into account the legacy of 3G and 4G in order to deploy 5G on top of the existing infrastructure. Then, the methodological tools necessary to study the target population and their perception of the impact of 5G in the country will be identified so that it can be considered as one of the characteristics that will affect the possible development of future technology in the country. Statistical analysis will provide this information to determine how significant the digital divide is and how it can be closed depending on how the issue is addressed. Using Matlab software, a virtual test bench will be made to visualize how this technology would behave in the city of Riobamba and the improvements it would present.

Finally, a comparison of the characteristics of 4G technology and the improvements of this new generation of mobile telephony will be made, describing the most important factors and the cost of implementing them, as well as the operation and benefits associated with the essential characteristics of 5G technology.

Keywords: 5G, LTE, digital divide, SDN architecture, controlled environments, TEST BANK.

Abstract translation reviewed by



Dr. Narcisa Fuertes, PhD

Professor at Competencias Linguísticas UNACH

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, es imposible pensar que los usuarios puedan desenvolverse en sus vidas cotidianamente sin estar conectados a los servicios de telecomunicaciones existentes. Esto se debe fundamentalmente a la cobertura que ofrecen los operadores móviles gracias a la colocación de sus estaciones base en todo el país. Desde principios del año 1980 se ha tenido un desarrollo en las redes celulares que ha cambiado la naturaleza de los propios sistemas, su velocidad, su tecnología y las frecuencias utilizadas. Cada generación difiere de la anterior en frecuencias, anchos de banda y tecnología de radio. [1]

La primera generación celular (1G) era analógica, solo se podían hacer llamadas de voz y fue posible por primera vez comunicarse de forma inalámbrica, es decir, sin cables. [2]

La segunda generación celular (2G) o GSM (Global Systems Messenger) introdujo la mejora del envío y recepción de mensajes de texto cortos llamados SMS (Short Message Service). [3]

Con la tercera generación celular (3G) o UMTS (Universal Movil Telephone Systems) aparecen los smartphones que se pueden utilizar para navegar por Internet con interfaces tipo ordenador; actualmente son muy utilizados. [4]

Tecnologías de cuarta generación celular (4G), LTE (Long Term Evolution) o LTE-A (LTE Advanced). Es una evolución de LTE que utiliza mayor velocidad para la transmisión de información, permitiendo incrementar la rapidez de descarga, alcanzando picos máximos teóricos de velocidad de 300 Mbit/s, más cerca del verdadero estándar 4G. En esta generación se permite altas velocidades de navegación y acceso a servicios como videos de alta definición, redes sociales y videollamadas a través del Internet. [5]

La quinta generación (5G) o NR (New Radio) es la nueva generación de comunicaciones móviles. Al igual que 3G y 4G, 5G fue desarrollado por el foro internacional para la estandarización de tecnologías de comunicación móvil (Third Generation Partnership Project “3GPP”). Permitirá velocidades de transferencia del orden de los gigabits por segundo (Gb/s), latencias muy bajas comparables a una conexión por cable y un aumento en la cantidad de usuarios y dispositivos conectados. [6]

Actualmente en el Ecuador se ocupa la tecnología 4G por parte de los operadores móviles, cuya distribución del espectro radioeléctrico se indica en la Tabla 1-1. [7]

Tabla 1- 1. Tabla de Operación por Operadora

ANCHO DE BANDA DE OPERACIÓN	 MOVISTAR		 CLARO		 CNT		 TUENTI	
	Frecuencia de Operación	Tiempos de carga / descarga	Frecuencia de Operación	Tiempos de carga / descarga	Frecuencia de Operación	Tiempos de carga / descarga	Frecuencia de Operación	Tiempos de carga / descarga
10 MHz	800 MHz 4G Banda 20	2 a 5 segundos	800 MHz 4G Banda 20	3 a 8 segundos	800 MHz 4G Banda 20	6 a 12 segundos	800 MHz 4G Banda 20	6 a 12 segundos
14,8 MHz	900 MHz 2G/3G Banda 8	8 a 14 segundos	900 MHz 2G/3G Banda 8	10 a 15 segundos	900 MHz 2G/3G Banda 8	9 a 17 segundos	900 MHz 2G/3G Banda 8	9 a 17 segundos
20 MHz	1800 MHz 2G/4G Banda 3	30 a 60 segundos	1800 MHz 2G/4G Banda 3	20 a 55 segundos	1800 MHz 2G/4G Banda 3	25 a 45 segundos	1800 MHz 2G/4G Banda 3	25 a 45 segundos
15 MHz FDD	2100 MHz 3G Banda 1	1 a 9 segundos	2100 MHz 3G Banda 1	1 a 9 segundos	2100 MHz 3G Banda 1	9 a 15 segundos	2100 MHz 3G Banda 1	9 a 15 segundos
5 MHz TDD	-	25 a 35 segundos	800 MHz 4G Banda 20	3 a 8 segundos	-	30 a 40 segundos	-	30 a 40 segundos
20 MHz	2600 MHz 4G Banda 7	1 a 3 segundos	2600 MHz 4G Banda 7	1 a 3 segundos	2600 MHz 4G Banda 7	4 segundos	2600 MHz 4G Banda 7	4 segundos

Fuente: El autor

Para 4G se emplea una comunicación dual FDD (Duplexación por división de frecuencia) la cual utiliza dos canales o frecuencias diferentes, uno para enlace de bajada (Down Link “DL”) y otro para el enlace de subida (Up Link “UL”). La duplexación por división de tiempo (TDD) utiliza un solo canal o frecuencia tanto para el enlace descendente (DL) como para el enlace ascendente (UL), pero los momentos en que se realiza cada uno son diferentes. [8]

Se sabe que cuanto mayor es el ancho de banda, la capacidad de transmisión aumentará, garantizando un mejor servicio a una mayor cantidad de usuarios sin sobrecargar la red.

Por otro lado, cuanto mayor es la frecuencia de operación, menor es la cobertura, ya que las pérdidas de propagación aumentan con la frecuencia. [9]

Para garantizar el servicio en una zona determinada, se debe realizar un estudio previo conocido como planificación de cobertura, en el cual se determina el servicio que se podrá ofrecer, sabiendo que depende de otros factores como el nivel de la señal recibida, el ancho de banda asignado al usuario y el nivel de interferencia de otras estaciones base.

La programación que utiliza celdas hexagonales es común para las tecnologías celulares 2G. Cada celda o nodo tiene sus grupos de frecuencias asociadas a una serie de canales, las celdas vecinas se les asignan frecuencias diferentes para evitar diafonía. [10]

Los mismos grupos de frecuencias se pueden asignar a celdas que están muy separadas, llamadas celdas cocanal. [3]

Con 3G, las frecuencias se reutilizan en cada estación base, todas las estaciones base usan las mismas frecuencias y todo el ancho de banda disponible (5 MHz), por lo que es más eficiente, ya que un usuario puede usar todo el espectro. [11]

Con 4G, todas las estaciones móviles de un operador usan la misma frecuencia que con 3G. El ancho de banda puede ser de hasta 20 MHz, aunque los operadores suelen disponer de 10 MHz. Es una tecnología escalable en la que se puede remontar para que coincida con el ancho de banda de las tecnologías heredadas.

En 4G, se asignan los recursos a todos los usuarios de manera oportuna y frecuente en función de la cantidad de usuarios, el tráfico generado por cada usuario, el nivel de la señal recibida, entre otros aspectos. [12]

Todas las tecnologías de redes móviles coexisten hoy en día, pero es cierto que un dispositivo para navegar por Internet primero intentará conectarse a una red 4G. Conociendo la delimitación del área que cubrirá cada celda, se crea una red que indica el lugar ideal para colocar las estaciones base para cubrir la mayor parte posible del país. No siempre se pueden colocar en el lugar más adecuado, ya que hay comunidades de vecinos que no las quieren en sus azoteas. [13]

Existen programas de simulación de cobertura de servicio, los cuales cuentan con mapas cartográficos y permiten la configuración de parámetros, ofreciendo un mapa confiable de

cobertura de la zona. Existen versiones gratuitas que, aunque su simulación no es de gran calidad, pueden resultar muy útiles en entornos académicos. [2]

El fin primordial de este trabajo de tesis es comparar las redes 5G con 4G mediante la simulación de un banco de pruebas virtuales para tecnología 5G en la ciudad de Riobamba. Se tomó como área de estudio al centro de la ciudad por los datos facilitados por el Ing. Diego Ramos, Ingeniero del Departamento de O&M de la empresa CNT¹; en la ilustración 1-1 se muestra un mapa satelital de la ciudad.

Riobamba cuenta con una población de 124.807 habitantes que ocupan servicios de telefonía móvil, datos obtenidos mediante el censo realizado en el 2010, el nuevo censo se realizaría en noviembre de 2020, pero no se pudo desarrollar a causa de la pandemia del COVID-19. [13]

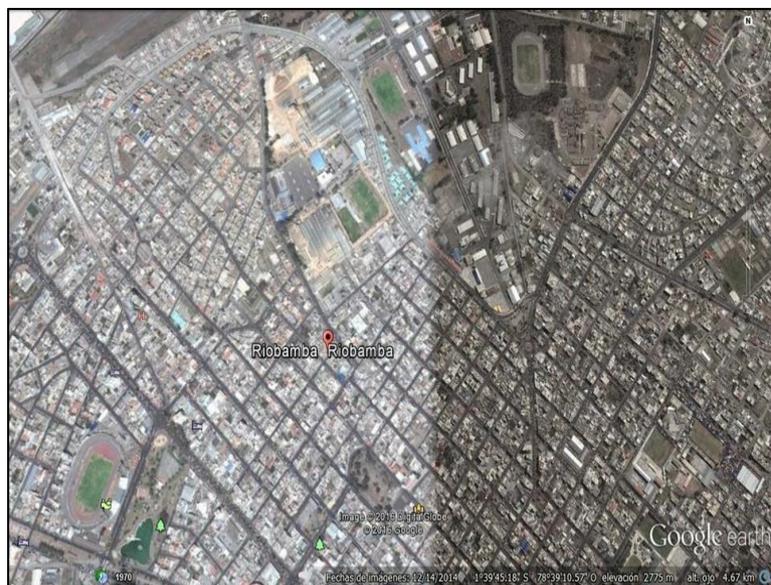


Ilustración 1-1. Mapa de Riobamba desde Google Maps.

Fuente: El autor

Se realizaron mediciones de cobertura sobre una red 4G comercial que opera en Ecuador. En cuanto al alcance de las medidas, se tomará como referencia el centro de la ciudad. [14]

En el presente trabajo de investigación a desarrollarse, se describirá las principales características de la tecnología móvil y su evolución desde sus inicios, con principal énfasis en la nueva generación de telefonía móvil como es la 5G. [15]

Para ello se realizará un análisis de la información de los nodos de la ciudad de Riobamba para saber cuáles serían las mejoras que presentaría esta nueva generación de telefonía móvil y que beneficios brindaría al momento que se encuentre operativa, este proceso se llevará a cabo en la ciudad de Riobamba. [16]

¹ En los anexos se coloca el certificado emitido por ingeniero que labora en el área redes inalámbricas de CNT en el cual se indica los radio Bases de mayor tráfico.

Es muy importante poder considerar este tipo de investigaciones sobre tecnologías innovadoras ya que permite a las personas vinculadas al tema conocer, explorar y relacionarse con los nuevos procesos, para que, cuando esta nueva generación de telefonía este en vigencia, se pueda garantizar en lo posible la reducción de la brecha tecnológica que existe actualmente en nuestro país.

Así se maximizarían los beneficios de la utilización de las redes 5G y de las múltiples de aplicaciones que trae con ella. [17]

Actualmente, se cuenta con información sobre estándares o regulaciones específicas para 5G, pues estas redes ya se encuentran operativas en territorio europeo y en parte de América como Estados Unidos, Canadá, México, Chile, Brasil, Perú, Uruguay, Colombia, Argentina y Surinam, por lo cual las redes 5G están teniendo una expansión acelerada dentro de territorio latinoamericano, consecuentemente se espera que Ecuador acoja esta nueva generación de redes móviles para el año 2025. [18]

Este trabajo de tesis está enfocado en dar a conocer a los usuarios de la telefonía móvil sobre la llegada de las redes 5G en la cual disminuyen los problemas de navegación, carga y descarga de información por internet ya que cuentan con menores tiempos de respuesta entre dispositivos.[20]

1.1. Antecedentes

En los últimos años, la tecnología de acceso móvil, ha avanzado aceleradamente, cada generación de este tipo de tecnología, ha proporcionado sustanciales mejoras de rendimiento. Estos cambios se han producido como respuesta a la demanda, aumento en la capacidad, y densidad de información. [8]

Por lo anteriormente mencionado, y por el vertiginoso ascenso en los requerimientos que implica el procesamiento de una mayor densidad de información (llegando a saturar). Los requerimientos de velocidad de transmisión crecerán hasta 291.8 exabytes/s para el año 2024.

En este contexto, la tecnología 5G se acoplará a las exigencias de una sociedad perfectamente interconectada para suplir las demandantes aplicaciones de comunicación como son por ejemplo la inteligencia artificial, Internet de las Cosas (Internet of Things “IoT”) autosuficiente, comunicación masiva de tipo máquina, estudio de BIG Data y realidad virtual. [3]

La tecnología 5G está respaldada por altas velocidades de transmisión con fiabilidad y menores retrasos en la transferencia de la información, no supeditadas a la localización, por

lo que eventualmente se puede contar con el mismo tipo de servicio tanto en zonas rurales como en ciudades con alto índice de población.[4]

Las principales características que presenta la tecnología 5G son: [5]

- 1) Velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps, lo cual se considera en porcentaje de 10 a 100 veces mayor que las redes 4G y 4.5 G.
- 2) Latencia menor a 1 milisegundo.
- 3) Servicios de Banda ancha de hasta 1000 veces más rápidos por unidad de área.
- 4) Conexiones de hasta 100 dispositivos por unidad de área (en comparación con las redes de tecnología 4G LTE).
- 5) Disponibilidad de la red hasta de un 99.9999 %.
- 6) Reducción del 90% en el consumo energético de la red en las radios bases.
- 7) Durabilidad de batería de hasta 10 años en dispositivos IoT de bajo consumo.

Por lo que, esta tecnología resulta ser la más idónea debido a su capacidad para el manejo masivo de información, acoplando apropiadamente los diferentes servicios para esta nueva generación de telefonía móvil 5G [5].

Este tipo de comunicación utiliza el espectro electromagnético libre (correspondiente a frecuencias milimétricas) con una latencia muy baja, esto es 10 veces más rápida que aquella de la tecnología 4G, incluso cuando se opera a grandes distancias [6].

Teniendo en cuenta las potenciales ventajas de la tecnología 5G, se puede optimizar los recursos móviles mediante el alojamiento de aplicaciones para procesar grandes cantidades de información antes de enviarlos a la nube, permitiendo el acceso remoto a la red de acceso por radio (RAN - Radio Access Network). [7]

La empresa Vodafone mediante simulaciones a base de bancos de pruebas de la tecnología 5G NR (New Radio) con sincronización determinaron parámetros de intercambio de información entre el Control de Recursos de Radio RRC (Radio Resource Control) y la capa física, la cual permite la comunicación de forma inalámbrica entre dispositivos tipo terminal móvil UE (Unit Equipement) y estación base eNB (Evolved Node B). Además, el algoritmo propuesto en la simulación se puede implementar convenientemente para la búsqueda de celdas y mejorar el rendimiento que el algoritmo que se usa en la tecnología 4G cuando ocurre grandes desplazamientos de frecuencia.[8]

Los principales beneficios de la tecnología 5G en el ámbito de seguridad están especialmente relacionados con los procesos de autenticación, los cuales se han mejorado para evitar que los usuarios puedan ser rastreados en la red y que sus dispositivos sean manipulados. Asimismo, estos nuevos métodos de autenticación permiten el acceso heterogéneo de un número muy diverso de dispositivos (y las aplicaciones que soportan) a la red.[9]

En España en el año 2019 se utilizaron escenarios de experimentación mediante bancos de prueba 5G, en los que la empresa Ericsson obtuvo resultados con velocidades de transmisión de hasta 25 Gbps, mientras que en el Reino Unido se alcanzó hasta 1 Tbps [10].

En estas pruebas se visualizaron mayores niveles de seguridad en las transmisiones y adicionalmente se consiguieron óptimos valores para ancho de banda y bajos niveles de ruido. Esto demostró que tales estrategias de defensa ante ataques a la información de usuarios fueron eficaces [11].

Sin embargo, ahora se pueden desarrollar nuevos principios de decodificación o arquitecturas de decodificación para mejorar el rendimiento de la tasa de errores. Una de las principales formas de decodificación para canales en la tecnología 5G es la decodificación de seguridad, que básicamente consiste en procedimientos establecidos en el diseño de esta nueva generación de tecnología celular y de acceso a información de usuarios (inexistente en las tecnologías previas) [12].

Las centrales 5G interconectadas formando redes de comunicación implementadas con políticas de seguridad denota una transformación completa en sí misma, en comparación con las antiguas redes 4G en términos de seguridad. En estas nuevas redes es notable que su arquitectura general es mundialmente aceptada, estandarizada y se encuentra en proceso de implementación. [13]

En la actualidad, existen una alta demanda de tráfico en las redes móviles, por lo que la implementación de redes con tecnología 5G representa un avance revolucionario en cuanto a latencia, conectividad masiva, velocidad de transmisión, eficiencia energética, confiabilidad y flexibilidad.[14]

El análisis de la Calidad de servicio (QoS - Quality of Service) es cada vez más relevante, ya que se considera fundamental para la estabilidad de la red 5G, es esencial proporcionar QoS en entornos considerados críticos como redes de comunicaciones emergentes, utilización de mecanismos de control remoto de dispositivos o para realizar procedimientos médicos de forma remota.[15]

La estabilidad de las comunicaciones móviles ha impulsado el desarrollo de aplicaciones en código abierto para el despliegue de nuevas redes con características móviles como solución de red 5G Non-Standalon. Sin entrar en demasiados detalles, este modelo consiste en dividir la implementación y despliegue de redes 5G en dos grandes fases, conocidas como NSA (Non-Standalone), que podemos traducir como “no autónomo”, y SA (Standalone),

que significa “autónomo”. La fase NSA es anterior a la fase SA por una buena razón: es más fácil de implementar y menos costosa. [15]

Esto incluye la adyacencia de dispositivos genéricos de Radio Definido por Software USRP (Universal Software Radio Peripheral) y de software de código esencial conjuntamente, para la gestión de la red 5G, cuyo posterior despliegue permitirá mediciones de calidad de cobertura usando software especializado y un terminal móvil comercial.[16]

En este trabajo de tesis se desea realizar un análisis de las mejoras que presentaría la nueva generación de telefonía móvil 5G e indicar los potenciales beneficios para nuestro País, además de señalar el costo asociado a la migración celular partiendo de la tecnología 4G que se encuentra en vigencia. Para tal propósito se empleará un banco de pruebas virtual que posibilitará la conmutación de las tecnologías 4G a 5G a través de la configuración de parámetros propios de esta nueva generación de telefonía móvil hacia las redes existentes.

1.2. Planteamiento del Problema

En la actualidad, los seres humanos se ven influenciados por el acelerado crecimiento y adelanto tecnológico sobre la telefonía móvil, y así se hace imprescindible el uso de terminales móviles inteligentes que permitan la comunicación de manera permanente, haciéndose necesario el desarrollo de nuevos dispositivos que se adapten a dichos avances en una comunicación mejor administrable, rápida y segura.[18]

Por medio del análisis del impacto que presentaría las redes de quinta generación, no presentan restricción por distancias geográficas, esta generación de telefonía móvil presenta una mejor cobertura en comparación con sus redes antecesoras 4G las cuales presentan problemas de cobertura por su geografía.

Las velocidades que presentan las redes 4G son de hasta 300 Mbps limitaciones notables en la telefonía móvil, en relación a las altas velocidades de navegación de las redes 5G que pueden alcanzar con velocidades de navegación de 100 Gbps.[19]

Durante la pandemia los recursos digitales se jerarquizaron, los servicios de educación se llevaron de forma digital mediante el empleo de plataformas educativas virtuales mismas que requieren altas prestaciones, referentes como velocidad, latencia y sobre todo un gran ancho de banda; requerimientos críticos en las tecnologías 3G y 4G, las cuales demostraron no ser lo suficientemente robustas para dar soporte para los requerimientos en mención.

En comparación de las redes de quinta generación presentan parámetros más robustos como son un ancho de banda mayor con tiempos de respuesta muy pequeños en el orden de los milisegundos, en los países que contaron con esta tecnología durante la pandemia se pudo evidenciar que el aprendizaje fue mayor a los países con los que no cuentan con esta generación de redes móviles.[20]

En estudios previos sobre 5G en país se concluyó que la implementación de esta tecnología

resultaría sumamente costosa en razón del remplazo total de la infraestructura móvil, por lo que en este trabajo de tesis se propone la simulación de un banco de pruebas conocidos también como 5G-Xcast. Los modelos 5G-Xcast cuentan con los parámetros básicos para las redes 5G, la principal ventaja de utilizar un banco de pruebas es que se puede adaptar a los diferentes escenarios de pruebas en los cuales se desean implementar una red virtual. Los mejores resultados obtenidos a partir de bancos de pruebas fueron: [5]

- En el instituto IRT (Institute für Rundfunktechnik) en Múnich (Alemania) se obtuvieron latencias de 0,8 ms.
- En el centro 5GIC (5G Innovation Centre) en Surrey (Reino Unido) los resultados arrojaron latencias de 1,2 ms.
- En la Universidad TUAS (Turku University of Applied Sciences) en Turku (Finlandia) las latencias en la red 5G se encontraban en el orden de 1.3 ms.

Los tres modelos de bancos de prueba previamente mencionados son los más empleados para la simulación de aplicaciones dentro de las redes 5G. Adicionalmente los bancos de pruebas 5G-Xcast incorporan capacidades de red fija para permitir la prueba de escenarios de aproximación entre redes móviles.[21]

En las simulaciones para las redes 5G se aplicarán los principios indicados en el proyecto 3GPP, el cual señala los parámetros de rendimiento indicados en la norma IMT-2020 (International Mobile Telecommunications) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU (International Telecommunication Union) para la evaluación de los resultados obtenidos.[22]

Entre las propiedades distintivas de los bancos de pruebas se cuenta su bajo costo, el cual definido bajo la subyacente utilización de herramientas como la Inteligencia Artificial (AI - Artificial Intelligence) permite la optimización de la red. No obstante, existen costos elevados de algunos de sus elementos, lo cual limita su implementación actual, entre tales elementos se encuentran:

- A. USRP. Cuyo costo está en el rango de \$1200 dólares.
- B. Microprocesador. Los ordenadores de soporte para esta nueva tecnología móvil deberían (deseablemente) ser de tipo INTEL8 o INTEL9 (que está en experimentación) cuyos costos aproximados es de \$4000.
- C. Comprobador (Tester) 5G. Este dispositivo sirve para analizar los parámetros principales de las redes 5G, tienen un costo de \$500. [23]

Tomando en cuenta los costos eventualmente elevados que se pueden presentar al intentar implementar esta nueva tecnología móvil mediante equipamiento de prueba con costos que bordean los \$5500, como medida alternativa se plantea la simulación de un banco de pruebas mediante software licenciado (MATLAB) con el que cuenta la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

Con los resultados de las simulaciones de los bancos de pruebas virtuales se procederá a determinar cuáles serían las mejoras que presentaría esta tecnología, de llegar a implementarse en el país. Además, dichos resultados se compararán con aquellos de los países que ya cuentan con esta nueva generación de redes móviles.

En este trabajo de tesis se explicarán los principales beneficios e incluso los mitos que existe en la población asociados a la tecnología 5G.

1.3. Justificación

El presente trabajo se llevará a cabo en la ciudad de Riobamba, donde se realizará el análisis comparativo de la evolución de las redes 4G a las redes de nueva generación (5G). Para ello es de mucha importancia entender que la tecnología móvil se ha convertido en una parte fundamental para la sociedad, debido a sus exigencias de conectividad permanentes, esto constituye un acelerado desarrollo de diferentes aplicaciones para redes 5G que van desde entretenimiento, multimedia hasta aplicaciones selectas, tanto de importancia como de seguridad.[18]

Los resultados de este trabajo son importantes, ya que indicarán las mejoras que presentaría esta nueva generación de redes móviles como es la 5G en cuanto a los diferentes parámetros analizados en el mismo, como son la velocidad, latencia, tiempos de carga/descarga de archivos multimedia y la adhesión de una mayor cantidad de usuarios a un mismo nodo. [19]

Esta nueva generación de tecnología móvil causaría un gran impacto positivo en el país al momento que es se encuentre en operación, ya que presentaría cambios importantes, uno de los más notables sería la navegación con mayor rapidez en Internet. [12]

Hoy en día la mayoría de personas cuentan con un plan de datos para su casa y otro para su dispositivo móvil, con 4G-LTE los operadores pueden ofrecer servicios unificados y a la medida de lo que el usuario necesite, de la misma manera las redes 5G alcanzarán un mundo plenamente inalámbrico, con altísima densidad de cobertura, prácticamente sin fluctuaciones en el rendimiento y continuidad de llamada en el servicio telefónico.[20]

Por otra parte, el consumo de energía representa en la red actual una fuente clave de gasto para los operadores que alcanzan niveles alarmantes cuando se incrementa el procesamiento del tráfico móvil. Contrariamente, con la inserción en el mercado de nuevos dispositivos para 5G se espera mitigar en gran medida este efecto.

El presente trabajo de investigación se fundamenta metodológicamente mediante un estudio cualitativo basado en la investigación bibliográfica, la cual expone el sustento teórico de los beneficios de la nueva generación celular 5G.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la factibilidad de la implementación de una red móvil 5G en la ciudad de Riobamba.

1.4.2. Objetivos específicos

Conocer cuáles son los requerimientos básicos que establece la ITU para la implementación de una red 5G, determinar la infraestructura de una posible migración o una nueva implementación total de esta generación de telefonía móvil.

Simular un banco de pruebas de la tecnología 5G mediante herramientas que proporciona MATLAB para redes móviles para la adaptación de los resultados obtenidos físicamente en diferentes escenarios de pruebas (nodos de las diferentes operadoras celulares establecidos para este estudio).

Identificar la posible ubicación (idónea) de una torre la distribución del servicio 5G para proporcionar la mayor cobertura.

Analizar tiempos de carga y descarga de aplicaciones con diferentes formatos de información que se ejecutarían en una red 5G si esta se encontrara en operación en la ciudad de Riobamba.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Esta sección proporciona una comprensión básica de lo que significa 5G y en qué consiste una transmisión de voz y datos de quinta generación.

2.1. Antecedentes del estudio

Para avanzar en este trabajo, se debe tener en cuenta la importancia de los desarrollos previos en la tecnología 5G y su estructura para preparar el escenario para grandes avances en la integración de los servicios de comunicaciones móviles y Tecnologías de la información IT (Information Technology). Se esperaba que la tecnología 5G esté en pleno funcionamiento para 2020, y a partir de ahí se pudiera convertir en una tecnología común para todos los usuarios [1].

Los primeros indicios para el desarrollo de la quinta generación de redde móviles se remonta al año 2008 cuando se creó el programa surcoreano “5G requirements Studies on high speed, high capacity, massive number of connections, ultra-low latency, and ultra-high reliability”. Requisitos básicos que presentan las redes 5G presentan altas velocidades de transmisión, la alta capacidad de usuarios, las latencias extremadamente bajas que presentan esta nueva generación de comunicaciones móviles y su alta confiabilidad los cuales fueron desarrollados mediante estudios presentados en los congresos y conferencias organizadas por los principales organismos que rigen las telecomunicaciones. Esta nueva generación de telecomunicaciones presenta altas velocidades en el orden de los GBps y poder integrar servicios que en su momento no estaban contemplados para una conexión telefónica móvil como la realidad virtual, telemedicina entre otras [2].

Posteriormente, en países como Suecia, España, Finlandia e incluso China, se ha apostado por invertir en el estudio y desarrollo de esta nueva generación de telefonía móvil, en concreto en Europa en 2013 se destinó alrededor de 50 millones de euros a la investigación y desarrollo de 5G, la cual se implementó en el año 2020 bajo el amparo de la Unión Europea [3].

En Suecia, la multinacional Ericsson ha avanzado continuamente en su infraestructura para la implementación de 5G, demostrando su funcionalidad en términos de velocidad y latencia en colaboración con operadores en diferentes países, en particular en Latinoamérica. En 2015, Ericsson realizó mejoras de software en sus productos de sistemas de radio para que pudieran admitir la nueva tecnología 5G [4].

Durante el evento Mobile World Congress (MWC) 2018, encuentro institucional que se realiza todos los años para discutir y presentar los avances tecnológicos en comunicación móvil y su desarrollo, el tema principal fue la tecnología 5G y cómo abrirá las puertas a

nuevas etapas.[5].

Durante este congreso, importantes empresas como Ericsson e Intel destacaron que el 5G no es solo una idea adicional, sino que ya es una necesidad para poder gestionar y canalizar el creciente flujo de datos en los dispositivos y que puedan tener un servicio adecuado [6].

La nueva tecnología en desarrollo va más allá de los automóviles y los hogares inteligentes, con 5G se puede integrar a muchas más aplicaciones y dispositivos al mismo tiempo, porque con una mayor velocidad y menos latencia, el servicio será más eficiente y, por lo tanto, consumirá menos energía, que garantiza la estabilidad y escalabilidad de la conectividad, ya se han definido estándares para el uso de 5G en términos de infraestructura y uso de espectro, así como un consenso sobre el ancho de banda asignado para que se puedan alcanzar las velocidades prevista para la nueva tecnología. [7]

2.2. Tecnologías base para 5G

Si bien es cierto que 5G no está a un futuro lejano, no tendrá precedentes en términos de conectividad, velocidad y tiempo de respuesta, pero este nuevo estándar comenzó hace generaciones. Las redes de cuarta generación de comunicación móvil presentan mejoras graduales, UMTS cuenta con varios tipos de funciones como son mayor número de usuarios conectados a la misma red y un aumento de velocidad a 2 Mbps por usuario. [11]

Cada generación de redes inalámbricas trae mayor velocidad y más funcionalidades para smartphones, la primera generación (1G) permitió el empleo de los primeros celulares, la 2G posibilitó el envío de mensajes cortos, la tercera generación (3G) facultó la conexión a internet y la cuarta generación (4G) otorgó una mayor velocidad de (navegación en Internet). Los usuarios necesitan mayores velocidades de navegación para sus dispositivos, ya que se encuentra cerca las redes de quinta generación (5G); En esta generación también incremento de número usuarios a la red de telefonía; sin embargo, tal incremento produjo la saturación de la red.

Las redes 5G serán capaces de soportar 1000 veces más tráfico que las redes actuales y serán 10 veces más veloces que las redes 4G LTE. Si un lector se pregunta ¿qué es una red 5G?, la respuesta sería que detrás de 5G existen 5 tecnologías: que emergen como base técnica para esta nueva generación así se mencionan. [7]



Ilustración 2-1. Características base para la tecnología 5G

Fuente: [2]

- 1) **Ondas milimétricas (Millimeter Waves).** - Muchos de los dispositivos electrónicos de uso común utilizan frecuencias específicas en el espectro de radiofrecuencia comúnmente aquellas que están por debajo de los 6 GHz.
 Pero las redes milimétricas se están empezando a llenarse, las cuales se encuentran en un proceso de saturación.
 Obligando a operadores a comprimir todos los bits de datos en el mismo espectro de radiofrecuencia provocando lentitud en el servicio y mayores problemas de conexión.
 La solución consiste en disponer espacio en otro rango de frecuencia, por tal razón los investigadores están experimentando la transmisión en ondas milimétricas más cortas, aquellas entre 30 y 300 GHz, la misma nunca ha sido utilizada por dispositivos móviles y abrirla significaría mayor ancho de banda para todos los dispositivos, pero esto provoca un problema, ya que las ondas milimétricas no pueden viajar a través de las paredes u otros obstáculos y tienden por lo general a desaparecer por la lluvia o ser absorbidas por las plantas.[8]

- 2) **Celdas pequeñas (Small Cell).** - Para los problemas de las ondas milimétricas, se tiene como solución el empleo de celdas pequeñas, las redes inalámbricas actualmente se construyen con grandes torres de telefonía con gran potencia para transmitir señales a largas distancias, se debe tomar cuenta que las ondas milimétricas con frecuencias mayores presentan dificultad para cruzar obstáculos, lo que significa que, si un usuario se desplaza detrás del obstáculo, la señal telefónica desaparecerá. Consecuentemente, la segmentación de las redes solucionaría el problema, usando miles de centrales más pequeñas, estas estarán mucho más cerca que las torres normales. [19]

- 3) **MIMO masivo (Massive MIMO “multi-input and output”).** - Los canales 4G poseen casi una docena de puertos para elementos radiantes (antenas) que gestionan todo el tráfico móvil, pero grandes canales MIMO, pueden soportar varios puertos, esto puede aumentar 22 veces más la capacidad de las redes actuales, otro problema existente se debe a que las antenas celulares actuales transmiten información a todos los lados al mismo tiempo y todas estas señales contradictorias pueden causar alguna interrupción. [18]

- 4) **Beamforming.** - Es un sistema de señalización de tráfico para señales móviles, en lugar

de transmitir señales en todas las direcciones permite que el canal envíe un flujo de datos fijo a un usuario específico, esto evita que vuelva a haber interferencia y es altamente eficiente para que los canales puedan manejar un gran flujo de datos entrantes y salientes al mismo tiempo.[21]

- 5) **Full dúplex.** - La antena básica permite la transmisión o la recepción, por lo que los investigadores utilizan transistores de silicio para crear una conmutación de alta velocidad que elimine los límites de onda, lo que podría significar que cada señal sea mucho más rápida.[7].

2.3. Evolución de las redes móviles



Ilustración 2-2. Evolución en términos de velocidad de la telefonía móvil.

En la ilustración 2-2 se muestra de forma comparativa las mejoras que presentan desde sus inicios la telefonía móvil hasta llegar a la era de 5G, las cuales se abarcaran a continuación.

2.3.1. Tecnología móvil 0G

La generación 0 G apareció a finales del siglo XIX. Esta no es la generación de teléfonos móviles, pero es la base y el punto de partida para el desarrollo de la próxima generación. El acceso a esta tecnología es poco frecuente, se basa en la tecnología inalámbrica y se utiliza principalmente en aplicaciones de navegación, militares y para automóviles.[9]

2.3.2. Tecnología móvil 1G

Nacido a finales de la década de 1980, se basaba principalmente en los sistemas de telefonía analógica, y su uso estaba principalmente dirigido a entornos profesionales. Fue entonces cuando aparecieron los primeros operadores y nació el proceso de roaming internacional de

datos.

La primera generación de teléfonos móviles se basó en un conjunto de celdas, interconectadas, que daban servicio a los dispositivos dentro de su amplia área de cobertura. Por lo tanto, originalmente se les llamó "teléfonos celulares".

No todas las redes se basan en los mismos protocolos, dependen mucho de sus fabricantes y no es fácil interconectar o utilizar los mismos terminales en diferentes redes.

La calidad de voz era relativa, la capacidad de transmisión de datos era baja (del orden de kilobits por segundo) y la duración de la batería alcanzaba unas horas; pero, aun así, el servicio de telefonía móvil despegó en 1990 y llegó a cerca de 20 millones de suscriptores.[10]

En la Tabla 2-1 se puede visualizar las principales características de 1G.

En la ilustración 2-3 se observa el diseño que presentan los móviles referentes a la primera generación de telefonía

Tabla 2-1. Características de la tecnología 1G.

CARACTERÍSTICAS	
Tecnología	Analógica
Velocidad	1 kbps a 2,4 kbps
Frecuencia	800 – 900 MHz
Ancho de banda	30 kHz. La banda tiene capacidad para 832 canales dúplex, entre los cuales 21 están reservadas para el establecimiento de llamadas y el resto para la comunicación de voz
Multiplexación	FDMA
Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	AMPS (Advanced Mobile Phone System)
Año	1970-1980
Servicios	Solo voz
Core Network	PSTN (Public Switched Telephone Network)

Fuente: [11]



Ilustración 2-3. Móviles de primera generación (1G).

2.3.3. Tecnología móvil 2G

Esta generación evoluciona a un sistema de comunicación digital que puede transferir voz y datos (SMS) a baja velocidad. El formato digital ha mejorado la calidad y seguridad de la comunicación (cifrado). Apareció en el mundo en los años 90 e introdujo teléfonos digitales en la misma década, en la ilustración 2-4 se indican los terminales móviles de 2G. A partir de ahí se inició el proceso de globalización de la informática móvil. Con la introducción de los tonos descargables, es el primer y más importante servicio de ventanilla del sistema de pago móvil para Navegar (rudimentariamente) por internet.

También ha mejorado significativamente la calidad de la comunicación, mayores tasas de transferencia de datos y la capacidad de enviar faxes y mensajes SMS.[12]

En la Tabla 2-2 se puede visualizar las principales características de 2G.

En la ilustración 2-4 se observa el diseño que presentan los móviles referentes a la primera generación de telefonía.

Tabla 2- 2. Características notables de la tecnología 2G

CARACTERÍSTICAS	
Tecnología	Digital
Velocidad	14 kbps a 64 kbps
Frecuencia	850-1900 MHz (GSM) y 825-849 MHz (CDMA)
Ancho de banda	GSM divide cada canal de 200 kHz en bloques de 25 kHz y el canal CDMA es nominalmente de 1,23 MHz.
Multiplexación	TDMA y CDMA
Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)
Año	1980 -1990
Servicios	Voz Digital, SMS, roaming internacional, conferencia, servicio de llamada (espera, retención, transferencia, bloqueo e identificación de número celular), grupos cerrados de usuarios (CUG), servicios USSD, autenticación, facturación basada en los servicios prestados a sus clientes, por ejemplo, cargos basados en llamadas locales, larga distancia, llamadas con descuento, en tiempo real de facturación.
Core Network	PSTN (Public Switched Telephone Network)

Fuente: [11]



Ilustración 2-4. Dispositivos móviles 2G

2.3.4. Tecnología móvil 2.5 G

En realidad, en la mayoría de las ocasiones 2.5 G quiere decir GPRS (General Packet Radio Service es un servicio de las redes) GSM, que viabiliza la conexión a Internet con paquetes de datos sin establecer un circuito, como en la tecnología antecesora, de forma que se pueda aplicar una tarifa por datos transferidos, y no por el tiempo de conexión. Las operadoras añaden a sus estaciones base dos nodos que se encargan de enrutar los paquetes de datos y conectarlos a Internet. La modificación es sencilla y poco costosa, por lo que todas las operadoras proporcionan cobertura GPRS, este sistema obliga a que el tráfico de datos circule sobre la red GSM, y habitualmente con menor prioridad que la información de voz. De las distintas configuraciones GPRS que existen, la mejor de ellas alcanza 80 kbps de descarga y 60 kbps de carga. Además, debido a la baja prioridad de los paquetes de datos, puede existir un retardo considerable. En la Tabla 2-3 se puede visualizar las principales

características de 2.5 G.

Tabla 2- 3. Características relevantes de la tecnología 2.5G.

CARACTERÍSTICAS	
Tecnología	Digital
Velocidad	115 kpbs (GPRS) / 384 kbps (EDGE)
Frecuencia	850 -1900 MHz
Ancho de banda	80 kbps.
Multiplexación	desplazamiento mínimo gaussiano keying-GMSK (GPRS) y EDGE (8-PSK)
Conmutación	Conmutación de paquetes para la transferencia de datos
Estándares	GPRS (Servicio General de Paquetes de Radio) y EDGE (Velocidades de datos mejoradas en GSM)
Año	2000- 2003
Servicios	pulsar para hablar, multimedia, información basada en la web de entretenimiento, soporte WAP, MMS, SMS juegos móviles, búsqueda y directorio, acceso a correo electrónico, videoconferencia.

Fuente: [11]

2.3.5. Tecnología móvil 3G

A principios de este siglo, se introdujo 3G. La banda ancha ha hecho que Internet móvil sea omnipresente, con la aparición de estándares como UMTS, lo que permite mayores capacidades de transmisión de datos. La funcionalidad del usuario está aumentando a un ritmo vertiginoso. Visualizar videos, realizar videollamadas y GPS son algunas de las aplicaciones que se puede ejecutar en los dispositivos que soportan esta nueva generación de telefonía.

Se empiezan a desarrollar todo tipo de aplicaciones, incluidas WhatsApp y Facebook, presenta una evolución a formato digital, con velocidades de banda ancha (2 Mbps o superiores). Este aumento de la velocidad ha hecho posible utilizar las redes móviles para acceder a Internet y sus servicios (sitios web, correo electrónico, etc.). En la Tabla 2-4 se puede visualizar las principales características de 3G. [13]

Tabla 2- 4. Características principales de las redes 3G.

CARACTERÍSTICAS	
Tecnología	Digital
Velocidad	384KBPS a 2 Mbps
Frecuencia	8 MHz a 2,5 GHz
Ancho de banda	5 a 20 MHz
Multiplexación	<p>Interfaz de radio llamada WCDMA (Wideband Code División Multiple Access)</p> <p>HSPA es una actualización de W-CDMA que ofrece velocidades de 14,4 Mbit/s de bajada y 5,76 Mbit/s de subida.</p> <p>HSPA + puede proporcionar velocidades de datos pico teóricas de hasta 168 Mbit/s de bajada y 22 Mbit/s de subida.</p> <p>CDMA2000 1X: Puede soportar tanto servicios de voz como de datos. La máxima velocidad de datos puede llegar a 153 kbps</p>
Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	<p>UMTS (WCDMA) basado en GSM (Global Systems for Mobile) infraestructura del sistema 2G, estandarizado por el 3GPP.</p> <p>CDMA 2000 basado en la tecnología CDMA (IS-95) estándar 2G, estandarizada por 3GPP2.</p> <p>Interfaz de radio TD-SCDMA que se comercializó en 2009 y sólo se ofrece en China</p>
Año	2000
Servicios	Telefonía móvil de voz, acceso a internet de alta velocidad, acceso a redes WIFI y datos móviles, videoconferencias, redes sociales, servicios de telemedicina, navegación en plataformas de streaming y musicales, servicios multimedia (videos, fotos, películas), servicios de geolocalización (tráfico y clima), servicios de oficina virtual como banca móvil.

Fuente: [11]

2.3.6. Tecnología móvil 4G

Estuvo disponible en todo el mundo en 2010. Para soportar servicios multimedia (es decir, aplicaciones y servicios de video: YouTube, videollamadas, etc.) la mayoría de países del mundo aún se encuentran inmersos en la tecnología 4G, mucho más rápida que 3G con IP (Internet Protocol).

Es decir, que esta tecnología se ha desarrollado principalmente para el mercado móvil, presenta la llegada de los teléfonos inteligentes, y tasas de transferencia de datos más altas y

requerimiento de conexión mayor que las generaciones anteriores, en la ilustración 2-5 se observan los modelos de smartphome.

Los usuarios necesitan conexiones más rápidas desde cualquier lugar, y 4G puede hacer precisamente eso. Los teléfonos inteligentes permiten funciones que eran impensables hace unos años. Cómo tomar fotos 4K con la cámara de los dispositivos móviles, solicitar recomendaciones de comida, pagar facturas, visualizar contenido en tiempo real y más.[14]

En la ilustración 2-5 se muestra los diferentes modelos Smart Phone. En la Tabla 2-5 se puede visualizar las principales características de 4G.



Ilustración 2-5. Modelos de Smart Phone 4G

Tabla 2- 5. Características de las redes 4G.

CARACTERÍSTICAS	
Tecnología	IP
Velocidad	100 Mbps en movimiento y 1 Gbps cuando se permanece inmóvil.
Frecuencia	En América del Norte se utilizan 700, 750, 800, 850, 1900, 1700/2100 (AWS), 2300 (WCS) 2500 y 2600 MHz (bandas 2, 4, 5, 7, 12, 13, 17, 25, 26, 30, 41); 2500 MHz en América del Sur; 700, 800, 900, 1800, 2600 MHz en Europa (bandas 3, 7, 20); 800, 1800 y 2600 MHz en Asia (bandas 1, 3, 5, 7, 8, 11, 13, 40) 1800 MHz y 2300 MHz en Australia y Nueva Zelanda (bandas 3, 40).
Ancho de banda	5 a 20 MHz y puede llegar hasta 40 MHz

Multiplexación	OFDM, MC-CDMA, CDMA y Las Red LMDS
Conmutación	Conmutación de circuitos
Estándares	Long-Term Evolution Time-Division Dúplex (LTE-TDD y LTE-FDD) Estándar WiMAX móvil (802.16m estandarizado por el IEEE)
Año	2010 pero desde el 2008 ITU-R indicaron los requisitos para las redes 4G
Servicios	Acceso móvil web, telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión y movimientos rápidos de teléfonos móviles, Digital Video Broadcasting (DVB), acceso a información dinámica, dispositivos portátiles.

Fuente: [11]

Una de las aplicaciones de mayor potencial que en la actualidad existe es el internet de las cosas (IoT) la cual fundamentalmente consiste en el empleo de tecnología de acceso remoto (que se puede lograr mediante la tecnología móvil) para producir cambios de estado en sensores y actuadores de dispositivos que forman parte de un sistema inteligente conectado a Internet en los siguientes párrafos se detallarán los servicios IoT.

IoT es el mecanismo que permite controlar diferentes equipos que cuentan con una dirección IP como de los cuales se destacan desde dispositivos para iluminación, electrodomésticos para el hogar (refrigeradores, televisores, aperturas de puertas por voz, entre otros) hasta recursos de atención de salud emergente y en prendas de vestir para proporcionar mecanismos de localización.[15]

IoT es una herramienta que se ha ido integrando poco a poco en los teléfonos móviles, pero que ahora es un recurso muy importante para este tipo de redes por su versatilidad y amplia gama de aplicaciones que aportan grandes beneficios, ventajas en funcionalidad y facilidad de implementación.[16]

Plataformas de telefonía celular 4G y 5G otorgan factibilidad para la ejecución de aplicaciones con IoT esto generara un beneficio en todos los ámbitos en los que los humanos se desenvuelven así se mencionan sectores de la educación, salud, hogares e industria, entre otros. [17]

2.3.7. Tecnología móvil 5G

En el contexto de la telefonía móvil, concretamente UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), 5G hace referencia a la quinta generación de telefonía móvil.

En el año 2015, se comenzaron a desarrollar redes de quinta generación, a partir del año 2017 se inició con su implementación gradualmente en países de Europa y Asia. Los núcleos y protocolos de red se basan en la nube y el software de red.[19]

Esta nueva tecnología tiene como objetivo garantizar la mínima latencia, la máxima velocidad y una completa seguridad para los usuarios.

La aplicación de 5G es superior a otras redes móviles. La gran velocidad que trae le permite automatizar casi cualquier cosa y mantenerse conectado a Internet en todo momento. [11]

Desde relojes inteligentes y teléfonos móviles hasta coches o casas inteligentes. Además, la infraestructura utilizada, IoT (Internet of Things o Internet de las Cosas) permitirá implementarlo en un gran número de apartados como la telemedicina o el desarrollo de ciudades inteligentes.[20]

Los servicios integrados de domótica, la banda ancha móvil, servicios de streaming de alta velocidad entre otros servicios que brinda esta nueva generación de redes móviles. [2]

En la ilustración 2-6 se muestra los servicios que brindaría las redes 5G

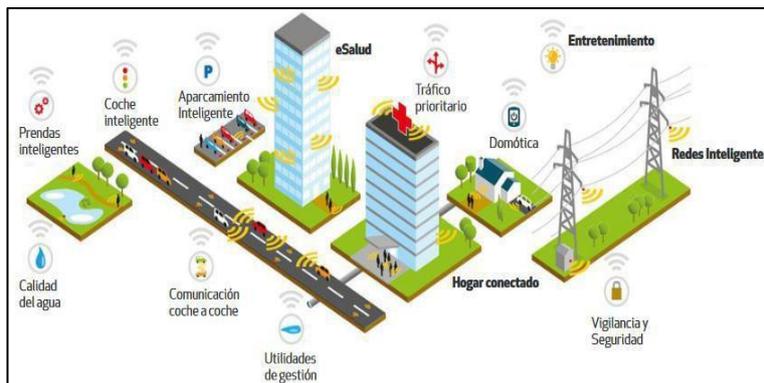


Ilustración 2-6. Esquema de los servicios que se podría obtener con 5G

Fuente: (Evoca,2016)

Entre los principales servicios que podrían ser integrados para 5G se cuentan con sensores conectados a la red, cámaras de seguridad, transmisión de video en alta calidad 3D-4K; en lo que respecta a la nube se puede incluir lo que es teletrabajo y juegos en red, de la mano con esto, la realidad virtual es un servicio indispensable de las redes 5G, en el ámbito industrial y vehicular se considera como indispensable en las redes 5G con esto se podrá manipular banda ancha de misión crítica de mejor manera para ayuda en situaciones de riesgo tanto para socorristas como para personas en riesgo, en la ilustración 2-6 se presenta los servicios integrados en la tecnología 5G.



Ilustración 2-7. Servicios Integrados de 5G

Fuente: [18]

En la ilustración 2-7 nos indica los principales servicios y aplicaciones que se podrán integrar dentro de un sistema de comunicaciones 5G y como todos estos servicios IoT tendrán una baja latencia y alta eficiencia en recursos de consumo.

Al momento se cuenta con una estandarización para las redes móviles 5G aprobada por el organismo internacional de telecomunicaciones (ITU), en diciembre del 2017 en Lisboa (Portugal) se aprobaron las especificaciones para las nuevas redes 5G no autónoma (NSA 5G NR-Non-Standalon 5G New Radio) por parte del 3GPP.[19]

2.3.8. Fundamentación legal

Es significativo indicar que hasta el presente año no se ha determinado totalmente las especificaciones de regulación y los estatutos en base a los cuales se implementaran las nuevas redes 5G en Ecuador, pero desde 2015 la ITU bajo el estándar de IMT-2020 (International Mobile Telecommunication-2020) se pueden estudiar las principales características de interacción de las redes 5G en el futuro y cuál sería el impacto que tendrían estas redes dentro del país. [22]



Ilustración 2-8. Cronograma de la ITU para 5G

Fuente: [20]

En la Ilustración 2-8 se define el cronograma de actividades para el desarrollo de la tecnología 5G según la IMT-2020, en donde se manejan las características más relevantes que se detallan a continuación:

- Con 5G se prevé tener mucha más interacción con el software libre y como repercutirá de forma positiva al uso de IoT.[21]
- Con la nueva generación 5G se espera poder mejorar considerablemente la información de las redes y la conexión centralizada de la información.[22]
- Mantener un constante proceso de perfeccionamiento y desarrollo para lo que implica la infraestructura de red que comprende la reglamento para redes 5G. [21]
- Continuar con el análisis y estudio de la convergencia y escalabilidad de las redes fijo-móvil. [23]
- Para 5G se debe continuar con el estudio de la segmentación de la red en lo que respecta a conexiones de Core y troncales. [24]
- Al ser un nuevo estándar de características de QoS (Quality of Service) y QAM (Operations, Administration and Management) para el tráfico y consumo de la red 5G son los principales desafíos en las redes IMT-2020. [25]

Por otra parte, en la conferencia mundial de radiocomunicaciones en el año 2015 (CMR-15) se dialogó acerca del uso de frecuencias para tecnología 5G del IMT-2020. En esta conferencia se llegó al arreglo de usar frecuencias en el rango de los 24-25 [GHz] DL y a los 86 [GHz] según resolución COM6/20, en la Tabla 2-6 se describen las diferentes bandas de frecuencia asignadas por parte de la ITU (Unión Internacional de telecomunicaciones).[26]

Tabla 2- 6. Bandas de frecuencia asignadas para 5G según la resolución COM6/20

Bandas de frecuencia comprendidas entre 24,25 a 86 [GHz]	
24,25 – 27,5 [GHz]	37 – 40,5 [GHz]
42,5 – 42,5 [GHz]	40,5 – 47 [GHz]
47,2 – 50,2 [GHz]	50,4 – 52,6 [GHz]
66 – 76 [GHz]	81 – 86 [GHz]
31,8 – 33,4 [GHz]	40,5 – 4,5 [GHz]
47 – 47,2 [GHz]	

Fuente: El autor

Esto se define a nivel mundial, para el Plan Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador se le asigna el rango de 24,24 [GHz] a 86 [GHz].

Los principales servicios se clasifican en: satelitales aficionados, radionavegación, satélites fijos, satélites de radio-posicionamiento, radioastronomía, celular vía satélite, entre otros.

En el futuro, dependiendo de la brecha digital en Ecuador, se pueda implementar la red 5G en las frecuencias indicadas anteriormente, ya que están incluidas en el Plan de Telecomunicaciones del organismo regulador correspondiente.[27]

Según lo registrado por la ARCOTEL y en conversación con el director de la organización 5G de las Américas, se colaboró la documentación sobre el estándar técnico de calidad para

el despliegue del Servicio Móvil Avanzado (SMA) para publicar el plan de acción para Ecuador, en cuanto al uso del espectro y cómo debe ser la distribución de las frecuencias para los diversos servicios, incluido 5G. Además, explicó cómo se deben desarrollar e implementar lineamientos regulatorios coherentes, justos y efectivos. [28]

2.4. Parámetro para estudio de redes 4G y 5G dentro del país

2.4.1. Tipos de Handover

El handover se refiere al tiempo que se demora un UE en conmutar entre radio bases. Existen tres tipos de handover para los servicios móviles, los cuales se clasifican de la siguiente manera:[23]

- **Intra-frequency Handover:** Este handover se realiza en la misma frecuencia y sistema cuanta con:
 - handover Softer: se refiere al tiempo de transición por parte de una terminal móvil a una radio base en cuestión de milésimas de tiempo es imperceptible por parte del usuario.
 - soft handover: se refiere a una transición de celdas vecinas que se encuentran colindantes, lo cual es imperceptible para el usuario.
 - Hard-Handover: al momento de cambiar de radio base o celda se pierde la comunicación entre UE y la celda a la que se desea conectar durante un momento, este efecto es más visible en las carreteras.
- **Inter-frequency Handover:** Este handover se realiza entre celdas que cuentan con frecuencia diferente entre ellas, por lo cual en este tipo de celdas se realiza un hard handover hasta que las frecuencias puedan conmutar para brindar el servicio al UE.
- **Inter-system Handover:** Este tipo de handover se realiza cuando se conmuta entre torres de diferentes tecnologías, solo puede soportar un hard handover ya que cada tecnología cuenta con sus propios parámetros

Estos handover también se realizan en redes de quinta generación con sus diferentes tipos de handover.

2.4.2. Pérdidas por penetración

Las pérdidas por penetración indica la capacidad de absorción que presenta los diferentes obstáculos, entre los que se destacan la población que cuenta con servicios de telefonía móvil. El hombre tiene la capacidad de absorber las señales radioeléctricas

El análisis se ejecuta según el entono donde se desea realizar el análisis de cobertura el cual

se clasifica según el entorno donde se desarrolla el análisis, en la Tabla 2-7 se indican las diferentes pérdidas que se desarrollan según el entorno donde se desarrolla el análisis. [24]

Tabla 2- 7. Pérdidas por entorno.

PERDIDAS POR PENETRACIÓN (DB)	ENTORNO			
	URBANO DENSO	URBANO	SUBURBANO	RURAL
L	18	15	12	9

Fuente: El autor

Las pérdidas se producen en el usuario principalmente por la cabeza, ya que es la región anatómica que tiene una mayor absorción de las señales radioeléctricas, por qué se considera como un área de mayor exposición a las señales móviles según el servicio que sea empleado por usuario. En la Tabla 2-8 se indica las perdidas producidas por el usuario según el servicio. [18]

Tabla 2- 8. Perdidas por el Usuario

Perdidas por Cuerpo Usuarios (dB)	Tipo de servicio	
	Voz	Datos
L_{body}	3	0

Fuente: El autor

La tasa de penetración se aplicará según el servicio utilizado, en la siguiente tabla se indica el nivel de penetración según el entorno donde se llevará el estudio.[24]

Tabla 2- 9. Tasa de penetración por servicio.

Servicio (RAB)	TASA PENETRACIÓN			
	DENSO URBANO	URBANO	SUBURBANO	RURAL
VOZ	0.6	0.6	0.6	0.6
LCD 64	0.1	0.1	0.1	0.1
LCD144	0.01	0.005	0.005	0.005

Fuente: Ing. Daniel Santillán

Para el análisis de las perdidas por penetración se aplicará la ecuación 1 en la que se indica el total de usuarios que accederán a la radio base que se encuentra en análisis.

$$M = N_{\mu} * A_C * P * O * RAB$$

Ecuación 1

M es el usuario por radio base.

N_{μ} es la densidad poblacional.

A_C es el área de cobertura por Km².

P es el porcentaje de Ocupación.

O es el número de Operadoras.
RAB² es la tasa de penetración.

El tráfico medio por usuario depende del servicio al que se accede, más no del entorno donde se desarrolla el estudio. Para el análisis de tráfico medio se aplica la ecuación 2.

$$A_{(er)} = \frac{d_l}{h}$$

Ecuación 2

$A_{(er)}$ es el tiempo Promedio por usuario.
 d_l es la duración de la llamada.
 h es la hora en segundos (3600)

El factor de interferencia² indica los niveles de potencia de radio bases vecinas que se interponen con las señales generadas por la radio base a la que dispositivo móvil se conecta, para el análisis se aplicara la ecuación 3 en la que se indica si la celda presenta interferencia al comunicarse con el dispositivo móvil.

$$i = \frac{N_{iv}}{N_i}$$

Ecuación 3

i es el Factor de interferencia.
 N_{iv} es los niveles de interferencia de radio base vecina.
 N_i es el Nivel de interferencia de radio base origen.

Los valores de interferencia se encuentran entre 0,6 a 0,9 los cuales son aceptables en los estudios para redes móviles. [6]

Los estudios para las áreas urbanas y rurales se realizan mediante la utilización de 2 modelos, para los entornos rurales se aplica el modelo de Okumura- Hata por su densidad poblacional inferior a la de zona urbana en la cual se aplica el modelo Walfisch-Ikegami los cuales permiten en análisis del radio de cobertura a partir de las máximas pérdidas soportadas por el enlace (link budget).[25]

2.4.3. Planificación

La planificación de la red es uno de los aspectos más importantes dentro de la implementación de una red móvil, en esta sección se indicarán los parámetros de mayor importancia los cuales se indican a continuación:

➤ **Margen de ocupación.** Indica el porcentaje máximo de ocupación que soporta la radio

² La interferencia es causada por transmisiones de dispositivos en la misma área y en la misma frecuencia.

base para operar de forma adecuada. Para el análisis se utilizará la ecuación 4 en la que se indica el margen de ocupación de la radio base en operación.

$$M_l = -10 \log (1 - \eta)$$

Ecuación 4

M_l es el margen de ocupación.

η es el factor de ocupación.

- **Sensibilidad de servicio:** Es la potencia mínima recibida para garantizar la calidad de servicio (QoS), y para su determinación se usa la Ecuación 5.

$$S_{(dBm)} = -174 + 10 \log R \left(\frac{\text{bits}}{s} \right) + \left(\frac{E_b}{N_0} \right) + F_r (dB) + M_t (dB)$$

Ecuación 5

$S_{(dBm)}$ es la sensibilidad de un Servicio.

R es la capacidad de transmisión de la Radio Base.

$\frac{E_b}{N_0}$ es la señal a ruido de la radio base.

F_r es la frecuencia de radiación.

M_t es el Margen de ocupación.

- **El factor de carga de un usuario.** Es la cantidad media de recursos que es utilizado por usuario y se le representa por mediante la Ecuación 6

$$\lambda_t = \frac{\alpha_t}{\alpha_i + \frac{G_{pi}}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)}}$$

Ecuación 6

λ_t es el Factor de carga.

α_t es el Ángulo del transmisor.

α_i es el Ángulo del enlace del móvil.

G_{pi} es la ganancia de potencia del enlace.

$\frac{E_b}{N_0}$ es la Señal a ruido de la radio base.

Luego de realizar el análisis por parámetro se procede a calcular las pérdidas totales que presentaría el sistema mediante la ecuación de Okumura-Hata / Walfisch-Ikegami en la que puede determinar las pérdidas que se producen durante todo el análisis del sistema.[25]

Se empleará la ecuación 7 para conocer las pérdidas máximas en la carga de información, analizando los diferentes factores que intervienen en el estudio de la radio base.

$$L_{max}^{UL} (dB) = LF + A_{mu}(f, d) - G_{hte} - G_{hre} - G_{AREA}$$

Ecuación 7

L_{max}^{UL} es las perdidas máximas de subida.

LF es las pérdidas en el espacio libre.

$A_{mu}(f, d)$ es la atenuación media relativa a las pérdidas en el espacio libre.

G_{hte} es el factor de ganancia de la antena transmisora (dB).

G_{hre} es el factor de ganancia de la antena receptora (dB).

G_{AREA} es el factor de corrección que depende del entorno.

- **Distancia de cobertura.** Indica la distancia ideal para la colocación entre radio bases y cuál sería el alcance de sus lóbulos de radiación y la forma que se solapan los haces de cada uno de ellos, mediante la ecuación 8 se determinará su distancia idónea para su colocación:

$$d = \frac{3}{2}R$$

Ecuación 8

d es la máxima distancia entre radio bases.

R es el Radio de cobertura de cada Radio Base.

- **Área de una celda (S).** Una red celular es una red de celdas inalámbricas (o simplemente celdas), cada una con su propio transmisor, la llamada estación base. Estas celdas se utilizan para cubrir diferentes áreas y proporcionar cobertura de radio en un área más grande que una sola celda, en la ecuación 9 se indica el área total de cobertura que tendría luego de la colocación de las radio bases indicadas en los pasos anteriores y como sería la cobertura entregada por el sistema de radio bases indicadas en el estudio de planificación.

$$S = \frac{3}{8}\sqrt{3R^2}$$

Ecuación 9

S es el área de una celda

R es el radio de cobertura de cada Radio Base.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

La metodología que se seguirá en este trabajo de tesis comprende varias fases:

1. Se realizarán las mediciones en los diferentes nodos de estudio (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Estadio, Riobamba Centro (CNT), Cementerio, Universidad Nacional de Chimborazo, Campus Dolorosa) utilizando la aplicación Net monitor y una terminal móvil (Samsung J2 Core). [26]
2. Se efectuará un banco de pruebas virtual para redes 5G mediante el uso de las diferentes librerías del software Matlab, en el que se desarrollará el banco de pruebas, posteriormente se analizarán diversos parámetros (latencia, velocidad de transmisión y tiempo de carga/descarga de archivos multimedia) de las redes 5G. [27]
3. Se simularán diferentes escenarios en el banco de pruebas, en conjunto con los softwares de verificación como Atoll y Xirio Online, mediante la utilización de estudios de redes móviles implementadas en diferentes países del mundo, los cuales muestran una alta precisión del 90% en la ejecución de estudios de redes inalámbricas.
4. Las diferentes mediciones de los nodos (velocidades de carga/descarga de información) se extraerán a un archivo de Excel para su procesamiento en el software SPSS y observarían las mejoras que presentarían las redes de quinta generación en comparación con las redes de cuarta generación. Se realizarán análisis estadísticos de las mediciones como son la función de distribución acumulada (CDF) e histogramas de tales mediciones. [9]
5. Las medidas obtenidas del software Net-Monitor se exportan en un archivo .kml el cual es un formato de Google Earth y se clasificarán de dos formas, una identifica las áreas de cobertura de cada celda y la agrupación de datos por nivel de señal en rangos de código de colores.
6. En el programa de simulación de cobertura Xirio online y Atoll, se simularán escenarios para conocer el número de antenas, sectores, orientación o azimut de cada una de ellas, a la altura que se encuentran, inclinación o downtilt esta información es extraída del sitio web del Ministerio de Telecomunicaciones, adicionalmente se simular el escenario en el banco de pruebas desarrollado con el software Matlab.[28]

Para el desarrollo de las etapas del trabajo de tesis se empleará varias herramientas, en la primera etapa se operará con la aplicación Net Monitor que permitirá recopilar la información de cada radio base referenciada, la aplicación será ejecutada en el dispositivo móvil para realizar el análisis de cada radio base.

3.1.1. NET-MONITOR

3.1.1.1. Introducción

Net Monitor es una aplicación disponible para Android en la que se observa detalles de una conexión, intensidad de señal, tipo de conexión, datos de la antena conectada al dispositivo móvil, entre otros parámetros.[21]

Es una aplicación gratuita que se descarga desde Play Store. Al ser ejecutada esta aplicación efectúa un resumen de los parámetros de las antenas cercanas y la intensidad de señal de cada una de ellas. Los resultados dependerán del móvil utilizado para la realización de las mediciones. Se puede adicionalmente observar el servicio brindado por la radio base.[22]

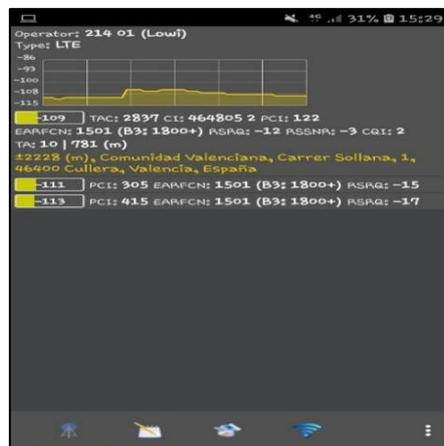


Ilustración 3-1. Visualización de la aplicación Net Monitor

Fuente: El autor

En la ilustración 3-1 se observan los diferentes acrónimos que aparecen en la aplicación de Net Monitor:

- **TA (Tracking Área).** El conjunto de varios eNodoB constituye un área de seguimiento, definida por el operador. Mientras el terminal está en estado inactivo, su ubicación es conocida por la red LTE a nivel TA en lugar de nivel celular.
- **TAC (Tracking Área Code).** Cada área de seguimiento tiene un código único llamado código de área de seguimiento de 16 bits
- **CI o CID (Cell Identifier).** Es un número generalmente único que se utiliza para identificar cada EB o sector de una EB dentro de un código de área de ubicación.
- **CQI (Channel Quality Indicador).** Es la información que UE envía a la red, por tanto, un indicador de calidad del canal.
- **EARFCN LTE (Evolved-UTRA Absolute Radio Frequency No).** Identifica de forma única la banda LTE y la frecuencia de la portadora en MHz.
- **RSSNR (Reference Signal To Noise Radio).** Mide el ruido de la línea móvil en dB.
- **RSRP (Reference Signal Received Power).** Señal de referencia de potencia recibida.

- **PCI (Physical Cell Identity)**. Identificadores de células físicas, en redes LTE proporcionan un valor pseudo-único para identificar eNodeBs.
- **RSRQ (Reference Signal Received Quality)**. Calidad de la señal de referencia recibida.
- **RSSNR (Reference Signal to Noise Ratio)**. La relación señal/ruido de la señal dada.

Existen 3 pestañas en la parte inferior de la aplicación. Si se pulsa sobre el segundo botón se puede acceder a un historial con todos los EB a los que se accedió anteriormente. Se puede observar la posición de las antenas y el tipo de conexión con la cuenta, la radio base. La Ilustración 3-2 muestra la precisión de la aplicación para adquisición de las mediciones, la cual es de, $\pm 22,28$ metros.[26]



Ilustración 3-2. Net Monitor segunda pestaña

Fuente: El autor

Si se escoge la tercera pestaña, se observará un mapa de la ubicación de las estaciones base cercanas disponibles, así como la ubicación de la estación base con la que se tiene conexión. Este mapa puede encontrar la estación base que proporciona la mejor red u organizar una ruta sin perder cobertura. En la ilustración 3-3 se observa el mapa que se genera en la aplicación.[21]



Ilustración 3-3. Net Monitor mapa de radio bases

Fuente: El autor

3.1.1.2. Configuración de Net Monitor

La configuración consiste en presionar los tres puntos en la parte inferior, posteriormente se desplegará las diferentes opciones que proporciona la aplicación, se debe activar las opciones de gráfica de potencia de señal y las celdas vecinas. En la ilustración 3-4 se indica las opciones de configuración de la aplicación.[23]

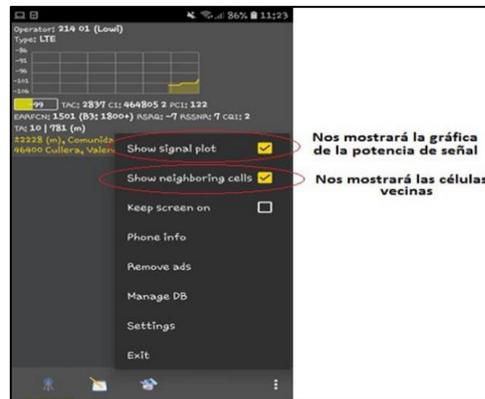


Ilustración 3-4. Menú principal de Net Monitor

Fuente: El autor

3.1.1.3. Realización de medidas

Para la adquisición de las mediciones de forma correcta con la aplicación se debe seguir los siguientes pasos:

1. Se activará el GPS para que la aplicación funcione de forma correcta.
2. Se ejecutará la aplicación Net Monitor.
3. Se indica el ID de la radio base a la que el dispositivo móvil está conectado.
4. Se observa el nivel de cobertura entregado por la radio base móvil.

Aun cuando el trazado de rutas sea el mismo, las conexiones a diferentes radio bases (BS) no serán exactamente iguales porque depende de la gestión que realice cada BS, de que tan bien soporte la saturación de la red en horas pico, y otros parámetros para poder decidir cambiar a otra BS con menor saturación.

Posterior a la adquisición de las mediciones, se generará un archivo .kml, y para su extracción se deben realizar los siguientes pasos:

1. Ingresar al menú de la aplicación.
2. Administrar la base de datos.
3. Exportar el archivo a formato .kml.
4. El archivo kml será almacenado en el directorio: Mis Archivos > Almacenamiento Interno > Datos > Net Monitor.[27]

En la ilustración 3-5 se indica los diferentes formatos que se pueden exportar desde la

aplicación Net monitor y la generación del archivo en Excel.

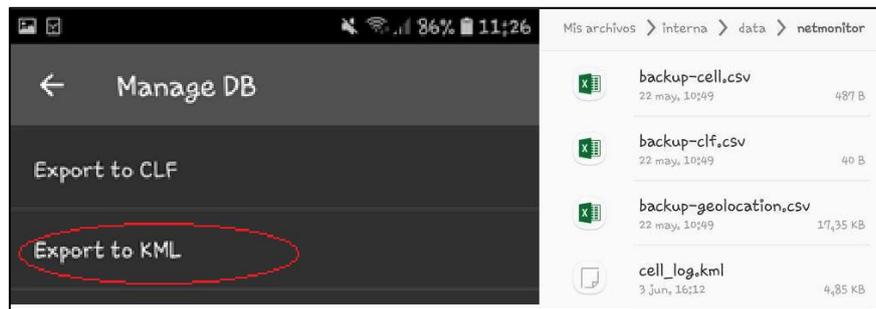


Ilustración 3-5. Tipo de archivos en Net Monitor

Fuente: El autor

Para exportar el archivo .kml se coloca el nombre SB donde se realizaron las mediciones, para llevar a cabo otra medición se debe cerrar la aplicación (resetear) para que la información no se corrompa con las mediciones tomadas anteriormente. En la ilustración 3-6 se indica como se debe cerrar la aplicación.



Ilustración 3-6. Salir de la aplicación

Fuente: El autor

En la siguiente etapa se empleará el programa Excel para la recolección de las diferentes mediciones de las estaciones bases empleadas en este trabajo.

3.1.2. EXCEL

El archivo .kml se crea en Net Monitor, al ejecutar este archivo en Excel se desplegará una advertencia indicando que el formato y la extensión son diferentes, pero igualmente se lo puede aperturar, en la ilustración 3-7 se visualiza esta advertencia:[26]

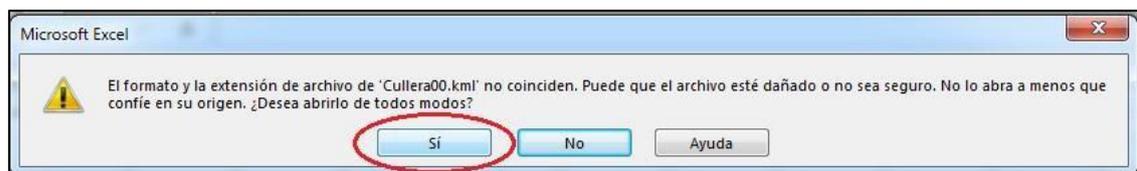


Ilustración 3-7. Abrir archivo kml en Excel

Fuente: El autor

Posteriormente, se escoge la manera como se visualizará los datos obtenidos de las mediciones realizadas. En la ilustración 3-8 indica la ventana de diálogo que aparece al momento que se inicializa Excel.

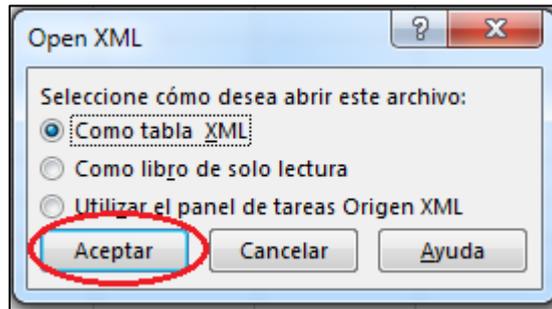


Ilustración 3-8. Cómo archivo .kml en Excel

Fuente: El autor

En la ilustración anterior se indica que no existe un esquema predefinido para Excel, por lo que se asume el formato .XML. En la ilustración 3-9 se observa el cuadro de diálogo que aparece cuando se desea aperturar el archivo .kml.

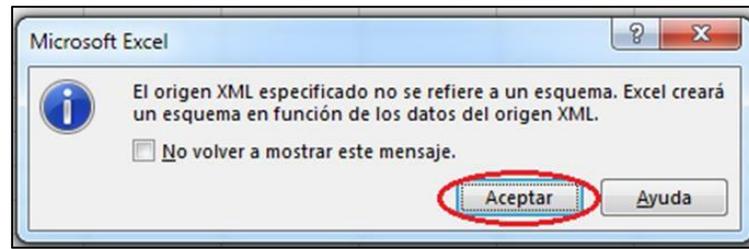


Ilustración 3-9. Creación esquema del archivo .kml

Fuente: El autor

Al abrir el archivo, los datos se organizan en las siguientes columnas y se puede extraer la siguiente información:

➤ **Columna L:**

- MCC (Mobile Country Code): Este código identifica el país.
- MNC (Mobile Network Code): Este código identifica al operador móvil.

➤ **Columna N:**

- LAC (Location Area Code): El código de área de ubicación es el único código de área de ubicación actual. Un área de ubicación es un conjunto de estaciones base que se agrupan para optimizar la señalización.
- CID (Cell Identifier): es un número generalmente único que identifica cada estación transmisora base (**BTS**) o sector BTS dentro de un código de área de ubicación.
- RNC (Radio Network Controller): El controlador de la red de radio responsable de

administrar la celda.

- PSC (Primary Scrambling Code): Genera un esquema aleatorio para el código principal. El código de aleatorización principal de la celda de servicio se organiza según la medición de su PSC (Código de codificación principal).
- **Columna O:** Numeración EB y los valores de señal
- **Columna P:** Aparece nuevamente la información de la columna N y, además:
- ACCURACY: exactitud en la localización de las medidas.
 - CHANGE_TYPE: CELL, DBM, GPS
 - TIME STAMP: Tiempo de medida, indica la fecha y la hora en la que se ha realizado cada medición.[26]

En la ilustración 3-10 se visualiza la ubicación de los diferentes parámetros dentro de Excel

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
report	sys_time	sim_state	net_op	net_op_coderoaming	net_type	call_state	data_state	data_act	data_rx	data_tx	gsm_neighb	umts_neighb	lte_neighb	rssi	strongest_tech
0	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
1	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
2	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
3	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
4	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
5	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
6	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
7	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
8	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
9	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
10	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
11	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
12	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
13	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
14	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
15	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
16	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
17	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
18	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
19	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE
20	2,022E+13	READY	CNT	74002	0 LTE	IDLE	DISCONNECT	NONE	0	0	0	0	0	0	2147483647 LTE

Ilustración 3-10. Tabla de los datos de Net Monitor en Excel

Fuente: El autor

Se ordenan los datos por columnas, y de esta manera se procede a analizar las medidas en el software SPSS.

3.1.3. Matlab

Se utilizará el software Matlab para el desarrollo del banco de pruebas virtual para redes 5G con el apoyo de las herramientas para redes móviles que cuenta en la versión 2022.



Ilustración 3-11. Crear un nuevo Script en Matlab

Fuente: El autor

Se crea un script donde se desarrolla el escenario de pruebas virtual para redes 4G para convalidar los datos obtenidos en la parte física y observar si la simulación tiene una similitud con los datos obtenidos dentro de este software, posteriormente se desarrolla el banco de pruebas para las redes 5G a partir de las normativas proporcionadas por 3GPP e ITU que cuentan con la información de países donde opera esta tecnología, luego del desarrollo del banco de pruebas se obtendrán datos de simulación para redes 5G para la ciudad de Riobamba.

De forma automática se desplegarán las diferentes graficas del comportamiento que presentaría esta tecnología dentro de la ciudad de Riobamba, se visualizarán los diferentes parámetros para la cobertura de estas redes dentro del área de análisis en este trabajo de titulación.[30]

3.1.4. ATOLL

Atoll es una plataforma de diseño y optimización de redes inalámbricas multi tecnología que respalda a los operadores inalámbricos durante todo el ciclo de vida de la red, desde el diseño inicial hasta la densificación y optimización.

Atoll incluye capacidades avanzadas de diseño de RAN multi-RAT para tecnologías de acceso por radio 2G, 3G, 4G y 5G. Es compatible con los últimos avances tecnológicos, incluidos MIMO masivo, formación de haces 3D y propagación de ondas milimétricas para el diseño y la implementación de redes 5G.

Atoll proporciona a los operadores y proveedores un marco único y potente para diseñar y optimizar redes de acceso inalámbrico para interiores y exteriores.

Las capacidades de integración y personalización de Atoll ayudan a los operadores a simplificar sin problemas los procesos de planificación y optimización. Atoll admite una

amplia gama de escenarios de implementación, desde configuraciones independientes hasta configuraciones basadas en servidores para toda la empresa.

Con más de 10 000 licencias activas instaladas en más de 500 clientes en 140 países, Atoll se ha convertido en el estándar de la industria para la planificación y optimización de redes inalámbricas. Atoll combina de manera única características arquitectónicas y funcionales que brindan a los operadores un marco poderoso, escalable y flexible para agilizar sus procesos de diseño y optimización de redes.[31]Modelado RAN multi-RAT

Atoll es una plataforma integral de planificación y optimización de radio multi-tecnología que incluye modelos unificados de tráfico multi-tecnología, simuladores Monte Carlo y planificación automática de celdas (ACP). Atoll puede modelar los aspectos relacionados con el tráfico de redes multi-tecnología y distribuir dinámicamente el tráfico a través de capas de red 2G, 3G, 4G y 5G que incluyen macro, micro, celdas pequeñas y puntos de acceso Wi-Fi.[31]

3.1.4.1. Planificación y optimización basada en la predicción y la medición

Atoll ofrece oportunidades únicas para utilizar predicciones y datos de red en tiempo real durante todo el proceso de planificación y optimización de la red. Los datos de red en tiempo real (KPI, seguimientos de UE/Celda/MDT y datos de colaboración colectiva) agregan conocimientos del mundo real a las predicciones, lo que permite un mejor modelado de la evolución del tráfico, la identificación de puntos de acceso y la propagación de señales de radio. Los datos de la red en tiempo real también se pueden usar en el Atoll para impulsar el proceso de planificación (selección del sitio) y los algoritmos de optimización AFP (Planificación automática de frecuencia) y ACP.[31]

3.1.5. XIRIO Online

Xirio es una herramienta profesional de simulación y planificación de radio en un entorno web. Esto permite analizar de forma rápida y fácil la propagación de radio en cualquier parte del mundo.

Xirio permite elegir el servicio (tecnología a simular), y además posibilita la configuración de todos los parámetros necesarios para los distintos cálculos con los valores más adecuados válidos y recibir simulaciones realistas.

También puede compartir y publicar los resultados obtenidos con otros usuarios creando usuarios específicos para visualizar los resultados.[32]

3.1.5.1. Modelado RAN multi-RAT

Antes de comenzar a trabajar, se debe conocer la distribución del entorno de trabajo de Xirio. La interfaz de usuario se describe brevemente a continuación.

En la ilustración 3-12 se indica la interfaz gráfica de Xirio Online y cuyos elementos se explican en los siguientes párrafos.



Ilustración 3-12. Ventana principal de Xirio Online

Fuente: El autor

- **Visor cartográfico.** El elemento principal de la ventana del navegador muestra las diferentes partes del levantamiento del escenario a simular (emisor, receptor, excedente, puntos de interés, etc.) y varios tipos de radios. Se puede colocar transmisores, terminales y receptores seleccionando directamente la pestaña pertinente en el visor, se indica el número de estudios que se lleva a cabo dentro de la interfaz de Xirio y de múltiples transmisores.
- **Barra de Herramientas.** Este botón se encuentra en la parte superior de la ventana de Xirio. Contiene funciones relacionadas con la gestión de estudios y resultados, usuarios, categorías, etc. Adicionalmente, se puede acceder a las funciones básicas del mapa topográfico, como trazar perfiles topográficos, calcular distancias y acimuts, o consultar la altura en un punto.
- **Panel de Leyenda.** Permite visualizar en una estructura de árbol la selección de botones que se han apertura durante el programa actual. Este árbol contiene elementos como investigaciones, resultados, puntos de interés, transmisores, receptores, métodos de cálculo, etc. [32]
- **Panel de Acciones.** Muestra las acciones que se pueden realizar relacionadas con el elemento actualmente seleccionado (remitente, estudio, resultado, etc.) en el panel de leyenda.
- **Panel de Información.** Esta es una ventana emergente que contiene información sobre el elemento seleccionado en el panel de leyenda. Puede cerrar y volver a mostrar el panel de información haciendo clic en el botón de la barra de herramientas

- **Panel de Tareas.** Muestra información sobre el estado y el progreso de los cálculos. Esta ventana aparece cuando empiezas a lectura de la radio base simulada. Se puede cerrar este espacio de trabajo y hacer clic para volver a mostrarlo en la barra de herramientas.
- **Buscar Dirección.** Permite buscar direcciones o palabras en un sitio colocando sus resultados en el navegador. Para ello utiliza el motor de búsqueda del navegador Google Maps.[32]

3.1.6. SPSS

La información pertinente a las variables de los distintos parámetros a ser estudiados durante esta investigación se creará mediante los siguientes elementos: [33]:

- **Nombre:** La asignación del nombre de la variable.
- **Numérico:** Indica que tipo de dato se le asigna a la variable.
- **Ancho:** indica el tamaño que tendría la variable.
- **Decimales:** indica la precisión que presentaría ese dato.
- **Etiquetas:** Se coloca detalles sobre esta variable.
- **Valores:** Se asigna un valor numérico para la asignación de las funciones que cumple esta variable.
- **Alineación:** Nos indica el tipo de variables que pueden ser:
 - **Ordinal:** presenta modalidades no numéricas en las que existe un orden.
 - **Escalar:** Se utilizan para representar objetos de datos únicos de tamaño fijo, como números enteros y punteros. Las variables escalares también están disponibles para objetos de tamaño fijo compuestos por uno o más tipos primitivos o compuestos.
 - **Nominal:** Las variables pueden considerarse nominales cuando sus valores representan categorías que no tienen una clasificación intrínseca (por ejemplo, el departamento en el que trabaja un empleado en una empresa).[33]

En la ilustración 3-13 se indica los parámetros de configuración dentro de SPSS indicados en los párrafos anteriores.

Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Pérdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1 TIEMPO	N Numérico	8	2	seccion de tie...	(1,00, MAR...	Ninguna	8	Centro	Ordinal	Entrada
2 NODO	N Numérico	8	2	ubicacion del n...	(1,00, SAN...	Ninguna	10	Centro	Ordinal	Entrada
3 VELOCIDAD	N Numérico	8	2	Mbps	Ninguna	Ninguna	8	Centro	Escala	Entrada
4 LATENCIA	N Numérico	8	2	ms	Ninguna	Ninguna	10	Centro	Escala	Entrada
5 AB	N Numérico	8	2	ANCHO DE BA...	Ninguna	Ninguna	8	Centro	Escala	Entrada
6 TECNOLOGIA	N Numérico	8	2	TIPO DE TECN...	(1,00, 4G)...	Ninguna	8	Centro	Nominal	Entrada
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

Ilustración 3-13. Asignación de las variables en SPSS.

Fuente: El autor

Se ingresan los datos obtenidos de las mediciones realizadas con la aplicación Net monitor, los cuales se encuentran almacenados en un archivo de Excel, se procederá a realizar el análisis de los datos mediante la representación gráfica de los diferentes nodos gestionados.[33].

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación de Campo

Se empleó una investigación de campo para la obtención de las diferentes mediciones con los que cuenta cada una de las radio bases (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Estadio, Riobamba centro (CNT), Cementerio, Universidad Nacional de Chimborazo, campus La Dolorosa) que servirán como fuentes de información con relación al tráfico telefónico móvil. Tales mediciones se realizaron mediante el empleo de la aplicación Net-Monitor, la cual proporciona diferentes mediciones de los diferentes parámetros con los que cuentan la radio base como: Latencia, Velocidad de transmisión, Tiempos de Carga/Descarga de archivos multimedia.[34]

Los datos obtenidos son de gran importancia para establecer cuáles serán las mejoras que presentaría las redes de quinta generación dentro del territorio y la posibilidad de adaptar la infraestructura actual que se encuentran operativas para conmutar a las redes 5G.

3.2.2. Investigación Comparativa

Para determinar la sensibilidad del banco de pruebas virtual para redes 5G, se compararon los resultados conseguidos con aquellos datos que proporcionan las redes operativas de esta misma generación de países que cuentan con este servicio. Además, los parámetros de funcionamiento de redes 5G obtenidos mediante el banco de pruebas se han comparado con parámetros de operación de las actuales redes 4G existentes en el país, en particular en la ciudad de Riobamba. Mediante el uso del software SPSS se han graficado las comparaciones, en mención, para determinar la factibilidad de la migración en el Ecuador hacia redes 5G. [34]

Se investigó sobre proyectos de tesis similares para la simulación de bancos de pruebas dentro del país, encontrando trabajos sobre los parámetros básicos que tendría las redes de nueva generación, pero por su alta complejidad y altos costos no se ha llegado a desarrollar prototipos virtuales ni físicos. [34]

3.2.3. Investigación Experimental

Conociendo los requisitos básicos con los que cuentan las redes 5G, se procedió a desarrollar el banco de pruebas virtuales para redes 5G con sus parámetros básicos de funcionamiento,

como son los tiempos de carga/descarga de archivos multimedia, lóbulos de radiación, distancias entre radio bases entre otros parámetros, se realizaron mediciones virtuales de las redes 5G que brinda banco de pruebas, también se evaluó la efectividad en comparación con las redes que se encuentran operativas en países que cuentan con 5G.[35]

3.2.4. Estudio Analítico

Una vez terminado el banco de pruebas virtual en Matlab se procede a comprobar los resultados obtenidos con los softwares comerciales ATOLL y Xirio Online, los cuales cuentan con análisis de redes 5G implementadas en países como España, Reino Unido, Estados Unidos, Australia, entre otros, para determinar la eficiencia que presenta el simulador para futuros análisis sobre la implementación de redes de quinta generación en los diferentes escenarios a los cuales se ponga a prueba.

Mediante el software SPSS se analizó cada uno de los parámetros de estudio entre las tecnologías 5G y su red antecesora 4G para determinar cuáles son las mejoras que presenta la tecnología de quinta generación en tiempos de respuesta, velocidades de carga/descarga de diferentes archivos multimedia. Mediante la comparación de los datos arrojados por los softwares comerciales (ATOLL, Xirio) se llegó a determinar la precisión del banco de pruebas desarrollado en este trabajo.

3.2.5. Diseño de Investigación

El presente trabajo se diseñó en etapas, en la primera etapa se obtuvieron diferentes mediciones en los nodos (Radio Bases) a ser analizados. Tales mediciones se fundamentaron en información proporcionada por parte de organismos internacionales especializados en telecomunicaciones como, ITU encargada de la asignación del espectro radioeléctrico y 3GPP encargada de las normas y estándares que se tiene para cada generación de redes móviles, este proceso (recopilación) constituye una segunda etapa. En una tercera etapa se desarrolla el banco de pruebas virtual para redes 5G en la cual se tomará en cuenta los principales parámetros como son la latencia (tiempo que se demora en ofrecer un servicio) y velocidades de transmisión.

En la cuarta etapa se desarrollará la tabulación y análisis de los datos obtenidos del banco de pruebas en conjunto con los datos obtenidos de los diferentes softwares (Net-Monitor, Xirio Online, Atoll), para ser procesados en el programa SPSS, el cual proporciona gráficas estadísticas de gran precisión, y con esto se pudo llegar a comprobar la precisión del banco de pruebas desarrollado en Matlab.

Finalmente, los resultados obtenidos en la presente investigación en el software SPSS permitirán la interpretación de gráficas obtenidas, para poder determinar así la factibilidad hacia la migración hacia redes 5G y sus potenciales ventajas.

3.2.6. Técnicas de recolección de datos

Para el presente trabajo se realizaron mediciones de campo para establecer los diferentes parámetros con los que cuenta la telefonía 4G, mediante aplicaciones móviles que permitieron realizar la recopilación de información de cada nodo que está siendo medido.

Posterior al establecimiento de tal información, se llevó a cabo un estudio comparativo para analizar cuáles serían las mejoras que presentaría la generación 5G. Estos resultados establecen si es factible la implementación de la tecnología 5G en la ciudad de Riobamba.

Además, esta metodología de investigación permite la recolección de información con respecto al tema (5G) de repositorios digitales y de empresas de telefonía móvil que cuentan con este servicio; así serán evidentes sus mejoras con respecto a sus predecesoras, de las cuales se encuentran operando en el país las generaciones 4G y 4.5 G. Por lo tanto, de esta manera se cumplirán los objetivos establecidos en el presente trabajo.

Mediante la utilización del Software SPSS se analizaron los datos obtenidos en la tecnología 4G en los diferentes softwares (ATOLL, Xirio) que se utilizaron para la realización del presente estudio y su comparación en cuanto al porcentaje de exactitud que presentan con respecto a las mediciones que se obtuvieron mediante la aplicación de Net-monitor.

Para las redes de quinta generación se realizó una comparación de los resultados obtenidos en el banco de pruebas virtual para redes 5G y los datos que proporcionan los softwares ATOLL y Xirio Online de los estudios realizados sobre redes operativas en Europa y Asia, así se podrá comprobar la precisión del banco de pruebas para redes de Quinta generación y posteriormente determinar si el simulador desarrollado puede ser empleado para futuros estudios sobre redes móviles 5G.

3.2.7. Pruebas Paramétricas

Una prueba paramétrica es una prueba de significancia estadística que cuantifica la relación o independencia entre variables cuantitativas y categóricas. El uso de pruebas paramétricas requiere ciertos requisitos previos: una distribución normal de las variables cuantitativas en los grupos que se comparan, la homogeneidad de las varianzas de la población de donde provienen los grupos y una muestra n de al menos 30 elementos. Existen dos tipos de pruebas paramétricas: pruebas t (para una muestra o dos muestras correlacionadas o independientes) y pruebas ANOVA (para más de dos muestras independientes).[36]

3.3. Población de estudio y tamaño de muestra

3.3.1. Población de estudio

La población para esta tesis la constituyeron mediciones de diferentes parámetros como latencia, velocidad de transmisión y tiempo de carga/descarga de archivos multimedia en cada uno de los 6 Nodos 4G a ser gestionados en la ciudad de Riobamba (Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo, Estadio, Riobamba Centro (CNT), Cementerio, Universidad Nacional de Chimborazo Campus Dolorosa).

Como se demuestra en la siguiente sección, mediante la ecuación 1, la muestra estadística corresponde a 60 mediciones (20 mediciones de cada uno de los parámetros), de un total 360 mediciones realizadas, las cuales corresponden a la población total.[37]

3.3.2. Tamaño de muestra

Es necesario seleccionar un tamaño de muestra que sea representativo en relación con la población, para este estudio dicha muestra se tomará entre 30% - 50% de la población, pues si se desea obtener una muestra altamente representativa para poblaciones menores a 10.000 datos y con una utilización del nivel de confianza correspondiente al 95.5 %, se tendría el valor numérico de la muestra cómo (Ramírez en 1999 [28]):

La ecuación 10 se emplea para sacar una muestra de la población total

$$n = \frac{\alpha * z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Ecuación 10

Donde:

n representa la muestra.

N es el tamaño de la población.

z_α² es el nivel de confianza (se tomarán los valores de confianza descritos en la Tabla 11).

p es el porcentaje de datos correctos.

q es el porcentaje de datos fallidos.

e² es la sensibilidad de la aplicación al realizar las lecturas.[38]

Tabla 3-1. Nivel de Confianza

NIVEL DE CONFIANZA	VALOR DE Z _α ²
90 %	1.645
95,5 %	1.96
98 %	2.33
99 %	2.58

Fuente: El autor

Aplicando los valores de cada uno de los parámetros en este estudio con un nivel de confianza del 95.5% se tiene:

N = 360.

z_α² = 1.96 equivale al 95.5%.

p = 45% de N (0.45).

$$q = 55\% (100\% - p).$$

$$e^2 = 5\% (0.05).$$

Remplazando los valores de las variables en la ecuación 10 se obtendrá:

$$n = 126 \text{ mediciones}$$

3.4. Análisis de cobertura

3.4.1. Redes 4G

- Aplicando la ecuación 1 la cual nos indica la cantidad de usuarios que se serán atendidos por radio base

$$M = 2654,7 * 1.6 * 0.8 * 0.25 * 0.6$$

$$M = 510 \text{ usuarios de voz}$$

- Para determinar el tráfico medio por usuario se aplicó la ecuación 2.

$$A_{(er)} = \frac{180 \text{ s}}{3600 \text{ s}}$$

$$A_{(er)} = 0.05$$

- Para obtener el margen de ocupación nos indica el porcentaje máximo que presenta una radio base, para lo cual se emplea la ecuación 4

$$M_{dB} = 6.02 \text{ dB}$$

- Para conocer la sensibilidad del servicio se empleará la ecuación 5 donde se emplea los diferentes elementos que intervienen en un análisis de una radio base.

$$S_{(dBm)} = 30.17 \text{ dB}$$

- Para determinar la distancia máxima de cobertura se aplica la ecuación 8, la que determina la máxima distancia entre radio bases.

$$d = 2400 \text{ m}$$

- Para determinar el área de celda se aplica la ecuación 9 en la que indica el área de cobertura proporcionada por cada nodo.

$$S = 1.03 \text{ Km}$$

3.4.2. Redes 5G

- Aplicando la ecuación 1 la cual nos indica la cantidad de usuarios que se serán atendidos por radio base

$$M = 26547 * 0.2 * 0.8 * 0.25 * 0.6$$
$$M = 638 \text{ usuarios de voz/celda}$$

- Para determinar el tráfico medio por usuario se aplicó la ecuación 2.

$$A_{(er)} = \frac{180 \text{ s}}{3600 \text{ s}}$$

$$A_{(er)} = 0.05$$

- Para obtener el margen de ocupación nos indica el porcentaje máximo que presenta una radio base, para lo cual se emplea la ecuación 4

$$M_{dB} = 12 \text{ dB}$$

- Para conocer la sensibilidad del servicio se empleará la ecuación 5 donde se emplea los diferentes elementos que intervienen en un análisis de una radio base.

$$S_{(dBm)} = 35.57 \text{ dB}$$

- Para determinar la distancia máxima de cobertura se aplica la ecuación 8, la que determina la máxima distancia entre radio bases.

$$d = 200$$

- Para determinar el área de celda se aplica la ecuación 9 en la que indica el área de cobertura proporcionada por cada nodo.

$$S = 160m$$

3.5. Hipótesis

Para el análisis de las hipótesis planteadas en este trabajo de titulación se analiza los valores de aceptación aplicados mediante el p-valor que es la mínima probabilidad, determinada por

la distribución estadística, que permite rechazar la hipótesis nula (H_0) sin tener que determinar a priori el nivel de significación de la prueba, en la Tabla 3-2 se indica los valores para la aceptación de la hipótesis planteada.

Tabla 3- 2 p-valor

Valor del valor- p	Estado de la Hipótesis
$P_{\text{valor}} < 0.05$	Aceptada
$P_{\text{valor}} > 0.05$	Rechazada

Fuente: El autor

3.5.1. Lecturas para redes 4G y 5G

Las mediciones proporcionadas por el simulador no deben diferir en gran medida de los valores establecidos por parte de los Software comerciales (Atoll, Xirio Online) para los distintos parámetros de las redes 4G y 5G.

Las condiciones de análisis se definen como: μ_1 representa la simulación de los parámetros en el software Xirio , μ_2 representa la simulación de los parámetros en el software Atoll, μ_3 representa la simulación de los parámetros en el banco de pruebas desarrollado en Matlab, μ_4 representa las mediciones entregadas por el Software Net-Monitor.

$$H = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4;$$

3.5.1.1. Hipótesis nula:

Las medidas muestrales tomadas de los diferentes softwares en relación a la velocidad realizada en los escenarios de prueba, aplicando la prueba de Scheffé encargada de realizar comparaciones múltiples de las medias de grupos, la relación muestral entre los diferentes softwares no presenta cambios significativos entre sus lecturas frente a las mediciones tomadas por el programa Net monitor. $H_0: (p > 0.05)$, en el análisis realizado en SPSS indica que los valores no presentan cambios buscados entre sus valores.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4;$$

Ecuación 11

μ_1 representa la simulación de los parámetros en el software Xirio.

μ_2 representa la simulación de los parámetros en el software Atoll.

μ_3 representa la simulación de los parámetros en el banco de pruebas desarrollado en Matlab.

μ_4 representa las mediciones entregadas por el Software Net-Monitor

3.5.1.2. Hipótesis alternativa:

Las medidas muestrales tomadas de los diferentes softwares en relación a la velocidad realizada en los escenarios de prueba, aplicando la prueba de Scheffé encargada de realizar

comparaciones múltiples de las medias de grupos, la relación muestral entre los diferentes softwares no es significativamente iguales entre sus lecturas frente a las mediciones tomadas por el programa Net monitor. $H_1:(p < 0.05)$.

en el análisis realizado en SPSS indica que los valores presentan cambios buscos entre sus valores.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4;$$

Ecuación 12

μ_1 representa la simulación de los parámetros en el software Xirio.

μ_2 representa la simulación de los parámetros en el software Atoll.

μ_3 representa la simulación de los parámetros en el banco de pruebas desarrollado en Matlab.

μ_4 representa las mediciones entregadas por el Software Net-Monitor

3.6. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.

3.6.1. FASE I: Recolección de información.

Para la adquisición de la información provistas por los nodos seleccionados de telefonía móvil de la ciudad de Riobamba, se tomaron en cuenta los parámetros pertinentes a latencia, velocidad cargar/descarga, tiempos de carga/descarga de archivos multimedia referente a la tecnología 4G, mediante aplicaciones de monitoreo como son:

- Network Cell Info Lite. Proporciona información de los parámetros básicos de funcionalidad 4G en un nodo. [39]
- Open Signal. Permite la determinación del tipo de tecnología y parámetros con la que se cuenta las radio bases y cuántas de sus celdas se encuentran operativas.[40]
- Net-monitor Cell. Presenta información referente a todos los parámetros con los que opera la torre en monitoreo y qué tecnología subyacente está implementada en la misma.[29]

En ilustración 3-14 se indica la forma de operación de la aplicación Network Cell Life en la que se visualiza la colocación de las radio bases vecinas a las que se puede conectar el dispositivo.

En la ilustración 3-15 se puede observar las velocidades con las que cuenta la radio base conectada e indicando sus parámetros de ocupación.

En la ilustración 3-16 se observa las principales propiedades con las que cuenta la radio base y sus principales graficas de carga/descarga de información y los análisis almacenados.



Ilustración 3-14. Network Cell Life
Fuente: [32]



Ilustración 3-15. OpenSignal
Fuente: [33]

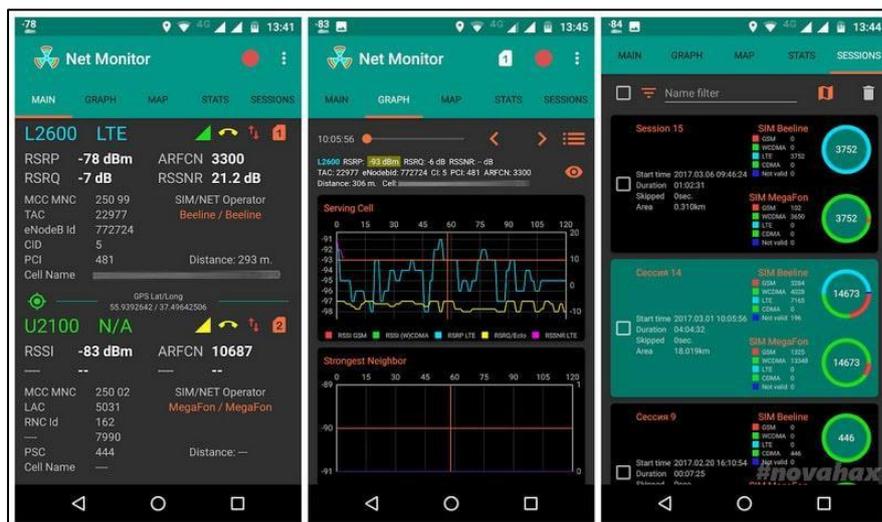


Ilustración 3-16. Net monitor
Fuente: [27]

3.6.2. FASE II: Investigación de los principales parámetros de la tecnología 5G

En esta etapa se buscó la información acerca de los diferentes estándares y normativas emitidas por los organismos de control como la ITU y 3GPP los cuales indican los principales parámetros para la implementación de las redes 4G y 5G, para lo cual se utilizó la normativa 4G Mobile Broadband Evolution: 3GPP Reléase 10 and Beyond - HSPA+ SAE/LTE and LTE-Advanced.

La misión de la organización 3GPP es promover, facilitar y abogar por el despliegue y la adopción de la familia de las tecnologías celulares en América. La organización tiene como objetivo desarrollar el amplio ecosistema inalámbrico de GSM y su evolución a redes, dispositivos y aplicaciones LTE.[41] Para redes 5G se empleó Release 18 en el paquete de trabajo incluye varios trabajos/estudios que mejorarán significativamente el rendimiento de 5G y aborda muchos casos de uso nuevos. En particular, 3GPP Release 18 presenta técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para proporcionar soluciones de red inteligentes basadas en datos.[42]

En la ilustración 3-17 se indican los principales servicios que se abordarían con la implementación de las redes 5G.

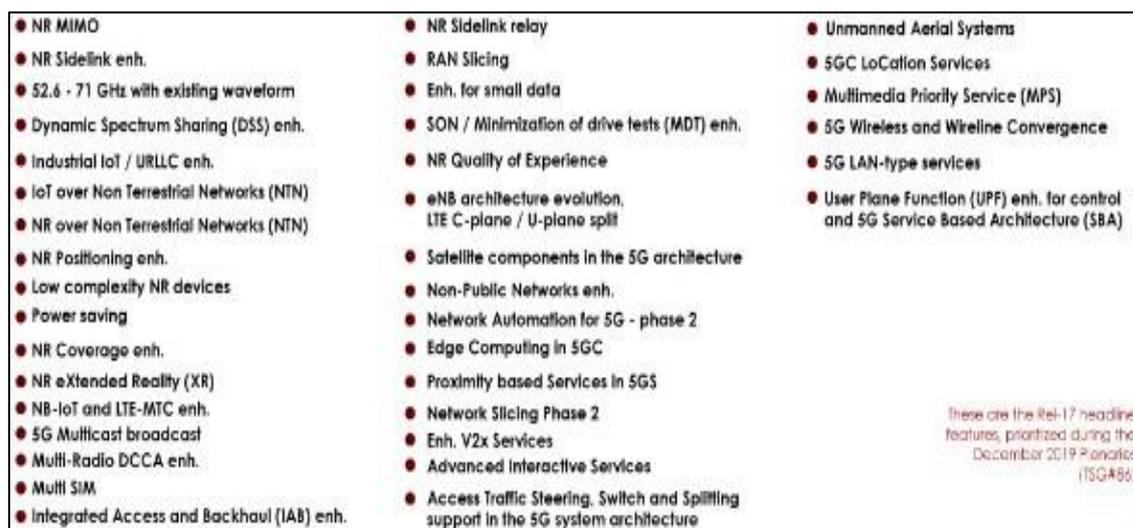


Ilustración 3-17. Parámetros iniciales de la 3GPP para redes 5G.

Fuente: El autor

Los estándares entregados por 3GPP los cuales indican los parámetros básicos para la implantación de una red de quinta generación como son: la distancia máxima que se puede tener entre nodos, las frecuencias de trabajo que pueden ser desde 6 GHz hasta los 300 GHz, los bajos tiempos de respuesta entre otros parámetros.

3.6.3. FASE III: Simulación del banco de pruebas virtuales en Matlab para 5G

Para el diseño del banco de pruebas para redes 5G se ocupó el software Matlab con el apoyo de las herramientas para redes móviles con las que cuenta el mismo.

Se procedió a simular el banco de pruebas ingresando parámetros básicos para las redes 4G para obtener el área de cobertura que entregaría esa radio base, para posterior ver otros parámetros como son la densidad de potencia, la modulación con la que operan las redes 4G según los estándares consultados en la fase anterior.

Una vez observado que la simulación de un nodo opera de forma correcta se procede a desarrollar el mallado de los 6 nodos de donde se obtuvieron las mediciones de forma física con la ayuda de la aplicación Net monitor.

El nodo se operó en un entorno virtual para determinar si en el banco de pruebas que se está desarrollado se puede obtener las mediciones de los diferentes nodos con la gráfica de la posición de las radio base y cuál es la potencia que entrega a cada uno de los usuarios que se encuentran conectados a esa radio base.

Una vez terminado el escenario básico se realizará un test de operación sobre los datos y ubicación idónea de la radio base para lograr una mayor cobertura en el simulador, para posteriormente realizar comparaciones de resultados en contraste con los softwares comerciales.

Para el desarrollo de banco de pruebas para redes 5G se empleará las normativas emitidas por parte del organismo de regulación internacional de telecomunicaciones (UIT-3GPP).

El cual indica los parámetros básicos para la implementación de una red de quinta generación que en el apartado anterior se trató sobre las normativas para la implementación de redes de quinta generación.

En este caso se desarrolló el banco de pruebas a partir de estos estándares, los cuales indica las distancias máximas que puede operar de forma correcta una red 5G.

Las cuales se ingresaron al software Matlab, para el desarrollo del banco de pruebas en esta generación es parecido al de las redes 4G con la frecuencia de operación adecuada para un correcto desarrollo.

Al finalizar el banco de prueba se realizó un test sobre el funcionamiento que este brinda en los diferentes escenarios a los que fue sometido para las redes de 4G y 5G.

Finalmente se desarrollaron diferentes escenarios con los softwares comerciales Atoll y Xirio Online. Para el desarrollo de los escenarios de las redes 4G y 5G en Atoll se utilizaron mapas satelitales provistos por la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) se encuentran en el mismo Atoll. Posteriormente, se debe cargar la ubicación de las radio bases, y además habrá que ingresar los parámetros de cada radio base que se despliega al presionar sobre el icono SB que se está configurando. Para terminar, se procede a ejecutar la simulación para la obtención de resultados de las mediciones que se solicitan.

Para trabajar en Xirio Online se ingresa a su página oficial ([Bienvenido a XIRIO ONLINE \(xirio-online.com\)](http://Bienvenido%20a%20XIRIO%20ONLINE%20(xirio-online.com))) donde se proporciona un mapa cartográfico completo en el cual se debe ubicar cada una de las radio bases, y se configura los parámetros solicitados en el programa para realizar las simulaciones y obtener los resultados del estudio solicitado.

3.6.4. FASE IV Comparación de las tecnologías 4G y 5G

Luego de la obtención de los datos del banco de pruebas diseñado, se procede a almacenar esa información en una hoja de Excel para más adelante realizar la comparación de tales datos con los que proporciona Atoll y Xirio Online, en conjunto con los datos que se obtuvo en las mediciones con la aplicación Net monitor. Esta información se carga en una hoja de cálculo donde se tiene la información del banco de pruebas virtual en Matlab, sabiendo que contará con un conjunto separado de información para cada tecnología celular en análisis.

Concluido este proceso, el siguiente paso consiste en ingresar la información almacenada en Excel al software de análisis estadístico SPSS, en el cual se realiza un estudio de todos los datos que se obtuvieron durante este análisis por tecnología para obtener los datos finales. Para conocer cuáles serían las mejoras que presentaría la implementación de las redes de quinta generación, los resultados serán entregados de manera gráfica y de esta manera se procederá a realizar un análisis técnico de los diferentes parámetros de estudio planteados en este trabajo de tesis.

3.6.5. FASE V: Presentación de Resultados del banco de pruebas 5G

Luego de realizar el análisis de la información obtenida se indican las ventajas que tendría la implementación de las redes 5G en la ciudad de Riobamba y a nivel nacional. Estos resultados también definen la precisión que se tendría en la utilización del banco de pruebas para estudios posteriores sobre esta nueva tecnología, estableciendo los niveles de exactitud que presenta en relación con los softwares comerciales (los cuales denotan altos costos de adquisición); además se pudo notar también la posibilidad de reutilizar la infraestructura con la que se cuenta actualmente, con la gestión de equipos que permiten la conmutación de tecnologías en base a parámetros de redes 5G.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La recopilación de las mediciones se completó en un lapso de 8 días, con un promedio de 4 horas diarias. La adquisición de mediciones en la ciudad de Riobamba se llevó a cabo con recorridos a pie para mayor precisión, utilizando la aplicación Net Monitor en un terminal telefónico Samsung, modelo J2 Core. El dispositivo se pudo conectar a redes LTE-A y la sensibilidad TRS (Total Radiated Sensitivity) fue de -120 dBm según sus especificaciones técnicas.

4.1. Resultados de las mediciones

4.1.1. Nivel de Señal

Como resultado del procesamiento de los datos obtenidos en el programa Net monitor, se obtuvieron los mapas de cobertura de los nodos con sus diferentes niveles de señal en Google Earth. En las siguientes imágenes se muestra las mediciones por nodo con sus diferentes potencias. Se ha considerado los márgenes de señal con base en el sitio oficial de la ARCOTEL (<https://www.arcotel.gob.ec/4g/>), institución encargada de la regulación y control del correcto funcionamiento de las telecomunicaciones y calidad de servicio. También se ha considerado la gama de colores de Net Monitor como sigue:

- [-Infinito, -104] dBm: Muy baja cobertura (Rojo).
- [-103,97] dBm: Baja cobertura (naranja).
- [-96,90], dBm: Media cobertura (Amarillo).
- [-89,-77] dBm: Muy alta cobertura (verde).
- [-76, +Infinito] dBm: Excelente cobertura (Azul).

En la ilustración 4-1 se indica las gráficas de las diferentes mediciones que se toman automáticamente en cada SB localizada en el estadio (el cual es uno de los puntos de mayor tráfico en este análisis).

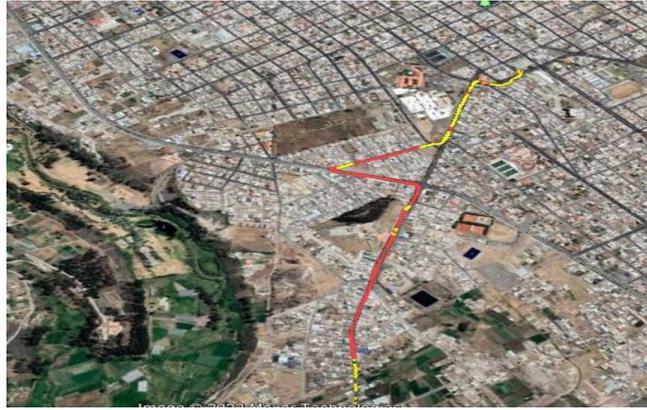


Ilustración 4-1. Niveles del nodo Estadio

Fuente: El autor

En la ilustración 4-2 se indica las gráficas de las diferentes mediciones que se toman automáticamente de cada SB Politécnica.



Ilustración 4-2. Nodo Politécnica

Fuente: El autor

En la ilustración 4-3 se visualiza las gráficas de las diferentes mediciones que se toman automáticamente de cada SB UNACH-Dolorosa.



Ilustración 4-3. Nodo UNACH-DOLOROSA

Fuente: El autor

En la ilustración 4-4 se observan las gráficas de las diferentes mediciones que se toman automáticamente de cada SB vasija.



Ilustración 4-4. Nodo Vasija

Fuente: El autor

En la ilustración 4-5 se indica la radiación producida por los 6 nodos con sus diferentes niveles de radiación.

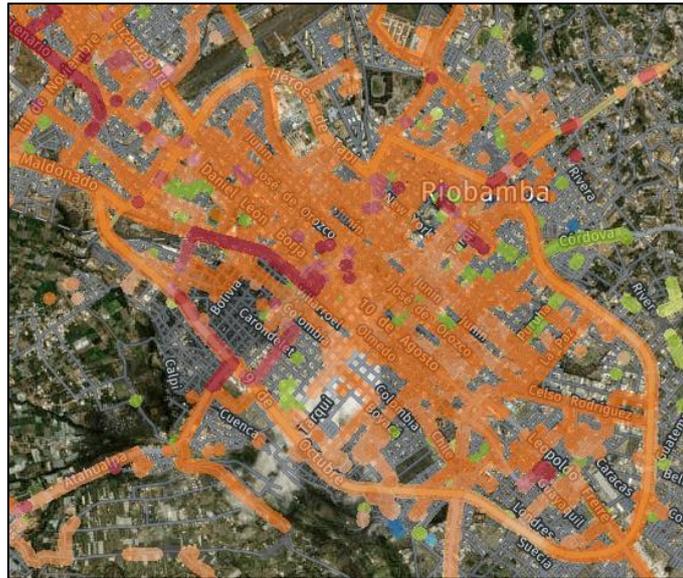


Ilustración 4-5. Cobertura global de los nodos

Fuente: El autor

Con la obtención de estos resultados se analizan los datos provistos por las mediciones, que se generan en un archivo .xls Excel para comparar con los datos que arrojan los softwares comerciales.

En la ilustración 4-6 se observa el archivo extraído a Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	report	sys_time	sim_state	net_op_nam	net_op_code	roaming	net_type	call_state
2	0	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
3	1	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
4	2	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
5	3	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
6	4	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
7	5	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
8	6	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
9	7	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
10	8	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
11	9	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
12	10	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
13	11	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
14	12	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
15	13	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
16	14	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
17	15	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
18	16	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
19	17	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
20	18	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
21	19	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE
22	20	2,022E+13	READY	CNT	74002	0	LTE	IDLE

Ilustración 4-6. Archivo generado de cada nodo en Net monitor

Fuente: El autor

En la ilustración 4-7 se pueden ver los valores obtenidos para las redes 4G en el software Matlab, posteriormente serán analizados por medio del software SPSS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
2	6.6094e-07 ...	-4.0554e-09...	-6.6089e-07...	1.2166e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
3	6.6842e-07 ...	-8.2026e-09...	-6.6822e-07...	2.4603e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
4	6.7597e-07 ...	-1.2442e-08...	-6.7552e-07...	3.7311e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
5	6.8359e-07 ...	-1.6776e-08...	-6.8277e-07...	5.0288e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
6	6.9128e-07 ...	-2.1205e-08...	-6.8998e-07...	6.3535e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
7	6.9903e-07 ...	-2.5729e-08...	-6.9714e-07...	7.7049e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...
8	7.0685e-07 ...	-3.0351e-08...	-7.0425e-07...	9.0829e-08 ...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...	0.0000 + 0.0...

Ilustración 4-7. Datos obtenidos de Matlab

Fuente: El autor

Los datos recolectados se exportan al programa SPSS en el cual se realizó el análisis de todos los datos que se obtuvieron en este estudio.

	seccion_medicion	VELOCIDAD AD	Vel_xirio	Vel_matlab	Vel_atoll	Latencia	Lat_xirio	Lat_matlab	Lat_atoll	Up_AB	Up_tiempo	Up_xirio	Up_Xirio_1 tiempo	Up_matlab	Up_Matlab tiempo
1	DIA	45,00	47,00	48,00	47,00	48,00	52,00	30,00	41,00	4,00	600,00	3,00	800,00	3,00	800,00
2	DIA	22,00	27,00	46,00	49,00	56,00	48,00	53,00	39,00	4,00	600,00	5,00	480,00	5,00	480,00
3	DIA	46,00	23,00	20,00	37,00	55,00	43,00	53,00	34,00	5,00	480,00	5,00	480,00	5,00	480,00
4	DIA	26,00	46,00	41,00	23,00	38,00	30,00	39,00	41,00	2,00	1200,00	3,00	800,00	5,00	480,00
5	DIA	44,00	31,00	39,00	48,00	42,00	42,00	56,00	52,00	2,00	1200,00	5,00	480,00	3,00	800,00
6	DIA	30,00	42,00	41,00	25,00	51,00	32,00	41,00	49,00	3,00	800,00	4,00	600,00	4,00	600,00
7	DIA	42,00	38,00	46,00	44,00	41,00	51,00	53,00	32,00	3,00	800,00	2,00	1200,00	2,00	1200,00
8	DIA	44,00	37,00	41,00	38,00	56,00	32,00	46,00	48,00	5,00	480,00	2,00	1200,00	3,00	800,00
9	DIA	23,00	33,00	44,00	34,00	41,00	35,00	43,00	38,00	2,00	1200,00	2,00	1200,00	2,00	1200,00
10	DIA	48,00	27,00	38,00	39,00	40,00	44,00	42,00	31,00	5,00	480,00	2,00	1200,00	4,00	600,00
11	DIA	42,00	24,00	46,00	49,00	52,00	31,00	44,00	51,00	5,00	480,00	4,00	600,00	2,00	1200,00
12	DIA	,00	277,00	203,00	229,00	,00	,24	,41	,11	,00	,00	8830,00	,27	8194,00	,29
13	DIA	,00	126,00	65,00	266,00	,00	,57	,75	,35	,00	,00	8348,00	,29	9555,00	,25
14	DIA	,00	138,00	296,00	144,00	,00	,69	,56	,59	,00	,00	9435,00	,25	9833,00	,24
15	DIA	,00	33,00	288,00	284,00	,00	,54	1,00	,57	,00	,00	8483,00	,28	8796,00	,27
16	DIA	,00	187,00	48,00	122,00	,00	,27	,40	,26	,00	,00	9253,00	,26	8395,00	,29
17	DIA	,00	163,00	66,00	215,00	,00	,31	,08	,66	,00	,00	9684,00	,25	8902,00	,27
18	DIA	,00	265,00	143,00	135,00	,00	,70	,33	,01	,00	,00	8212,00	,29	8755,00	,27
19	DIA	,00	134,00	108,00	86,00	,00	,22	,82	,91	,00	,00	9398,00	,26	8380,00	,29
20	DIA	,00	87,00	255,00	132,00	,00	,89	,40	,30	,00	,00	9652,00	,25	8979,00	,27
21	DIA	,00	78,00	239,00	33,00	,00	,43	,81	,47	,00	,00	9067,00	,26	9569,00	,25
22	DIA	,00	250,00	106,00	102,00	,00	,47	,41	,69	,00	,00	9686,00	,25	8604,00	,28

Ilustración 4-8. Datos en SPSS

Fuente: El autor

Una vez analizado cada parámetro por nodo se podrá observar mediante gráficas que indican cuál tecnología proporciona un mejor servicio.

Tabla 4- 1. Tabla comparativa entre software

Net monitor	Xirio	Matlab	Atoll
45	47	48	47
22	27	46	49
46	23	20	37
26	46	41	23
44	31	39	48
30	42	41	25
42	38	46	44
44	37	41	38
23	33	44	34
48	27	38	39
42	24	46	49
37,45	34,09	40,91	39,36

Fuente: El autor

En la tabla 4-1 se observa los datos obtenidos con cada uno de los softwares empleados, obteniendo resultados con media comparativa muy baja inferior a los nos niveles de p valor por lo que se determina que la hipótesis planteada para este trabajo es aceptada y se indica que el banco de pruebas tiene una sensibilidad muy parecida a los softwares comerciales.

En la ilustración 4-9 se visualiza que las redes 4G presentan mayores niveles de latencia, la mayor cantidad de mediciones se encuentran entre 35 ms y 50 ms, pero un cuarto de mediciones superiores a la media se encuentra entre 41 ms y 55 ms, al igual que un cuarto de las mediciones obtenidas se encuentran entre 30 ms y 35 ms. En comparación con las redes de quinta generación, los niveles de latencia son muy bajos y son difíciles de determinar ya que las mediciones en el software indican que son inferiores a 5 ms.

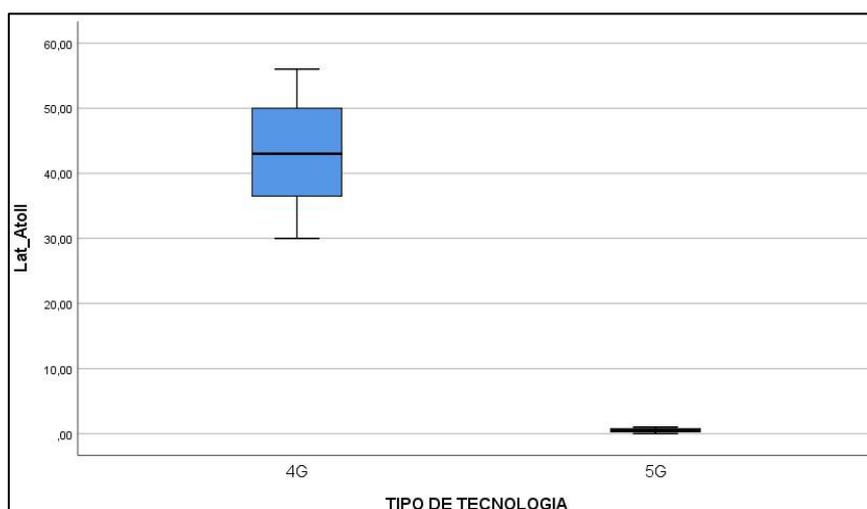


Ilustración 4-9. Comparación de Latencias entre 4G y 5G en Atoll

Fuente: El autor

En la ilustración 4-10 se puede observar los niveles de latencia que presenta en la simulación del software Xirio Online, e indican que los niveles de latencia de las redes 4G en un 50% de mediciones se encuentran entre 38 ms y 48 ms; un 25% de las mediciones se encuentra entre los niveles de latencia de 49 ms y 57 ms, y un 25% de las mediciones del extremo inferior se encuentran entre 30 ms y 36 ms lo cual define que los niveles de latencia en las redes 4G son muy superiores a las redes 5G, es decir que las latencias presentadas por las redes 5G serian imperceptibles para los usuarios que contarán con esta tecnología.

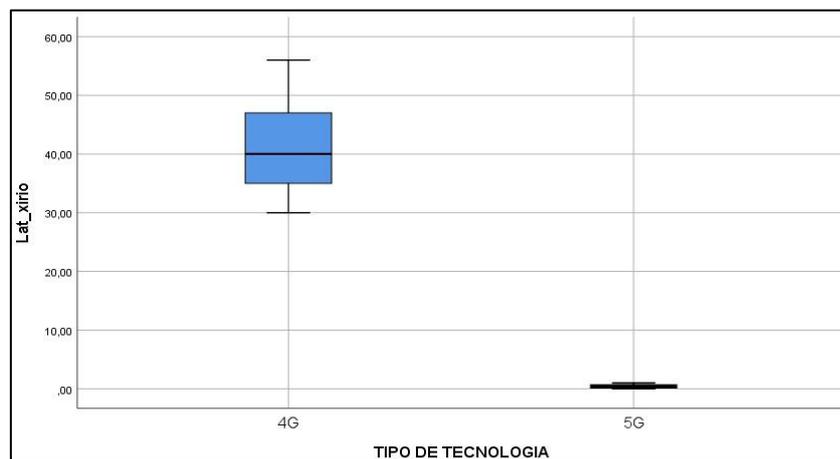


Ilustración 4-10. Latencia en Xirio

Fuente: El autor

En la ilustración 4-11 se observa que los resultados obtenidos del banco de pruebas desarrollado para las redes 5G en comparación con las redes 4G establecen lecturas de latencias en las que el 50% de las medidas se encuentran en el rango de 34 ms y 48 ms, y las medidas de los extremos indican que el límite superior se encuentran entre 49 ms y 56 ms, y por el nivel inferior se establece que las mediciones restantes se encuentran entre 30 ms y 33 ms en comparación a las redes 5G, las cuales denotan que las latencias son muy pequeñas (no superan los 3 ms). Por lo tanto, se puede concluir que en las redes 5G las comunicaciones inalámbricas serán extremadamente rápidas.

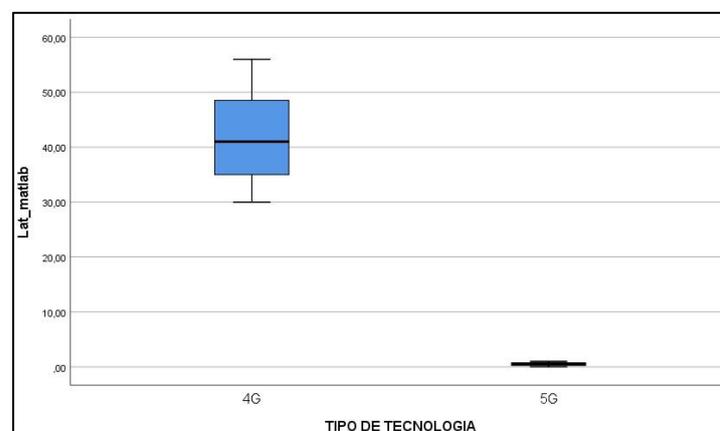


Ilustración 4-11. Latencia presentada por el banco de pruebas

Fuente: El autor

En la ilustración 4-12 se observa las diferentes velocidades que presentan las tecnologías 4G y 5G, además de los diferentes niveles de precisión que poseen los softwares tomados para el desarrollo del presente trabajo.

A continuación, se detalla los datos obtenidos en la gráfica para las redes:

- 4G, en la que se puede visualizar que las velocidades son similares entre los tres softwares en los cuales las mediciones tomadas de la velocidad son el 50% de los datos que oscilan entre 25Mbps y 35 Mbps, y una cuarta parte de la gráfica de mediciones superiores se encuentran entre 36 Mbps y 50 Mbps; la cuarta parte restante de los datos se encuentran entre los niveles de 15 Mbps y 24 Mbps.
- 5G, en esta generación se observa que la mitad de los datos se encuentran entre los niveles de 80 Mbps y 200 Mbps, y el 25% de los datos se encuentran entre 200 Mbps y 300 Mbps; el 25% de los datos restante se encuentran entre 1 Mbps y 79 Mbps. En el software Atoll los datos presentan un gran parecido a aquellos obtenidos en Xirio, lo cual, indica un alto porcentaje de efectividad en el análisis sobre redes de quinta generación. Estos datos se compararon con los datos obtenidos en el banco de pruebas y se puede concluir que el banco de pruebas presenta una sensibilidad muy alta para estas redes, por lo que es evidente que la factibilidad hacia la migración de redes de quinta generación de redes celular es absoluta, los usuarios tendrían un mejor servicio en relación a las velocidades que se presentan en la actualidad con LTE y 4G, puesto que los parámetros de comunicación en redes 5G superan aproximadamente en un factor de 10 mejor a aquellos parámetros de comunicación que su tecnología antecesora.

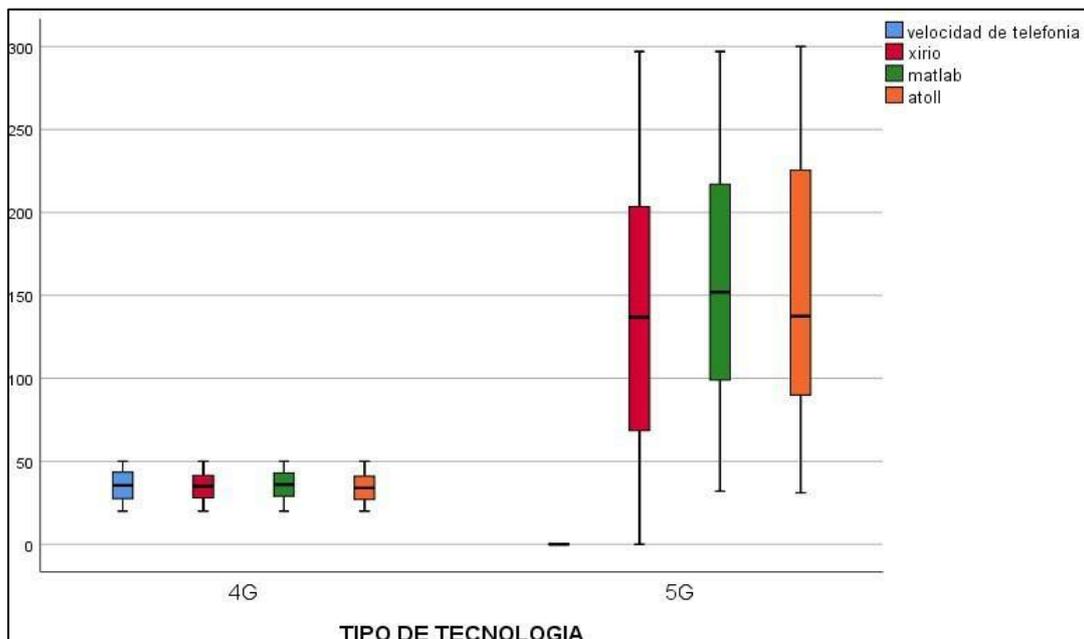


Ilustración 4-12. Comparación de velocidades entre tecnología y en los diferentes simuladores

Fuente: El autor

En la ilustración 4-13 se indica que las redes 4G presentan mayores tiempos de carga de

archivos multimedia, como se puede observar en las diferentes partes de la figura en mención, la cual ha sido extraída mediante los software empleados en esta tesis, los tiempos de carga en Xirio definen que la mitad de lecturas se encuentran entre 500 s y 800 s, el 25% de las lecturas superiores se encuentran entre de 800 s y 1200 s, y el 25% restantes de las lecturas se encuentran en tiempos de 0 s y 450 s. En comparación con los datos obtenidos del banco de pruebas diseñado en Matlab todas las lecturas se encuentran entre 500 s y 1200 s.

En tanto en la figura señalada para las redes 5G se puede observar que los tiempos de carga de archivos son extremadamente bajos, realizados en tiempo real y por tanto no se tiene tiempos de espera para la entrega de los archivos a la nube.

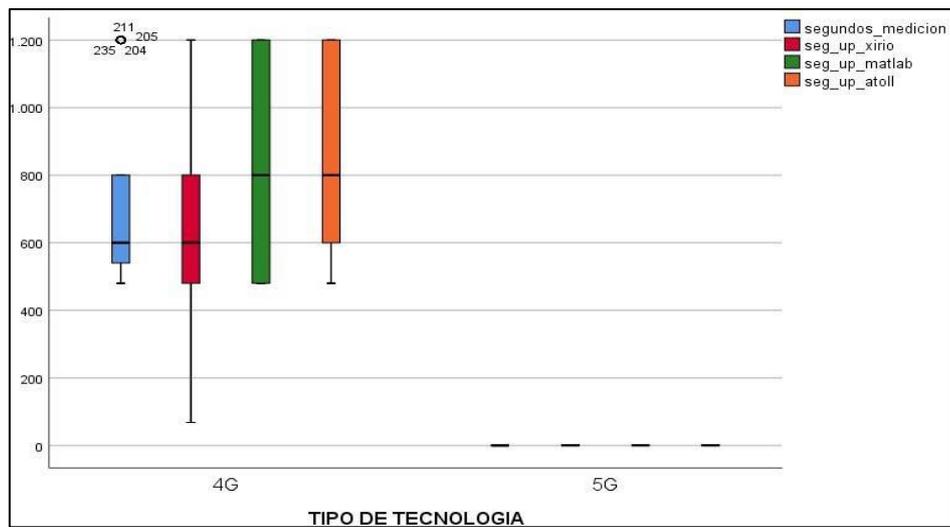


Ilustración 4-13. Tiempos de subida por tecnología y visualización por software

Fuente: El autor

En la ilustración 4-14 se observa el comportamiento que presenta cada SB en la tecnología

4G presenta una estabilidad en conexión a las terminales móviles.

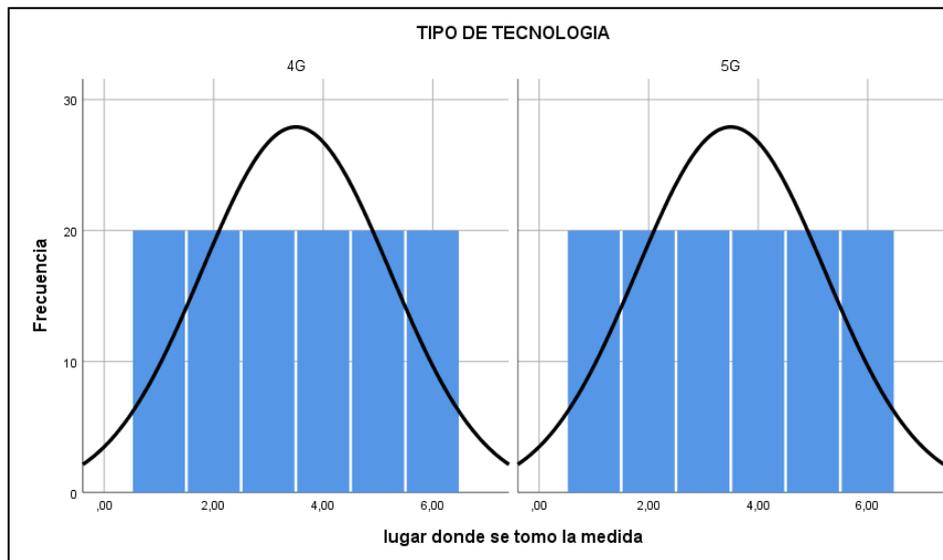


Ilustración 4-14. Redes 4G y 5G

Fuente: El autor

En la ilustración 4-15 se puede observar que las medidas en 5G no presentan un cambio brusco en cada SB por lo que se puede decir que la red tiene mayor estabilidad.

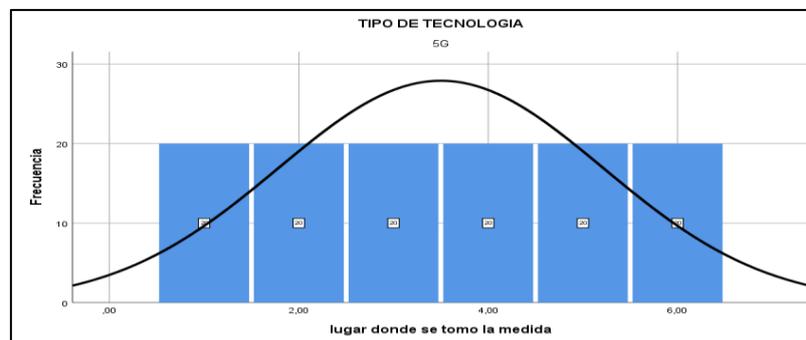


Ilustración 4-15. Histograma por SB en 5G

Fuente: El autor

4.2. Discusión

- El análisis ANOVA de las 3 frecuencias empleadas para la tecnología 4G (sección 3.4.1) permite comprender que las medias muestrales comparten igualdad estadística frente a los resultados obtenidos por parte de la aplicación Net monitor, lo que significa que el valor de las lecturas obtenidas en el banco de pruebas tiene gran similitud a los datos que se obtuvieron en los softwares comerciales.
- El segundo resultado descriptivo de las 3 frecuencias empleadas para la tecnología 5G (sección 3.4.2) denotan resultados de varianza que indican que las lecturas de los diferentes nodos no establecen cambios bruscos frente a los diferentes parámetros de análisis presentados al inicio de este trabajo de titulación, de hecho, según los resultados

del histograma (ilustración 4-15) se refleja que las lecturas solo difieren en dos o tres decimales de los valores establecidos por los softwares Atoll y Xirio Online.

- El banco de pruebas presentó un comportamiento muy diferente entre tecnologías, ya que proporcionó lecturas de salida muy distantes, por lo que fue necesario realizar un análisis estadístico de tipo T de Student para comparar los mismos parámetros entre las dos tecnologías de estudio, obteniéndose un valor “p” significativamente alto para cada comparación entre cada grupo muestral que presenta mejoras en las redes 5G, y un valor “p” menor a 0.05 para las redes de cuarta generación. Lo que interpreta como una mejor solvencia en cuanto se refiere a todos los parámetros de comunicación para las redes 5G.
- Por otro lado, las redes de cuarta generación se podrían reutilizar mediante equipamiento adicional para permitir la conmutar a hacia la nueva generación de telefonía celular móvil.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se deduce que el banco de pruebas puede trabajar de forma óptima para redes 4G como también para redes 5G, proveyendo valores muy similares a los que se pueden obtener en los softwares comerciales Atoll y Xirio Online, puesto que los datos obtenidos en los nodos de estudio comparten igualdades estadísticas con un leve margen de error, pero esto no quiere decir que se alejan significativamente de la media estadística, lo que indica que el banco de pruebas puede trabajar correctamente para las dos tecnologías.
- Se evidenció que el banco de pruebas al ser puesto en análisis ante programas comerciales de redes móviles presenta una alta fidelidad en la realización de análisis de precisión, lo cual manifiesta su utilidad para estudios posteriores sobre implementación de redes móviles de quinta generación.
- Se deduce que el banco de pruebas puede mostrar lecturas estadísticamente similares a los parámetros entregados por los programas de redes móviles con un bajo nivel de error en la obtención de las lecturas, excepto cuando se desee analizar redes móviles LTE convertidas a redes 5G mediante el empleo de Femto-celdas, ya que este tipo de redes cuentan con sus propios parámetros y la precisión se perdería por la configuración interna que presentarían estos sistemas de redes móviles.
- De acuerdo con las mediciones realizadas, el estado actual de las redes inalámbricas celulares no garantiza el pleno acceso, especialmente en las zonas rurales; argumenta que, a pesar de los esfuerzos de diversas instancias gubernamentales, la calidad e igualdad de servicio no se ven reflejadas en el territorio.
- Las condiciones actuales de las redes inalámbricas celulares en Ecuador no son óptimas; por tanto, para la transición a las nuevas tecnologías, es necesario dotar de investigadores especializados y así obtener soluciones eficaces.

5.2. Recomendaciones

- Como parte del despliegue de la tecnología 5G, es recomendable seguir apostando por los escenarios y condiciones técnicas reproducidas por las grandes empresas que trabajan en el desarrollo sobre redes de quinta generación, ya que, como se señaló, en algunos casos la UIT ha definido estándares regulatorios para esta nueva tecnología.
- Los Estados, de forma prioritaria y en colaboración con los gobiernos locales, deben esforzarse por garantizar el acceso a servicios de calidad y equitativos en todo su territorio. Esto se debe a que las tecnologías de la información y la comunicación, al igual que el acceso a los servicios de Internet, es un componente fundamental para el desarrollo de una nación.
- El manejo efectivo de las nuevas tecnologías puede asegurar que Ecuador no tenga una brecha tecnológica tan grande en relación a los países de primer mundo. Por lo tanto, es importante desarrollar el conocimiento previo que está disponible para 5G hasta el momento.
- Una recomendación general para gobiernos y operadores privados es gestionar adecuadamente la información existente y futura sobre nuevas tecnologías. Esto coloca al país a la vanguardia de lo que se puede esperar de 5G y permite a los profesionales de las comunicaciones experimentar y desarrollar la próxima generación telefónica móvil.
- Los reguladores ahora deben trabajar en el desarrollo de redes inalámbricas, y una buena alternativa es buscar inversiones del sector privado para mejorar los servicios trabajando juntos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. A. P.-C. Alcaraz, «STUDY ON QUALITY OF SERVICE IN 4G AND 5G NETWORKS», p. 69.
- [2] F. Delgado-Ferro, J. Navarro-Ortiz, L. Chinchilla-Romero, y P. Muñoz-Luengo, «Rendimiento de Redes 4G/5G usando una estación base real», p. 4, 2021.
- [3] «181517913002.pdf». Accedido: 19 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181517913002.pdf>
- [4] «Zhu et al. - 2020 - A Built-in Hash Permutation Assisted Cross-layer S.pdf».
- [5] «Chettri y Bera - 2020 - A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT).pdf».
- [6] «Los estándares del sistema 3GPP se dirigen a la era 5G». https://www.3gpp.org/news-events/1614-sa_5g (accedido 17 de agosto de 2022).
- [7] «Morales - Cálculo de Radio Enlace en la banda GSM-850 utiliz.pdf». Accedido: 8 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32277765/Calculo_de_Radio_Enlace_en_la_banda_GSM-850_utilizando_Modelo_de_Propagacion_Okumura-Hata-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1662686820&Signature=KgJb5XdhL34hHWvQHCye~JQ4G4DGPbHgbtYRZCzL3bx4mCzR0CICCLIP7utDDLts6vI~ZBWLRNEAIogyEGdhMzznUb3oVLBlwcROeyar6lK2o52X47BVdz8jZEHq3GDIIN-voms8XEc~2iXVvpcf6d-0ZDsz0J1vsF7OmWwUDFGBjxKrXBNVT2kw5MuqnyS5zUqe5qwNPae8YNMNzhsdAgQIBppM-cjFYNgvgHWdweoaN55ZMvp-RMmGEXE1VXNSha15TvYFQp0c38hAqFire47HS7O8omubJuSe6j6Um3yUQNN6XE1yCTX1AKXFY1fuBM1rcPIOTDYSVuXSXDQ2zg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [8] H. Liang, N. L. S. da Fonseca, y Z. Zhu, «On the Cross-Layer Network Planning for Flexible Ethernet Over Elastic Optical Networks», *IEEE Trans. Netw. Serv. Manag.*, vol. 18, n.º 3, pp. 3691-3705, sep. 2021, doi: 10.1109/TNSM.2020.3044702.
- [9] R. Dangel *et al.*, «Development of Versatile Polymer Waveguide Flex Technology for Use in Optical Interconnects», *J. Light. Technol.*, vol. 31, n.º 24, pp. 3915-3926, dic. 2013, doi: 10.1109/JLT.2013.2282499.
- [10] «Telefonía Móvil Celular (0 a 4G LTE-Advanced)». <https://es.slideshare.net/fernandomendioroz/telefona-mvil-celular-0-a-4g-lteadvanced> (accedido 16 de agosto de 2022).
- [11] P. Burneo y P. Siguenza, «Evolucion del sistema celular hacia UMTS». 20 de febrero de 2013.
- [12] C. V. Nahum *et al.*, «Testbed for 5G Connected Artificial Intelligence on Virtualized Networks», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 223202-223213, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3043876.
- [13] W. Hong *et al.*, «Tecnologías de antenas multihaz para», p. 19.
- [14] «Arcotel expide normativa que exige la identificación de llamadas comerciales, publicitarias o proselitistas realizadas a través de las operadoras móviles – Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones». <https://www.arcotel.gob.ec/arcotel-expide-normativa-que-exige-la-identificacion-de-llamadas-comerciales-publicitarias->

o-proselitistas-realizadas-a-traves-de-las-operadoras-moviles/ (accedido 16 de agosto de 2022).

- [15] «Nahum et al. - 2020 - Testbed for 5G Connected Artificial Intelligence o.pdf».
- [16] H. N. Qureshi, M. Manalastas, S. M. A. Zaidi, A. Imran, y M. O. Al Kalaa, «Service Level Agreements for 5G and Beyond: Overview, Challenges and Enablers of 5G-Healthcare Systems», *IEEE Access*, vol. 9, pp. 1044-1061, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3046927.
- [17] «Picazo - Despliegue de redes 5G Non-Standaone basadas en OpenAirInterface..pdf».
- [18] «09328255.pdf».
- [19] C. Rodríguez y M. Cecibel, «Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil», p. 185.
- [20] «Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G», *VIU*. <https://www.universidadviu.com/int/actualidad/nuestros-expertos/evolucion-de-la-red-de-comunicacion-movil-del-1g-al-5g> (accedido 9 de octubre de 2022).
- [21] «Comprueba la intensidad de la señal móvil con Netmonitor». <https://www.redeszone.net/2013/07/03/comprueba-la-intensidad-de-la-senal-movil-con-netmonitor/> (accedido 16 de agosto de 2022).
- [22] «Obtén más detalles sobre las antenas disponibles con NetMonitor», *ADSLZone*. <https://www.adslzone.net/moviles/obten-mas-detalles-sobre-las-antenas-disponibles-con-netmonitor/> (accedido 16 de agosto de 2022).
- [23] «Alternativas a Netmonitor». <https://mejorsoftware.info/tools/netmonitor-parizene> (accedido 16 de agosto de 2022).

ACRÓNIMO

AIPN	All IP Network
AuC	Authentication Center
BTS	Estación Transceptora Base
CDF	Commutative Distribution Function
CI	Cell Identifier
CID	Cell ID (Identifier)
CQI	Channel Quality Indicator
DL	Downlink
EARFCN LTE	Evolved-UTRA Absolute Radio Frequency No EB
ENodeB	Evolved Node B (Estación Base)
EPC	Evolved Packet Core o Core Network
EPS	Evolved Packet System
FDD	Frequency Division Duplexing
FFT	Transformada de Fourier
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
GTP-C	Tunnelling Protocol-Control
GTP-U	Tunnelling Protocol-User
HLR	Home Location Register
HSS	Home Location Service
IP	Internet Protocol
LAC	Location Area Code
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
BPS	Bits Per Second
MCC	Mobile Country Code
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
MNC	Mobile Network Code
NR	New Radio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Acces
PAGING	Gestion de la localizacion en estado idle
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDN GW	Packet Data Network Gateway
PCI	Physical Cell Identity
PSC	Primary Scrambling Code
RB	Resource Block
RNC	Radio Network Controller
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality

RSSNR	Reference Signal Controlar To Noise Radio
SaaS	Software as a Service
SC-FDMA	Single Carrier-Frecuency Division Multiple Acces
SGW	Serving Gateway
SIMO	Single inpur Multiple Output
SMS	Short Message Service
TA	Tracking Area
TAC	Tracking Area Code
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplexing
TRS	Total Radieted Sensivity
TIMESTAMP	Tiempo de Medida
TRS	Total Radieted Sensitive
TTT	Time To Trigger
UE	User Equipament
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN-UMTS	Terrestrial RA

ANEXO A: TABLA DE RESUMEN DE TECNOLOGÍAS

	 1G	 2G	 2.5G	 3G	 4G LTE
Año	1970 - 1980	1980 -1990	2000- 2003	2000	2010
Ancho de Banda	30 kHz	Cada canal de 200 kHz en bloques de 25 kHz		5 - 20 MHz	5-20 MHz (hasta 40 MHz)
Frecuencia (MHz)	800- 900	850 - 1900 (GSM) 825 - 849 (CDMA)	850 - 1900	aproximadamente 800 - 2500	cubre diferentes bandas (3, 7, 20); 800, 1800 y 2600
Multiplexación	FDMA	TDMA CDMA	TDMA CDMA	WCDMA CDMA2000	OFDM,MC-CDMA, CDMA
Servicio	Sólo voz	Voz Digital, SMS, <u>roaming</u> internacional, llamada en espera, bloqueo de llamadas, identificación de llamadas, autenticación, facturación basada en los servicios prestados.	Voz, multimedia, WAP, MMS, SMS juegos móviles, acceso a correo electrónico, videoconferencia	Voz, Internet de alta velocidad, video llamadas, chat, televisión móvil, servicios multimedia, servicios de localización, correo, ...	acceso web, telefonía IP, servicios de juegos, TV alta definición y 3D, videoconferencia, computación en la nube, gestión de flujos múltiples y movimientos rápidos de terminal, DVB, ...
Velocidad (kbps)	1-2,4	14-64	115 (GPRS) 384 (EDGE)	384- 2000	100.000 en movimiento 1*10 ⁶ inmóvil
Tecnología	Analógica	Digital	Digital	Digital	Digital
Conmutación	Circuitos	Circuitos	Circuitos Paquetes (datos)	Paquetes	Paquetes
Estándar	AMPS	GSM	GPRS EDGE	UMTS (WCDMA) CDMA	LTE-TDD LTE-FDD

Ilustración 1. Cuadro resumen de las tecnologías

Fuente: ITU

ANEXO B: CÓDIGO DEL BANCO DE PRUEBAS

```
area_cobertura.m X +
1 clear all;
2 clc
3
4 AP1 = [67.4 119];
5 AP2 = [56.1 72.4];
6 I=('Ingresar el tamaño del archivo multimedia:');
7 % 3D plot
8 figure
9 bar([AP1; AP2])
10 xlabel('AP id')
11 ylabel('Throughput (Mbps)')
12 legend({'Default (23 dBm)', 'Proposed (7 dBm)'})
13 set(gca,'FontSize',14,'FontName','Times')
14 grid on
15 grid minor
16
17 % This script plots the time and frequency response of different prototype
```

Command Window

[Line](#) with properties:

- Color: [0.4660 0.6740 0.1880]
- LineStyle: '-'
- LineWidth: 0.5000
- Marker: 'none'
- MarkerSize: 6

Ilustración 2. Código del banco de pruebas

Fuente: El autor

ANEXO C: LÓBULO DE RADIACIÓN & ID DE LA RADIO BASE 4G

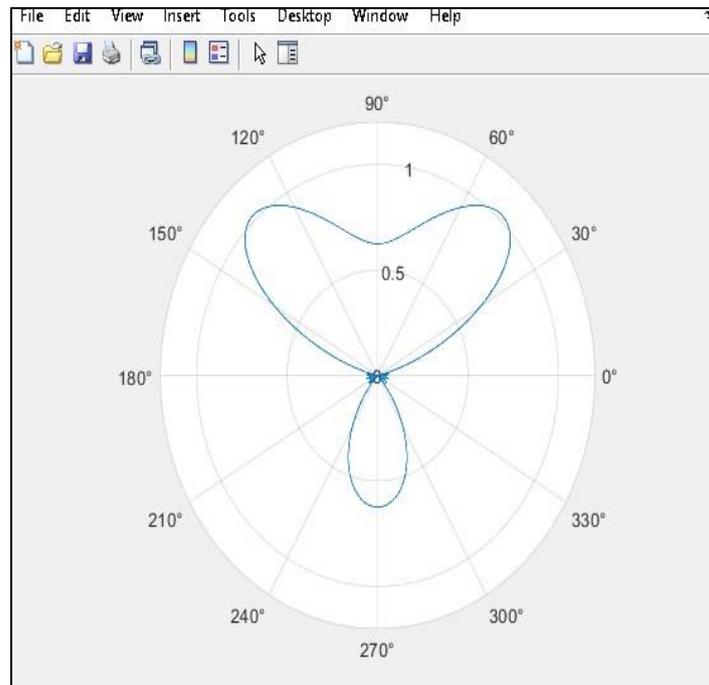


Ilustración 3. Lóbulo de radiación 4G

Fuente: El autor

```
>> densidad_potencia
Received symbols | Received symbols | Transmitted symbols
y (using G)     | y (using IFFT)   | x
-1.0000 + 0.3172i -1.0000 + 0.3172i -1.0000 + 0.0000i
-1.0000 - 0.8775i -1.0000 - 0.8775i -1.0000 + 0.0000i
-1.0000 + 1.2704i -1.0000 + 1.2704i -1.0000 + 0.0000i
 1.0000 + 0.5627i  1.0000 + 0.5627i  1.0000 + 0.0000i
 1.0000 + 1.3711i  1.0000 + 1.3711i  1.0000 + 0.0000i
 1.0000 - 0.7978i  1.0000 - 0.7978i  1.0000 + 0.0000i
 1.0000 + 0.0737i  1.0000 + 0.0737i  1.0000 + 0.0000i
-1.0000 + 0.3522i -1.0000 + 0.3522i -1.0000 + 0.0000i
 1.0000 + 0.1507i  1.0000 + 0.1507i  1.0000 + 0.0000i
```

Ilustración 4. Datos del banco de pruebas

Fuente: El autor

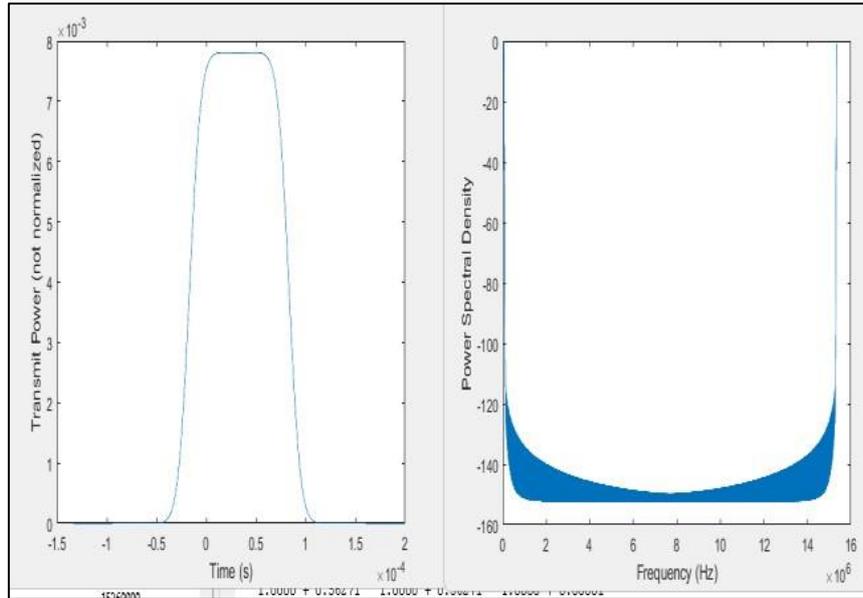


Ilustración 5. Densidad de potencia

Fuente: El autor

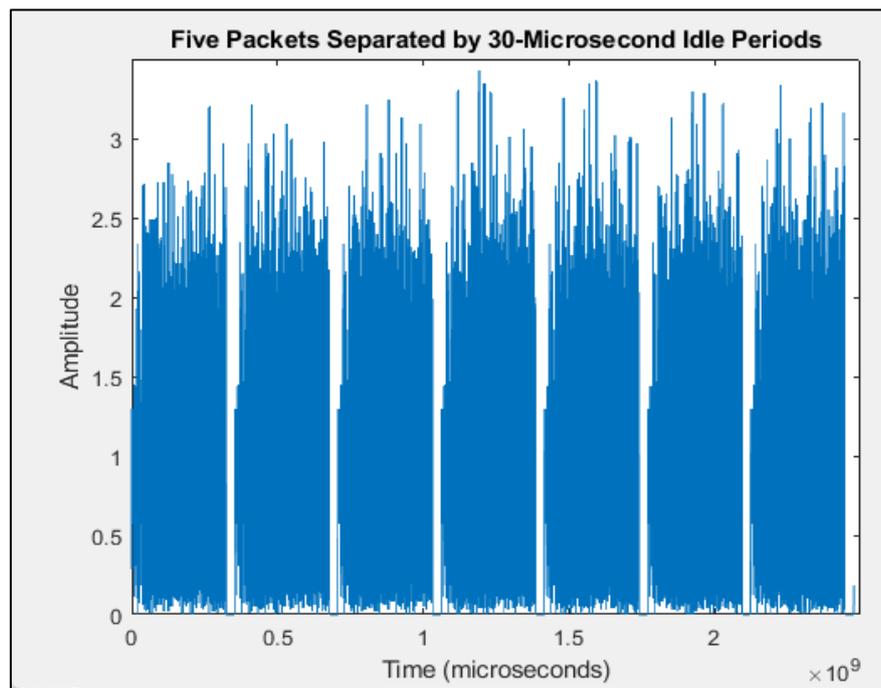


Ilustración 6. Grafica de radiación de los 6 nodos

Fuente: El autor

ANEXO D: ESCENARIOS DE SIMULACIÓN EN XIRIO

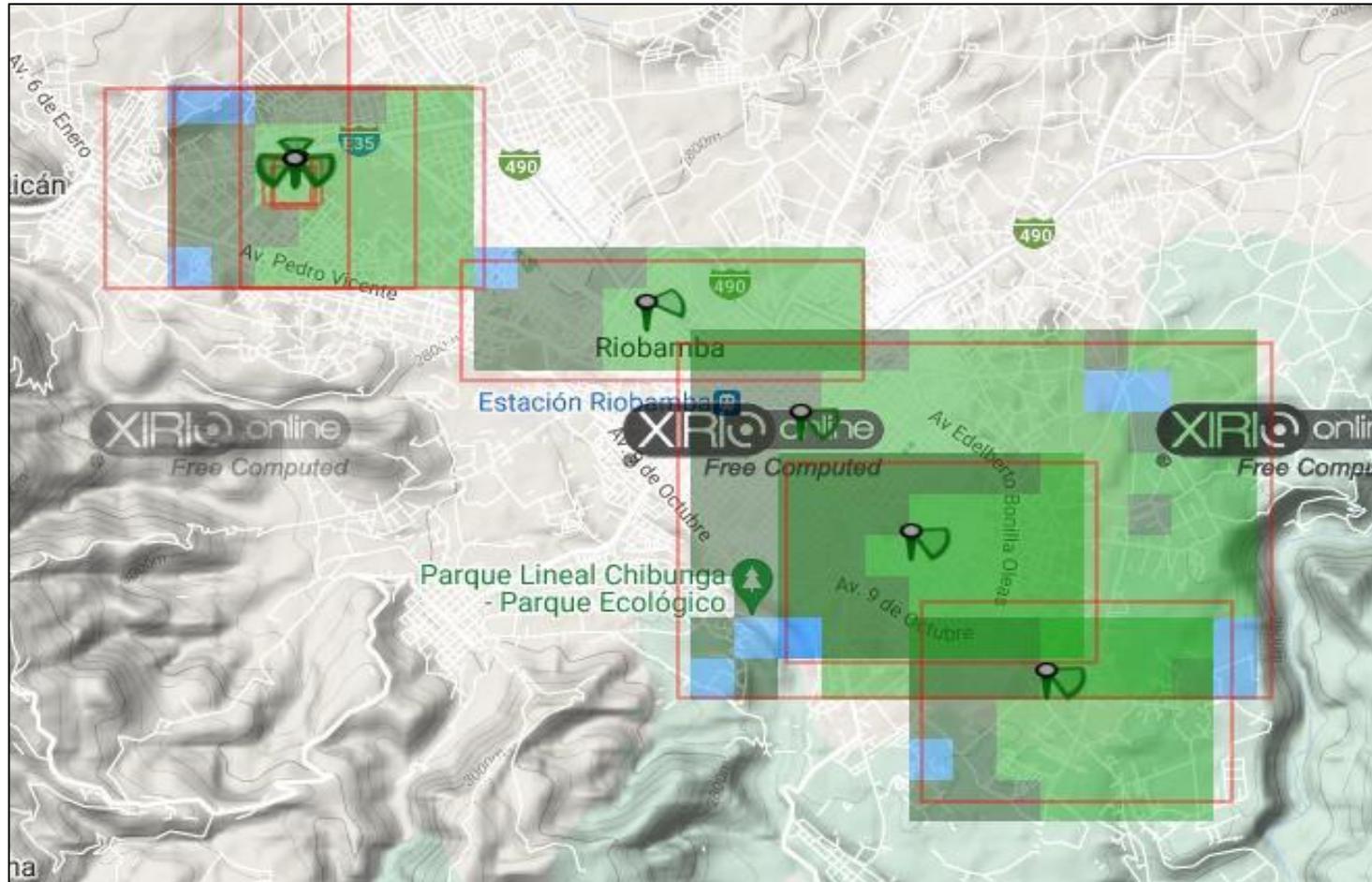


Ilustración 7. Simulación en Xirio

Fuente: El autor