



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA 5G EN LA CIUDAD DE QUITO
SECTOR EL RECREO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Electrónicos

Autores: Marlon Stalin Guerrero Pineda
Richard Fabricio Ñacato Peña
Tutora: Verónica Emma Soria Maldonado

Quito - Ecuador
2022

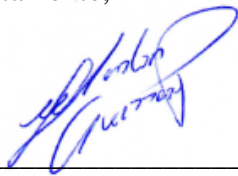
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Marlon Stalin Guerrero Pineda con documento de identificación N° 1718296435 y Richard Fabricio Ñacato Peña con documento de identificación N° 1723039267; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 08 de febrero de 2022

Atentamente,



Marlon Stalin Guerrero Pineda
1718296435



Richard Fabricio Ñacato Peña
1723039267

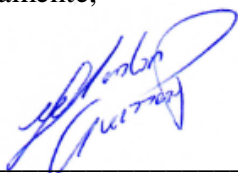
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Marlon Stalin Guerrero Pineda con documento de identificación N° 1718296435 y Richard Fabricio Ñacato Peña con documento de identificación N° 1723039267; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis de la infraestructura 5G en la ciudad de Quito sector El Recreo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de febrero de 2022

Atentamente,



Marlon Stalin Guerrero Pineda

1718296435



Richard Fabricio Ñacato Peña

1723039267

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Verónica Emma Soria Maldonado con documento de identificación N° 1715185961, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA 5G EN LA CIUDAD DE QUITO SECTOR EL RECREO, realizado por Marlon Stalin Guerrero Pineda con documento de identificación N° 1718296435 y por Richard Fabricio Ñacato Peña con documento de identificación N° 1723039267, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 08 de febrero de 2022

Atentamente,



Ing. Verónica Emma Soria Maldonado, MSc.

1715185961

ÍNDICE

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la universidad politécnica salesiana.....	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación.....	III
Índice de figuras	VII
Índice de tablas	IX
Resumen	X
Abstract	XI
Introducción.....	XII
Capítulo 1	1
Planteamiento del problema	1
Justificación.....	2
Objetivo general:	3
Objetivos específicos:	3
Capítulo 2	4
2. Quinta generación de tecnología móvil.....	4
2.1 Evolución de las tecnologías móviles	4
2.2 Fundamentos relevantes de 5G.....	6
2.2.1 Nueva tecnología de acceso por radio 5G.....	6
2.2.2 Consideraciones de la UIT sobre la 5G	6
2.2.3 Servicios NR	8
2.3 Interfaces por acceso múltiple	8
2.3.1 Massive MIMO	8
2.3.2 Comunicación D2D	9
2.4 Agregación de portadoras.....	10
2.5 Espectro radioeléctrico	10
2.6 Modulación para 5G.....	13
2.7 Formas de onda para NR.....	13
2.8 Conformación de haces	14
2.9 Requisitos PARA 5G NR.....	14
2.9.1 Small Cells	15

2.9.2 Enlaces Backhaul.....	15
2.10 MEC en redes 5G.....	16
2.11 NFV.....	16
2.12 Red RAN.....	17
2.13 Arquitectura del sistema 5G.....	17
2.13.1 Conexión al núcleo de red.....	17
2.13.2 Estación Base para 5G.....	18
2.13.3 Infraestructura e Interconexión de una red 5G.....	20
2.13.4 Funciones de Red 5G Core Network.....	24
Capítulo 3.....	27
3. Diseño.....	27
3.1 Delimitación del sector.....	27
3.1.1 Cobertura teórica.....	27
3.2 Parámetros considerados de diseño.....	28
3.2.1 Casos típicos según la gama de frecuencia.....	29
3.2.2 Planteamientos para modelados de propagación.....	30
3.2.3 Aspectos básicos para la simulación.....	30
3.2.4 Intensidad de recepción.....	31
3.2.5 Intensidad de campo.....	31
3.3 Asignación de frecuencias.....	32
3.4 Zonas de sombra.....	35
Capítulo 4.....	36
Simulación.....	36
4.1 Software de simulación.....	36
4.2 Ubicación geográfica.....	36
4.3 Parámetros de configuración general.....	39
4.3.1 Parámetros Generales.....	39
4.4 Configuración de patrones de radiación.....	41
4.5 Configuración de parámetro de sitio.....	42
4.6 Configuración de estación base gNB.....	43
4.7 Configuración de modelado de propagación.....	46
4.8 Análisis de simulación Tx/Rx.....	47

Capítulo 5	52
Análisis y resultados de cobertura	52
5.1 Análisis de mapa SINR	53
5.2 Análisis de mapa RSRQ	56
5.3 Análisis de cobertura RSRP	60
Capítulo 6	65
Conclusiones	65
Recomendaciones	67
Referencias	68
Anexo 1	74
Anexo 2	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Mitsubishi Electric Corporation.....	9
Figura 2.2. Infraestructura de red RAN y comunicación D2D.....	9
Figura 2.3. Comparación de capacidades de red 4G LTE-A y 5G con implementación de small cells.....	15
Figura 2.4. Transición de 4G a 5G.....	16
Figura 2.5. Estaciones base 4G y 5G conectadas a su núcleo de red.....	18
Figura 2.6. Arquitectura de alto nivel del sistema 5G	20
Figura 2.7. Componentes clave de NG-RAN.....	20
Figura 2.8. Conectividad Dual.....	21
Figura 2.9. Integración de 5G con 4G.....	22
Figura 2.10. Arquitectura de la red central 5G.....	23
Figura 2.11. Sesiones de PDU y flujos de QoS.....	24
Figura 2.12. Arquitectura basada en servicios 5G (SBA).....	25
Figura 3.1. Sectores de recolección establecidos por EMASEO EP mapa n.10	27
Figura 3.2. Vista satelital 3D de google maps. distancia total para la cobertura.....	28
Figura 3.3. Distancias de coberturas de micro celdas en el sector el recreo.	32
Figura 4.1. Propiedades para ubicación central de celda, y creación de micro celdas	38
Figura 4.2. Generaciones de celdas con estaciones base en ICS Telecom.	38
Figura 4.3. Configuración de patrones de radiación en las antenas.....	41
Figura 4.4. Ventana de parámetro de sitio en ICS telecom Pro.	42
Figura 4.5. Ventana de configuración 5G gNB en ICS telecom Pro.....	43
Figura 4.6. Células conjuntas y sus respectivas celdas vecinas	45
Figura 4.7. Ventana de modelos de propagación de ics telecom pro	46

Figura 4.8. Ventana de configuración de clutters en ics telecom pro.	48
Figura 4.9. Ventana de configuración de paleta de colores en ics telecom pro.	49
Figura 4.10. Cobertura según la recomendación itu-r 452-16 con 30 antenas sectoriales con paleta de colores definido por usuario.....	50
Figura 4.11. Análisis de límites de cobertura con Google Earth.....	51
Figura 5.1. Mapa de la simulación SINR PDSCH perteneciente a un RSRP de -96 dbm	53
Figura 5.2. Mapa de la simulación SINR PDSCH perteneciente a un RSRP de -112 dbm	55
Figura 5.3. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -96 dbm.	56
Figura 5.4. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -112 dbm.	58
Figura 5.5. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -124 dbm.	59
Figura 5.6. Resultados de la simulación compuesto de RSRP de -96 dbm.	61
Figura 5.7. Resultados de la simulación compuesto de RSRP de -112 dbm.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Definición de rangos de frecuencias para 5G 3GPP.	11
Tabla 2.2. Rango de frecuencias FR2 para 5G 3GPP.	11
Tabla 2.3. Rango de frecuencias FR1 para 5G 3GPP.	12
Tabla 2.4. Tecnología de antenas 1+1 propuesta por Huawei para 5G	19
Tabla 3.1. Definición de tipos de célula según UIT-R P.1411-9.	29
Tabla 3.2. Tipos de intensidad de señal para 3G y 4G.	31
Tabla 3.3. Asignación de frecuencias	34
Tabla 4.1. Parámetros de configuración general de las antenas	39
Tabla 4.2. Anchos de banda de canal para cada banda NR.	44
Tabla 4.3. Atenuaciones utilizadas en la simulación.	48
Tabla 4.4. Porcentaje de cobertura e intensidad de señal con Duplexación TDD en 5G.	50
Tabla 5.1. Valores de umbrales de RSRP, RSRQ y SINR.	52
Tabla 5.2. Tabla de reporte de color SINR PDSCH con RSRP de -96 dbm.	54
Tabla 5.3. Tabla de reporte de color SINR PDSCH con RSRP de -112 dbm.	55
Tabla 5.4. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -96 dbm	57
Tabla 5.5. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -112 dbm.	58
Tabla 5.6. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -124 dbm.	60
Tabla 5.7. Tabla de reporte de color RSRP de -96 dbm	61
Tabla 5.8. Tabla de reporte de color RSRP de -112 dbm.	63
Tabla 5.9. Recomendaciones en parámetros técnicos.	64

RESUMEN

El proyecto técnico y la posterior investigación esta direccionada en un estudio de la futura tecnología de comunicación 5G que podría integrarse dentro de una zona en específico del sur de la capital; más precisamente en el sector del Recreo, Quito Pichincha, Ecuador, favoreciendo a usuarios, empresas y operadoras presentes actualmente donde la comunicación con sus clientes será de una manera mucho más eficiente.

Se iniciará previamente con la delimitación de la zona que se pretende dar cobertura, teniendo en cuenta los factores que presenta el área, para hacer uso adecuado de las recomendaciones técnicas proporcionados por la ITU. Para esto se debe conocer las atenuaciones presentes en el rango de frecuencia, formas de onda, espaciado de subportadora, tipo de duplexación, futuras planificaciones de espectro radio eléctrico en el país, etc.

Durante la realización del diseño adecuado para este sector del sur de Quito, se planteó la utilización de micro celdas para una mayor organización y garantizar una cobertura dentro del área delimitada, para esto se utilizó un rango frecuencia de banda media y la consideración de tres antenas sectorizadas por cada estación base.

El software utilizado para la presente simulación es ICS TELECOM PRO debido a que es una herramienta que posibilita un análisis 5G, con el alcance de llegar a utilizar estándares y normas técnicas disponible en el mismo, donde las funciones que se configuran son parámetros generales, patrones de radiación y estaciones base gNB.

Los resultados obtenidos se realizaron mediante niveles de calidad de señal, que posteriormente ayudarán a establecer si un diseño está correctamente estructurado, y que cumpla con un adecuado rendimiento para esta futura tecnología.

ABSTRACT

The technical project and subsequent research is directed at a study of the future 5G communication technology that could be integrated into a specific area in the south of the capital; more precisely in the area called El Recreo, Quito Pichincha, Ecuador, favoring users, companies and operators currently present where communication with their clients will be much more efficient.

We will previously start with the delimitation of the area that is intends to give coverage, are taking about account the factors that the area presents, to make adequate use of the technical recommendations provided by the ITU. For this it's must know the attenuations present in the frequency range, waveforms, subcarrier spacing, type of duplexing, future planning of radio electric spectrum in the country, etc.

During the realization of the adequate design for this sector of southern Quito, the use of micro cells was proposed for greater organization and to guarantee coverage within the delimited area, for this a mid-band frequency range was used and the consideration of three sectorized antennas for each base station.

The software used for this simulation is ICS TELECOM PRO because it is a tool that enables 5G analysis, with the scope of using standards and technical standards available, where the functions to be configured are: general parameters, patterns radiation and gNB base stations.

The results obtained were made using signal quality levels, which later it will help to establish if a design is correctly structured, and that it meets adequate performance for this future technology.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la revolución tecnológica de las comunicaciones, las anteriores generaciones a la de 5G han tenido éxito en algunos aspectos y han conllevado a la satisfacción de las necesidades según el alcance tecnológico lo permitía. La quinta generación (5G) planea un incremento potencial de la velocidad en el intercambio tanto para la transmisión y recepción de datos, buscando la conectividad del todo y prestando las mejores soluciones a las nuevas necesidades de las personas.

En este tipo de tecnología 5G se incluiría la Comunicación Masiva Tipo Máquina (mMTC) con una gran cantidad de usuarios conectados simultáneamente a su respectivo proveedor y sin la necesidad de tener ningún tiempo de espera al momento de enviar cualquier tipo de datos, dando lugar a mejorar exponencialmente nuevas aplicaciones y servicios; acercándose así a la interacción con el Internet de las Cosas (IoT).

Para la implementación de esta tecnología el ARCOTEL plantea que se debe tener una administración, regulación, control y gestión correcto del espectro radioeléctrico, el cual está bajo el dominio público del Estado Ecuatoriano, donde este permitirá incrementar el desarrollo social y económico del país, alcanzar nuevos servicios y aplicaciones de telecomunicaciones, altas velocidades, calidad de servicio, adecuada cobertura y seguridad. (Rivera, Iglesias, & García, 2020)

El principal reto que tiene el país para la implementación de esta nueva tecnología 5G es que el gobierno disponga nuevos espectros de radio frecuencia en ondas milimétricas que son subastados en la Unión Internacional de Telecomunicaciones sector de Radiocomunicaciones (UIT-R) de acuerdo al tipo de región donde se encuentra cada país, para que los dispositivos que soporten esta nueva tecnología en un futuro puedan ser utilizados alrededor de todas las regiones del Ecuador.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este trabajo se realizará debido a la constante afluencia de personas en este sector, la cuales están continuamente conectadas a la red y buscan mayor fluidez en la navegación, es decir que cada día crece la demanda de dispositivos conectados simultáneamente, que hasta el momento se cuenta con una velocidad de descarga máxima en el sistema 4G LTE por parte de la operadora Movistar de 19.7 Mbps, velocidad de subida de 10.9 Mbps y latencia de 138 ms. (Android Jefe, 2020)

Además otro de los problemas a analizar también se debe a que las empresas aledañas tengan que afrontar la rentabilidad que esta tecnología puede conllevar, la lentitud del gobierno para satisfacer la necesidad de espectro radioeléctrico licenciado, y de la ubicación para el futuro diseño de cada una de las infraestructuras en este sector.

Se utilizarán software de simulación especializado de ingeniería para brindar al menos una idea del como un sector saturado de personas pueden llegar a conectarse a internet de una manera más fluida, obteniendo así más beneficios que desventajas como por ejemplo una mayor velocidad que se espera llegar al 1 Gbps y una latencia menor a 1ms en el envío y recepción de datos.

JUSTIFICACIÓN

Se plantea las posibilidades de implementación de toda o gran parte de la infraestructura que tiene la tecnología 5G que hasta el momento no ha sido estudiada ni planificada en todo el país, por lo tanto este diseño y análisis podría tomarse como una guía para determinar la factibilidad que existe de realizar estas modificaciones tecnológicas e infraestructuras de quinta generación orientadas a nuestra realidad , en este caso se escogió el sector del Recreo debido a la gran popularidad que su centro comercial tiene para atraer a los usuarios y la gran afluencia de los mismos en los espacios comerciales que conforman el sector, además de los nuevos desafíos tecnológicos que supondrá la instalación del sistema de última generación en esta zona, que a su vez será utilizada por las personas que día a día utilizan el teléfono móvil.

Entonces la red 5G brindará un apoyo fundamental a las personas que circulan o trabajan en este sector, además de las micro empresas aledañas, facilitando que los usuarios descubran y aprovechen los beneficios que la red traerá consigo. Por lo tanto por medio de las simulaciones que se van a realizar se pretende conocer los alcances, ventajas y desventajas que puede ocasionar una futura implementación de esta red 5G en este sector del Recreo. Estas mismas estarán centradas en las regulaciones de normas del espectro radioeléctrico que brinda la empresa de comunicaciones del Ecuador, en donde mediante el software de simulación especializado de ingeniería ICS Telecom Pro se pretende ilustrar los sistemas de comunicación de la red 5G dentro de esta zona.

OBJETIVO GENERAL:

Analizar la implementación de la infraestructura 5G en el sector del Recreo en la ciudad de Quito el cual permitirá que más dispositivos estén conectados al mismo tiempo, aliviando el cuello de botella electromagnético y un ahorro de energía significativo en los dispositivos móviles.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1.- Analizar conceptos en fuentes bibliográficas sobre sistemas móviles de quinta generación para la determinación de las principales características de esta infraestructura.
- 2.- Diseñar el entorno de tecnología 5G mediante software especializado de simulación dentro del área establecida para la determinación de los posibles problemas de cobertura o zonas de sombra que pueden existir en el terreno.
- 3.- Simular el diseño de red 5G según las características del terreno de la zona y las recomendaciones de la ITU para la verificación de la cobertura posible al utilizar esta nueva red.

CAPÍTULO 2

2. QUINTA GENERACIÓN DE TECNOLOGÍA MÓVIL

2.1 EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES

La primera generación empezó a finales de la década de los 70s, a través de células lo que en la actualidad son denominados celdas que contienen pequeños espacios cubiertos por una antena con cierto diámetro o radio que abastece el servicio de comunicación inalámbrica. Una de sus características era que solamente podría transmitir paquetes de voz y su principal objetivo era establecer comunicaciones telefónicas convencionales.

Los Sistemas de Telefonía Móvil Avanzado (AMPS), optaron con las propuestas de utilizar canales con una tecnología analógica exclusivamente para hacer uso de conmutación de circuitos, por consiguiente se desarrolló un estándar de comunicación para el uso de las Telecomunicaciones y fue llamado con el nombre de 1G, utilizando un ancho de banda de 30KHz y abarcando un espectro de frecuencias que va desde los 800MHz hasta los 900MHz. (Sanchez & Toapanta, 2010)

A inicio de la década de los 90s empieza a existir una conversión de analógico a digital, la velocidad empieza a aumentar hasta 64 Kbps donde este tipo de tecnología permite la inclusión de voz digital, esto implica que el propio Equipo de Usuario (UE) envíe una secuencia digital de información que codifica la información de la voz y la envía hacia la Estación Base (BS) para que pueda retransmitir a otras zonas y que pueda distribuir a diferentes servicios de 2G.

Los distintos tipos de servicios de 2G tenían la capacidad de transportar voz, SMS, datos y brindar seguridad en las comunicaciones inalámbricas. Uno de los estándares más conocidos fue el Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM) que utilizaba modulación de Acceso Múltiple por División del Tiempo (TDMA), funciona bien en la frecuencia de 900 MHz o 1800 MHz y una amplitud de banda de 200 KHz. Este sistema también desarrollo una red llamada 2.5 G o más conocida Paquete General de Radio Servicio (GPRS) que contenía una gran cantidad de mejoras de

servicios como es conectarse a Internet de forma instantánea utilizando solamente un paquete de datos. (David Chavez, 2018)

En el sistema 3G los móviles permiten llamadas, mensajes de texto y se incorporan medios multimedia haciendo posible realizar intercambio de correos electrónicos, utilización de todo tipo de aplicaciones de entretenimiento e información, compatibilidad mundial, pero todavía limitada a las condiciones que soporte la red al interconectarse con los usuarios móviles.

Se desarrolló un estándar denominado Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) sucesor de GPRS/GSM logrando una extensa cobertura a nivel mundial ya que se puede usar en cualquier dispositivo móvil en donde un número determinado de usuarios puede coexistir en un mismo canal de radio frecuencia simultáneamente. A través de esta tecnología aumenta la velocidad de 384 Kbps a 2 Mbps, una amplitud de banda de hasta 20 MHz y con frecuencias menores a 2 GHz (Sanchez & Toapanta, 2010)

En sistemas 4G se estableció la generalización de los smartphones, además ocurre un mejoramiento significativo de las antenas, cobertura, velocidad en la transferencia de datos y calidad de la señal. Se pueden conectar en tiempo real a todo tipo de entretenimiento solo a través del teléfono móvil.

El equipo de Asociación de Tercera Generación (3GPP) desarrolló un estándar denominado Evolución a Largo Plazo (LTE), donde el principal objetivo fue el de tener un mejor desempeño a menor costo en el acceso. En un principio con LTE se consiguieron velocidades de hasta 326 Mbps y ya con su posterior evolución en LTE-Advanced se obtuvo teóricamente hasta 1.6 Gbps por usuario, 4G utiliza frecuencias de 1700-2100 MHz y ancho de banda de hasta 40 MHz (Paredes Valencia, 2016)

La nueva generación 5G promete ser más veloz que todos los sistemas anteriores mencionados, ofreciendo menos latencia, mayor confiabilidad, más conectividad desde varios lugares y mucha más capacidad de conexión entre dispositivos en el

mismo sitio. Con esta nueva infraestructura el internet será capaz de ser escalable, es decir que pueda crecer continuamente de manera fluida como por ejemplo la incorporación de casas o edificios inteligentes, automóviles autónomos, máquinas o electrodomésticos conectados a la red.

2.2 FUNDAMENTOS RELEVANTES DE 5G

Para el desarrollo de este proyecto se necesitarán tecnologías clave para el complemento de un análisis de implementación de la red 5G las cuales se mencionan a continuación:

2.2.1 Nueva tecnología de acceso por radio 5G

La futura generación móvil 5G proporcionará conectividad inalámbrica para cualquier dispositivo que pueda beneficiarse de la conexión. Para generar una sociedad verdaderamente interconectada, existen tres desafíos principales: alta demanda de usuarios conectados, aumento del volumen de tráfico y una amplia gama de aplicaciones con diversos requisitos y características. Pero 5G no solo requiere nuevas funcionalidades, sino también sustancialmente más espectro y bandas de frecuencia más amplias.

3GPP ha desarrollado actualmente un estándar global para esta nueva tecnología denominada nueva radio 5G NR, que operará en frecuencias desde menos de 1 GHz hasta 100 GHz. (Zaidi, y otros, 2018)

2.2.2 Consideraciones de la UIT sobre la 5G

5G integra nuevas normas móviles definidas por la UIT, donde los componentes y elementos vinculados, que contienen mejoras superiores a las ofrecidas por los sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales se denominan IMT-2020 (5G).

1: Cometido de las IMT (5G)

Las IMT se transformarán en uno de las piezas fundamentales en cuanto al abastecimiento de servicios móviles y del intercambio de información; donde todos usuarios tendrán a su alcance a una gran pluralidad de aplicaciones y servicios. Para zonas urbanas y suburbanas, se estima una velocidad de 100 Mbit/s. El consumo de energía de las redes de acceso radioeléctricas no sobrepasarán a las actuales. Además realiza un mapeo con un servicio eMBB detallado en el apartado 2.2.3 de esta nueva red acceso evaluando así en tres escenarios diferentes: Hotspot en Interiores, Urbano Denso y Rural, obteniendo de este último resultados para la movilidad de 120 km / h y 500 km / h, también que será alta al tiempo que proporciona una calidad de servicio satisfactoria. (ITU-R M.2412-0, 2017)

2: Armonización entre sistemas fijos y móviles

Según la Recomendación UIT-T Y.3101, se estima una arquitectura autónoma de la red de acceso. Entre las futuras tecnologías de la información y la comunicación (la nube, las redes definidas por software y la virtualización de las funciones de red) están modificando las redes fijas y móviles de los operadores de telecomunicaciones con visión a mejorar el uso de los recursos y adaptar las redes. (ITU-T Y.3101, 2018)

3: Espectro para la 5G según UIT-R

El cambio en la quinta generación es el uso del espectro en frecuencias radicalmente más altas en el rango de ondas milimétricas. 3GPP ha decidido admitir el rango desde menos de 1 GHz hasta 52,6 GHz desde las primeras versiones de NR. Una de las principales razones de este cambio es la disponibilidad de grandes cantidades de espectro con anchos de banda muy grandes en el rango de varios GHz. Aunque el espectro de ondas milimétricas parece muy atractivo, también existen muchos desafíos. (Zaidi, y otros, 2018).

Los rangos de frecuencia que sugiere 3GPP están detallados más adelante desde la

Tabla 2.1. Definición de rangos de frecuencias para 5G 3GPP a la Tabla 2.3. Rango de Frecuencias FR1 para 5G 3GPP.

2.2.3 Servicios NR

En las redes 5G pueden desplegarse diferentes tipos de servicios: Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB) donde su principal característica es la obtención de frecuencias de bandas altas para brindar una gran cobertura y grandes velocidades, que también pueden estar presentes en diferentes tipos de zonas. Comunicaciones tipo máquina masivas (mMTC) relacionado con el Internet de las Cosas (IoT) que requiere conectividad inalámbrica para millones de dispositivos de bajo costo y bajo consumo de energía, donde destaca la mínima presencia de la interacción humana y Comunicaciones de baja latencia ultra confiables (URLLC) que requieren muy bajas latencias y un 99.99% de confiabilidad, que brindará apoyo a una gama de servicios modernos para dispositivos conectados sensibles a la latencia para desarrollar aplicaciones en un ancho espectro. (SUÁREZ CONDO, 2021)

2.3 INTERFACES POR ACCESO MÚLTIPLE

Es una técnica desarrollada para que los usuarios puedan transmitir o recibir datos conectados desde un mismo medio simultáneamente evitando colisiones entre ellos, mejorando la calidad de servicio. Entre los cuales se destacan los siguientes:

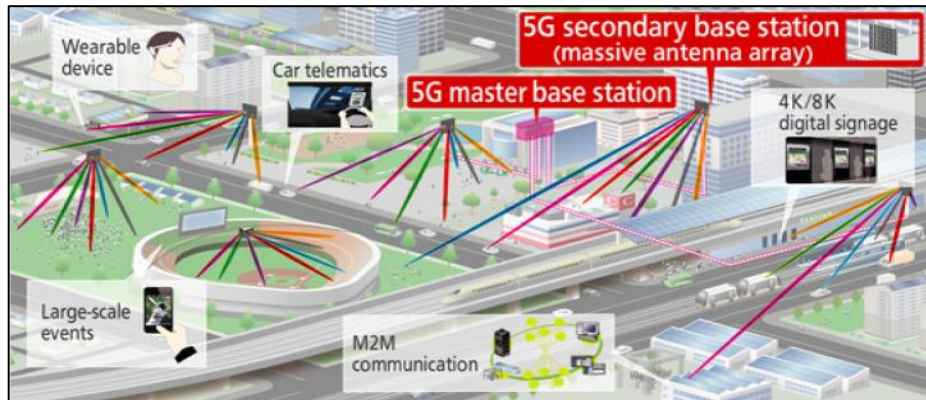
2.3.1 Massive MIMO

Entradas-Múltiples y Salidas-Múltiples Masivas (mMIMO) significa mayor espectro radioeléctrico y mayor cantidad de antenas ubicadas en la estación base. Tiene como base primordial administrar un volumen de tráfico más eficiente que las anteriores generaciones de red móvil, por ello conlleva a obtener varias decenas de antenas para poder adecuar más señales y que un mayor número de usuarios estén conectados a internet sobre un núcleo de enlace inalámbrico. (Peliza, Dufour, & Serra, 2019)

En la figura 2.1 se ilustra la funcionalidad al realizar una comunicación mMIMO

dentro de ciertos sectores de las zonas urbanas densas.

Figura 2.1. Mitsubishi Electric Corporation

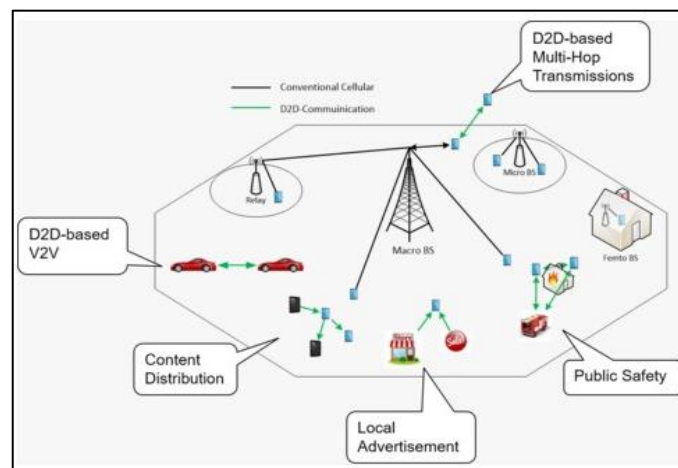


Fuente: (González, 2016)

2.3.2 Comunicación D2D

La interacción de dispositivo a dispositivo (D2D) se realiza de manera simultánea en donde suelen tener un alcance corto; por lo tanto, la eficiencia energética no es muy importante. En D2D, se espera que los requisitos sean altos en cuanto a rendimiento, ya que la eficiencia espectral tendrá un papel importante. (Zaidi, y otros, 2018)

Figura 2.2. Infraestructura de red RAN y comunicación D2D



Fuente: (Klügel, 2016)

D2D comprende una comunicación directa entre los terminales sin la necesidad de comunicarse con las estaciones, además tiene como objetivos extender las capacidades, mejorar la eficiencia y evitar la pérdida de información en la transmisión y recepción de datos. Cabe destacar que esta red opera con espectros radioeléctricos que estén licenciados. (González, 2016)

2.4 AGREGACIÓN DE PORTADORAS

La agregación de portadora (CA) se usa para interconectar múltiples Componentes de Portadoras (CCs) del espectro libre; donde estas pueden ser intra-banda donde dos o más CC se juntan en la misma banda e inter-banda donde dos o más CC de bandas diferentes se unen consolidando mayores velocidades de datos ya que la amplitud de banda es mayor. La agregación de portadoras una tras otra dentro de una banda es el caso más fácil de efectuar. En NR las CA están disponibles tanto en enlaces de subida y de bajada o en ambos casos, y además que una portadora pueda utilizar Duplexación por División de Frecuencia (FDD) y Duplexación por División de Tiempo (TDD). Donde también, se puede incorporar un espectro radioeléctrico licenciado y no licenciado. (Pérez Mantilla, 2019)

2.5 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico es limitado y debe ser regulado, provocando a su vez situaciones que se resuelven de manera costosa, lenta y que depende de cada país. (Montenegro, 2019)

Uno de los aspectos más importantes que tiene la UIT-R es tener una base de datos internacional que contiene todas las características para las asignaciones de frecuencias que son denominadas Registro Internacional de Frecuencias (MIFR) que se describe como el funcionamiento de radiocomunicaciones alrededor del mundo, otorgando un reconocimiento internacional y protección contra interferencias. Además Ecuador recibió de la UIT un informe de valoración en ciertas bandas que serán detalladas en el apartado 3.3 (UIT, 2021)

Actualmente, se define un despliegue de rangos de frecuencias por parte de 3GPP para la red 5G, que se divide en dos partes, FR1 y FR2, donde la banda se la simboliza con

la letra n; en la tabla 2.1 se indica el rango de bandas de frecuencias. En la tabla 2.2 y 2.3 indica su banda de operación tanto en enlaces de Bajada y enlaces de Subida, además de los modos de Duplexación por División de Tiempo, Duplexación por División de Frecuencia, Enlace Descendente Complementario (SDL), Enlace Ascendente Complementario (SUL).

Tabla 2.1. Definición de rangos de frecuencias para 5G 3GPP.

Designación de rango de Frecuencias	Rango correspondiente de Frecuencias
FR1	410 MHz -7125 MHz
FR2	24250 MHz- 52600 MHz

Fuente: (3GPP TS 38.101-1, 2019)

Tabla 2.2. Rango de Frecuencias FR2 para 5G 3GPP.

NR Operating band	Uplink (UL) and Downlink (DL) Operating band BS transmit/receive UE transmit/receive $F_{UL_{low}} - F_{UL_{high}}$ $F_{DL_{low}} - F_{DL_{high}}$	Duplex Mode
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	TDD

Fuente: (SUÁREZ CONDO, 2021)

Tabla 2.3. Rango de Frecuencias FR1 para 5G 3GPP.

NR Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive / UE transmit $F_{UL,low} - F_{UL,high}$	Downlink (DL) operating band BS transmit / UE receive $F_{DL,low} - F_{DL,high}$	Duplex Mode
n1	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz -2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz - 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL

Fuente: (SUÁREZ CONDO, 2021)

De acuerdo a la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT), se define plantear en sus inicios de 5G utilizar tres tipos de bandas de frecuencias diferentes que son: Banda Baja de 700 MHz, Banda Media de 3.4-3.8 GHz y Banda Alta de 26 GHz. (SUÁREZ CONDO, 2021)

Ecuador cuenta con un espectro despejado de 3.3 GHz a 3.8 GHz, donde se ha considerado un ancho de banda entre 300 MHz a 500 MHz, por consiguiente se tiene un espectro liberado de 228.5 MHz en el rango de 3.3 a 3.6 GHz. También se detalla que la ocupación empezaría en un rango 3.3 GHz a 3.4 GHz consideradas como bandas medias (1 GHz a 6 GHz), ya que estas están libres y las demás bandas de espectro se encuentran ocupadas para servicios fijo y fijo por satélites. Finalmente ARCOTEL debe tener como objetivo poner a disposición al menos 100 MHz de espectro contiguo por operador. (GSMA, 2020)

2.6 MODULACIÓN PARA 5G

NR permite Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSK), Modulación de Amplitud en Cuadratura 16 (QAM), formatos de modulación 64QAM y 256QAM para enlace ascendente y descendente, como en LTE. Además, la Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK) se admite en el enlace ascendente para permitir una relación de potencia pico a promedio más reducida y una eficiencia mejorada en el aumento de potencia a velocidades de datos más inferiores, importante para los servicios de comunicación masiva tipo máquina. Es probable que NR amplíe en un futuro el conjunto de esquemas de modulación. (Zaidi, y otros, 2018)

2.7 FORMAS DE ONDA PARA NR

Prefijo Cíclico para Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (CP-OFDM) se utiliza como tecnología de acceso para 5G New Radio. Su funcionamiento es muy similar al de OFDM utilizado en LTE, sin embargo, CP-OFDM presenta un espaciado de subportadoras variable denominado “numerología”. Donde LTE usa una separación de subportadora fija de 15kHz, CP-OFDM puede utilizar 15kHz, 30kHz,

60kHz, 120kHz y 240 KHz. Cuando se cambia el espaciado de subportadora, la duración del prefijo cíclico por símbolo también cambia. (MPIRICAL, 2021)

NR aplica el prefijo cíclico CP-OFDM tanto para UL/DL hasta al menos 52,6 GHz. Esto contrasta con LTE, donde CP-OFDM solo se usa para transmisiones de enlace descendente y la Dispersión de la Transformada Discreta de Fourier (DFTS-OFDM) se usa para transmisiones de enlace ascendente. Tener la misma forma de onda en ambas direcciones sintetiza el diseño general, especialmente con respecto a la red inalámbrica de retorno (Backhauling) y las comunicaciones de dispositivo a dispositivo (D2D). (Zaidi, y otros, 2018)

2.8 CONFORMACIÓN DE HACES

La conformación de haces (en inglés beamforming) es un sistema de señalización de tráfico para estaciones base celulares que identifica la ruta de entrega de datos más eficiente a un usuario en particular y reduce la interferencia para los usuarios cercanos en el proceso. Para las ondas milimétricas, que son ondas de alta frecuencia que se espera que desempeñen un papel clave en las redes 5G, la formación de haces se usa principalmente para abordar diferentes problemas como: las señales del móvil se obstaculizan por los objetos y tienden a decaer a largas distancias. En donde para contrarrestar, la formación de haces ayuda a orientar una señal en un haz centralizado que indica únicamente en la dirección de un usuario, en vez de transmitir en varios sentidos. (Amy Nordrum, 2017)

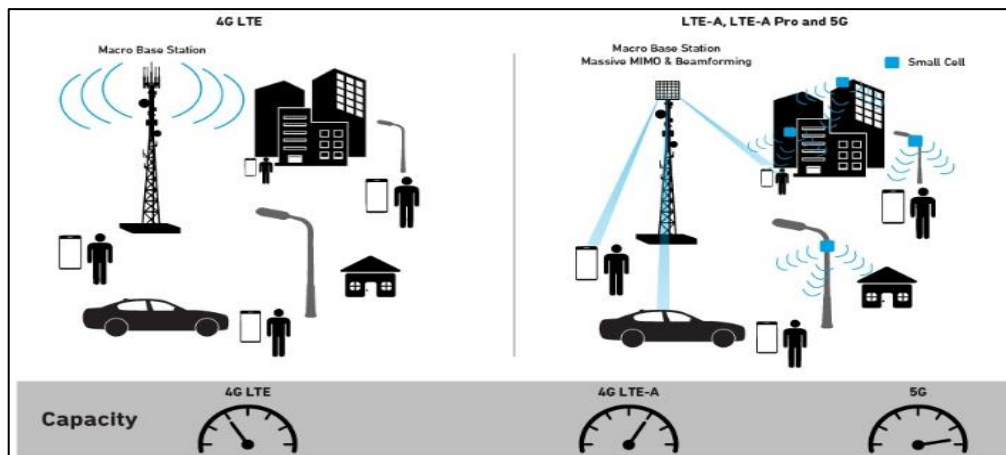
2.9 REQUIRIMIENTOS PARA 5G NR

Esta tecnología promueve a una red de telefonía móvil mundial altamente eficiente que consiste en la demanda de múltiples enlaces de coberturas, y donde los recursos sean optimizados. Entre los diversos componentes presentes dentro de la red 5G se destacan los siguientes.

2.9.1 Small Cells

Para mejorar la capacidad en alta demanda de usuarios y diferentes tipos de entornos se emplea el uso de small cells, se definen como la división de la red muchas celdas de menor tamaño. Estas provienen de tres tipos diferentes: las pico celdas, las micro celdas y las femto celdas, y se categorizan de acuerdo al tipo de zona para su implementación si es exterior o interior, su radio de cobertura, la cantidad de usuarios que puede tolerar y la potencia de emisión.

Figura 2.3. Comparación de capacidades de red 4G LTE-A y 5G con implementación de small cells



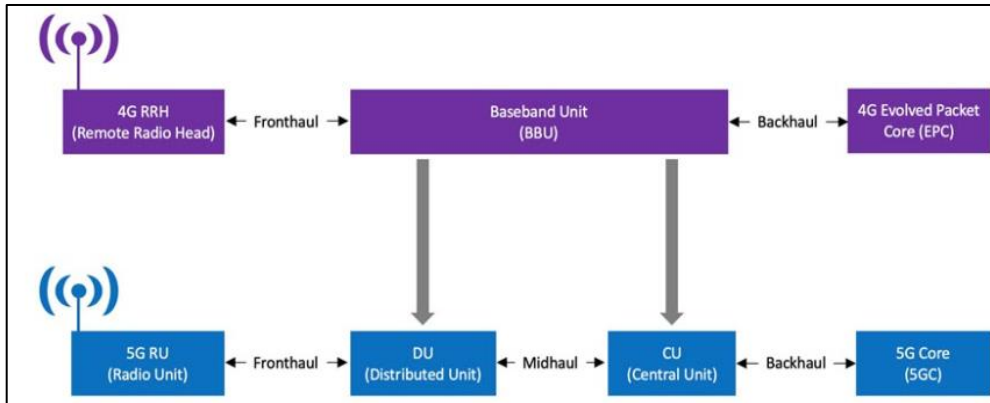
Fuente: (Kapilavai, 2019)

Su mayor utilización se dará en sitios como hotspots (coliseos, actos en espacios abiertos), es decir zonas donde exista gran afluencia de personas. Al emplear celdas pequeñas significa cubrir una alta demanda de usuarios a nivel de red. (Pérez Mantilla, 2019)

2.9.2 Enlaces Backhaul

Para los enlaces de comunicación de estación base a estación base es probable que el backhaul inalámbrico o el self-backhaul se realicen con implementaciones de celdas pequeñas. (Zaidi, y otros, 2018)

Figura 2.4. Transición de 4G a 5G



Fuente: (Lavallée, 2020)

En backhaul, existe bajas exigencias de latencia que se necesita para incrementar la capacidad de la red. Como se observa en la figura 2.4. en 5G NR, sucede una virtualización en unidades centralizadas (CU) y unidades distribuidas (DU) dentro de la BBU en comparación con la red 4G (Lavallée, 2020)

2.10 MEC EN REDES 5G

La informática de borde multiacceso (MEC) se emplea para coordinar la etapa de vida de las aplicaciones, además es fundamental para la arquitectura y la interconexión con la red 5G. Una de las características especiales, consiste en que las aplicaciones obtengan información contextual y entendimiento en tiempo real de su entorno local empleando interfaces de programación de aplicaciones (API) el cual permite que el usuario con dispositivos denominados UE interactúen con la red central de 5G de una manera coordinada para mantener un enfoque eficiente con respecto a la nueva tecnología. (Featherstone & Fang, 2018)

2.11 NFV

La virtualización de funciones de red (NFV) divide el software del hardware reemplazando ejecuciones como software virtualizados. Estas funciones son más exigentes que la mayoría de las aplicaciones de TI, lo que significa que la

virtualización NFV implica requerimientos específicos, entre los que se incluye: Capacidad de ampliación, conectividad en un entorno distribuido, seguridad, conexiones con las redes tradicionales, prestaciones fiables, políticas de tráfico, funciones y responsabilidades cambiantes. (Zambrano, 2016)

2.12 RED RAN

La arquitectura RAN separa el plano del usuario del plano de control. El regulador RAN permite permutar mensajes de datos de usuario mediante un rectificador de una Red Definida por Software (SDN) y un segundo grupo a través de una interfaz relacionada en control. Esta desintegración acepta que la RAN sea más manejable y se acople a las técnicas de virtualización de funciones de red (NFV), como el corte de red, y mMIMO que son fundamentales para 5G. (TechTarget, 2020)

2.13 ARQUITECTURA DEL SISTEMA 5G

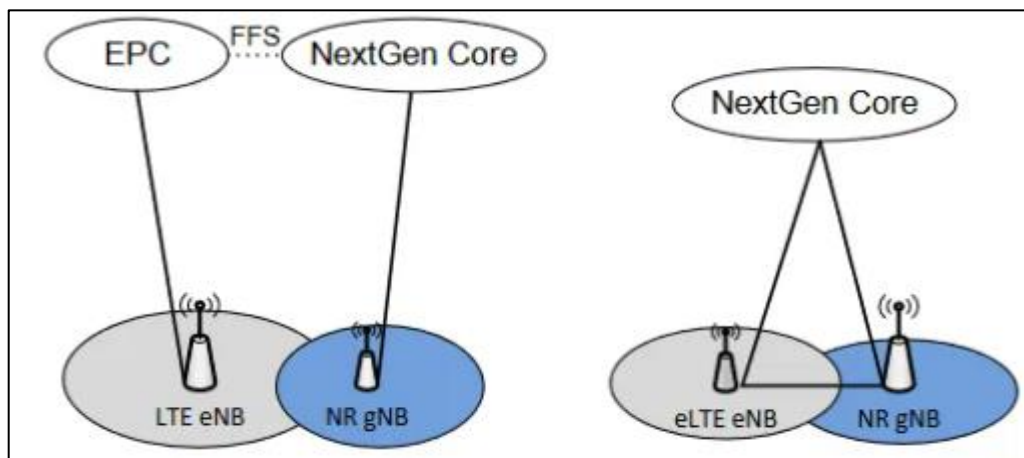
2.13.1 Conexión al núcleo de red

El núcleo de red enlazan las RAN a las redes centrales. La fibra es el material que se utiliza para enlazarse al núcleo de red, debido a su alta capacidad, su excelente fiabilidad y su facilidad para resistir tráfico de muy exigente demanda. Pero, esto no sucede en toda condición, ya que este no promete una cobertura constante en todas las ciudades en las que ha planteado implementar las redes 5G, donde los sitios más afectados serían las zonas suburbanas y rurales. Otras alternativas que tiene la fibra para realizar esta conexión al núcleo de red pueden ser incluidas las microondas punto a multipunto (PMP) y las ondas milimétricas (mmWave). (ITU-R M.2412-0, 2017)

2.13.2 Estación Base para 5G

La nueva tecnología de acceso por radio para 5G se llama “NR” y reemplaza a “LTE”, y la nueva estación base se llama Nodo B de Siguiete Generación gNB (o gNodeB) y reemplaza al eNB (o eNodeB). Estas son estaciones bases inalámbricas que transmiten y reciben comunicaciones por medio de la red móvil y el UE. (keysight Techonologies, 2019)

Figura 2.5. Estaciones base 4G y 5G conectadas a su núcleo de red.



Fuente: (5G NETWORKS, 2019)

Las radios gNodeB cuentan con radio definida por software (SDR) con varias opciones MIMO, y mMIMO para capacidades más altas. El uso de SDR avanzado permite una migración sin problemas de la red 4G LTE actual a una implementación inicial de 5G NSA (4G eNodeB más 5G-NSA gNodeB combinados en cada sitio) a una red 5G autónoma (SA) pura utilizando solo radios 5G NR. Esta capacidad de hoja de ruta es única en la industria celular y preserva la inversión del operador en hardware, equipo y tiempo de instalación. (5G NR Radios for Fifth Generation Networks, 2020)

Non-standalone NR (NSA NR) es una implementación de red 5G que usa radio 4G LTE existente y plano de control de red central de paquetes evolucionado, pero también permite a los operadores comenzar las pruebas iniciales utilizando UE 5G y plano de datos 5G (o usuario). La configuración de implementación de red 5G Standalone NR (SA NR) es aquella donde el gNB, no necesita asistencia 4G para




conectarse a la red central; el 5G UE se conecta a la red central 5G de próxima generación (NGC o NGCN). (keysight Technologies, 2019)

- **Recomendación para una implementación 5G**

En la actualidad existen diversos fabricantes que siguen desarrollando equipos y tecnología para implementar una estructura adecuada para 5G, mediante el cual se utilizará necesariamente la tecnología tipo mMIMO con capacidades en sus antenas 4T4R y 8T8R, según el tipo de modelo que se necesite.

Para el tema de ahorro de costos en construcción, operación y espacio la empresa china Huawei empezó a desarrollar tres formas de antenas 1+1 en la era 5G donde se lo presentó por primera vez en el foro global de tecnología e industria de antenas 2018. (Huawei Technologies Co., 2018)

Tabla 2.4. Tecnología de Antenas 1+1 propuesta por Huawei para 5G

		
<p>1 + 1 Lado a Lado Se manejan dos polos para extender antenas pasivas y 5G mMIMO, que son adaptables a ambientes donde el espacio del sitio es adecuado.</p>	<p>1 + 1 Apilado Las antenas pasivas y 5G mMIMO se adecuan en un único polo en modo de apilamiento uno debajo de otro.</p>	<p>1 + 1 Mecánica Integrada Las antenas pasivas y mMIMO se muestra como una sola antena, lo que reduce la adquisición de licencias del lugar y disminuye los elementos en la torre.</p>

Fuente: (Huawei Technologies Co., 2018)

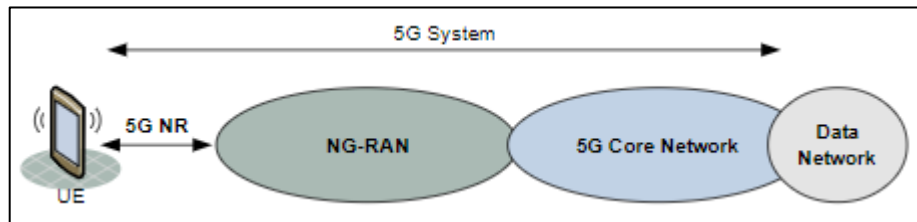
Los diferentes tipos de antenas que se enlistan en el Anexo 1 son todas diseñadas por Huawei con fines de uso de la red de quinta generacion y MIMO:

2.13.3 Infraestructura e Interconexión de una red 5G

La Figura 2.6 muestra la asociación de una arquitectura de alto nivel que conforma un Sistema 5G. Los tres componentes principales son:

- 5GC (Red Central 5G).
- NG-RAN (Próxima Generación - Red de Acceso Radio).
- 5G NR (Nueva Radio)

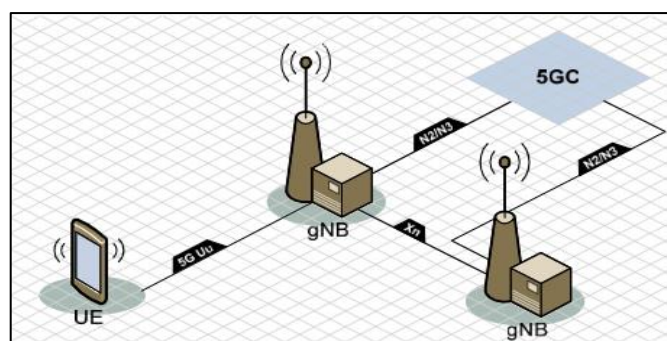
Figura 2.6. Arquitectura de alto nivel del sistema 5G



Fuente: (MPIRICAL, 2019)

- **Arquitectura NG-RAN**

Figura 2.7. Componentes clave de NG-RAN.



Fuente: (MPIRICAL, 2019)

Equipo de usuario (UE): El dispositivo del cliente 5G, en sí será responsable de la

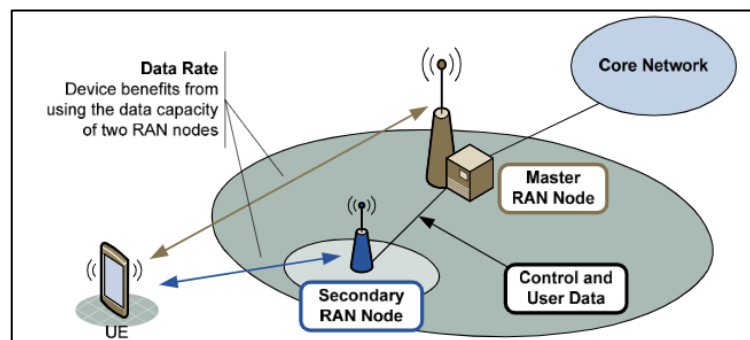
transferencia de datos bidireccional a través del 5G NR, que incluye soporte para seguridad 5G y conectividad dual.

Estación Base gNB: Proporciona cobertura de radio 5G a dispositivos 5G, lo que admite la programación de datos del plano del usuario. El gNB también puede admitir conectividad dual, si se implementa en la red. (MPIRICAL, 2019)

- **Dual Connectivity (DC)**

Conectividad Dual es una tecnología que se introdujo para admitir velocidades de datos más altas en LTE. Como muestra la Figura 2.8, una implementación de DC verá dos nodos RAN que brindan servicios de conectividad de datos al dispositivo. Básicamente, esto significa que además de la cobertura que puede proporcionar el primer nodo RAN, el dispositivo podrá beneficiarse de cualquier capacidad de datos adicional que pueda ofrecer el segundo nodo RAN.

Figura 2.8. Conectividad Dual.



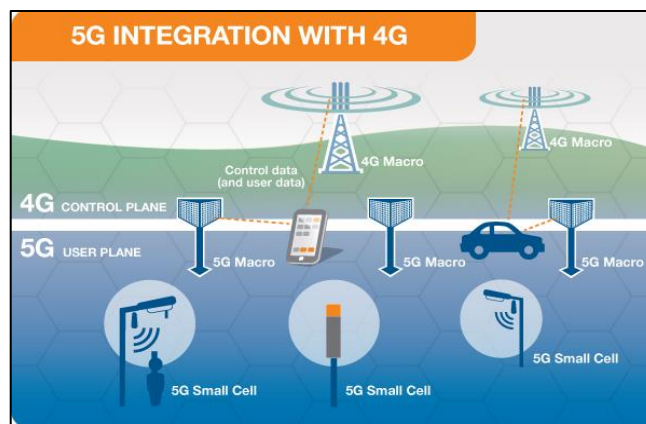
Fuente: (MPIRICAL, 2019)

Como se puede ver en la Figura 2.8, los nodos RAN se clasifican como un nodo RAN maestro o un nodo RAN secundario. El nodo RAN maestro controlará el nodo RAN secundario a través de una conexión de control entre los dos. Además, el maestro y el secundario también compartirán una conexión de plano de datos para la división de medios. (MPIRICAL, 2019)

- **Integración de tecnología 4G con 5G**

Cabe mencionar que hay varias opciones de DC disponibles para la implementación, según el tipo de tecnología y la combinación utilizada para el nodo RAN maestro y el nodo RAN secundario. Por lo tanto en uno de sus primeros despliegues para esta red 5G se realiza la interconexión de la siguiente manera en un eNB 4G mejorado, denominado a ng-eNB , que admite la radio LTE pero se conecta a la red central 5G. (MPIRICAL, 2019)

Figura 2.9. Integración de 5G con 4G



Fuente: (Mobile & Wireless Forum, 2020)

En la figura 2.9 se puede apreciar que al disponer de una conexión 5G, el dispositivo se enlazará a las dos redes; para facilitar el control de la señalización con 4G y para cooperar con una alta conexión de datos con 5G, añadiéndose así a la capacidad de la red 4G ya incorporada. (Mobile & Wireless Forum, 2020)

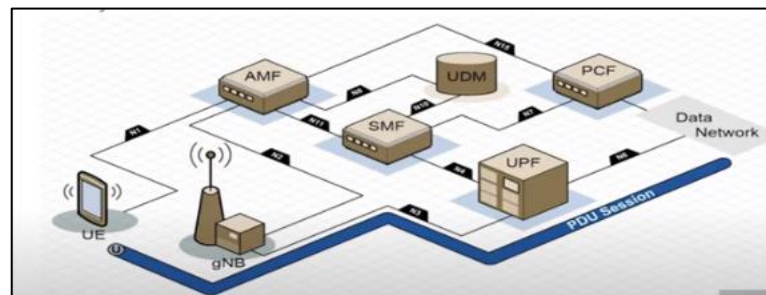
- **Planteamiento de simulación para el presente proyecto.**

Para el presente proyecto la infraestructura que se plantea simular es un sistema 5G SA, el único modo disponible dentro del software, donde permite agregar nuevas radio 5G denominado NR, donde se incrementa los recursos de operación, y que se necesitará rangos de frecuencia autorizados dentro del territorio nacional. Además un ejemplo de interacción completa de conexión es cuando el UE se conecta a través del

plano de control y de usuario gNB; finalmente la estacione se conecta a la 5GC (Red Central del Núcleo) que da el acceso al servicio de conectividad a internet. Cabe destacar que en el capítulo 5 se analizará el comportamiento que tendrán las estaciones gNB con el primer rango de frecuencias (FR1) que dispondrán en el país.

- **Arquitectura de la Red Central**

Figura 2.10. Arquitectura de la red central 5G



Fuente: (MPIRICAL, 2019)

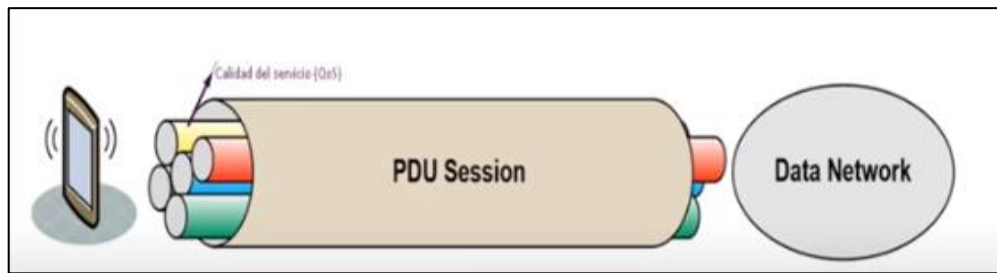
La red central 5G está diseñada para proporcionar acceso a una red de datos. Las responsabilidades clave incluyen autenticación y seguridad, administración de suscriptores y administración de portadores de datos. Dentro del núcleo, se utiliza NFV (virtualización de funciones de red) para proporcionar una arquitectura de red adaptable y altamente escalable. (MPIRICAL, 2019)

NGC se define a la red central 5G de próxima generación, es la parte de la red que proporciona servicios a los suscriptores móviles mediante la red RAN. (keysight Technologies, 2019)

- **Sesiones de PDU**

El sistema 5G está diseñado para proporcionar un servicio de conectividad PDU (Unidad de Datos de Protocolo) entre el dispositivo y una o más redes de datos, se establece una sesión de PDU por red de datos para un dispositivo determinado y facilitar su transferencia.

Figura 2.11. Sesiones de PDU y flujos de QoS.



Fuente: (MPIRICAL, 2019)

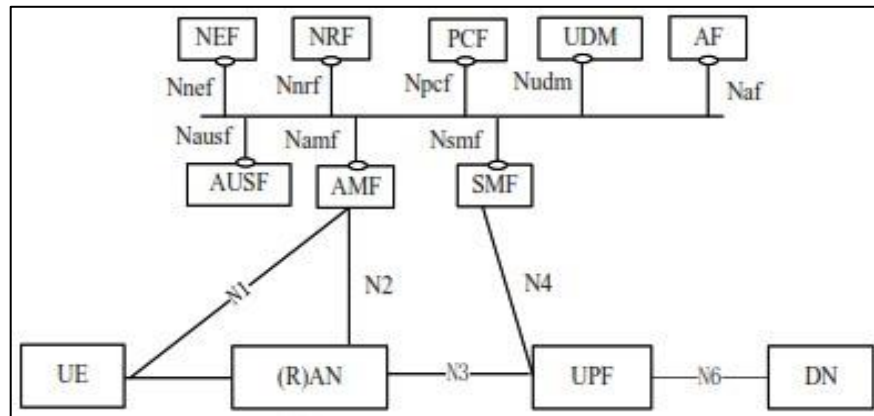
Dentro de una sesión de PDU, se pueden establecer varios flujos de QoS, cada uno con diferentes características, para adaptarse a los diferentes requisitos de transporte de los datos del plano de usuario. (MPIRICAL, 2019)

2.13.4 Funciones de Red 5G Core Network

La arquitectura del sistema 5G es otorgada y especificada por 3GPP el cual realizó un cambio estructural significativo en base a las comunicaciones integradas en la red central basándose explícitamente en la característica del sistema punto a punto, donde las funciones de la red central interactúan entre sí utilizando una Arquitectura Basada en Servicios (SBA). (Metaswitch, 2019)

En la figura 2.12 se ilustra las funciones para la Arquitectura Basada en Servicios en 5G:

Figura 2.12. Arquitectura basada en servicios 5G (SBA).



Fuente: (Wilke & Ericsson, 2017)

A continuación se detalla las distintas funciones pertenecientes al núcleo de red 5G:

UPF: Función del plano de usuario, dispone del anclaje de plano de usuario en el núcleo de 5G. (SUÁREZ CONDO, 2021)

NRF: Función de repositorio de red, mantiene un repositorio actualizado de todos los elementos 5G disponibles en la red del operador junto con los servicios proporcionados por cada uno de los elementos en el núcleo 5G. (Oracle Communications, 2019)

NEF: Función de exposición de red, se define como el intercambio de información entre el usuario y los operadores móviles que proporcionan los servicios, además bajo que protocolos o reglas funcionan. (SUÁREZ CONDO, 2021)

AUSF: Función de servicios de autenticación, verifica la identidad del equipo y las autorizaciones de los diversos servicios para que el usuario pueda acceder. (SUÁREZ CONDO, 2021)

NSSF: Función de selección de segmentos de red, tiene una sección de red en específica donde estas están previamente establecidas y dedicadas a una sección en particular. (SUÁREZ CONDO, 2021)

AMF: Función de gestión de acceso y movilidad, tiene las condiciones para mantener las velocidades y de no ser el caso pasar a un gNB que cumpla con estas condiciones; además permite la utilización del handover. (SUÁREZ CONDO, 2021)

PCF: Función de control de políticas, realiza procesos de ejecución de tareas y las funciones dentro del sistema, en el caso de algún fallo se ejecutarían protocolos según la 3GPP. (SUÁREZ CONDO, 2021)

AF: Función de aplicación, considerado subsistema multimedia IP (IMS) de red de datos, diseñada para crear redes estandarizadas, simples y escalables que permitan implementar amplias aplicaciones multimedia. (SUÁREZ CONDO, 2021)

UDM: Gestión de datos unificado, es una prioridad importante en la seguridad de la red y de los usuarios disponibles, mientras la transferencia de paquetes de datos está funcionando. (SUÁREZ CONDO, 2021)

SMF: Función de manejo de sesiones, administra las puertas de enlace y las interfaces desde el plano de control, además de controlar el tráfico según la función que se está ejecutando. (SUÁREZ CONDO, 2021)

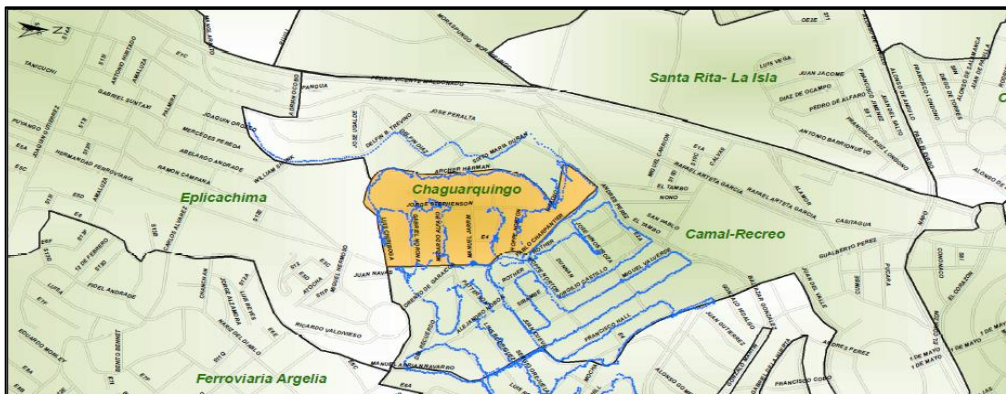
CAPÍTULO 3

3. DISEÑO

3.1 DELIMITACIÓN DEL SECTOR

El desarrollo y planeación del proyecto se basó en la limitación de la sectorización de recolección establecido por la empresa pública Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito (EMASEO EP). El mapa de referencia utilizado fue diseñado por la Escuela de Ciencias Geográficas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Figura 3.1. Sectores de recolección establecidos por EMASEO EP mapa N.10




Fuente:(Díaz, 2013)

De acuerdo a la Figura 3.1 se tomó en cuenta las calles más importantes para el diseño que son las siguientes: Pedro Vicente Maldonado, Dr José Peralta, Adriano Cobo y Av. Gualberto Pérez. Cabe recalcar que el Centro Comercial el Recreo no ha sido tomado en cuenta ya que pertenece a otro sector según el mapa de referencia mencionado anteriormente.

3.1.1 Cobertura teórica

A continuación se muestra la zona a analizar en el presente proyecto donde los límites están ilustrados por líneas azules, esto de acuerdo a las calles y avenidas mencionadas.

Figura 3.2. Vista Satelital 3D de Google Maps. Distancia Total para la cobertura:  3.12 Km



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Como se puede observar en la imagen se utilizó herramientas de medida proporcionada por Google Maps, donde se obtiene un perímetro total de cobertura de 3.12 Km. Este método virtual, posterior simulación y análisis se realiza debido a la grave situación de salud mundial que comenzó en el 2019 y que al momento de iniciar el presente proyecto no ha terminado.

3.2 PARÁMETROS CONSIDERADOS DE DISEÑO

De acuerdo al concepto de redes heterogéneas existen tres tipos de células pequeñas que son utilizadas en la implementación de tecnología de redes móviles dependiendo de las zonas, capacidad de cobertura, etc. El colocar una celda pequeña significa velocidades altas de transmisión de datos, extensión de vida útil de baterías, acogida de alta demanda de usuarios. El tipo de celda que se consideró a utilizar en este diseño fueron micro celdas debido a que se utiliza en entornos exteriores, para zonas urbanas y urbanas densas adecuadas al sector donde se realizará el respectivo análisis según la Recomendación UIT-R P.1411-9 que a continuación describe tipos de celda, los radios de cobertura y posición típica de antenas.

Tabla 3.1. Definición de tipos de célula según UIT-R P.1411-9

Modelo de celda	Radio de la celda	Condición representativa de la antena en la estación de base
Micro celda	0,05 a 1 km	Para exteriores; colocada por arriba del nivel medio de los techos; las alturas de las antenas de la estación base pueden ser superadas por los edificios
Micro celda urbana densa	0,05 a 0,5 km	Para exteriores; colocada por debajo del nivel medio de los techos
Pico celda	Hasta 50 m	Para Interiores o exteriores (montada por debajo del nivel máximo de los techos)

Fuente: (UIT-R, 2017)

Se consideró para este diseño un radio promedio de 0.120 Km, es decir un diámetro de 0.240 Km por cada celda según la tabla 3.1, donde menciona que para zonas urbanas densas se utilizan micro celdas de un radio hasta 0.5 Km según UIT-R P.1411-9. Considerando que además en el software ICS TELECOM PRO permite simular un rango mínimo por diámetro de celda de 0.240 Km.

3.2.1 Casos típicos según la gama de frecuencia

El modelo aplicable puede depender de un conjunto de frecuencias, por ejemplo, ondas decimétricas (UHF), ondas centimétricas (SHF) y ondas milimétricas (EHF). En el conjunto de frecuencias de ondas decimétricas, se estima condiciones de LoS y NLoS. En cambio para la propagación en ondas milimétricas, sólo se analiza la LoS. En este último conjunto de frecuencias se conjetura también la atenuación por el oxígeno y los hidrometeoros. (UIT-R, 2017)

El sector El Recreo es considerado como zona urbana densa (gran cantidad de afluencia de personas y residencias). Para este caso una opción que se podría utilizar la recomendación de la ITU P.1411-10 en donde menciona que para radio de cobertura hasta 0,5 Km es considerado como micro celda, también cabe destacar que se ha

elegido diseñar para casos de propagación para exteriores a corto alcance.

3.2.2 Planteamientos para modelados de propagación

Los modelados propuestos para los sistemas 5G varían según el escenario y situación con Línea de Vista (LOS) y Sin Línea de Vista (NLOS) y no existirá un único modelo para ambas situaciones, por lo cual se han expuesto algunos para frecuencias altas de operación como a los respectivos escenarios en los que se apliquen. Estos pueden ser: Modelo de pérdida de trayectoria de distancia cercana en espacio libre (CI), Modelo de distancia cercana de referencia en espacio libre con exponente de pérdida de trayecto dependiente de la frecuencia (CIF) y Modelo de pérdida de trayecto Alpha-Beta-Gamma (ABG) . (García F. , 2016)

De acuerdo a las recomendaciones que proporciona la ITU-R los modelos a considerar por propagación serán proporcionados por el software de simulación, que en el capítulo 4 se detallará la opción utilizada para el presente proyecto.

3.2.3 Aspectos básicos para la simulación

Para el presente proyecto se utilizó la disponibilidad de rango de frecuencia FR1 con una banda de operación n78 correspondiente a un rango comprendido tanto Enlace de Subida (UL) y Enlace de Bajada (DL) de 3.3 GHz a 3.8 GHz con un modo de duplexación TDD, un SCS (Espaciado de subportadora) de 60 KHz con un ancho de banda del canal de 100 MHz, estos datos se especifican en el capítulo 4, en la Tabla 4.2. Anchos de banda de canal para cada banda NR según la recomendación de la especificación técnica ETSI TS 138 101-1 V15.7.0. (3GPP TS 38.101-1, 2019)

Este rango de frecuencia es utilizado para cumplir con la capacidad de satisfacer la demanda de usuarios conectados, altas mejoras en la calidad de servicio, menos tiempo de retardo y un despliegue masivo de micro celdas.

3.2.4 Intensidad de recepción

La intensidad de señal representa la calidad de señal que recibe el móvil. La manera en que se mide esta intensidad es de forma escalar logarítmica (dBm) donde se puede apreciar valores que van desde 0 (cobertura excelente teórica) a valores máximos de -120 dBm (valor de cobertura nulo o sin cobertura). (García A. , 2018)

A continuación en la tabla 3.2 se indican los valores de intensidad con los que trabajan las dos tecnologías de red móvil 3G y 4G conocidas actualmente.

Tabla 3.2. Tipos de Intensidad de señal para 3G y 4G.

	Excelente	Buena	Aceptable	Mala	Sin cobertura
3G	-70 dBm o más	De -71 a -85 dBm	De -86 a -100 dBm	De -101 a -109 dBm	-110 dBm o menos
4G LTE	-90 dBm o más	De -91 a -105 dBm	De -106 a -110 dBm	De -111 a -119 dBm	-120 dBm o menos

Fuente: (Ramirez, 2020)

En esta tabla se indican los cinco niveles de intensidad de señal que actualmente las redes 3G y 4G despliegan en cada una de sus radios enlaces, los mismos que serán considerados para el análisis correspondiente en el capítulo 4.

3.2.5 Intensidad de campo

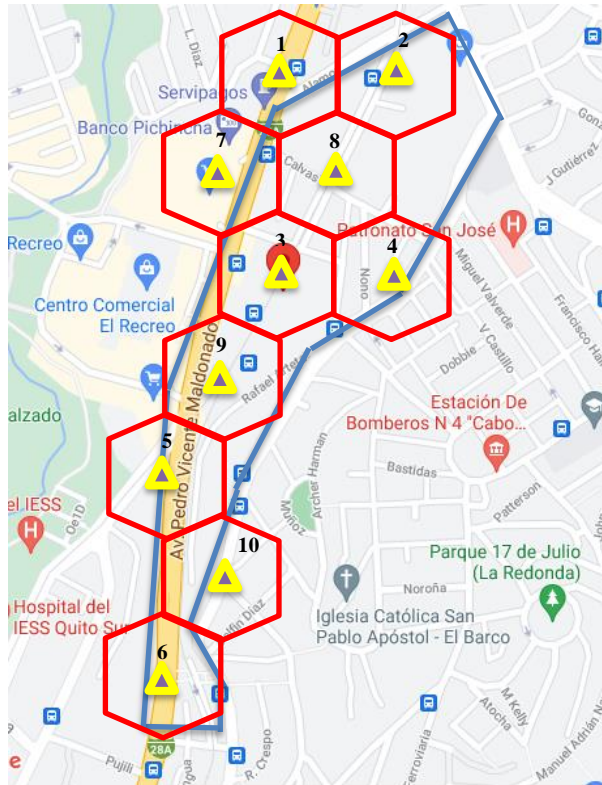
Este valor es necesario tomarlo en cuenta para el presente proyecto debido a que proporciona una recepción satisfactoria en diferentes tipos de condiciones estas pueden ser ruido atmosférico, artificial e interferencias del entorno. Para este proyecto se tomó en cuenta un valor de intensidad de campo de 42 dBu V/m, valor muy utilizado en simulaciones 4G que parcialmente se podría ocupar para el análisis de esta nueva

red de tecnología móvil. Se espera que en sus primeros despliegues la tecnología que se llegue implementar sea 5G NSA. (Toapanta K. , 2019)

3.3 ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS

En la figura mostrada a continuación, obtenida a través de la herramienta Google Maps se detalla en un plano 2D el sector que será analizado donde las celdas de color rojo ilustra el área que tendrá cada micro celda; los triángulos en color amarillo representan las estaciones base gNB. El total de micro celdas a simular son 10, a través de software de ingeniería ICS TELECOM, en el sector establecido previamente el cual contiene una superficie total de 250032.63 m².

Figura 3.3. Distancias de coberturas de micro celdas en el sector el Recreo.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Para lograr lo mostrado en la figura 3.3 se realizó varias pruebas tanto con el software ICS TELECOM PRO y Google Maps para que exista un diseño adecuado que se acople al sector delimitado y cumpla las normativas a través del diseño de celdas (hexágonos); dando así como resultado el presente diseño.

En la tabla 3.3 se despliega la asignación de frecuencias con un rango de 3 hasta 5.9 GHz evitando así el problema de interferencias por cada micro celda, cada una de estas estará conformada por tres antenas sectoriales cada una con un ancho de banda de 100 MHz. Cabe aclarar que este rango es con fines de simulación en donde este dependerá en un diseño real de las operadoras que decidan incorporar este nuevo sistema de red 5G.

Cabe resaltar que en Ecuador el ente del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (MINTEL) a partir del 1 de Enero del 2020 amplió 20 años las licencias de atribución del espectro radioeléctrico. La subasta de los rangos de 700 MHz, 2.5 GHz y de 3.5 GHz se pospuso desde el año 2020, sin embargo ARCOTEL firmó un Acuerdo Ministerial 012-2020 de MINTEL en el que se asignará temporalmente por un plazo de 1 año los rangos mencionados anteriormente a las compañías de Telecomunicaciones, con la posibilidad de extender este tiempo. (MINTEL, 2021)

Tabla 3.3. Asignación de frecuencias

Nro. Microcelda	CS (Callsign)	Frecuencia(GHz)
1	Antena 1	3
	Antena 2	3.1
	Antena 3	3.2
2	Antena 4	3.3
	Antena 5	3.4
	Antena 6	3.5
3	Antena 7	3.6
	Antena 8	3.7
	Antena 9	3.8
4	Antena 10	3.9
	Antena 11	4
	Antena 12	4.1
5	Antena 13	4.2
	Antena 14	4.3
	Antena 15	4.4
6	Antena 16	4.5
	Antena 17	4.6
	Antena 18	4.7
7	Antena 19	4.8
	Antena 20	4.9
	Antena 21	5
8	Antena 22	5.1
	Antena 23	5.2
	Antena 24	5.3
9	Antena 25	5.4
	Antena 26	5.5
	Antena 27	5.6
10	Antena 28	5.7
	Antena 29	5.8
	Antena 30	5.9

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

3.4 ZONAS DE SOMBRA

En el sector Recreo de la ciudad de Quito se pudo determinar que no existen túneles ni áreas subterráneas en los cuales se pierda o no exista conexión alguna con los dispositivos móviles, pero en ocasiones de efecto de movilidad cuando un UE cambia de estación base a otra existirá un caso de intensidad de señal aceptable al estar alejado de las micro celdas 2, 4 y 8, niveles los cuales se analizarán en el capítulo 4; sin embargo el móvil no llegará a su completa desconexión. Esto se solucionará colocando una nueva estación base en la parte derecha de la micro celda número 8; consecuentemente se recomendaría ubicar estaciones estratégicamente en áreas donde exista mayor demanda de usuarios, sin adecuar una delimitación de sectores. Este análisis y simulación se enfoca en un diseño apropiado, enfocado en solucionar la mayor cantidad de los requerimientos de cada usuario simultáneamente, como se puede apreciar en la figura 3.4 las celdas 1 y 7 brindarán una mejor calidad de servicio lo más cerca posible a los usuarios que transiten en este sector.

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN

En el presente capítulo, se desarrolla la simulación de diseño de la tecnología 5G, que indicará rangos de intensidad de recepción que llegará a percibir los UEs dentro de Quito sector el Recreo, para esto se utilizará software para ingeniería.

4.1 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Se utiliza el software ICS Telecom Pro de la empresa Francesa ATDI, programa adquirido por la Universidad Politécnica Salesiana y que se encuentra a disposición de los estudiantes, el cual posee varias herramientas en lo que respecta a las simulaciones de redes móviles.

Para simular una cobertura real y eficiente este tipo de software que es licenciado contiene un modelo genérico basado en mapas que incluye componentes necesarios para cubrir escenarios de propagación de unos 30 MHz a 350 GHz que es un requisito importante debido a que la tecnología 5G utiliza una alta gama de frecuencias, zona de estudio y terreno en que se encuentra una estación gNB. (Arguero, 2017)

Para llevar a cabo el análisis de estos parámetros se debe tener en cuenta la cartografía, en este caso es el mapa de Ecuador_60m que es proporcionada por la Universidad, en donde se desarrolla el presente proyecto de simulación.

4.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Para la implementación del proyecto simulado, se procedió a señalar y ubicar el centro teórico del sector delimitado como se indica a continuación el tipo de coordenadas geográficas en grados decimales que pertenece a la Nodo #3:

Todos los nodos estarán conformados de tres antenas sectoriales, una altura 15 m y un radio de 120 m.

Nodo #1:

- **Coordenadas del sitio:** -0.248928176, -78.520593550

Nodo #2:

- **Coordenadas del sitio:** -0.248927768, -78.518438745

Nodo #3:

- **Coordenadas del sitio:** -0.2523200453945227, -78.52070121489977

Nodo #4: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.252181725, -78.518438132

Nodo #5: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.255436520, -78.522747128

Nodo #6: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.258689994, -78.522749867

Nodo #7: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.250555363, -78.521670649

Nodo #8: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.250554952, -78.519515842

Nodo #9: Conformada de tres antenas

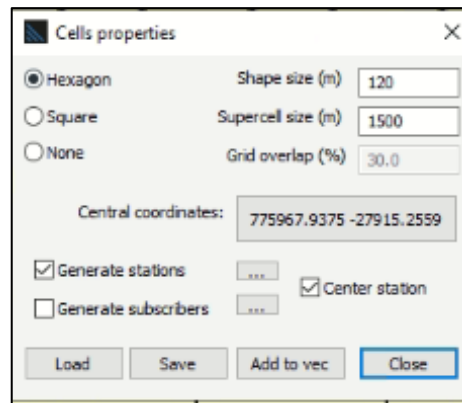
- **Coordenadas del sitio:** -0.253809328, -78.521670033

Nodo #10: Conformada de tres antenas

- **Coordenadas del sitio:** -0.257059992, -78.521669971

De acuerdo a este punto central se utiliza la herramienta cells para generar nueve estaciones bases distanciadas a 240 m.

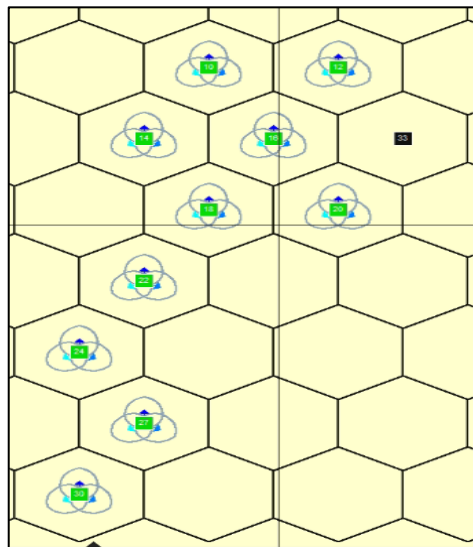
Figura 4.1. Propiedades para ubicación central de celda, y creación de micro celdas



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Se observa las propiedades de celda a configurar con un radio mínimo permitido por el software de 120 m, un tamaño de supercelda de 1500 m, coordenadas centrales pertenecientes a la Nodo #3 y su ubicación se la puede observar en la figura 3.4. El diámetro de la celda corresponde a la tabla 3.1 perteneciente Definición de tipos de célula según UIT-R P.1411-9.

Figura 4.2. Generaciones de celdas con estaciones base en ICS Telecom.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Para la implementación de los arreglos de antenas para cada estación se ha colocado uno conformado por tres antenas, usualmente dos son utilizadas para recepción y una

para transmisión. Tanto el tilt como el azimut se detallan en el apartado **4.4**.

4.3 PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN GENERAL

En esta sección se configura los respectivos valores para la simulación que comprende la nueva tecnología de red móvil 5G, su justificación y las diferentes recomendaciones proporcionadas por la ITU.

4.3.1 Parámetros Generales

En la tabla 4.2 destacan los valores para la simulación en el software y posteriormente se detallará su relación técnica de su uso.

Tabla 4.1. Parámetros de configuración general de las antenas

Parámetro	Valor
Señal	5G TDD
Potencia(W)	0.2
Ganancia (dBi)	16
Ganancia de la antena Rx (asumida) dBi	0
Pérdidas(dB)	1
Frecuencias(GHz)	Desde 3 a 5.9
Altura de la antena(m)	15
Ancho de banda (MHz)	100
Umbral de Cobertura (dBu V/m)	42

Elaborado por: Marlon Guerrero y Fabricio Ñacato

El parámetro de ganancia de la antena del equipo de usuario se asume un valor de 0 dBi, valor que se estima que es una ganancia ideal en un teléfono móvil conformado únicamente con una antena integral de acuerdo 3GPP TS 38.101-1 versión 15.7.0. (3GPP TS 38.101-1, 2019)

El estándar que ampara zonas del rango en distancia 200 a 1000 metros, con transmisión de potencia de 10 mW a 1W y altura para la colocación de antenas de 3 a 15 metros se cataloga como micro celdas. (Beciez Ordoñez, Flores Rodriguez, & Perez

Olivares, 2011)

Se propone una ganancia deseable de las antenas en el rango de 15 a 18 dBi, ya que estos valores son proporcionados por las antenas que soportan MIMO, y que posiblemente serán utilizadas en esta nueva tecnología (Pérez, 2019)

Se utilizó un rango comprendido de 3 GHz a 5.9 GHz de tal forma como se menciona en la sección 3, con un ancho de banda de 300 MHz por cada nodo.

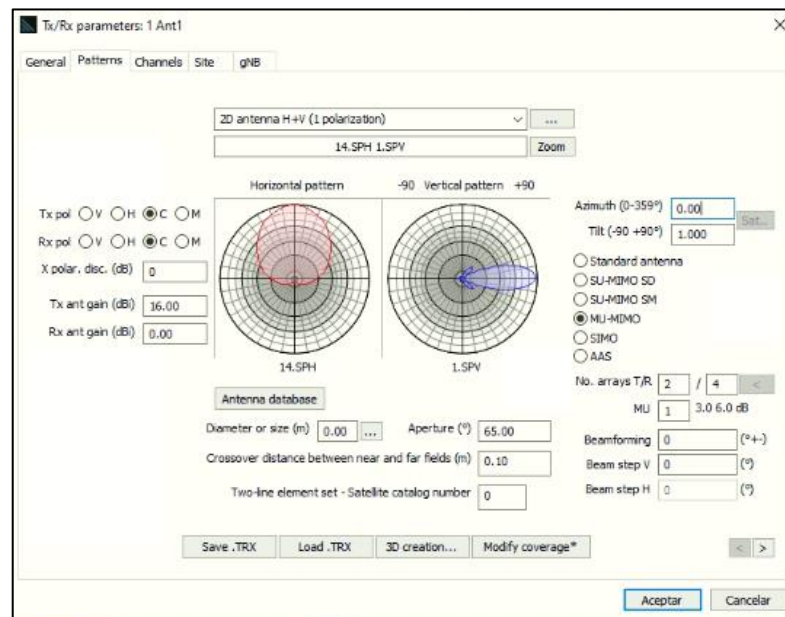
Para la simulación de cobertura del umbral de recepción mínima (Threshold) se utilizó un valor de 42 dBuV/m aprovechado para celdas conjuntas en ondas centimétricas, primordial para conceder una recepción adecuada en situaciones determinadas y de atenuaciones presentes en el entorno. (Espinosa & Mera, 2020)

Como apartado final de la configuración general se utiliza una ganancia de transmisión para las antenas 16 dBi de acuerdo a los rangos presentados en la Tabla 2.6. , que son valores promedio que ofrecen los actuales fabricantes de antenas para esta nueva tecnología 5G.

El parámetro “Pérdidas” mostrado en la tabla 4.1, equivalente a 1 dB es un valor que se puede llegar a tener en simulaciones, pero dependerá del entorno que en el que se implementará esta red móvil 5G, además de los obstáculos que se presenten en condiciones climáticas de la zona. (Guerrón & Romero, 2016)

4.4 CONFIGURACIÓN DE PATRONES DE RADIACIÓN

Figura 4.3. Configuración de patrones de radiación en las antenas.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Para la configuración de polarización de las antenas se considera necesario la utilización de polarización circular ya que tienen una respuesta igual a las antenas de polarización horizontal o vertical, diseñadas para ser compatibles con la polarización de la mano derecha o la mano izquierda en donde se adapta a diversas aplicaciones de conectividad inalámbrica. (SYSCOM, 2019)

La técnica utilizada al realizar este diseño es mediante sectorización, que consiste en emplear antenas con patrones de radiación directivos en lugar de omnidireccionales, con lo que se consigue reducir la C/I, por lo tanto hay menos señales interferentes. (Calvo & Muñoz, 2018)

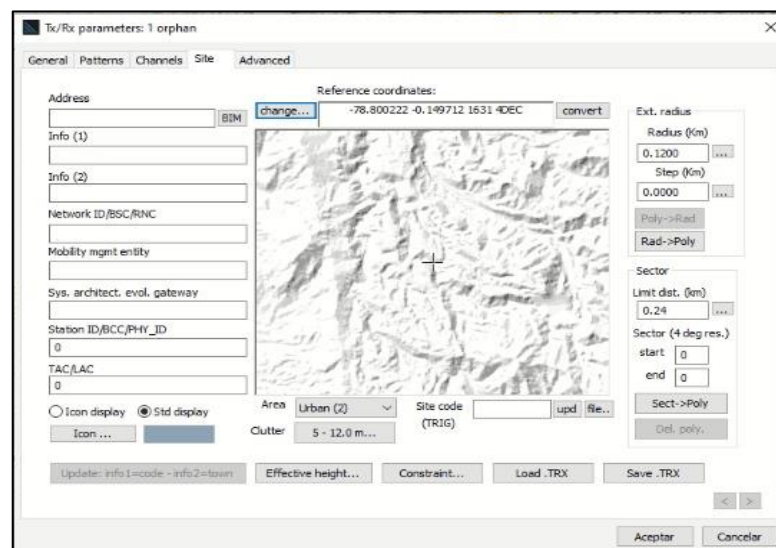
Se propone una orientación en las antenas con el parámetro Azimut de 120°, donde según la recomendación ITU-R M.2135-1 el rumbo de la antena se define como el ángulo entre el centro del lóbulo de la antena principal y una línea dirigida hacia el Este expresada en grados, es decir en dirección a las manecillas del reloj. Esta orientación es propuesta para el ámbito de las simulaciones, donde la dirección de

lóbulo central de la antena principal en cada sector apunta al lado correspondiente del hexágono. Además se propone un valor downtilt de 1° eléctrico que es consecuencia de un procedimiento aritmético utilizando el teorema de Pitágoras, considerando la altura de la antena 15 m y mediante una vista previa en la herramienta Google Earth se mide en un punto central de una celda hasta los tres puntos finales de cobertura de 730 m dando como resultado: $\tan^{-1}\left(\frac{15}{730}\right) = 1.18^\circ \approx 1^\circ$ (ITU-R M.2135-1, 2009)

La técnica utilizada de antenas en esta simulación es un Sistema de Antena MU-MIMO, debido a que los sistemas 5G actuales solo admiten un máximo de 16 capas. Actualmente, los UE solo son compatibles con la estructura de antena 2T4R, lo que significa entonces que MU-MIMO mejorará el rendimiento de la celda al utilizar los mismos recursos DL compartidos entre múltiples usuarios en la misma dirección del haz donde el caso de menor rendimiento requerido por usuario, es decir enviará más datos a más usuario en el mismo intervalo de tiempo de transmisión 5G NR (TTI). (5G WORLD PRO, 2021)

4.5 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETRO DE SITIO

Figura 4.4. Ventana de parámetro de sitio en ICS Telecom Pro.

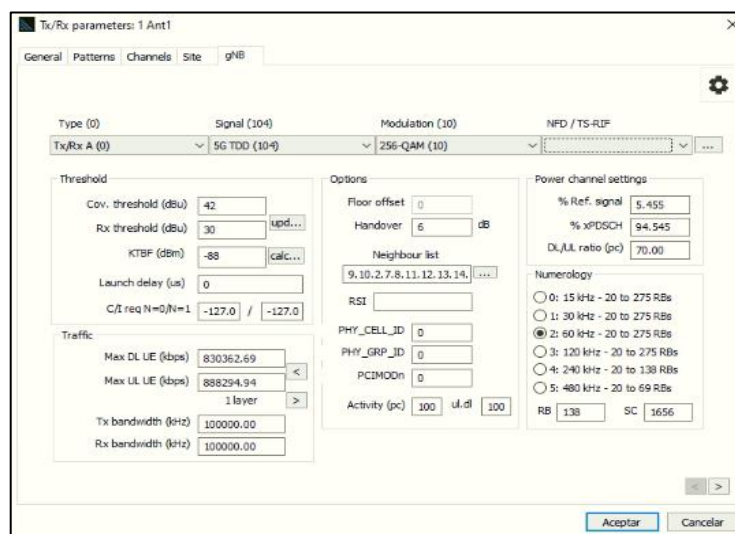


Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Los cambios que se realizan en este apartado es la extensión de radio de 120 m y los datos del límite del sector 240 m propuestos para cada micro celda. El tipo de área escogido es Urbano debido a que forma pequeña parte de la ciudad de Quito la cual está conformada por casas, calles, estaciones y sitios comerciales es decir donde existe alta demanda de usuarios.

4.6 CONFIGURACIÓN DE ESTACIÓN BASE gNB

Figura 4.5. Ventana de configuración 5G gNB en ICS Telecom Pro



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

La modulación adaptativa en 5G permitirá trabajar con de modulaciones de menor orden como 16QAM, o mediana orden de 64QAM y de mayor orden para diferentes aplicaciones que demanden más recursos. Por tal motivo la simulación de este proyecto se lo realiza utilizando una modulación digital altamente eficiente en el orden de 256QAM. (Carrión, 2019).

En la Figura 4.6 se observa la asignación automática del número total de 138 bloques de recurso, el número total de 1656 subportadoras y la separación entre subportadoras de 60 KHz según el ancho de banda de emisión configurado en el software.

Tabla 4.2. Anchos de banda de canal para cada banda NR

Banda de Operación / SCS / Ancho de Banda del canal UE													
Banda de Operación	SCS kHz	5 MHz	10 ^{1,2} MHz	15 ² MHz	20 ² MHz	25 ² MHz	30 MHz	40 MHz	50 MHz	60 MHz	80 MHz	90 MHz	100 MHz
n76	15	Yes	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
n77	15	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	—	—	—	—
	30	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	60	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
n78	15	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	—	—	—	—
	30	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	60	—	Yes	Yes	Yes	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
n79	15	—	—	—	—	—	—	Yes	Yes	—	—	—	—
	30	—	—	—	—	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	—	Yes
	60	—	—	—	—	—	—	Yes	Yes	Yes	Yes	—	Yes
n80	15	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	—	—	—	—
	30	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	—	—	—	—
	60	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	—	—	—	—	—	—

Fuente: (3GPP TS 38.101-1, 2019)

La numerología establecida para este proyecto es marcada por la tabla 4.2 recomendada por la ETSI 38 101-1 V15.7.0; por lo tanto demuestra que para el desarrollo de la nueva red móvil 5G se pueden escoger de acuerdo al rango de operación de bandas; que el presente caso analizado pertenece a la banda de operación n78 por este motivo se optó por elegir un espaciado de subportadora de 60 KHz.

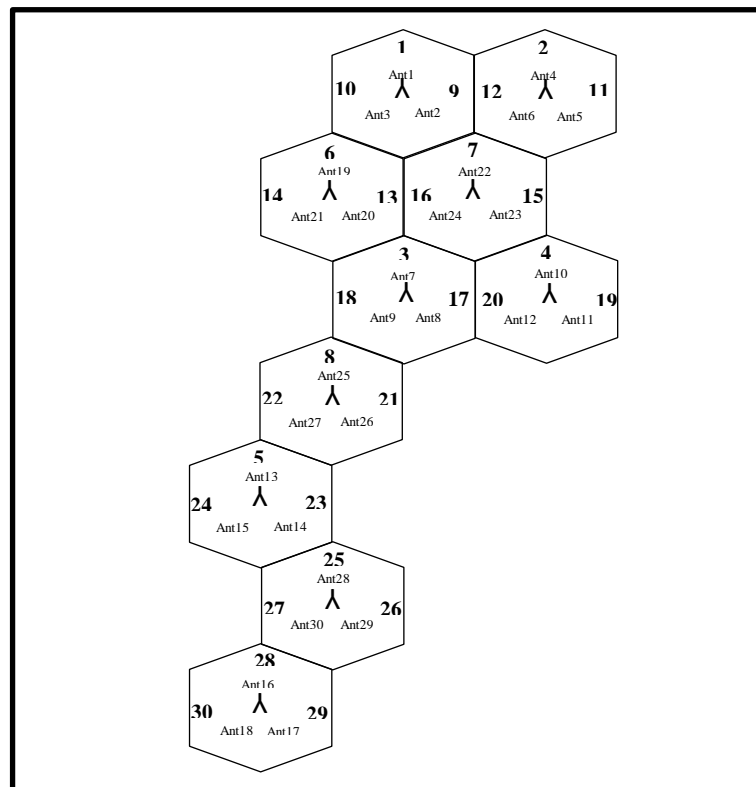
En la figura 4.5 se visualiza los valores establecidos por el software ICS TELECOM PRO con una numerología de 60 KHz con un rango de Bloques de Recursos (RBs) de 20 a 275

Un Canal Físico Compartido de enlace de Bajada (PDSCH) es calculado por el software en base a la numerología y ancho de banda escogida anteriormente. Obteniendo así un 94.545% de PDSCH y 138 Bloques de Recursos asignados.

El cálculo del deterioro del umbral del ruido térmico en el receptor (KTBF) tiene un valor de -88 dBm, esto varía de acuerdo al valor de temperatura ambiente y el factor de ruido. Un valor de 6 dB se utilizó en la configuración de HO (Handover) la cual permite la evaluación de las condiciones de la celda, este valor es referenciado para entornos urbanos dentro de la misma ciudad analizada y con el uso de frecuencias altas, este varia dentro de un rango de 0 a 15 dB. (Espinosa & Mera, 2020)

En la siguiente ilustración se muestra el diseño conjuntamente relacionado con Anexo 2. que permitirán la técnica del rehúso de frecuencias.

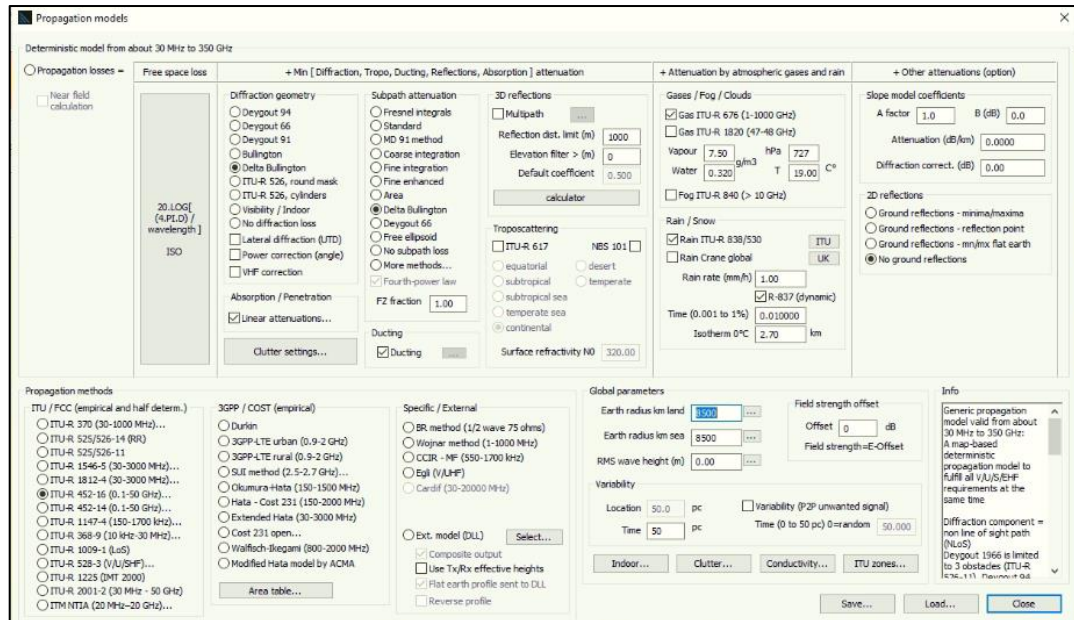
Figura 4.6. Células Conjuntas y sus respectivas Celdas Vecinas



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

4.7 CONFIGURACIÓN DE MODELADO DE PROPAGACIÓN

Figura 4.7. Ventana de modelos de propagación de ICS TELECOM PRO



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

El modo de propagación para esta simulación es la recomendación ITU-R 452-16 para frecuencias contempladas en el rango de 0.1 GHz a 50 GHz, utilizando el modelo Delta Bullington en pérdidas por difracción y atenuaciones por subruta, asignado automáticamente por el software, esto debido a que se encuentran relacionadas en la ITU-R 526-14 , 452-16, 1812-4; utilizadas en métodos de propagación. (ITU-R P.2001-2, 2015)

Para este nuevo sistema móvil de quinta generación se deberá tomar en cuenta las condiciones atmosféricas existentes en el sector debido a que influyen potencialmente en altas frecuencias, por lo tanto se acoge a lo sugerido en la ITU-R 676 para frecuencias contempladas entre 1 a 1000 GHz teniendo cifras de 7.5 g/m^3 , y 0.320 g/m^3 para el vapor, presentes en este sector de la ciudad de Quito. (UIT-R P.676-12, 2019)

Las configuraciones correspondientes al valor de la temperatura, presión atmosférica y promedio de lluvia, medidas en grados centígrados (°), hectopascales (hPa), milímetros por cada hora (mm/h) respectivamente; se obtienen en el sitio web legítimo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Por lo tanto los valores a considerar son 19 ° C, 727 hPa y 95 mm/h; Sin embargos estos podrían cambia según las precipitaciones y situaciones atmosféricas que se presenten en la ciudad de Quito, sector El Recreo. (INAMHI, 2021)

Para un modelo de atenuación específica debido a la lluvia se considera la recomendación ITU-R P.838-3, que está comprendida en el rango de 1 a 1000 GHz. (UIT-R P.838-3, 2005)

La recomendación anterior viene acompañada de la ITU-R P.530-16 que hace referencia al desvanecimiento por difracción debido a la obstaculización del camino ocasionado por situaciones desfavorables de propagación y atenuación por los gases atmosféricos. (UIT-R P.530-16, 2015)

Los datos de la intensidad de lluvia anual rebasada recomendada por la UIT-R P.837-7 la cual es utilizado para las predicciones de la atenuación y de la dispersión producida por la precipitación tiene un valor de 0,01% para el año medio. (UIT-R P.837-7, 2017)

Según datos proporcionados en el sur de Quito los datos climáticos más bajos que se han censado fue de 5° C a una altura de 2,75 Km todos estos datos son proporcionados por el INAMHI. (EL COMERCIO, 2021)

4.8 ANÁLISIS DE SIMULACIÓN TX/RX

Para ejecutar las simulaciones en este proyecto, se consideró los siguientes clutters, y valores de atenuaciones respectivos:

Tabla 4.3. Atenuaciones utilizadas en la simulación.

Categoría	Altura(m)	Atenuación (dB)
Residencias	3	7-9
Edificios	6	15
Vegetación	3	10-12

Fuente: (Arboleda & Espinoza, 2019)

Al configurar los parámetros de clutters dentro de un mapa significa resaltar la importancia que tendrán las atenuaciones al simular transmisión y recepción de datos en un sistema móvil avanzado, además describe al software que características de terreno tiene un sector en específico. En el presente proyecto se han analizado que existen tres tipos de clutters importantes que son los siguientes: alta cantidad de residencias conjuntas por cada cuadra, edificaciones utilizadas para servicios públicos y cierta presencia de vegetación en los bordes de cobertura. Sin embargo al no proporcionar este tipo de atenuaciones en una zona delimitada significaría que se encuentra en un área totalmente despejada, obteniendo resultados no favorables para una adecuada implementación de esta futura red móvil.

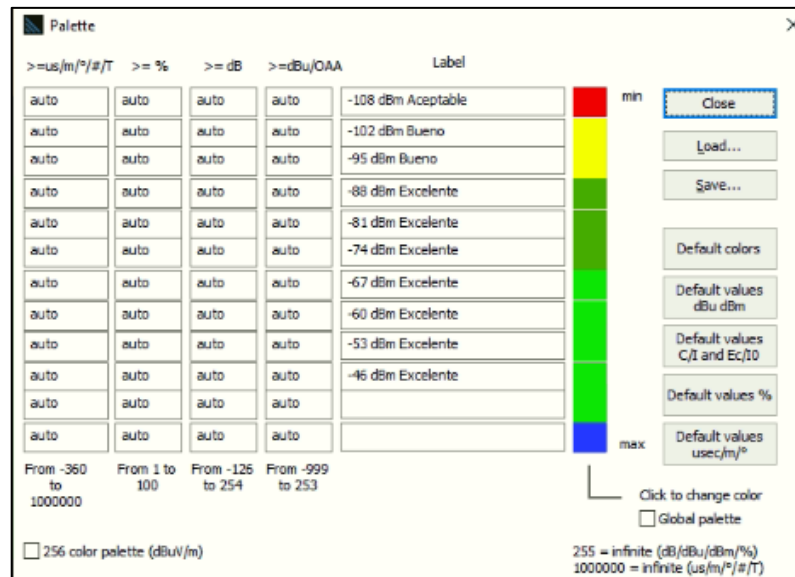
Figura 4.8. Ventana de configuración de clutters en ICS TELECOM PRO.

Name	dB/km - Atten (dB)	Clutter height	Reflection coef. (0-1)	Erlang/km ²	Surface factor	Diffraction factor	Stddev (dB)
open	0.0	0	0.250	1.0000	1.000	1.00	5.50
village	0.0	9.0	0.300	1.0000	1.000	1.00	5.50
suburban	0.0	0.0	0.300	1.0000	1.000	1.00	5.50
urban	0.0	0.0	0.300	1.0000	1.000	1.00	5.50
dense urban	0.0	0.0	0.300	1.0000	1.000	1.00	5.50
forest	0.0	12.0	0.111	1.0000	1.000	1.00	5.50
hydro	0.0	0.0	0.020	1.0000	1.000	1.00	5.50
high urban	0.0	0.0	0.300	1.0000	1.000	1.00	5.50
park/wood	0.0	0.0	0.080	1.0000	1.000	1.00	5.50
building	auto	15.0	0.252	1.0000	1.000	1.00	5.50

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 4.8 muestra las diversas atenuaciones que se puede colocar de acuerdo al sector en el que se encuentra, para el diseño se colocaron atenuaciones en dB en casas, bosques y edificios como se observa en tabla 4.5

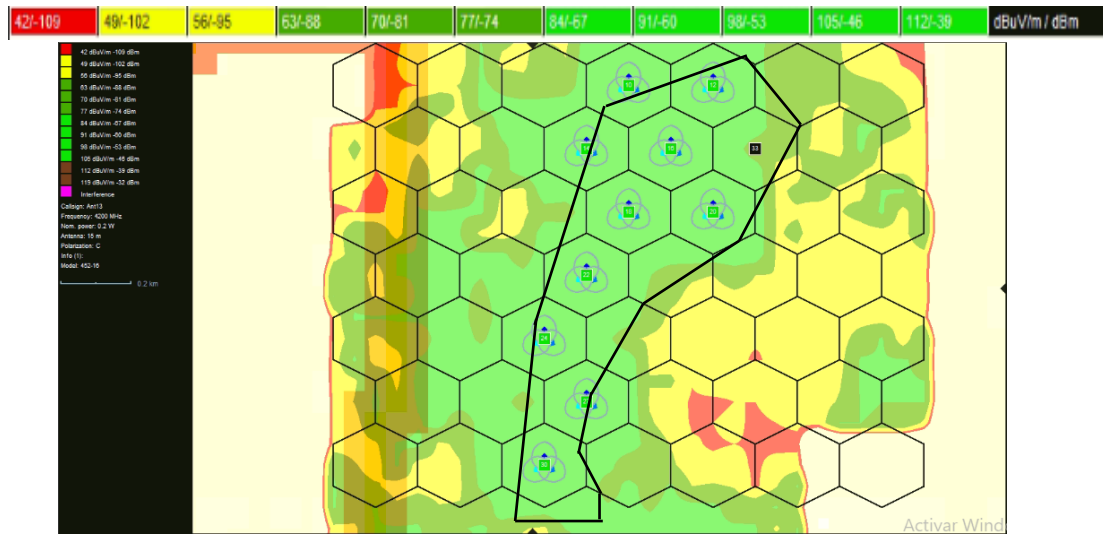
Figura 4.9. Ventana de configuración de paleta de colores en ICS TELECOM PRO.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

La figura 4.10 representa la paleta de colores definida por los autores con su respectiva etiqueta, valor de intensidad de señal expresada en dBm y nivel de señal que es representada por la simulación con infraestructura 5G.

Figura 4.10. Cobertura según la recomendación ITU-R 452-16 con 30 antenas sectoriales con paleta de colores definido por usuario.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 4.10 se observa la intensidad de señal de transmisión y recepción usando la recomendación ITU-R 452-16, con un modelo Delta Bullington para las atenuaciones.

Tabla 4.4. Porcentaje de cobertura e intensidad de señal con duplexación TDD en 5G

Intensidad de señal (dBm)	Porcentaje de cobertura (%)	Nivel de señal
-108	9.42	Aceptable
-102	22.20	Buena
-95	16.55	Buena
-88	8.82	Excelente
-81	4.56	Excelente
-74	3.47	Excelente
-67	13.58	Excelente
-60	6.94	Excelente
-53	12.88	Excelente
-46	1.59	Excelente

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Con los resultados de la tabla 4.4 en el presente diseño se concluye que al operar en bandas de frecuencias en un rango de 3.3 a 5.9 GHz, proporciona un 51.84 % de nivel de señal excelente, un 38.75% de nivel de señal bueno y un 9.42% aceptable, obteniendo un diseño de estaciones base adecuados para el sector analizado, sin embargo al estar dentro de un nivel de señal aceptable, probablemente significará obtener recursos y condiciones similares a una red 4G

Figura 4.11. Análisis de límites de cobertura con Google Earth.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y RESULTADOS DE COBERTURA

En esta sección se realizará un análisis de resultados en lo que respecta a la Relación Señal a Interferencia más Ruido (SINR), Calidad de la Señal de Referencia Recibida (RSRQ), Potencia de Señal Recibida (RSRP), con el fin de proporcionar viabilidad de acceso a la red móvil a múltiples usuarios conectados simultáneamente, con un mínimo tiempo de respuesta dentro del sector analizado y delimitado, para lograr mejorar la conectividad y la calidad de servicio.

En la Tabla 5.1 se exhiben los valores de umbral de los parámetros RSRP, RSRQ y SINR que serán utilizados para el presente proyecto.

Tabla 5.1. Valores de umbrales de RSRP, RSRQ y SINR.

Nivel de señal	RSRP(dBm)	RSRQ(dB)	SINR(dB)
Excelente	≥ -80	≥ -10	≥ 20
Bueno	-80 a -90	-10 a -15	13 a 20
Aceptable	-90 a -100	-15 a -20	0 a 13
Malo	≤ -100	≤ -20	≤ 0

Fuente: (Toapanta P. , 2019)

Los valores que se muestra en la tabla 5. se utilizarán para el respectivo análisis de este capítulo, debido a que en la actualidad no existen valores establecidos del comportamiento con RSRP, SINR y RSRQ para esta nueva infraestructura 5G, sin embargo cabe resaltar que son resultados pertenecientes a evaluaciones previas de 4G LTE.

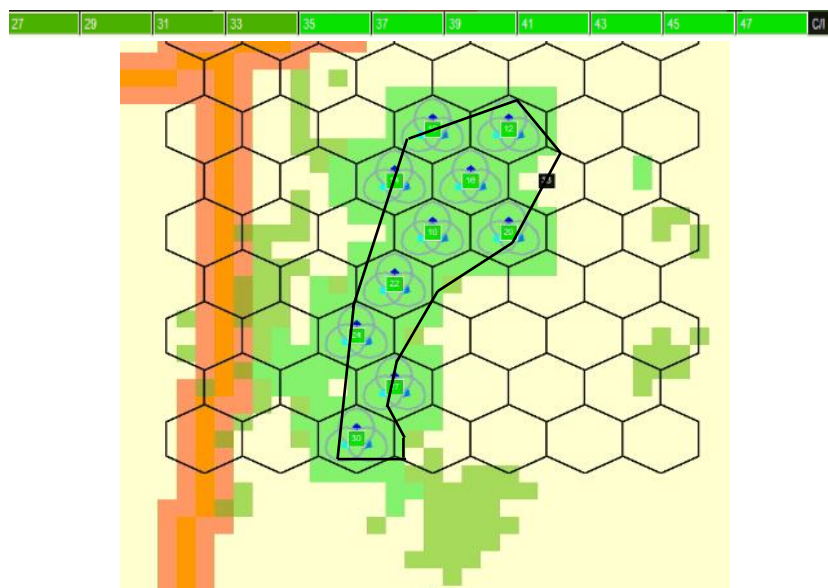
5.1 ANÁLISIS DE MAPA SINR

Para el análisis del Mapa de SINR se trabajó con el Canal Físico Compartido de Enlace de Bajada (PDSCH), que corresponde a un canal de tráfico donde también se enlaza la potencia y la interferencia generada por las celdas conjuntas por lo cual se evalúa el nivel de SINR y el porcentaje de cobertura.

Entre los parámetros a configurar en el software se tiene la Interferencia Intercelular (ICIC) y el Factor de Rechazo de Interferencia (IRF). La interferencia intercelular afecta las transmisiones desde o hacia el usuario de diferentes celdas servidoras.

La figura 5.1 que se ilustra a continuación representa la relación Portadora Interferencia (C/I) escogiendo para este caso PDSCH, además se puede tomar valores predefinidos por el software en la ventana de parámetros de umbral con valores de RSRP de -96 dBm considerado alto, -105 dBm considerado medio, -112 dBm considerado bajo, -125 dBm considerado pobre; opciones que pueden ser utilizados en simulaciones 4G/5G. En este proyecto se realizará un análisis con un RSRP de -96 dBm y -112 dBm, ya que estos valores proporcionarán resultados notables y diferentes.

Figura 5.1. Mapa de la simulación SINR PDSCH perteneciente a un RSRP de -96 dBm



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.1 se puede apreciar la simulación con un valor RSRP de -96 dBm perteneciente a un alto valor de umbral. El nivel de señal según la paleta de color, porcentaje de cobertura y valores encontrados de SINR, es representado en la tabla 5.2;

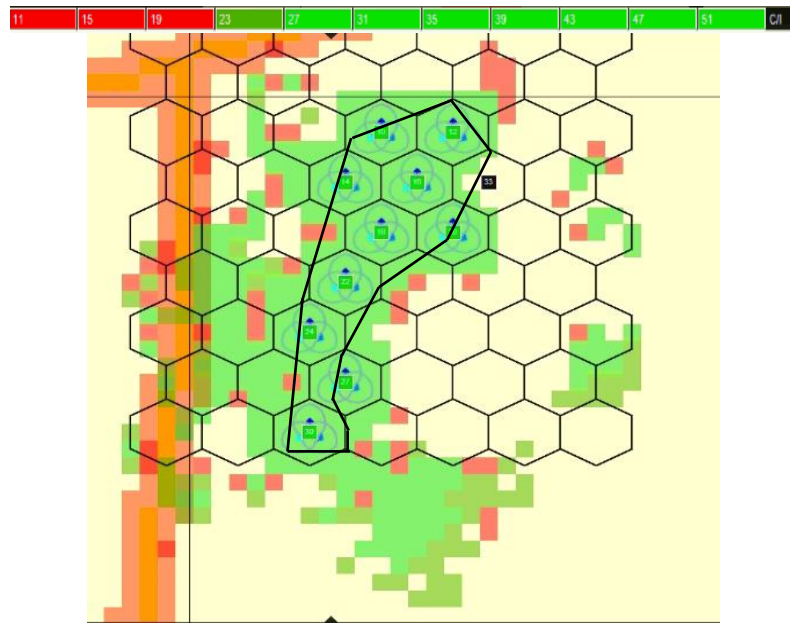
Tabla 5.2. Tabla de reporte de color SINR PDSCH con RSRP de -96 dBm.

Paleta de colores	Valores encontrados de SINR (dB)	Porcentaje de cobertura	Nivel señal
1	27	14.92	Excelente
2	29	8.81	Excelente
3	31	8.47	Excelente
4	33	5.08	Excelente
5	35	5.42	Excelente
6	37	7.12	Excelente
7	39	11.53	Excelente
8	41	12.54	Excelente
9	43	11.19	Excelente
10	45	14.92	Excelente

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

Los resultados en la tabla 5.2 muestra un nivel de señal excelente SINR, por lo tanto se comprueba que la probabilidad de interferencia será mínima dentro del sector de cobertura por cada celda, sin embargo debido a la irregularidad del terreno se puede presenciar en la figura 5.1 existe un sobrepaso de intensidad de la señal es decir sale de los límites de cobertura de estudio. Se concluye que el nivel de señal que predomina es excelente, esto gracias a que se está operando con un número correcto de BS.

Figura 5.2. Mapa de la simulación SINR PDSCH perteneciente a un RSRP de -112 dBm



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.2 se puede apreciar la simulación SINR con un valor medio de umbral RSRP de -112 dBm. El nivel de señal según la paleta de color, porcentaje de cobertura y valores encontrados de SINR, es representado en la tabla 5.3;

Tabla 5.3. Tabla de reporte de color SNIR PDSCH con RSRP de -112 dBm

Paleta de colores	Valores encontrados de SINR (dB)	Porcentaje de cobertura	Nivel señal
1	11	7.28	Bueno
2	15	3.29	Bueno
3	19	3.29	Bueno
4	23	15.96	Excelente
5	27	17.37	Excelente
6	31	9.39	Excelente
7	35	8.69	Excelente
8	39	16.67	Excelente
9	43	14.32	Excelente
10	47	3.76	Excelente

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

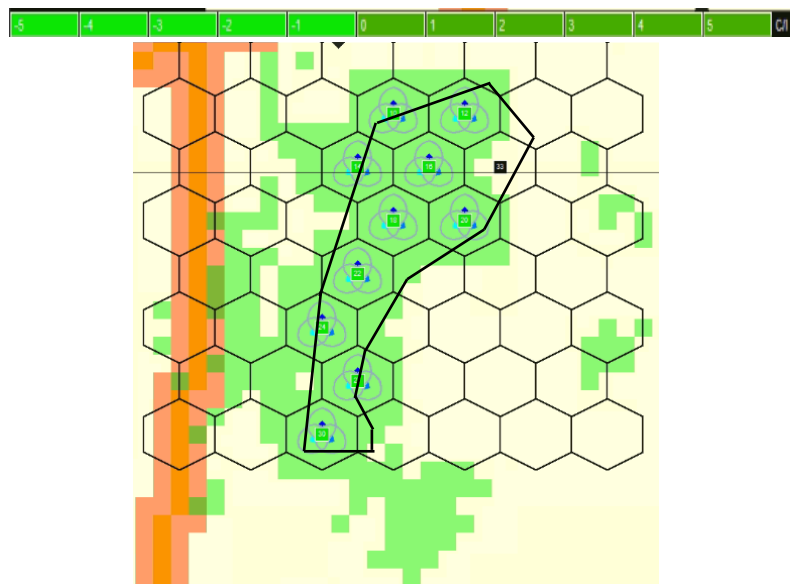
Los resultados en la tabla 5.3 muestra dos niveles de señal SINR, donde el nivel de señal excelente es 86.14 % y buena con un valor total de porcentaje cubierto de 13.86 %, por lo tanto se comprueba que seguirá predominando en esta zona una señal de calidad excelente; es decir, aun no se presentarán interferencias considerables. El nivel de intensidad de señal bueno se debe al aumentar el umbral de RSRP en -16 dBm; derivando a que aun así se cumplirá con los requisitos mínimos necesarios para que sea considerada una red con infraestructura 5G.

Para este análisis de simulación SINR, la red deberá operar con valores de RSRP mayores a -112 dBm para un óptimo funcionamiento de la BS con los UEs, además como se puede observar en las figuras 5.1 y 5.2 existe un desvanecimiento de la señal que comunmente son ocasionadas por las pérdidas por atmósfera y espacio libre.

5.2 ANÁLISIS DE MAPA RSRQ

Esta simulación brinda un tipo de comparación de señal recibida por parte del UE y las interferencias generadas por las estaciones, es decir evalúa la calidad de señal de referencia específica en una celda.

Figura 5.3. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -96 dBm.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.3 se puede apreciar la simulación RSRQ con un alto valor de umbral RSRP de -96 dBm. El nivel de señal según la paleta de colores, porcentaje de cobertura y valores encontrados RSRQ se representa en la tabla 5.4;

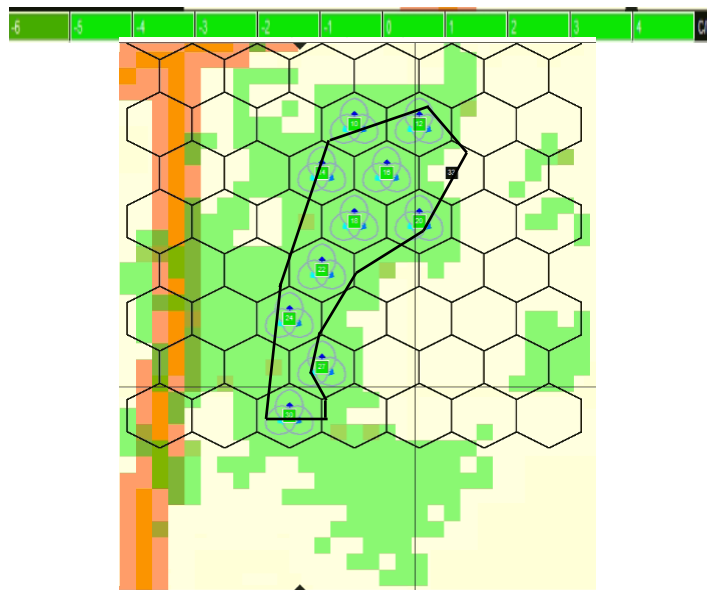
Tabla 5.4. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -96 dBm

Paleta de colores	Valores encontrados de RSRQ (dB)	Porcentaje de cobertura	Nivel señal
1	-5	99.6	Excelente
2	-4	0.1	Excelente
3	-3	0.1	Excelente
4	-2	0.1	Excelente
5	-1	0.1	Excelente

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la tabla 5.4 se logra obtener una cobertura excelente, es decir que el usuario llegará a tener una eficiente calidad de señal para transmitir o recibir datos entre el UE y la BS. Se concluye que las interferencias que existen dentro de esta zona serán mínimas o totalmente despreciables, ya que predomina un nivel de señal excelente, permitiendo que los terminales de usuario estén siempre conectados. Cabe destacar que los valores de 0 dB a 5 dB no son mostrados en la simulación, pero son muestra de resultados ideales en la zona.

Figura 5.4. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -112 dBm.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.4 se puede apreciar la simulación RSRQ con un valor medio de umbral RSRP de -112 dBm. El nivel de señal según la paleta de colores, porcentaje de cobertura y valores encontrados de RSRQ se representa en la tabla 5.5;

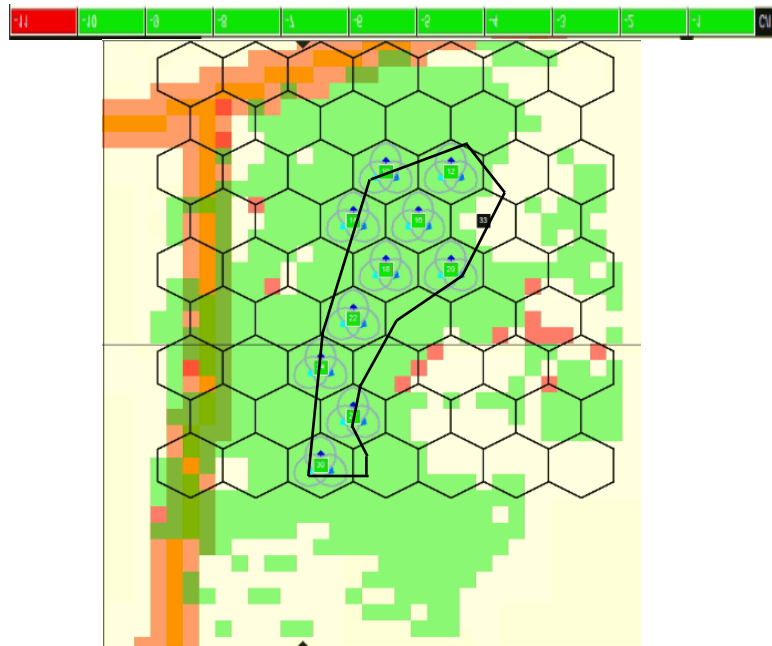
Tabla 5.5. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -112 dBm.

Paleta de colores	Valores encontrados de RSRQ (dB)	Porcentaje de cobertura	Nivel señal
1	-6	3.29	Excelente
2	-5	96.31	Excelente
3	-4	0.1	Excelente
4	-3	0.1	Excelente
5	-2	0.1	Excelente
6	-1	0.1	Excelente

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la tabla 5.5 se logra obtener una cobertura excelente, es decir que el usuario llegará a tener una eficiente calidad de señal para transmitir o recibir datos entre el UE y la BS, a pesar de haber aumentado el valor de umbral en -16 dBm. Además cabe mencionar que al utilizar bandas medias (< 6 GHz), presentarán mayor radio de cobertura siendo fácil así la penetración de la señal.

Figura 5.5. Resultados de la simulación RSRQ con RSRP de -124 dBm.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.5 se puede apreciar la simulación RSRQ con un valor pobre de umbral RSRP de -124 dBm. El nivel de señal según la paleta de colores, porcentaje de cobertura y valores encontrados de RSRQ se representa en la tabla 5.6;

Tabla 5.6. Tabla de reporte RSRQ con RSRP de -124 dBm.

Paleta de colores	Valores encontrados de RSRQ (dB)	Porcentaje de cobertura	Nivel señal
1	-11	2.71	Bueno
2	-10	3.83	Excelente
3	-9	7.66	Excelente
4	-8	6.22	Excelente
5	-7	7.66	Excelente
6	-6	6.22	Excelente
7	-5	65.71	Excelente

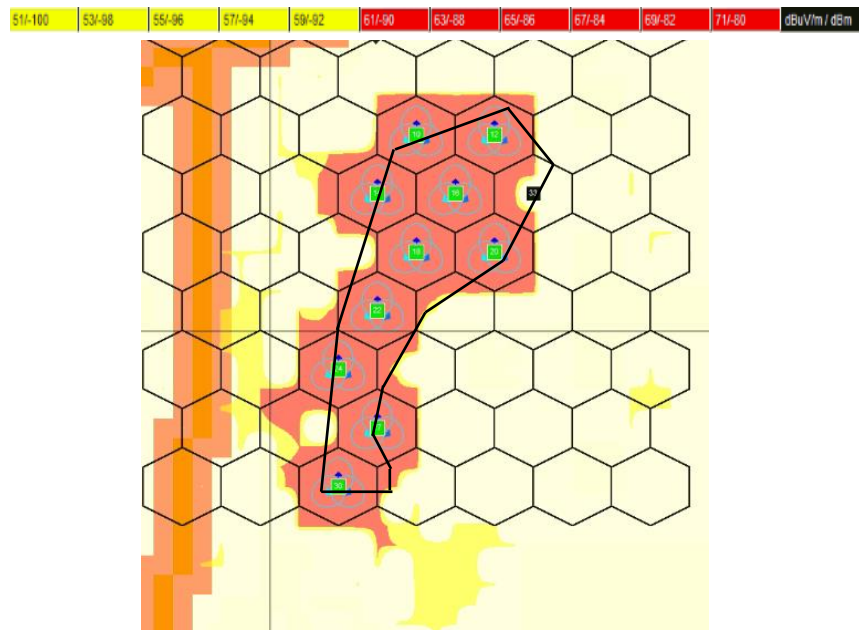
Autores: Marlon Guerrero y Fabricio Ñacato

Se concluye en este análisis de simulación RSRQ, siempre se mantendrá una calidad de señal excelente mientras no se disminuya el valor de -124 dBm de RSRP, ya que se realizó evaluaciones menores a este como se observa en la figura 5.5 y la tabla 5.6, obteniendo una disminución en la calidad de señal de la zona de estudio. Además si se trabaja con estos valores, comenzarán a presenciar una mínima interferencia que afectará a los sitios donde existe gran demanda de usuarios.

5.3 ANÁLISIS DE COBERTURA RSRP

El análisis RSRP corresponde a la potencia adecuada que reciben en cada celda los terminales para que funcionen correctamente, consecuentemente se evalúa la importancia de la cobertura y los niveles de potencia recibida en cada celda.

Figura 5.6. Resultados de la simulación compuesto de RSRP de -96 dBm.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.6 se puede apreciar la simulación RSRP con un alto valor de umbral RSRP de -96 dBm. El nivel de señal según la paleta de colores, porcentaje de cobertura y valores encontrados de RSRP se representa en la tabla 5.7;

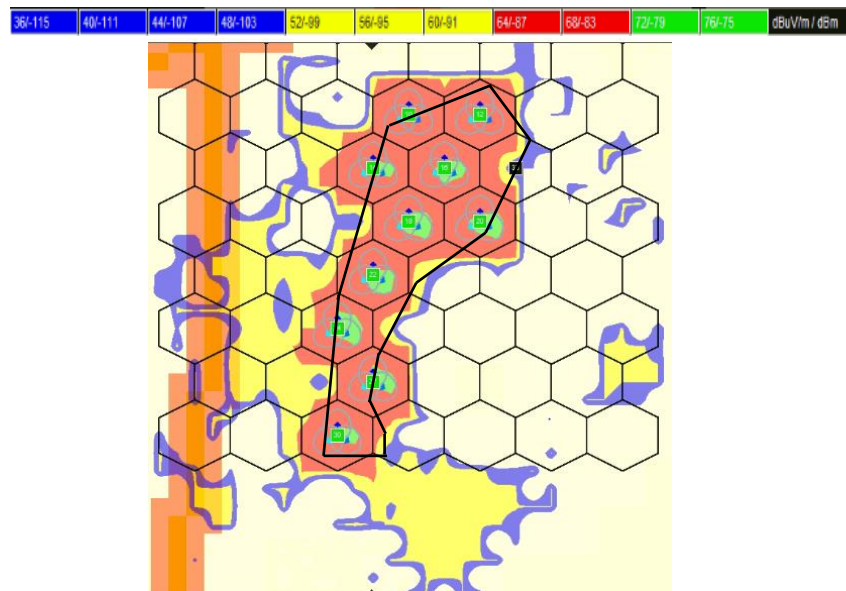
Tabla 5.7. Tabla de reporte de color RSRP de -96 dBm

Paleta de colores	RSRP (dBm)	Porcentaje cubierto	Nivel de señal
1	-100	1.34	Aceptable
2	-98	7.38	Aceptable
3	-96	11.41	Aceptable
4	-94	7.38	Aceptable
5	-92	5.70	Aceptable
6	-90	4.70	Bueno
7	-88	7.38	Bueno
8	-86	12.08	Bueno
9	-84	17.11	Bueno
10	-82	25.50	Bueno

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la tabla 5.7 se puede apreciar valores mínimos de RSRP con un nivel de señal bueno el cual representa 66.77% y un 33.23% de nivel de señal aceptable. En base a estos resultados los usuarios en cada celda, se garantizará una potencia de recepción suficiente, para que pueda operar sin ninguna dificultad dentro de este tipo de zona urbana de estudio. También se puede apreciar que el umbral utilizado es el adecuado junto con la ganancia de 16 dBi, obteniendo resultados favorables para una buena operación de esta infraestructura. El nivel de señal aceptable afectará a todos aquellos usuarios que se encuentren fuera de los bordes de cobertura obtenido así una disminución considerable en la potencia de recepción en el terminal.

Figura 5.7. Resultados de la simulación compuesto de RSRP de -112 dBm.



Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

En la figura 5.7 se puede apreciar la simulación RSRP con un valor medio de umbral RSRP de -112 dBm. El nivel de señal según la paleta de colores, porcentaje de cobertura y valores encontrados de RSRP se representa en la tabla 5.8;

Tabla 5.8. Tabla de reporte de color RSRP de -112 dBm.

Paleta de colores	RSRP (dBm)	Porcentaje cubierto	Nivel de señal
1	-111	2.49	Malo
2	-107	2.99	Malo
3	-103	6.48	Malo
4	-99	25.69	Aceptable
5	-95	12.47	Aceptable
6	-91	7.23	Aceptable
7	-87	17.46	Bueno
8	-83	19.45	Bueno
9	-79	6.73	Excelente

Autores: Marlon Guerrero y Fabricio Ñacato

En la tabla 5.8 se puede apreciar valores mínimos de RSRP con un nivel de señal excelente 6.73%, bueno y aceptable el cual representa 82.30%, por lo tanto 11.96% pertenece a un nivel de señal malo. En base a estos resultados, los usuarios en cada celda comenzarán a presentar problemas de potencia de recepción al utilizar RSRP de -112 dBm, sin embargo la potencia recibida en cada terminal será lo suficiente para que sigan conectados. De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 5.6 y la tabla 5.7, en el primer caso los usuarios que aun estando al borde de la zona delimitada recibirán la potencia necesaria para funcionar en 5G, mientras en el segundo caso los usuarios que estén en este mismo sitio comenzaran a presentar problemas críticos como lo es el retardo de transmisión y recepción datos.

Finalmente en este análisis de RSRP existe una disminución de nivel de señal buena en 29.86%, por lo tanto significa que no se garantiza una potencia adecuada para cada usuario, debido a que este tipo de umbral no es el adecuado para que esta infraestructura opere, al menos en este tipo zona. Cabe resaltar que al presenciar un valor excelente de 6.73% en la tabla 5.8, no sería recomendable debido a que se busca condiciones de nivel de señal entre excelente y bueno con un porcentaje mayor de cobertura.

- **Recomendaciones de parámetros técnicos para la simulación**

Tabla 5.9. Recomendaciones en parámetros técnicos

Configuración del Sector el Recreo para la cobertura 5G NSA	
Parámetros	Detalle
Potencia (W)	Valores menores o iguales a las utilizadas en 4G LTE
Frecuencia(MHz)	Capacidad y cobertura (< 6 GHz), para aumentar solamente la capacidad (> 6Ghz)
Ganancia(dBi)	De acuerdo al fabricante (≥ 14 dBi)
Altura (m)	No tan alejadas del usuario(10m – 15m)
Sectorización (°)	De acuerdo a la zona geográfica (120°)
Tilt (°)	De preferencia tilt eléctrico que varía según la zona de estudio(1° a -10°)
Modulación	Para una mayor secuencia de bits (256 QAM)
Latitud y Longitud	Analizar puntos estratégicos donde serán colocadas las estaciones base con ayuda de google Maps.

Autores: Marlon Guerrero, Fabricio Ñacato

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

- En la actualidad no existe coordinación en cuanto a asignación de un rango en el espectro radio eléctrico óptimo para una cobertura a nivel nacional, el cual permitirá coberturas medianamente amplias en zonas urbanas, suburbanas y rurales, con el poder de brindar capacidad, soporte y una adecuada coordinación en los diferentes casos de uso que tiene como objetivos principales la red móvil 5G. En este proyecto se trabajó con un rango de bandas de frecuencias de 3 GHz a 5.9 GHz, debido a las necesidades de capacidad y cobertura, además del gran apoyo que tienen en las conferencias mundiales de radio comunicación con enfoque para Latinoamérica.
- En la implementación de esta nueva tecnología se debe considerar que la única forma de aprovechar el máximo potencial es que se adopte una sincronización TDD dentro de la red a nivel nacional para así evitar las interferencias. Dentro del Ecuador se prevé que se comenzará implementando una tecnología 5G NSA, es decir que compartirán recursos con la infraestructura 4G; debido a que esta última no ha alcanzado su 100% de cobertura nacional, por lo que es muy pronto para hablar de una infraestructura 5G NSA.
- Se pudo determinar que en el sector analizado existe gran densidad de urbanización a lo largo de los 3.12 Km delimitados, además con el presente diseño se determina que serían necesarios como mínimo 10 estaciones base para dar cobertura al sector del Recreo en la ciudad de Quito, gracias a este número de estaciones se puede evidenciar que la mayor parte de la zona tendrá un adecuado enlace de comunicación con sus terminales de usuario, sin embargo para completar un 100% de probabilidad de cobertura podría llegar a considerarse la implementación de pico celdas o femto celdas; estas en puntos estratégicos donde exista la necesidad de aumentar la capacidad y cobertura.

- Para poder establecer una evolución del sistema móvil se debe establecer una estructura necesariamente estratégica donde se logre identificar una gran cantidad de usuarios; entonces debido al sector analizado la ganancia de transmisión de las antenas requeridas para 5G estarán dentro de un rango promedio de 16 dBi, y una potencia de 0.2 W, para reducir el consumo de energía y alargar el desempeño útil del dispositivo móvil, esto a causa de las diferentes interferencias y atenuaciones presentes por cada celda. Además se puede determinar que existirán mínimos problemas de conexión debido a que cumple con los valores requeridos de SINR, RSRP, RSRQ establecidos en la tabla 5.1.
- Al implementar un radio de cobertura de 120 m en cada celda, de acuerdo a los datos obtenidos es posible verificar dentro de esta zona establecida y con frecuencias en el rango de 3 GHz a 5.9 GHz; se puede obtener resultados favorables al trabajar con valores de RSRP mayores a -124 dBm cuando se realizó el análisis RSRQ, entregando así niveles de señal excelente equivalente a un valor igual a -5dB.
- En el análisis SINR se puede constatar mayormente niveles de señal entre excelente con un 86.14% y bueno 13.86% correspondiente a un RSRP de -112 dBm, debido a la presencia de interferencia entre símbolos (ISI) y que dentro de la configuración general en el software dependerá del espaciado sub portadora que se elija, para así disminuir esta interferencia.
- Finalmente en RSRP los niveles con mayor presencia de esta zona es bueno con un 66.77% y aceptable 33.23%, los mismos que significarán que el usuario podrá estar conectado y operando con normalidad, sin embargo esto se podría solucionar utilizando mayores ganancias en las antenas, controlando la potencia para evitar la interferencia, cabe mencionar que el usuario que reciba un nivel de señal malo equivalente a un 11.96%, serán aquellos que se encuentren alejados del área delimitada como se muestra en la figura 5.7.

RECOMENDACIONES

- Utilizar de ser posible la mejor cartografía disponible dentro de ICS TELECOM PRO, para así obtener resultados más exactos, debido a que en esta se encuentran más detallados los diferentes elementos geográficos de una zona en específico.
- Realizar estudios con los diferentes espaciados de subportadora que la red 5G ofrece, para constatar si los resultados podrían ser mejorados o deteriorados.
- Investigar diferentes tipos de software de ingeniería para simulaciones de redes móviles de quinta generación para así poder comparar los resultados obtenidos

REFERENCIAS

- 3GPP TS 38.101-1. (2019). User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone. ETSI, 16-17. Recuperado el 1 de Octubre de 2021, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810101/15.03.00_60/ts_13810101v150300p.pdf
- 5G NETWORKS. (24 de Mayo de 2019). Terminología 5G: El gNB. Recuperado el 17 de Mayo de 2021, de <https://www.5g-networks.net/5g-technology/5g-terminology-the-gnb/>
- 5G NR Radios for Fifth Generation Networks. (2020). 5G GNODEB BASE STATION. Recuperado el 17 de Mayo de 2021, de <https://www.5gradio.com/5g-networks/5g-gnodeb-base-station/>
- 5G WORLD PRO. (14 de Mayo de 2021). SU-MIMO Vs MU-Mimo in 5G. Recuperado el 3 de Enero de 2022, de <https://www.5gworldpro.com/blog/2020/12/11/su-mimo-vs-mu-mimo-in-5g/>
- Amy Nordrum, K. C. (15 de Julio de 2017). 5G Bytes: Beamforming Explained. Recuperado el 7 de Mayo de 2021
- Android Jefe. (23 de Junio de 2020). 4G LTE en Ecuador: Bandas, Velocidad, Compatibilidad. Quito, Ecuador. Recuperado el 21 de Septiembre de 2021, de <https://www.androidjefe.com/4g-lte-ecuador/>
- Arboleda, B., & Espinoza, L. (Enero de 2019). ANÁLISIS DE COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CON FRECUENCIAS EN LTE Y CON LONGITUD DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN. 2-4. Quito, Ecuador. Recuperado el 7 de Julio de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16691/1/UPS-ST003874.pdf>
- Arguero, B. (03 de Abril de 2017). INTRODUCCIÓN ICS TELECOM. Quito, Ecuador. Recuperado el 13 de Julio de 2021
- Beciez Ordoñez, S., Flores Rodriguez, N., & Perez Olivares, C. (25 de Octubre de 2011). Aplicación de modelos de propagación en sistemas inalámbricos de area extendida WWAN. México. Recuperado el 7 de Julio de 2021, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12163/aplicacionmodelos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calvo, R., & Muñoz, L. (2018). Dimensionado de sistemas celulares. Recuperado el 30 de Septiembre de 2021, de <https://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/658.pdf>
- Carrión, F. (2019). Evaluación del Desempeño de Nuevos Esquemas de Modulación y Acceso Múltiple. Loja, Ecuador. Recuperado el 8 de Julio de 2021, de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22344/1/Carrión%20Morillo%2C%20Fabían%20Alejandro.pdf>
- David Chavez, C. C. (2018). Historia de la red de comunicación móvil. Obtenido de <https://www.sutori.com/story/historia-de-la-red-de-comunicacion-movil--PFYk3QQvinL7PwPqK33wzPb4>
- Díaz, D. (2013). ADMINISTRACIONES ZONALES, PARROQUIAS RURALES Y PARROQUIAS

- URBANAS DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. 9-10. Recuperado el 25 de Mayo de 2021, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8700/merged%20%2817%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- EL COMERCIO. (28 de Mayo de 2021). En el sur de Quito se registró la temperatura más baja del Ecuador este 28 de mayo del 2021. Quito, Ecuador. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/sur-quito-clima-frio-inamhi.html>
- Espinosa, H., & Arboleda, X. (Enero de 2019). ANÁLISIS DE COBERTURA DE TELEFONÍA MÓVIL CON FRECUENCIAS EN LTE Y CON LONGITUD DE ONDA MILIMÉTRICA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN. Quito, Ecuador. Recuperado el 27 de Septiembre de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16691/1/UPS-ST003874.pdf>
- Espinosa, M., & Mera, N. (Febrero de 2020). ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE HANDOVER PARA CELDAS CONJUNTAS EN ONDA MILIMÉTRICA. Quito, Ecuador. Recuperado el 6 de Julio de 2021, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18385/1/UPS%20-%20ST004424.pdf>
- ETSI TR 138 901 V14.0.0. (Mayo de 2017). 5G; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. Recuperado el 30 de Diciembre de 2021, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/138900_138999/138901/14.00.00_60/tr_138901v140000p.pdf
- Featherstone, W., & Fang, Y. (Junio de 2018). MEC in 5G networks. ETSI White Paper No. 28. Francia. Recuperado el 7 de Mayo de 2021
- García, A. (10 de Enero de 2018). Como conocer y entender la cobertura de tu móvil. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <https://www.adslzone.net/2018/01/10/entender-cobertura-movil-dbm/>
- García, F. (Julio de 2016). Modelos de propagación para comunicaciones móviles 4G y 5G. Madrid, España. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de http://oa.upm.es/44152/1/TFG_FRANCISCO_JAVIER_GARCIA_RUEDA.pdf
- González, J. O. (3 de Junio de 2016). Camino hacia la Tecnología 5G. TELÉMATIQUE. Zulia, Venezuela: ISSN: 1856-4194. Recuperado el 9 de Mayo de 2021
- GSMA. (Noviembre de 2020). 5G y El Rango 3,3-3,8 GHz en América Latina. Recuperado el 9 de Septiembre de 2021, de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/11/5G-and-3.5-GHz-Range-in-Latam-Spanish.pdf>
- Guerrón, P., & Romero, A. (15 de Septiembre de 2016). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA EL NORTE DE LA CIUDAD DE QUITO. Quito, Ecuador. Recuperado el 30 de Diciembre de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16717/1/CD-7315.pdf>
- Huawei. (2021). Productos y Soluciones. Recuperado el 24 de Septiembre de 2021, de Antenas Pasivas: <https://carrier.huawei.com/en/products-wireless-network/antenna/antenna-list/passive->

antenna?anTypes=Single-band,Dual-band,Triple-band,Quad-band,Penta-band,Hexa-band,Hepta-band,Octa-band,More-band

- Huawei Technologies Co., L. (2018). Antenna 1+1, Go for 5G. Recuperado el 24 de Septiembre de 2021, de <https://carrier.huawei.com/~media/cnbgv2/download/products/antenna/go-for-5g.pdf>
- INAMHI. (15 de Julio de 2021). RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROLÓGICAS. Quito, Ecuador. Recuperado el 16 de Julio de 2021, de <https://inamhi.wixsite.com/inamhi/novedades>
- ITU-R M.2135-1. (Diciembre de 2009). Guidelines for evaluation of radio interface technologies. 17-18. Recuperado el 7 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2135-1-2009-PDF-E.pdf
- ITU-R M.2412-0. (2017). Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020. (142). Recuperado el 12 de Diciembre de 2021, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2412-2017-PDF-E.pdf
- ITU-R P.2001-2. (Julio de 2015). Modelo de propagación terrenal de gran alcance polivalente en la gama de frecuencias de 30 MHz a 50 GHz. 26-30. Recuperado el 16 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2001-2-201507-S!!PDF-S.pdf
- ITU-T Y.3101. (Enero de 2018). SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS, NEXT-GENERATION NETWORKS, INTERNET OF THINGS AND SMART CITIES. Recuperado el 29 de Diciembre de 2021, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3101/en>
- Kapilavai, S. (5 de Junio de 2019). Tips and Trends: Small Cell 5G Systems. Estados Unidos. Recuperado el 21 de Mayo de 2021, de <https://www.qorvo.com/design-hub/blog/tips-and-trends-small-cell-5g-systems>
- keysight Technologies. (2019). 5G TERMS AND ACRONYMS. Common Terms & Acronyms. California, Estados Unidos. Recuperado el 17 de Mayo de 2021
- Klügel, M. (15 de Abril de 2016). Network Management and Interference Coordination for Resource Efficiency in Device-to-Device Communication. Recuperado el 11 de Mayo de 2021, de <https://www.ei.tum.de/lkn/research/dfg-d2d/>
- Metaswitch. (2019). What is the 5G User Plane Function (UPF)? Recuperado el 14 de Mayo de 2021, de Microsoft Company: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-the-5g-user-plane-function-upf>
- MINTEL. (16 de Enero de 2021). ECUADOR RECIBE LA VALORACIÓN DE LAS BANDAS 2.5 GHZ Y 700 MHZ Y ABRE EL CAMINO PARA LA RENEGOCIACIÓN DE CONTRATOS CON LAS OPERADORAS DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO Y NUEVOS SERVICIOS. Recuperado el 16 de Enero de 2022, de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-recibe-la-valoracion-de-las-bandas-2-5-ghz-y-700-mhz-y-abre-el-camino-para-la-renegociacion-de-contratos-con-las-operadoras-de-servicio-movil-avanzado-y-nuevos->

servicios/

- Mobile & Wireless Forum. (16 de Marzo de 2020). 5G and EMF Explained. Recuperado el 25 de Septiembre de 2021, de http://www.emfexplained.info/site/misc/emf/downloads/5G&EMF_Explained_Generic_ES_16March_2020.pdf
- MPIRICAL. (2019). Introduction to 5G. Recuperado el 25 de Septiembre de 2021, de <https://pdfcoffee.com/mpirical-introduction-to-5g-pdf-free.html>
- MPIRICAL. (Enero de 2021). CP-OFDM - Cyclic Prefix – Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Recuperado el 13 de Mayo de 2021, de <https://www.mpirical.com/glossary/cp-ofdm-cyclic-prefix-orthogonal-frequency-division-multiplexing>
- Oracle Communications. (2019). NRF Overview. Recuperado el 25 de Junio de 2021, de https://docs.oracle.com/cd/F22976_01/docs.10/NRF%20Installation%20Guide/GUID-4ED5A539-B9BD-4B69-9F96-FEB1FE3976DD.htm
- Paredes Valencia, J. D. (Enero de 2016). Optimización de la red de acceso IP para interconectar nodos LTE (IP RAN) hacia el CORE de servicios de la plataforma de datos móviles. Recuperado el 23 de Junio de 2021, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11313/Tesis-Maestria-JDPV-MSJJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peliza, C., Dufour, F., & Serra, A. (2019). Redes 5G desde el estado al arte. Buenos Aires: ISSN: 2525-1333. Recuperado el 7 de Mayo de 2021, de <https://reddi.unlam.edu.ar/index.php/ReDDi/article/download/89/188?inline=1>
- Pérez Mantilla, S. (23 de Enero de 2019). El sistema de comunicaciones móviles de proxima generación 5G y su caso de uso IoT. Cataluña, España. Recuperado el 20 de Mayo de 2021, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/90205/6/supermantillaTFM0119memoria.pdf>
- Peréz, S. (12 de Enero de 2019). El sistema de comunicaciones moviles de proxima generación 5G y su caso de uso IoT. (89), 20-30. Cataluyna. Recuperado el 14 de Mayo de 2021, de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/90205/6/supermantillaTFM0119memoria.pdf>
- Ramirez, I. (14 de Marzo de 2020). Cómo saber la intensidad de la señal en un móvil Android y qué significan los valores dBm. Recuperado el 29 de Junio de 2021, de <https://www.xatakandroid.com/productividad-herramientas/como-saber-intensidad-senal-movil-android-que-significan-valores-dbm>
- Rivera, C., Iglesias, E., & García, A. (Febreo de 2020). Estado actual de las telecomunicaciones y la banda ancha en Ecuador. Recuperado el 29 de Diciembre de 2021, de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estado_actual_de_las_telecomunicaciones_y_la_banda_ancha_en_Ecuador.pdf
- Sanchez, A., & Toapanta, M. (2010). Análisis técnico, económico y desarrollo de un prototipo sobre la gestión de recursos y calidad de servicio en los sistemas móviles de tercera generación

- (3G). Quito, Ecuador.
- SUÁREZ CONDO, P. F. (2021). ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS INTERFACES AIRE EN REDES 5G PARA SERVICIOS FWA. Maestría en Investigación en Telemática. Cuenca, Ecuador. Recuperado el 21 de Mayo de 2021
- SYSCOM. (3 de Enero de 2019). La Polarización en las Antenas. Recuperado el 7 de Julio de 2021, de <https://www.syscomblog.com/2019/01/la-polarizacion-en-las-antenas.html>
- TechTarget. (Julio de 2020). Red de Acceso de Radio o RAN. Recuperado el 7 de Mayo de 2021, de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Red-de-Acceso-de-Radio-o-RAN>
- Toapanta, K. (Enero de 2019). ESTUDIO COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO ENTRE LTE FDD Y LTE TDD MEDIANTE EL SOFTWARE ICS DESIGNER. Quito, Ecuador. Recuperado el 13 de Julio de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19956/1/CD-9414.pdf>
- Toapanta, P. (24 de Enero de 2019). ESTUDIO COMPARATIVO DEL RENDIMIENTO ENTRE LTE FDD Y LTE TDD MEDIANTE EL SOFTWARE ICS DESIGNER. Recuperado el 22 de Noviembre de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19956/1/CD-9414.pdf>
- UIT. (12 de Octubre de 2021). UIT-R: Gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas a escala mundial. Recuperado el 16 de Enero de 2022, de <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-r-managing-the-radio-frequency-spectrum-for-the-world.aspx>
- UIT-R. (Junio de 2017). Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz. 3-4. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-9-201706-I!!PDF-S.pdf
- UIT-R P.530-16. (2015). Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-16-201507-S!!PDF-S.pdf
- UIT-R P.676-12. (Agosto de 2019). Atenuación debida a los gases atmosféricos y efectos conexos. 15-19. Recuperado el 16 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-12-201908-I!!PDF-S.pdf
- UIT-R P.837-7. (2017). Características de la precipitación para establecer modelos de propagación. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.837-7-201706-I!!PDF-S.pdf
- UIT-R P.838-3. (2005). Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. Recuperado el 20 de Julio de 2021, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf
- Weissberger, A. (16 de Julio de 2020). Tutorial on Advanced Antenna Systems (AAS) for 5G

Networks. Recuperado el 01 de Octubre de 2021, de <https://techblog.comsoc.org/2020/07/16/tutorial-on-advanced-antenna-systems-aas-for-5g-networks/>



Wilke, J., & Ericsson. (Julio de 2017). 5G Network Architecture and FMC. Recuperado el Junio de Junio de 2021, de <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201707/Documents/Joe-Wilke-%205G%20Network%20Architecture%20and%20FMC.pdf>


Zaidi, A., Athley, F., Medbo, J., Gustavsson, U., Durisi, G., & C. X. (2018). 5G Physical Layer Principal, Models and Technology components. Reino Unido: Elsevier. Recuperado el 10 de Mayo de 2021

Zambrano, M. M. (2016). Propuesta de implementación de las tecnologías NFV y SDN y su utilización en la red de comunicaciones (CASO DE ESTUDIO UTM). Quito, Ecuador. Recuperado el 7 de Mayo de 2021

ANEXO 1

Datos Técnicos de Antenas Pasivas de Huawei Disponibles

 <p>The image shows a vertical, rectangular passive antenna with a light beige or off-white finish. It has a slightly curved top and bottom. Below the main antenna image is a smaller, detailed view of the bottom panel, showing various colored ports (yellow, red, blue) and connectors.</p>	<p>Modelo: A094519R3v06</p> <p>Frecuencia de la antena: 690-960 / 4x (1695-2690) / 4x (3300-3800)</p> <p>Ancho de haz horizontal (°): 65 ° / 65 ° / 65 ° / 65 ° / 65 ° / 65 °.</p> <p>Ganancia (dBi): 14.5i / 15.5i / 15.5i / 15.5i / 15.5i / 19i</p> <p>Inclinación eléctrica hacia abajo (°): 2-16 °</p> <p>Método de inclinación: EasyRET</p> <p>Conector: 10x4.3-10 Hembra + 1xMQ4 Macho + 1xMQ5 Macho</p> <p>Dimensión (mm): 1599x 99x196</p>
 <p>The image shows a vertical, rectangular passive antenna with a light grey or white finish. It has a slightly curved top and bottom. Below the main antenna image is a smaller, detailed view of the bottom panel, showing various colored ports (red, blue, yellow) and connectors.</p>	<p>Modelo: A114521R5v06</p> <p>Frecuencia de antena: 2x (690-960) / 1427-2690 / 2x (1695-2200) / 2x (2490-2690) / 4x (2300-3800) MHz</p> <p>Ancho de haz horizontal (°): 7 x 65 ° / Haz 8T8R</p> <p>Ganancia (dBi): 2 × 16.5i / 17.5i / 2 × 17i / 2 × 17i / 21i</p> <p>Inclinación eléctrica hacia abajo (°): 2 × (0-10) / 2-12 / 2 × (2-12) / 2 × (2-12) / 2-12</p> <p>Método de inclinación: EasyRET</p> <p>Conector: 14 × 4.3-10 Hembra + 2 × Cluster Macho</p> <p>Dimensión (mm): 2769 * 449 * 196</p>

	<p>Modelo: A144521R01v06</p> <p>Frecuencia de antena: 2x690-960 / 2x1427-2690 / 2x1695-2690 / 4x2300-3800 / 4x2300-3800MHz</p> <p>Ancho de haz horizontal (°): Haz 8x65 ° 2x8T8R</p> <p>Ganancia (dBi): 2x16.5i / 2x18i / 2x18i / 22i / 22i</p> <p>Inclinación eléctrica hacia abajo (°): 2-12 °</p> <p>Método de inclinación: EasyRET</p> <p>Conector: 12x4.3-10 Hembra 2xMQ4 Macho + 2xMQ5 Macho</p> <p>Dimensión (mm): 2550x499x206mm</p>
---	--

Fuente: (Huawei, 2021)

ANEXO 2

Registro de celdas contiguas, Frecuencia, Antenas cercanas y CS

N°	Callsign	Frecuencia (GHz)	Registro de celdas contiguas	Antenas Cercanas
1	Antena 1	3	2,7,8,11,12,13 14,15,16,17	Ant4, Ant19, Ant22, Ant2, Ant3, Ant5, Ant6, Ant20, Ant21, Ant23.
2	Antena 2	3.1	1,2,7,8,12,13,14, 15,16,17	Ant1, Ant4, Ant19, Ant22, Ant 3,Ant5, Ant6, Ant20, Ant21, Ant23 ,
3	Antena 3	3.2	1,2,7,8,11,13,14, 15,16,17	Ant1, Ant4,Ant19, Ant22, Ant2, Ant5, Ant6, Ant20, Ant21, Ant23,
4	Antena 4	3.3	1,8,11,12,13 14,17	Ant1, Ant22, Ant2, Ant3, Ant5, Ant6,Ant23
5	Antena 5	3.4	1,2,8,11,12, 14,17	Ant1, Ant4, Ant22, Ant2, Ant3, Ant6, Ant23.
6	Antena 6	3.5	1,2,8,11,12 13,17	Ant1, Ant4, Ant22, Ant2, Ant3,Ant5,Ant23
7	Antena 7	3.6	4,7,8,9,15,16,17 18,19,20,21	Ant10, Ant19, Ant22, Ant25, Ant20, Ant21, Ant23, Ant24, Ant8, Ant9, Ant11.
8	Antena 8	3.7	3,4,7,8,9,15,16,1 7 18,20,21	Ant7, Ant10, Ant19, Ant22, Ant25, Ant20, Ant21, Ant23, Ant24, Ant9, Ant11.
9	Antena 9	3.8	3,4,7,8,9,15,16,1 7 18,19,21	Ant7, Ant10, Ant19, Ant22, Ant25, Ant20, Ant21, Ant23, Ant24, Ant8, Ant9.
10	Antena 10	3.9	3,8,17,18 19	Ant7, Ant22, Ant23, Ant24, Ant8.
11	Antena 11	4.0	3,4,8,17,18 19	Ant7, Ant10, Ant22,Ant23,Ant24,Ant8
12	Antena 12	4.1	3,4,8,17,18 19	Ant7, Ant10, Ant22,Ant23,Ant24,Ant8
13	Antena 13	4.2	9,10,23,24,25 26,27	Ant25, Ant28, Ant26, Ant27, Ant14, Ant15, Ant29.
14	Antena 14	4.3	5,9,10,23,24, 26,27	Ant13, Ant25, Ant28, Ant26, Ant27, Ant15, Ant29.
15	Antena 15	4.4	5,9,10,23,24, 25,27	Ant13, Ant25, Ant28, Ant26, Ant27, Ant14, Ant29.
16	Antena 16	4.5	10,27,28,29	Ant28, Ant29,Ant30,Ant17
17	Antena 17	4.6	6,10,27,28,30	Ant16, Ant28, Ant29, Ant30, Ant18.
18	Antena 18	4.7	6,10,27,28,29	Ant16, Ant28, Ant29, Ant30, Ant17.
19	Antena 19	4.8	1,3,8,11,12,15 16,17,18,19	Ant1, Ant7, Ant22, Ant2, Ant3, Ant20, Ant21, Ant23, Ant24, Ant8.
20	Antena 20	4.9	1,3,7,8,11,12, 16,17,18,19	Ant1, Ant7, Ant19, Ant22, Ant2, Ant3, Ant21, Ant23, Ant24, Ant8.

21	Antena 21	5	1,3,7,8,11,12, 15,17,18,19	Ant1, Ant7, Ant19, Ant22, Ant2, Ant3, Ant20, Ant23, Ant24, Ant8.
22	Antena 22	5.1	1,2,3,4,7,11 12,13,14,15	Ant1, Ant4, Ant7, Ant10, Ant19, Ant2, Ant3, Ant 5, Ant6, Ant20.
23	Antena 23	5.2	1,2,3,4,7,8 11,12,13,14	Ant1, Ant4, Ant7, Ant10, Ant19, Ant22, Ant2, Ant3, Ant5, Ant6
24	Antena 24	5.3	1,2,3,4,7,8 11,12,13,14,15	Ant1, Ant4, Ant7, Ant10, Ant19, Ant22, Ant2, Ant3, Ant5, Ant6, Ant20
25	Antena 25	5.4	3,5,19,20 23,24	Ant7, Ant13, Ant8, Ant9, Ant26, Ant27,
26	Antena 26	5.5	3,5,9,19,20 24	Ant7, Ant13, Ant25, Ant8, Ant9, Ant27.
27	Antena 27	5.6	3,5,9,19 20,23	Ant7, Ant13, Ant25, Ant8, Ant9, Ant26.
28	Antena 28	5.7	5,6,25,26,27 28,29	Ant13, Ant16, Ant14, Ant15, Ant29, Ant30, Ant17.
29	Antena 29	5.8	5,6,10,25,26,28 29	Ant13, Ant16, Ant28, Ant14, Ant15, Ant30, Ant17.
30	Antena 30	5.9	5,6,10,25,26,27 29	Ant13, Ant16, Ant28, Ant14, Ant15, Ant29, Ant17,

Elaborado por: Marlon Guerrero y Fabricio Ñacato