

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNOLOGOS**

**UNIDAD DE TITULACIÓN**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA CELDA CELULAR CON  
TECNOLOGIAS 2G, 3G Y LTE PARA LA CIUDAD DE SAN JOSE  
DE CHIMBO EN LA PROVINCIA DE BOLIVAR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**

**FREDDY JAVIER MERECI APOLO**

freddy.mereci@epn.edu.ec

**Director: WILLAMS FERNANDO FLORES CIFUENTES**

fernando.flores@epn.edu.ec

**Quito, Marzo 2020**

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR**

Como director del trabajo de titulación Fernando Flores desarrollado por Freddy Javier Mereci Apolo estudiante de la ESFOT en la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

---

**Ing. Willams Fernando Flores Cifuentes**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, Freddy Javier Mereci Apolo declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Freddy Javier Mereci Apolo**

## **DEDICATORIA**

A Dios principalmente que me dio la sabiduría y la salud para poder realizarlo.

A mi esposa María José Veloz Martínez, por su comprensión y ayuda, a mis padres Fredi Mereci y Lilia Apolo como también a mi hermano Jonathan por todo el apoyo incondicional que recibí en esta etapa de mi vida y por ser las chispas que me impulsaron a seguir adelante durante y conclusión de este proyecto.

A todas las personas que hicieron posible desarrollar este proyecto y nos abrieron las puertas y sus conocimientos, como resultado se realizó con éxito el trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente, quiero agradecer a Dios, por haberle conocido, guiarme en toda la vida, ser el apoyo y la fortaleza en aquellos momentos difíciles

A mi esposa María José por su apoyo y paciencia a mi familia, por su amor y apoyo incondicional en cada etapa y momento de mi vida,

Un especial agradecimiento al Ing. Fernando Flores, por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de este proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIV
Anexo A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA CELULAR .....	XIV
Anexo B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA MICROONDA .....	XIV
Anexo C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BBU .....	XIV
Anexo D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS IDU .....	XIV
Anexo E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RRU .....	XIV
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT .....	XVI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Introducción a la telefonía celular .....	3
1.4.2 Conceptos básicos de telefonía celular.....	6
1.4.2.1 Re - uso de frecuencias.....	6
1.4.2.2 Traspaso de servicio de una estación base a otra - Handover.....	6
1.4.2.2.1 Traspaso de servicio de una estación base a otra fuerte – Hard Handover	7

1.4.2.2.2	Traspaso de servicio de una estación base a otra suave – Soft Handover	7
1.4.2.3	Modulación	8
1.4.2.3.1	Modulación analógica	8
1.4.2.3.2	Modulación digital	9
1.4.2.4	Técnicas de acceso múltiple	9
1.4.2.4.1	Acceso Múltiple por División de Tiempo – TDMA	9
1.4.2.4.2	Acceso Múltiple por División de Frecuencia - FDMA	10
1.4.2.4.3	Acceso Múltiple por División de Código - CDMA	11
1.4.2.5	Técnicas de duplexado	12
1.4.2.5.1	Duplexado por División de Frecuencia – FDD	12
1.4.2.5.2	Duplexado por División de Tiempo - TDD	12
1.4.3	Evolución de la telefonía celular	13
1.4.3.1	Primera generación 1G	13
1.4.3.2	Segunda generación 2G	13
1.4.3.2.1	Sistema Global de Comunicaciones Móviles – GSM	14
1.4.3.2.1.1	Esquema GSM	14
1.4.3.2.2	Acceso Múltiple por División de Código – CDMA	16
1.4.3.2.3	Servicio General de Paquetes por Radio – GPRS	16
1.4.3.2.4	Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM – EDGE	17
1.4.3.3	Tercera generación 3G	17
1.4.3.3.1	CDMA 2000-1x	18
1.4.3.3.2	CDMA 20001xEV-DO (Evolution-Data Optimized)	18
1.4.3.3.3	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles – UMTS	18
1.4.3.3.3.1	Esquema UMTS	20
1.4.3.3.4	Acceso de Descarga de Paquetes a Alta Velocidad – HSDPA / Acceso de Carga de Paquetes a Alta Velocidad – HSUPA	22
1.4.3.3.4.1	Acceso de Descarga de Paquetes a Alta Velocidad HSDPA	22
1.4.3.3.4.2	Acceso de Carga de Paquetes a Alta Velocidad HSUPA	23
1.4.3.3.4.3	Acceso de Paquetes a Alta Velocidad Plus - HSPA+	23

1.4.3.4	Cuarta generación.....	24
1.4.3.4.1	Evolución a Largo Plazo – LTE .....	24
1.4.3.4.1.1	Arquitectura de una red LTE .....	24
1.4.4	Medios de transmisión.....	27
1.4.4.1	Medios guiados .....	28
1.4.4.1.1	Par trenzado.....	29
1.4.4.1.2	Cable coaxial.....	31
1.4.4.1.3	Fibra óptica .....	31
1.4.4.2	Medios no guiados .....	33
1.4.4.2.1	Ondas de radio.....	33
1.4.4.2.2	Microondas.....	36
1.4.4.2.2.1	Microondas terrestres .....	36
1.4.4.2.2.2	Microondas satelitales.....	37
1.4.4.2.3	Infrarrojos .....	39
1.4.5	Elementos de una radio base .....	39
1.4.5.1	Antenas .....	40
1.4.5.2	Infraestructura de soporte.....	41
1.4.5.2.1	Torres auto soportadas .....	41
1.4.5.2.2	Torre ventada o tensada .....	42
1.4.5.2.3	Monopolos.....	43
1.4.5.2.4	Torreña.....	44
1.4.5.2.5	Arreglo de mástiles.....	45
1.4.5.3	Unidad de radio remota – RRU.....	46
1.4.5.4	Unidad de banda base – BBU .....	47
1.4.5.5	Equipos de transmisión .....	47
1.4.5.6	Generador .....	47
1.4.6	Frecuencias de telefonía celular .....	47
1.4.7	Frecuencias por tecnología.....	49
2	METODOLOGÍA.....	51



ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA NUEVA RADIO BASE CELULAR .....	51
2.1  Proceso de prueba de cobertura - Drive test.....	51
2.1.1  Delimitación del área geográfica a ser estudiada.....	53
2.1.1.1  Ruta Predefinida.....	53
2.1.1.2  Polígono .....	53
2.1.2  Ubicación de la zona de análisis.....	53
2.1.3  Ruta del drive test.....	54
2.2  Resultado del drive test .....	55
2.2.1  Niveles de recepción – RXLev .....	56
2.2.2  Potencia de Señal de Código Recibida – RSCP .....	57
2.3  Análisis del nuevo nodo celular.....	57
2.3.1  Zona de búsqueda.....	57
2.3.1.1  Candidato para el nuevo sitio .....	58
2.3.2  Objetivos de cobertura.....	59
2.3.3  Predicciones de cobertura .....	60
2.3.4  Diseño de la nueva radio base .....	73
2.3.4.1  Tecnología celular a implementarse .....	73
2.3.4.2  Tipo de infraestructura.....	73
2.3.4.2.1  Arreglo de mástiles.....	74
2.3.4.3  Tipo de antena celular .....	74
2.3.4.4  Unidades de radio remotas – RRUs .....	75
2.3.4.5  Unidad de banda base – BBU .....	76
2.3.4.6  Energía.....	78
2.3.4.6.1  Fuente energía continua y regleta de energía continua (DCDU)..	78
2.3.4.7  Fuente de reserva de energía.....	79
2.3.4.8  Tablero de distribución de energía.....	80
2.3.4.9  Sistema puesta a tierra.....	81
2.3.4.10  Medio de transmisión (enlace microonda) .....	82
2.3.4.10.1  Elementos de un enlace microonda.....	83

3	RESULTADOS .....	85
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91
4.1	Conclusiones .....	91
4.2	Recomendaciones .....	92
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1.1.</b> Estructura red celular para voz [1].....	4
<b>Figura 1.2.</b> Proceso de handover o handoff. ....	5
<b>Figura 1.3.</b> Re - uso de frecuencias. ....	6
<b>Figura 1.4.</b> Soft handover.....	8
<b>Figura 1.5.</b> Esquema TDMA.....	10
<b>Figura 1.6.</b> Esquema FDMA.....	11
<b>Figura 1.7.</b> Esquema CDMA. ....	11
<b>Figura 1.8.</b> Esquema GSM [5].....	14
<b>Figura 1.9.</b> Esquema GPRS [8].....	17
<b>Figura 1.10.</b> Esquema FDD y TDD en UMTS [11].....	19
<b>Figura 1.11.</b> Esquema red UMTS [11].....	20
<b>Figura 1.12.</b> Arquitectura red LTE [13]. ....	25
<b>Figura 1.13.</b> Arquitectura E-UTRAN [13].....	25
<b>Figura 1.14.</b> Arquitectura de la EPC [13].....	26
<b>Figura 1.15.</b> Medios de transmisión. ....	28
<b>Figura 1.16.</b> Par trenzado.....	30
<b>Figura 1.17.</b> Fibra óptica. ....	33
<b>Figura 1.18.</b> Ondas de radio menores a 2 MHz.....	34
<b>Figura 1.19.</b> Ondas de radio entre 2 MHz a 30 MHz. ....	35
<b>Figura 1.20.</b> Ondas de radio sobre 30 MHz.....	35
<b>Figura 1.21.</b> Enlaces microonda.....	37
<b>Figura 1.22.</b> Enlace satelital punto-punto. ....	38
<b>Figura 1.23.</b> Enlace punto-multipunto.....	39
<b>Figura 1.24.</b> Elementos de una radio base [18].....	40
<b>Figura 1.25.</b> Torre autosoportada.....	41
<b>Figura 1.26.</b> Torre tensada.....	42
<b>Figura 1.27.</b> Monopolo. ....	43
<b>Figura 1.28.</b> Torreta. ....	44
<b>Figura 1.29.</b> Soporte simple y H.....	45
<b>Figura 1.30.</b> Soportes en fachadas. ....	46
<b>Figura 1.31.</b> Banda 700 MHz [19].....	48
<b>Figura 1.32.</b> Banda 850 MHz [19].....	48
<b>Figura 1.33.</b> Banda 1900 MHz [19].....	49
<b>Figura 1.34.</b> Banda de AWS 1700 MHz / 2100 MHz [19].....	49

## CAPÍTULO 2

<b>Figura 2.1.</b> Elementos de un drive test.....	52
<b>Figura 2.2.</b> Ubicación de la ciudad de San José de Chimbo.....	54
<b>Figura 2.3.</b> Polígono ciudad San José de Chimbo.....	55
<b>Figura 2.4.</b> RXLev antes de implementar el nodo celular. ....	56
<b>Figura 2.5.</b> Candidato de la nueva radio base.....	59
<b>Figura 2.6.</b> Predicción sector X (2G). ....	61
<b>Figura 2.7.</b> Predicción sector X en Google Maps (2G). ....	61
<b>Figura 2.8.</b> Predicción sector Y (2G). ....	62
<b>Figura 2.9.</b> Predicción sector Y en Google Maps (2G). ....	62
<b>Figura 2.10.</b> Predicción sector Z (2G).....	63
<b>Figura 2.11.</b> Predicción sector Z en Google Maps (2G).....	63
<b>Figura 2.12.</b> Predicción sector X (3G). ....	64
<b>Figura 2.13.</b> Predicción sector X en Google Maps (3G). ....	64
<b>Figura 2.14.</b> Predicción sector Y (3G). ....	65
<b>Figura 2.15.</b> Predicción sector Y en Google Maps (3G). ....	65
<b>Figura 2.16.</b> Predicción sector Z (3G).....	66
<b>Figura 2.17.</b> Predicción sector Z en Google Maps (3G).....	66
<b>Figura 2.18.</b> Predicción sector X (LTE).....	67
<b>Figura 2.19.</b> Predicción sector X en Google Maps (LTE).....	67
<b>Figura 2.20.</b> Predicción sector Y (LTE).....	68
<b>Figura 2.21.</b> Predicción sector Y en Google Maps (LTE).....	68
<b>Figura 2.22.</b> Predicción sector Z (LTE).....	69
<b>Figura 2.23.</b> Predicción sector Z en Google Maps (LTE). ....	69
<b>Figura 2.24.</b> Predicción 2G.....	70
<b>Figura 2.25.</b> Predicción 2G en Google Maps.....	70
<b>Figura 2.26.</b> Predicción 3G.....	71
<b>Figura 2.27.</b> Predicción 3G en Google Maps.....	71
<b>Figura 2.28.</b> Predicción LTE.....	72
<b>Figura 2.29.</b> Predicción LTE en Google Maps. ....	72
<b>Figura 2.30.</b> Mástil sobre edificio huésped de la nueva radio base. ....	74
<b>Figura 2.31.</b> Antena AQU4518R9V06. ....	75
<b>Figura 2.32.</b> RRUs Huawei.....	76
<b>Figura 2.33.</b> BBU 3900 Huawei. ....	77
<b>Figura 2.34.</b> Distribución de tarjetas en los slots de la BBU. ....	78
<b>Figura 2.35.</b> TP48200A y DCDU 12B.....	79

<b>Figura 2.36.</b> Banco de baterías. ....	80
<b>Figura 2.37.</b> TDE.....	81
<b>Figura 2.38.</b> Puesta a tierra en escalerilla horizontal. ....	82
<b>Figura 2.39.</b> Estudio radioeléctrico. ....	83
<b>Figura 2.40.</b> Elementos enlace microonda outdoor. ....	84

### CAPÍTULO 3

<b>Figura 3.1.</b> Diagrama de la nueva radio base.....	85
<b>Figura 3.2.</b> Equipos shelters instalados.....	86
<b>Figura 3.3.</b> Antenas sectoriales y antena microonda de la nueva radio base. ....	86
<b>Figura 3.4.</b> RxLev después de implementar el nodo celular (2G). ....	87
<b>Figura 3.5.</b> Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología GSM. ....	87
<b>Figura 3.6.</b> RSCP después de implementar el nodo celular (3G). ....	88
<b>Figura 3.7.</b> Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología UMTS. ...	88
<b>Figura 3.8.</b> RSCP después de implementar el nodo celular (4G). ....	89
<b>Figura 3.9.</b> Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología LTE. ....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

<b>Tabla 1.1</b> Frecuencias por tecnología [19].....	50
---	----

### CAPÍTULO 2

<b>Tabla 2.1.</b> Características del candidato para la implementación de la nueva radio base.....	58
--	----

<b>Tabla 2.2.</b> Objetivos de cobertura.....	60
---	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **Anexo A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA CELULAR**

Material Digital

### **Anexo B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ANTENA MICROONDA**

Material Digital

### **Anexo C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BBU**

Material Digital

### **Anexo D. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS IDU**

Material Digital

### **Anexo E. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RRU**

Material Digital

## RESUMEN

La telefonía celular a nivel mundial ha estado en constante crecimiento, es así que en las principales ciudades se dispone de telefonía celular con las tecnologías de 2G, 3G y LTE. En Ecuador la telefonía celular siempre está en constante crecimiento ya sea en ampliación de la red celular o en diversas promociones para otorgar más beneficios a los usuarios.

Estas promociones están en constante disputa entre cada operadora con el fin de captar más usuarios. Es así que los usuarios son los que eligen a que operadora sumarse para hacerse partícipe de dichos beneficios. Pero los usuarios, para formar parte de una operadora celular no solamente toman en cuenta los beneficios que la operadora le otorga, sino consideran otros factores como el nivel de cobertura para realizar una llamada celular.

Es así que, por medio de estudios de cobertura realizados con anterioridad, se conocen los espacios en donde no existe cobertura celular.

Existen varios estudios de cobertura a nivel nacional, llamados estudios de radio frecuencia, los cuales lo realizan las diferentes operadoras para determinar los huecos de cobertura. De tal manera uno de los estudios realizados al sur del país indica que la ciudad de San José de Chimbo no cuenta con cobertura celular en cualquiera de las tres tecnologías que son 2G, 3G y LTE<sup>1</sup> para la operadora CLARO.

Para implementar telefonía celular en la ciudad de San José de Chimbo se considerará el medio de transmisión que alimentará a la futura celda celular, ya que es una población alejada de los nodos principales que conectan a la red celular.

Este medio de transmisión podría ser conexión alámbrica como fibra óptica o conexión inalámbrica como enlaces microonda.

---

<sup>1</sup> LTE: acrónimo de Long Term Evolution o en español evolución a largo plazo, es un estándar de comunicación de transmisión de datos para altas velocidades.



## **ABSTRACT**

Cellular telephony worldwide has been constantly growing, which is why in the main cities there is cellular telephony with 2G, 3G and LTE technologies. In Ecuador, cellular telephony is always in constant growth, either in the expansion of the cellular network or in various promotions to grant more benefits to users.

These promotions are in constant dispute between each operator in order to attract more users. Thus, users are the ones who choose which operator to join to become part of these benefits. But users, to be part of a cellular operator not only take into account the benefits that the operator gives it, but consider other factors such as the level of coverage to make a cellular call.

Thus, through coverage studies carried out previously, the spaces where there is no cellular coverage are known.

There are several studies of coverage in different areas of the country, where it is indicated that the city of San José de Chimbo does not have cellular coverage in any of the three technologies that are 2G, 3G and LTE.

To implement cellular telephony to the city of San José de Chimbo, the transmission medium that will feed the future cell cellular will be considered, since it is a population far from the main nodes that connect to the cellular network.

This transmission medium could be wired connection as fiber optic or wireless connection as microwave links.

# 1 INTRODUCCIÓN

La telefonía celular ha ido en considerable crecimiento a nivel mundial. Es así que Ecuador no se queda atrás con el avance de las diferentes tecnologías celulares. En Ecuador, los primeros pasos de telefonía celular lo realizaron la compañía CONECEL con nombre comercial de PORTA en el año de 1993. PORTA implementó la primera generación de telefonía celular llamada AMPS (*Advanced Mobile Phone System*)<sup>2</sup>. Posteriormente la compañía OTECEL con nombre comercial Bellsouth de procedencia Estadounidense ingresó al Ecuador en el año de 1998, Bellsouth, al igual que PORTA, implementó la primera generación de telefonía celular AMPS.

Para el año 2003 PORTA incursiona con la tecnología GSM<sup>3</sup> y en 2011 ingresa la tecnología UMTS<sup>4</sup> conocida como tercera generación. PORTA para ese mismo año dejó de existir para tomar el nombre comercial de CLARO. Debido al alto incremento de usuarios CLARO tomó la batuta de incrementar su red celular a nivel nacional. Es así que se convirtió en la primera operadora en llegar a todas las provincias del país.

En 2004 la empresa Telefónica - MOVISTAR adquirió los derechos de Bellsouth y para el año 2005 incursiona con la tecnología GSM y posteriormente con la tecnología 3G.

Finalmente, en el año 2003 se agrega una nueva empresa a la telefonía celular llamada Telecsa con nombre comercial Alegro. Esta empresa es ecuatoriana y posteriormente se fusiona con CNT EP en el año 2008.

Con este antecedente se realizan zonas de búsqueda para cubrir huecos de cobertura con el fin de acaparar más usuarios.

---

<sup>2</sup> AMPS: Advanced Mobile Phone System, primera generación de telefonía celular 1G con voz analógica.

<sup>3</sup> GSM: Global System for Mobile Communications, segunda generación de telefonía celular 2G.

<sup>4</sup> UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, tercera generación de telefonía celular 3G.

Es así que el objetivo de este proyecto es realizar el diseño de una radio base celular que contenga las tecnologías 2G, 3G y 4G<sup>5</sup> en la ciudad de San José de Chimbo en la provincia de Bolívar.

## **1.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar una celda de telefonía celular con tecnologías 2G, 3G y LTE para la ciudad de San José de Chimbo en la provincia de Bolívar.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Analizar la ubicación más adecuada para la implementación de una celda celular (celda celular) en la ciudad de San José de Chimbo.
- Analizar el medio de transmisión más factible para la interconexión de la nueva celda celular con la red celular troncal.
- Diseñar la solución de la nueva celda celular, es decir ubicación de equipos pasivos y activos.
- Realizar pruebas de campo después de la instalación de la nueva celda celular.

## **1.3 Alcance**

El presente proyecto tiene por objetivo el diseño e implementación de una radio base celular para brindar cobertura a la ciudad de San José de Chimbo.

En primera instancia se describirán los conceptos que conlleva a la telefonía celular, fabricantes de equipos que son usados para instalaciones de tecnologías 2G, 3G y 4G. software de simulación de predicciones, software de simulación de enlaces microondas.

---

<sup>5</sup> 4G: Cuarta generación de telefonía celular o llamado LTE (Long Term Evolution).

A continuación, se realizará simulaciones dependiendo del análisis de la zona de búsqueda, de tal manera se escogerá los sitios candidatos a instalar la radio base celular. De igual manera se analizará el mejor medio de transmisión ya sea por fibra óptica o por enlace microonda.

Finalmente se realizará un diseño de la radio base celular con el sitio seleccionado con el objetivo que brinde la mayor cobertura de señal celular a la población de San José de Chimbo.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Introducción a la telefonía celular**

La telefonía celular es un sistema de comunicaciones por medio de conexiones inalámbricas<sup>6</sup>. El concepto fundamental de telefonía celular es la comunicación de dos dispositivos móviles distanciados, en donde su medio de transmisión es el aire y su mensaje es enviado por medio de ondas electromagnéticas<sup>7</sup>. [1]

La telefonía celular o telefonía móvil está formada por dos partes:

- Una red de repetidoras, la cual está conformada por un grupo de antenas repetidoras (celdas<sup>8</sup>) distribuidas en la superficie terrestre, estas celdas teóricamente tienen la forma hexagonal. Un grupo de celdas conforma un clúster.
- Terminales móviles, estos dispositivos permiten el acceso a la red de repetidoras.

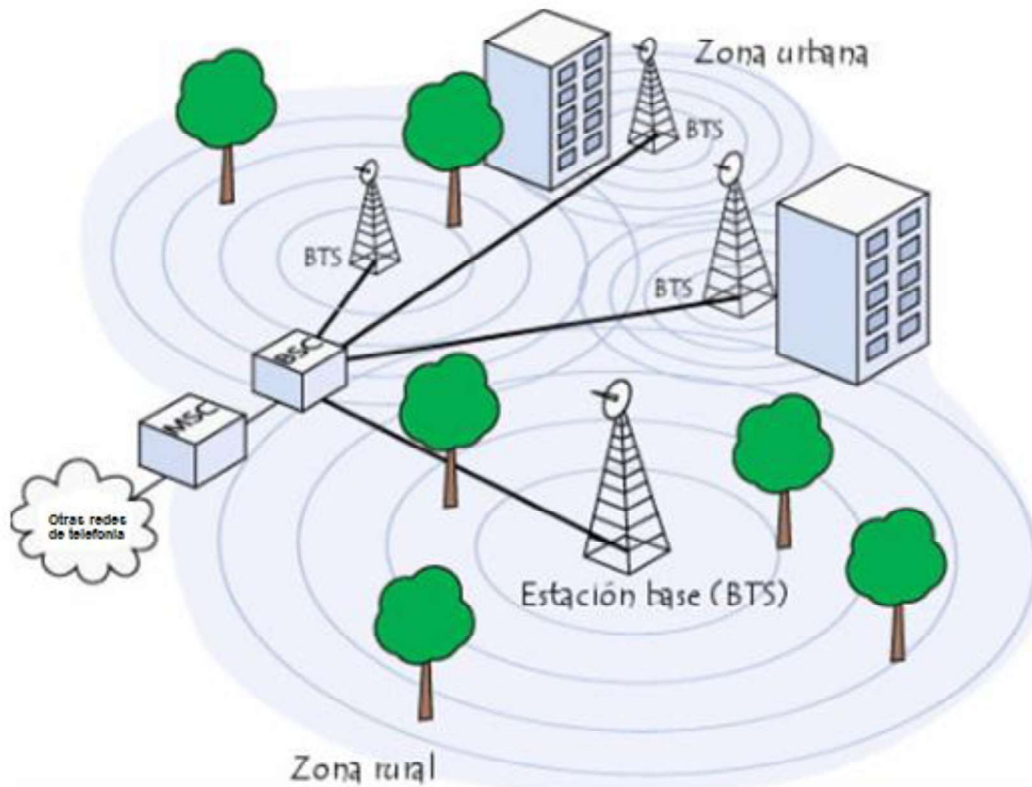
---

<sup>6</sup> Conexión inalámbrica: son aquellas en la que extremos de la comunicación no se encuentran unidos por un medio de propagación físico.

<sup>7</sup> Ondas electromagnéticas: difusión de la radiación que genera un dispositivo electrónico por medio del aire.

<sup>8</sup> Celdas: es área que cubre una estación base, tiene por objetivo cubrir una cierta área y brindar cobertura de radio.

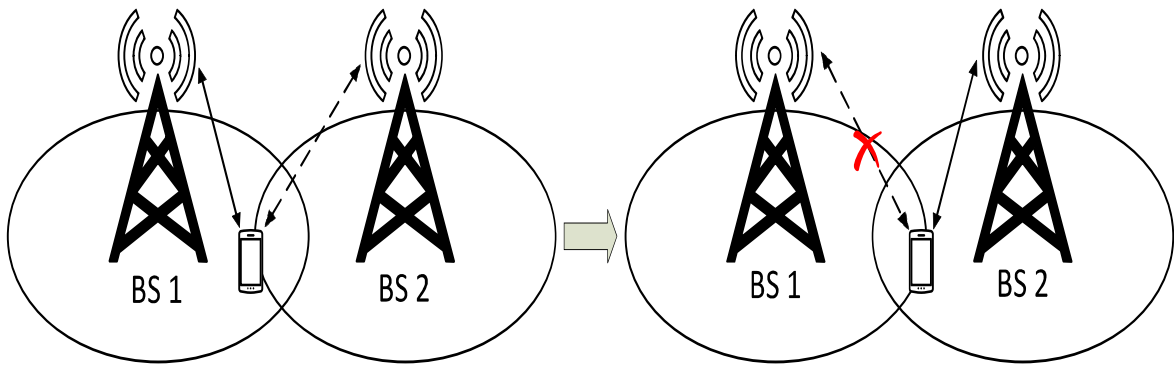
Cada celda consta de una estación base, ésta recibe solicitudes de conexión por parte de los dispositivos móviles. Una vez realizada la conexión con la estación base, ésta transmite la información (voz y datos) a la central de la operadora. Un ejemplo de una estructura básica de la red celular para voz celular se muestra en la figura 1.1 [1].



**Figura 1.1.** Estructura red celular para voz [1].

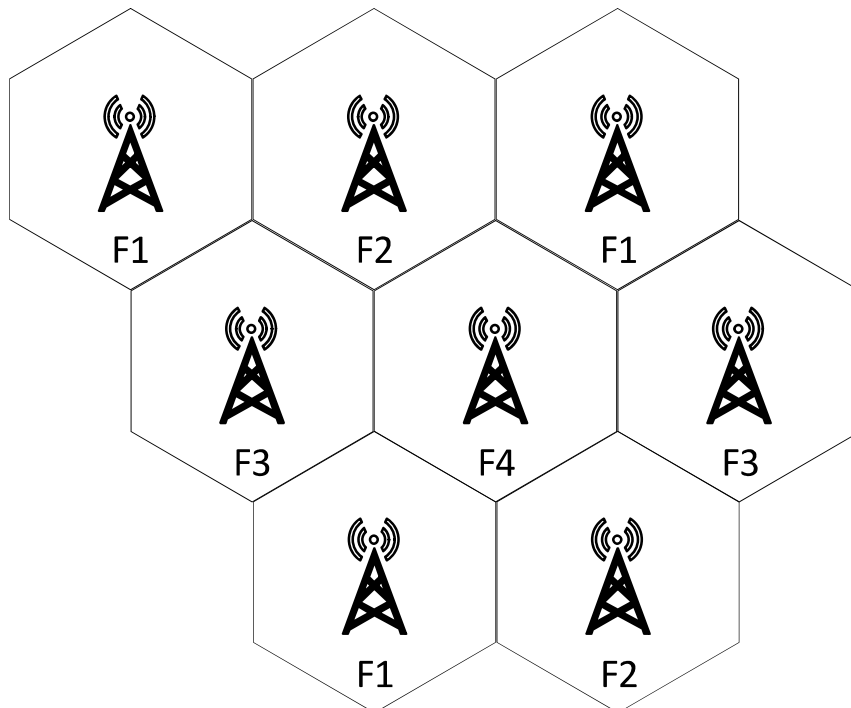
Al momento que un usuario se encuentra enganchado a una celda en una comunicación por ejemplo una llamada de voz, la comunicación se realiza dentro del área de cobertura de una celda. Cuando el usuario decide moverse y sale fuera del área de cobertura de dicha celda, el dispositivo móvil ingresa al área de cobertura de otra celda y la comunicación continúa estable. Este proceso de transición de una celda a otra adyacente se conoce con el nombre de *handover* o *handoff*<sup>9</sup>. En la figura 1.2 se muestra un ejemplo de este proceso [1].

<sup>9</sup> Handover o handoff: transferencia del servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.



**Figura 1.2.** Proceso de handover o handoff.

Para aumentar la capacidad de cobertura de la red celular se ha implementado el re - uso de frecuencias. Este método consiste en utilizar el mismo grupo de frecuencias en dos o más celdas celulares, pero necesariamente estas celdas tienen que estar distanciadas entre sí por lo menos con un intervalo de una celda para que no exista interferencia entre celdas con la misma frecuencia. Un ejemplo de rehuso de frecuencia se muestra en la imagen 1.3 [1].



**Figura 1.3.** Re - uso de frecuencias.

## **1.4.2 Conceptos básicos de telefonía celular**

### **1.4.2.1 Re - uso de frecuencias**

El Plan de Atribución de Bandas de Frecuencias asignadas por la Arcotel establece el rango de frecuencia desde 800 MHz a 2100 MHz en el espectro radioeléctrico<sup>10</sup>. Debido a que el rango de frecuencias es muy estrecho para el uso de telefonía celular, se ha optado por el rehuso de frecuencias, es decir varias celdas pueden usar la misma frecuencia con la diferencia que estas celdas deben de estar separadas por lo menos con una celda de diferente frecuencia. De tal manera se evitará la interferencia entre canales que utilizan la misma frecuencia. El objetivo de esta técnica es aumentar el rango de cobertura de la operadora móvil, así como el aumento del número de usuarios [2].

### **1.4.2.2 Traspaso de servicio de una estación base a otra - Handover**

En telefonía celular, los términos handover o handoff significan un proceso de transferencia de una llamada en curso o una sesión de datos de un canal conectado a la red central a otro canal sin pérdida o interrupción del servicio. Existen varias razones por la que se implementó el handover que se detallan a continuación: [2]

- Cuando un usuario se aleja del área de cobertura de una celda e ingresa al área de cobertura de otra celda, la llamada se transfiere a la segunda celda para evitar la terminación de la llamada cuando el teléfono se encuentra fuera de cobertura de la primera celda
- Cuando la capacidad para conexión de nuevas llamadas de una celda llega a su límite y se agota y la celda continúa recibiendo solicitudes de conexiones, entonces existe la necesidad de transferir las llamadas a una celda que se

---

<sup>10</sup> Espectro radioeléctrico: Conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, entre otros.

encuentra en un área superpuesta por la misma celda con diferente frecuencia. De tal manera se libera capacidad en la primera celda.

- En redes que no son CDMA<sup>11</sup>, cuando en un canal de una celda es interferido por otro dispositivo móvil, esta celda tiene la capacidad de transferir esta llamada a otro canal de la misma celda para evitar interferencia.

Existen dos tipos de handover que se detallan a continuación: [2]

#### **1.4.2.2.1 Traspaso de servicio de una estación base a otra fuerte – Hard Handover**

Este traspaso de llamada de una celda a otra es una técnica que consiste en la desconexión de un dispositivo móvil de la red en el orden de los milisegundos. Es decir, cuando un usuario se encuentra en una llamada en la celda de origen y se traslada a la celda adyacente, este dispositivo móvil se desconecta de la celda original por un tiempo en el orden de milisegundos, es así que la comunicación usa un solo canal. Posterior a este tiempo de desconexión se conecta a la nueva celda y la comunicación continúa sin que el usuario pierda la llamada [2].

#### **1.4.2.2.2 Traspaso de servicio de una estación base a otra suave – Soft Handover**

Esta técnica consiste en el que el canal de la celda de origen al momento de hacer traspaso de llamada, la celda origen retiene al usuario por un tiempo determinado (milisegundos) y el usuario se encuentra conectado en paralelo con la celda adyacente. En este caso, la conexión con la celda destino se establece antes de que se rompa la conexión con la celda origen. El intervalo, durante el cual las dos conexiones se utilizan en paralelo, puede ser breve o sustancial. Este traspaso de llamadas entre dos celdas al mismo tiempo puede implicar el uso de conexiones a más de dos celdas.

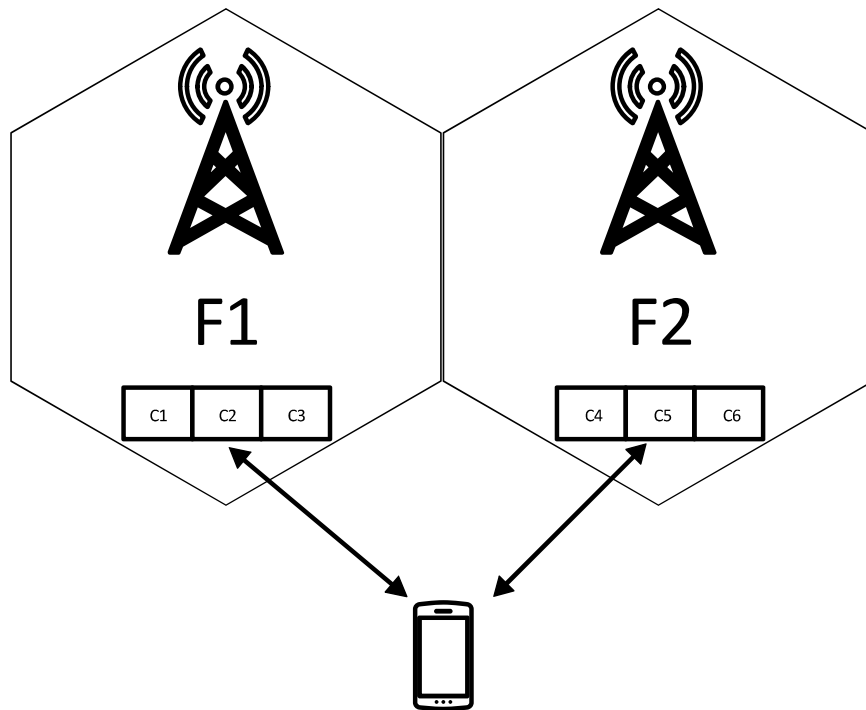
Cuando una llamada se encuentra en un estado de transferencia, la señal de la mejor celda de todos los canales utilizados se puede usar para la llamada en un momento dado

---

<sup>11</sup> CDMA: Code Division Multiple Access, control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido.



o todas las señales se pueden combinar para producir una copia más clara de la señal. En la figura 1.4 se muestra un esquema de soft handover [2].



**Figura 1.4.** Soft handover.

### 1.4.2.3 Modulación

La modulación es la técnica de transportar información sobre una onda portadora. Existen dos tipos de modulaciones: [3]

#### 1.4.2.3.1 Modulación analógica

El objetivo de esta modulación es transferir una señal analógica de banda base, por ejemplo, una señal de audio o señal de TV, a través de un canal pasa-banda analógico a una frecuencia diferente, por ejemplo, a través de una banda de frecuencia de radio limitada o un canal de red de televisión por cable [3].

#### **1.4.2.3.2 Modulación digital**

Es un proceso por medio del cual la información es originada por fuentes digitales, dando como resultado símbolos digitales, para posteriormente ser transformada en ondas generalmente senoidales y finalmente ser transportadas por un canal de comunicación analógico. Los sistemas de comunicaciones móviles usan este tipo de modulación [3].

#### **1.4.2.4 Técnicas de acceso múltiple**

Esta técnica en telecomunicaciones permite a más de un usuario acceder a un sistema al mismo tiempo. Existen tres opciones de multiplexación [4].

##### **1.4.2.4.1 Acceso Múltiple por División de Tiempo – TDMA**

Por sus siglas, Acceso Múltiple por División de Tiempo. Esta técnica permite que varios usuarios compartan el mismo canal de frecuencia dividiendo la señal en diferentes intervalos de tiempo. Los usuarios transmiten en rápida sucesión, uno tras otro, cada uno utilizando su propio intervalo de tiempo. Esto permite que varias estaciones compartan el mismo medio de transmisión (por ejemplo, un canal de radiofrecuencia) mientras usan solo una parte de su capacidad del canal. TDMA se utiliza en los sistemas celulares digitales como 2G (GSM).

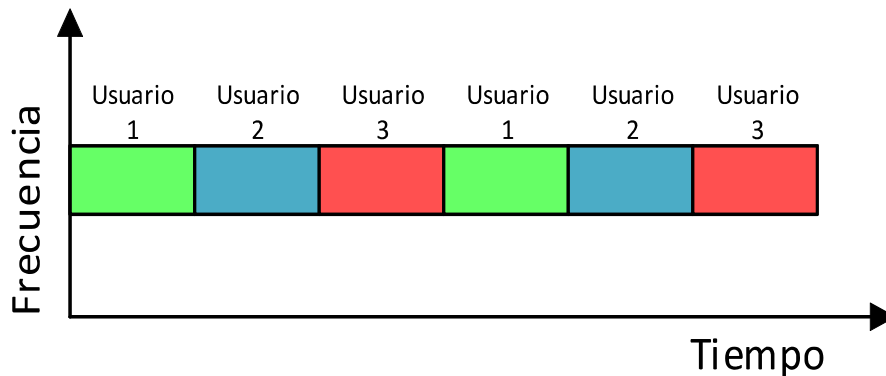
TDMA es un tipo de multiplexación por división de tiempo (TDM), con el punto especial de que, en lugar de tener un transmisor conectado a un receptor, hay varios transmisores. En el caso del enlace uplink de un teléfono móvil a una estación base, esto se vuelve particularmente difícil porque el teléfono móvil puede moverse y variar el avance de tiempo requerido para que su transmisión coincida con la brecha en la transmisión de sus pares. [4]

A continuación, se nombrará algunas características de TDMA:

- Comparte frecuencia de portadora única con múltiples usuarios.
- Las ranuras se pueden asignar dinámicamente.

- TMDA es usado en sistemas GSM.

A continuación, la figura 1.5. muestra un esquema de TDMA.



**Figura 1.5.** Esquema TDMA.

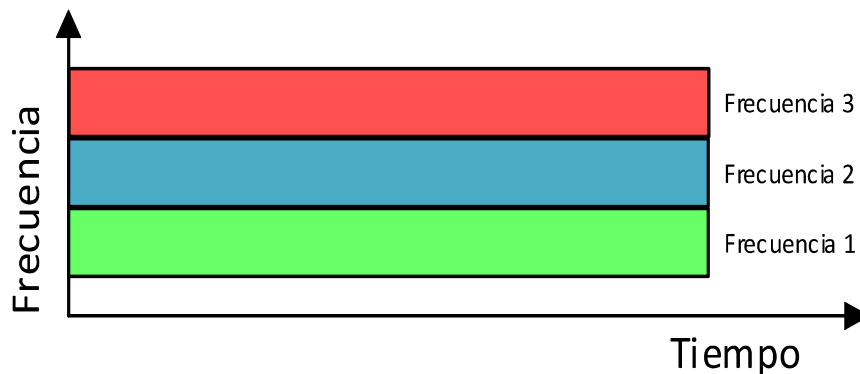
#### 1.4.2.4.2 Acceso Múltiple por División de Frecuencia - FDMA

Por sus siglas, Acceso Múltiple por División de Frecuencia. es un método de acceso al canal que se utiliza en algunos protocolos de acceso múltiple. FDMA permite que múltiples usuarios envíen datos a través de un solo canal de comunicación, como un cable coaxial o un enlace microondas. Este método divide el ancho de banda del canal en subcanales separados de frecuencias no superpuestas y asigna a cada subcanal un usuario separado. Los usuarios pueden enviar datos a través de un subcanal al modularlos en una onda portadora a la frecuencia del subcanal. Se utiliza en sistemas de comunicación por satélite y líneas telefónicas [4].

A continuación, se nombrará algunas características de FDMA:

- Los usuarios comparten el canal de frecuencia simultáneamente, pero cada usuario transmite a una sola frecuencia.
- FDMA es usado tanto en señales digitales como analógicas.
- FDMA no es vulnerable a los problemas de tiempo como TDMA.
- Cada usuario transmite y recibe en diferentes frecuencias a medida que cada usuario obtiene un intervalo de frecuencia único.

A continuación, la figura 1.6. muestra un esquema de FDMA.

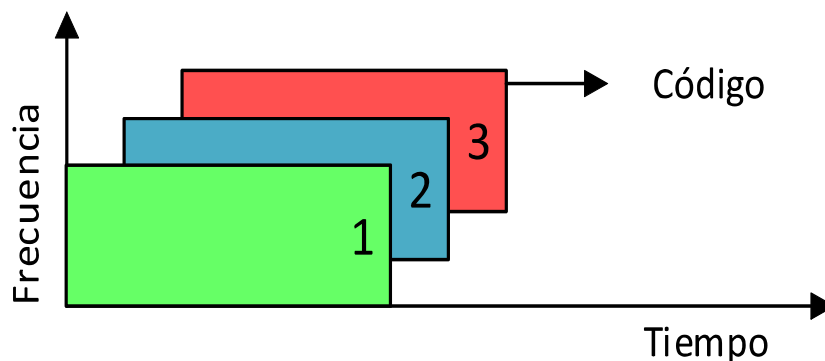


**Figura 1.6.** Esquema FDMA.

#### 1.4.2.4.3 Acceso Múltiple por División de Código - CDMA

Por sus siglas, Acceso Múltiple por División de Código. Es un método de acceso al canal utilizado por varias tecnologías de comunicación por radio. CDMA es un ejemplo de acceso múltiple, donde varios transmisores pueden enviar información simultáneamente a través de un solo canal de comunicación. Esto permite que varios usuarios compartan una banda de frecuencias. Para permitir esto sin interferencia entre los usuarios, CDMA emplea tecnología de espectro expandido y un esquema de codificación especial (donde a cada transmisor se le asigna un código diferente) [4].

A continuación, la figura 1.7. muestra un esquema de CDMA.



**Figura 1.7.** Esquema CDMA.

### **1.4.2.5 Técnicas de duplexado**

Las comunicaciones en telefonía celular son full dúplex<sup>12</sup>. Significa que en ambos extremos de la comunicación se genera información. En el caso de un dispositivo móvil, existe uplink (dispositivo móvil a estación base) y downlink (estación base a dispositivo móvil). Existen dos técnicas de duplexado [4].

#### **1.4.2.5.1 Duplexado por División de Frecuencia – FDD**

Por sus siglas, Duplexado por División de Frecuencia. Este método facilita la transmisión y la recepción de datos simultáneamente sobre dos frecuencias diferentes. Es decir, la frecuencia de la portadora de uplink es diferente a la portadora de downlink. Esta técnica es usada en varios protocolos de telefonía celular como UMTS<sup>13</sup>, CDMA2000<sup>14</sup> y LTE [4].

#### **1.4.2.5.2 Duplexado por División de Tiempo - TDD**

Por sus siglas, Duplexado por División de Tiempo. Esta técnica se refiere a los enlaces de comunicación dúplex donde el enlace uplink está separado del enlace downlink por la asignación de diferentes intervalos de tiempo en la misma banda de frecuencia. Es un esquema de transmisión que permite el flujo asimétrico para la transmisión de datos de enlace uplink y downlink. A los usuarios se les asignan intervalos de tiempo para la transmisión de enlaces uplink y downlink [4].

---

<sup>12</sup> Full dúplex: es una técnica que permite transmitir información en ambas direcciones simultáneamente.

<sup>13</sup> UMTS: Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal, es una tecnología usada por los sistemas móviles de tercera generación y se caracteriza por su capacidad multimedia y acceso a internet de mayor velocidad.

<sup>14</sup> CDMA2000: sucesor directo de 2G, y competidor directo del estándar WCDMA.

### **1.4.3 Evolución de la telefonía celular**

#### **1.4.3.1 Primera generación 1G**

1G o (1-G) se refiere a la primera generación de tecnología de telefonía inalámbrica en telecomunicaciones móviles. Estos son los estándares de telecomunicaciones analógicas que se introdujeron en 1979 y hasta mediados de la década de 1980 y continuaron hasta que fueron reemplazados por la segunda generación 2G. La principal diferencia entre los dos sistemas de telefonía móvil (1G y 2G) es que las señales de radio utilizadas por la red 1G son analógicas, mientras que las redes 2G son digitales [5].

Existían varios estándares de primera generación, lo cual hacía casi imposible el roaming<sup>15</sup>. El estándar más predominante de primera generación fue AMPS<sup>16</sup>. Este estándar fue diseñado por los laboratorios BELL<sup>17</sup> en Estados Unidos, trabajaba en la banda de 800 MHz a 900 MHz con estándar analógico. AMPS fue la primera tecnología en usar el concepto de celular. Este concepto se debe a que se implementa celdas, las cuales contienen una estación base. Esta estación tiene teóricamente una forma hexagonal con el objetivo de cubrir la mayor área de cobertura con el menor número de estaciones base [5].

#### **1.4.3.2 Segunda generación 2G**

Esta tecnología cambió radicalmente la telefonía celular con la implementación de telefonía digital reemplazando a la telefonía analógica. En la segunda generación existen protocolos predominantes como son: GSM, CDMA, GPRS y EDGE. Esta generación fue lanzada en los años de 1990 y la característica más importante fue la integración del SMS<sup>18</sup> [5].

---

<sup>15</sup> Roaming: Se refiere cuando un dispositivo móvil usa una red distinta a la principal.

<sup>16</sup> AMPS: Sistema de teléfono móvil avanzado, tecnología de primera generación.

<sup>17</sup> BELL: empresa entorno a la investigación tecnológica, y el desarrollo de las comunicaciones a nivel mundial.

<sup>18</sup> SMS: Servicio de mensaje corto o en inglés Short Message Service.

### 1.4.3.2.1 Sistema Global de Comunicaciones Móviles – GSM

Por sus siglas, Sistema Global de Comunicaciones Móviles. GSM opera bajo las bandas de 900 MHz y 1,8 GHz en las zonas del continente europeo y bajo las bandas de 1,9 GHz y 850 MHz en Estados Unidos. Se implementa el sistema roaming permitiendo a los usuarios tener conectividad con su mismo número en más de 200 países. En el año 2007, GSM cubría a más del 80% de la población [5].

#### 1.4.3.2.1.1 Esquema GSM

En la figura 1.8 se muestra una arquitectura de GSM.

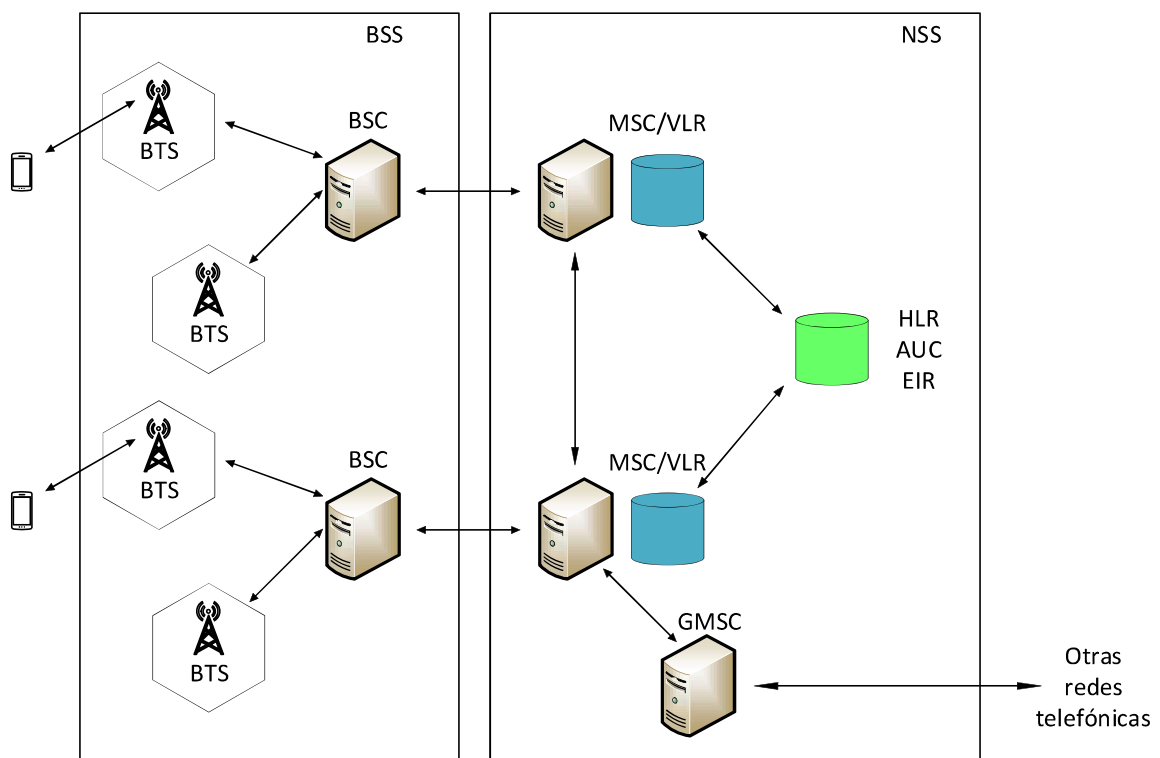


Figura 1.8. Esquema GSM [5].

- **Subsistema de Estación Base – BSS.** Consta de dos componentes, de la BTS y de la BSC. BTS (Base, Transceiver Station o Estación Base), es un grupo de elementos que se encargan de proveer la cobertura celular en un área geográfica definida. Adicional es la interfaz entre el dispositivo móvil y la red celular. BSC (Base Station Controller o Controlador de Estaciones Base), este elemento administra un grupo de estaciones base para posteriormente transmitir la información obtenida del dispositivo móvil hacia la MSC [6].
- **Subsistema de Conmutación de Red – NSS.** Cumple con las principales responsabilidades ya que sus funciones son de controlar las llamadas y todas las peticiones de las BSS. Consta de los siguientes elementos:

Centro de Conmutación Móvil - MSC, en inglés Center Switching Mobile, este componente agrupa a un conjunto de BSS de una zona de cobertura amplia. Su función principal es de enrutar las llamadas entrantes y salientes.

Registro de Ubicación de Inicio - HLR, en inglés Home Location Register, este componente es una base de datos central que contiene detalles de cada suscriptor de teléfono móvil que está autorizado para usar la red central GSM. Los HLR almacenan los detalles de cada tarjeta SIM<sup>19</sup> emitida por el operador de telefonía móvil. Cada SIM tiene un identificador único llamado IMSI<sup>20</sup>.

Centro de Autenticación – AuC, en inglés Authentication Center, este componente tiene como función de autenticar cada tarjeta sim que intenta conectarse a la red celular GSM. Una vez que la autenticación es exitosa, el HLR puede administrar la tarjeta sim.

Registro de Ubicación de Visitantes – VLR, en inglés Visitor Location Register, este componente es una base de datos de apoyo al HLR, almacena su información de forma dinámica, por ejemplo, mientras un usuario está en constante movimiento su información es guardada en diferentes VLR.

Registro de Identificación del Equipo – EIR, en inglés Equipment Identity Register, este componente es una base de datos que contiene tres listas. Lista Blanca: contiene todos los dispositivos móviles aprobados para acceder a la red celular. Lista Gris: dispositivos móviles que ingresan a la red celular bajo supervisión. Lista Negra: dispositivos móviles que tienen acceso restringido a la red [6].

---

<sup>19</sup> SIM: Módulo de Identificación del Subscriptor, contiene información única de cada subscriptor para conectarse a la red celular.

<sup>20</sup> IMSI: Identidad Internacional del Abonado Móvil, es un identificador único integrado en la tarjeta SIM.



#### 1.4.3.2.2 Acceso Múltiple por División de Código – CDMA

Esta tecnología es considerada en el grupo de segunda generación con el estándar IS-95. Fue la primera tecnología celular digital basada en CDMA. Fue desarrollado por la empresa estadounidense Qualcomm y más tarde fue adoptado como estándar por la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA / EIA) como IS-95 en 1995. El nombre comercial fue de CDMAone.

Esta tecnología está basada en conmutación de circuitos. Cuyas velocidades van de 9,6 kbps a 14,4 kbps. CDMA fue la base para la tercera generación llamada CDMA2000 [7].

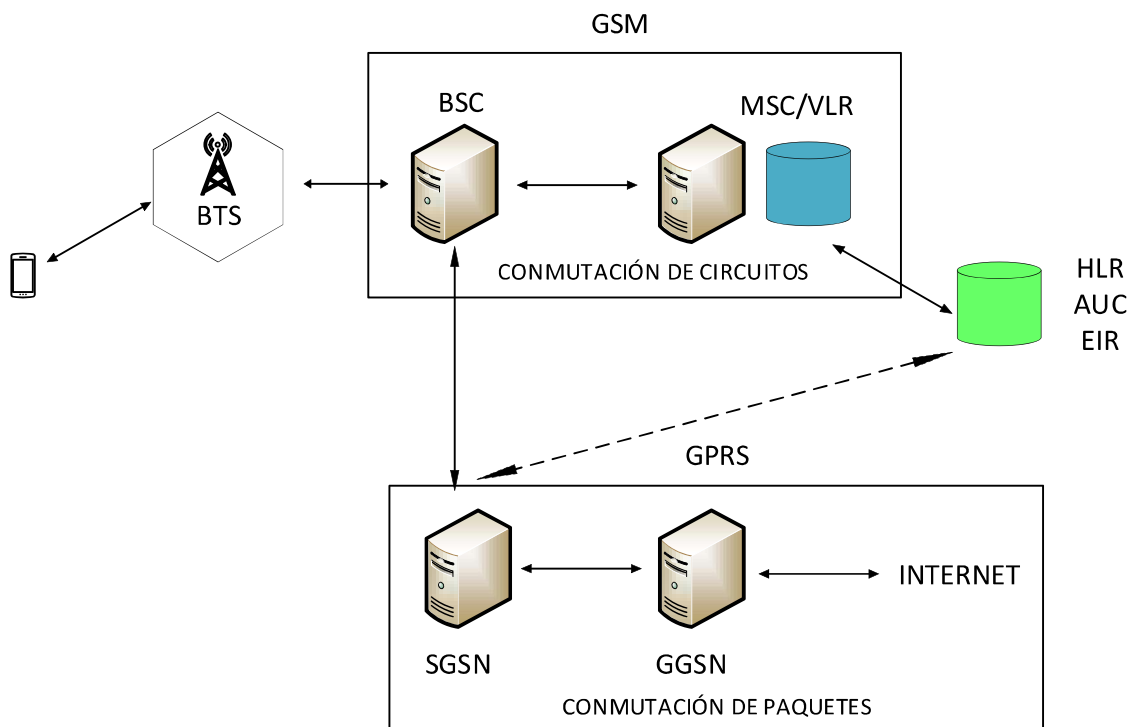
#### 1.4.3.2.3 Servicio General de Paquetes por Radio – GPRS

Por sus siglas, General Packet Radio Service. Esta tecnología es una plataforma para el servicio de datos y es conocida como 2,5G ya que es un paso intermedio hacia la tercera generación. GPRS admite mayor velocidad y mayor ancho de banda. Tiene más características que GSM como son MMS (Multimedia Messaging System o Sistema de Mensajes Multimedia), Internet y correo electrónico. GPRS permite una velocidad de transferencia de datos de 115 kbps [8].

Esta tecnología añade a la estructura GSM dos elementos más que son: SGSN y GGSN.

- **Nodo de soporte de puerta de enlace GPRS – GGSN:** por sus siglas, Gateway GPRS Support Node. Este elemento es responsable de la interconexión entre la red GPRS y las redes de conmutación de paquetes externas como el internet.
- **Nodo de soporte de servicio GPRS – SGSN:** por sus siglas, Serving GPRS Support Node. Este elemento realiza funciones de control de acceso y seguridad. Enruta los paquetes desde y hacia las estaciones base. Realiza facturación al usuario.

La figura 1.9 muestra el esquema de GPRS.



**Figura 1.9.** Esquema GPRS [8].

#### 1.4.3.2.4 Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM – EDGE

Por sus siglas, Enhanced Data Rates for GSM Evolution o Tasa de Datos Mejoradas para la Evolución de GSM. También es conocida como EGPRS (Enhanced - GPRS), es decir GPRS mejorado. EDGE permite una velocidad de transferencia de datos de 473 kbps, esto implica que el envío de datos es de 150% mayor que GPRS [9].

#### 1.4.3.3 Tercera generación 3G

Esta tecnología soporta aplicaciones multimedia a altas velocidades de transmisión. Así mismo existen tecnologías que fueron evolucionando dentro de la tercera generación 3G como son: CDMA 2000, UMTS, HSDPA y HSUPA [5].

#### **1.4.3.3.1 CDMA 2000-1x**

Este estándar es también conocido como 1x y 1xRTT, es el estándar de interfaz de aire inalámbrico CDMA2000. La designación "1x", significa *1 veces la tecnología de transmisión de radio*, ocupa la misma frecuencia de radio de IS-95. 1xRTT casi duplica la capacidad del estándar IS-95 al agregar 64 canales de tráfico. El estándar 1X admite velocidades de paquetes de datos de hasta 153 kbit/s con transmisión de datos en el mundo real con un promedio de 80 –100 kbit/s en la mayoría de las aplicaciones multimedia comerciales. La capa de enlace de datos IS-95 solo proporcionó el "mejor esfuerzo de entrega" para los datos y el canal de conmutación de circuitos para voz (es decir, un cuadro de voz cada 20 ms) [10].

#### **1.4.3.3.2 CDMA 20001xEV-DO (Evolution-Data Optimized)**

Es un estándar de para la transmisión inalámbrica de datos a través de señales de radio, generalmente para el acceso a internet de banda ancha. Utiliza técnicas de acceso al medio que incluyen acceso múltiple por división de código (CDMA). Esta tecnología está estandarizada por 3GPP2<sup>21</sup> como parte de la familia de estándares CDMA2000 y ha sido adoptado por muchos proveedores de servicios móviles en todo el mundo, especialmente aquellos que anteriormente empleaban redes CDMA.

Esta tecnología opera en las frecuencias de 1900 MHz con una velocidad de uplink de 1,8 Mbps y una velocidad de downlink de 3,1 Mbps [10].

#### **1.4.3.3.3 Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles – UMTS**

Por sus siglas, Universal Mobile Telecommunications System o Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal. UMTS es miembro del estándar global IMT-2000 reconocida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). UMTS utiliza la tecnología de acceso por radio de acceso múltiple por división de código de banda ancha (W-CDMA) para ofrecer una mayor eficiencia espectral y ancho de banda a los operadores de redes móviles [11].

---

<sup>21</sup> 3GPP2: Estándar móvil para tecnología CDMA.

A diferencia de EDGE y CDMA2000, UMTS requiere nuevas estaciones base y nuevas asignaciones de frecuencia. Esta tecnología opera bajo las bandas de 850 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1900 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz y 2600 MHz.

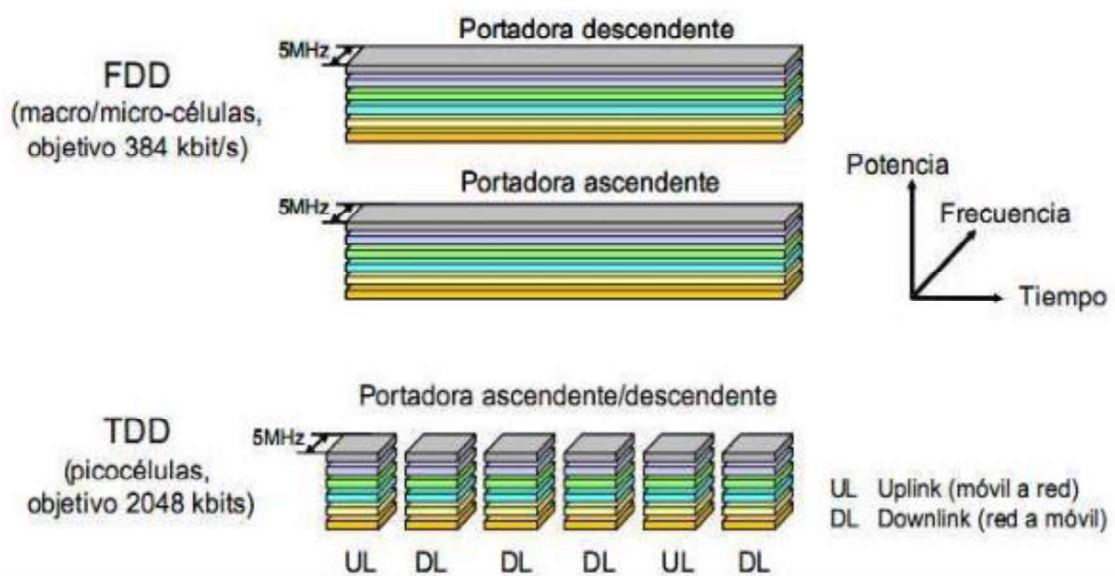
UMTS tiene las siguientes características principales: videoconferencia, streaming<sup>22</sup> multimedia, televisión en tiempo real, carga y descarga de archivos de gran tamaño en menor tiempo, soporte a VPNs<sup>23</sup>, juegos en tiempo real, entre otros.

UMTS tiene una transferencia de datos de 350 kbps en movimiento hasta de 2 Mbps [20].

Existen dos sistemas basados en UMTS:

- FDD: este método utiliza dos frecuencias para la transmisión y para la recepción.
- TDD: este método utiliza una frecuencia para la transmisión en dúplex.

La figura 1.10 muestra el esquema de FDD y TDD [11].



**Figura 1.10.** Esquema FDD y TDD en UMTS [11].

<sup>22</sup> Streaming: Contenido multimedia a través de una red de telecomunicaciones (Internet).

<sup>23</sup> VPN: Red Privada Virtual, túnel por medio de una red de internet que conecta dos usuarios.

### 1.4.3.3.1 Esquema UMTS

Una red UMTS consta de tres componentes principales que son: Ue, red de acceso (UTRAN) y núcleo de red (CN). La figura 1.11 muestra el esquema de UMTS [11].

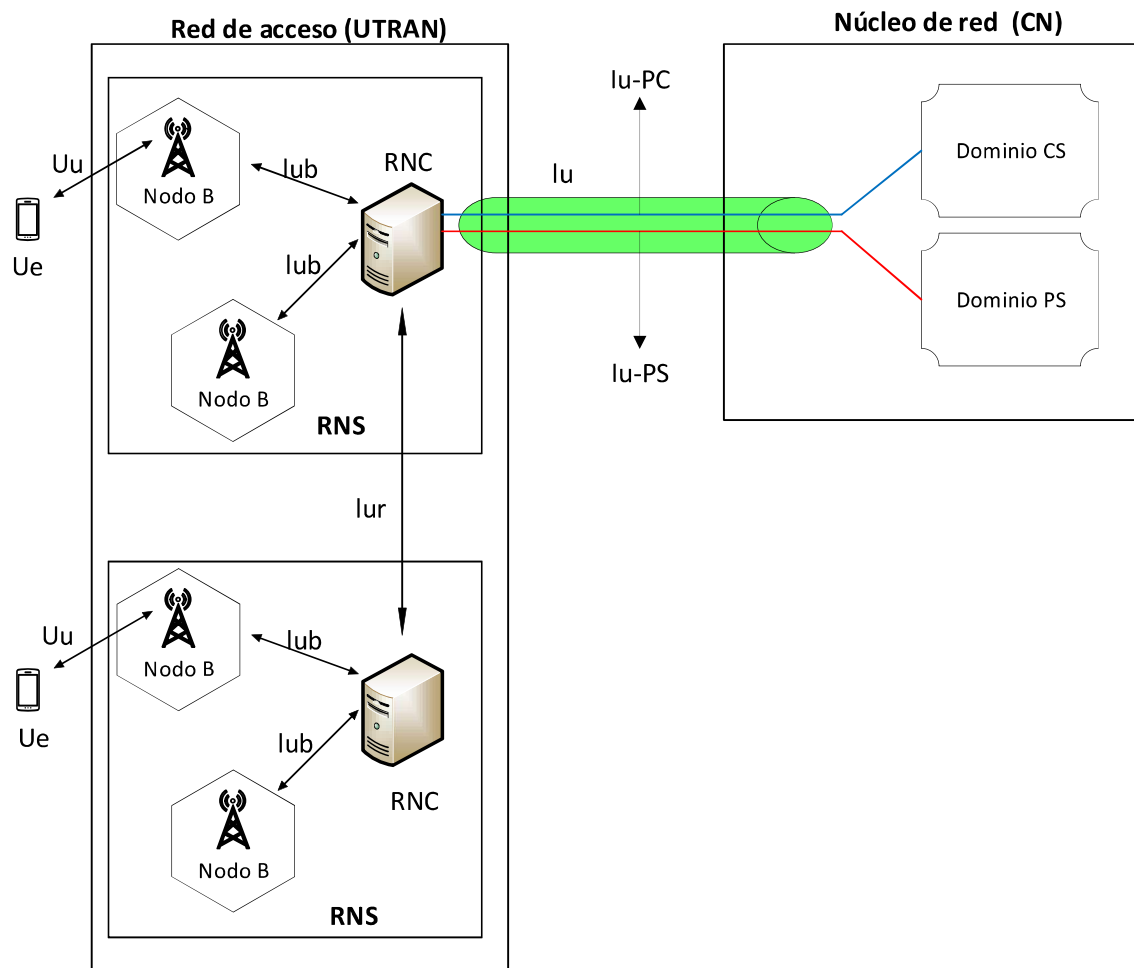


Figura 1.11. Esquema red UMTS [11].

- **Ue:** significa equipos de usuarios. Es cualquier dispositivo utilizado directamente por un usuario final para comunicarse. Puede ser un dispositivo móvil, una computadora portátil equipada con un adaptador de banda ancha o cualquier otro dispositivo. Cada Ue debe de tener una tarjeta USIM<sup>24</sup>, el cual es un módulo que

<sup>24</sup> USIM: Universal Subscriber Identity Module, almacena la información del usuario para acceso a la red, su aspecto es similar a la tarjeta SIM.

identifica al abonado a la red UMTS. El Ue se conecta a la estación base llamada nodo B.

- **Uu:** es la interfaz de radio entre el Ue (usuario) y el nodo B que se encuentra dentro de la red UTRAN.
- **Red de acceso de radio:** denominada UTRAN, la cual está conformada por un grupo de RNS. La UTRAN es la interfaz entre el usuario y el núcleo de red.
- **RNS:** es el antecesor de la BSS en GSM. Es el conjunto de Nodos B y RNC.
  - a. **Nodo B:** es el conjunto de elementos que se encargan de transmitir y receptor información del dispositivo móvil por medio de radio. Un nodo B generalmente está compuesto por antenas y dispositivos electrónicos que transmiten y reciben la información de voz y datos hacia la RNC por diferentes tipos de transmisión como son fibra o enlaces microondas.
  - b. **Iub:** es la interfaz entre un nodo B y la RNC.
  - c. **RNC:** Radio Network Controller o Controlador de red por radio. Este elemento es el responsable de gestionar y controlar a una red de nodos B. sus funciones principales son de cifrado, movilidad por medio de decisiones de handover y asignaciones de canales.
  - d. **Iur:** es la interfaz entre dos RNC de la misma red.
- **Iu-PC:** interfaz entre la RNC y el núcleo de red de conmutación de circuitos.
- **Iu-PS:** interfaz entre la RNC y el núcleo de red de conmutación de paquetes.
- **Núcleo de red:** denominada CN. Su función principal es de logística y control de diferentes servicios para comunicar a la red UMTS con otras redes. El núcleo de red funciona como transporte de información de señalización y tráfico, es decir que el núcleo de red tiene la capacidad de conmutar circuitos y conmutar paquetes para direccionarlos a sus diferentes destinos. Este proceso se realiza de manera inteligente ya que el núcleo de red consta de varios elementos activos en

su mayoría son capa 3. Finalmente consta de dos elementos principales como son la MSC y SGSN

- a. **MSC:** es usado tanto para GSM como para UMTS, está basada en conmutación de circuitos.
- b. **SGSN:** está basada en conmutación de paquetes.

#### **1.4.3.3.4 Acceso de Descarga de Paquetes a Alta Velocidad – HSDPA / Acceso de Carga de Paquetes a Alta Velocidad – HSUPA**

Por sus siglas, High Speed Packet Access (HSPA) o en español Acceso de Paquetes de Alta Velocidad. HSPA es una combinación de dos protocolos móviles como son acceso de paquetes de bajada de alta velocidad (HSDPA) y acceso de paquetes de subida de alta velocidad (HSUPA) [12].

##### **1.4.3.3.4.1 Acceso de Descarga de Paquetes a Alta Velocidad HSDPA**

Esta tecnología es un protocolo de comunicaciones móviles de tercera generación (tercera generación). HSDPA también se conoce como 3,5G, 3G + o Turbo 3G. Permite que las redes basadas en el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) tengan mayores velocidades y capacidad de transferencia de datos. HSDPA ingresó con 3GPP Release 5<sup>25</sup>. HSDPA disminuyó considerablemente la latencia y por lo tanto el tiempo de carga y descarga de las aplicaciones fue menor [12].

Release 5 de 3GPP fue la primera fase de HSDPA. Esta fase introdujo nuevas funciones básicas y tuvo velocidades de transferencia de descarga de datos máximas de 14,0 Mbit/s con una latencia significativamente reducida y una velocidad de carga de datos de 384 kbps.

En general, las llamadas de voz suelen tener prioridad sobre la transferencia de datos.

---

<sup>25</sup> Release 5: versión 5 de 3GPP.

#### **1.4.3.3.4.2 Acceso de Carga de Paquetes a Alta Velocidad HSUPA**

El acceso a paquetes de enlace ascendente de alta velocidad (HSUPA) es un protocolo de telefonía móvil 3G de la familia HSPA. Esta tecnología también es considerada como 3,5G. Adicional fue el segundo paso importante en el proceso de evolución de UMTS con release 6 es decir la sexta versión en 3GPP [12].

HSUPA obtiene una velocidad de transferencia de datos ascendente a 5,76 Mbit/s y una velocidad de transferencia de datos de descarga de 14,14 Mbit/s, lo que amplía la capacidad y reduce la latencia. Junto con mejoras adicionales, esto crea oportunidades para una serie de nuevas aplicaciones, como VoIP, carga de imágenes y envío de mensajes de correo electrónico de gran tamaño. HSUPA ha sido reemplazado por nuevas tecnologías que han evolucionado las tasas de transferencia de datos. LTE proporciona hasta 300 Mbit/s para el enlace descendente y 75 Mbit/s para el enlace ascendente. Su evolución LTE Advanced admite tasas máximas de enlace descendente de más de 1 Gbit/s [12].

#### **1.4.3.3.4.3 Acceso de Paquetes a Alta Velocidad Plus - HSPA+**

Esta tecnología también conocida como HSPA Evolution, (HSPA +) es un estándar de banda ancha inalámbrica definido en 3GPP con la versión 7, es decir release 7. HSPA+ proporciona extensiones a las definiciones HSPA existentes y, por lo tanto, es compatible con las versiones anteriores hasta las versiones originales de la versión 99 de la red WCDMA. Esta tecnología también es considerada como 3,75G [12].

HSPA Evolution proporciona velocidades de transferencia de datos de descarga de hasta 42,2 Mbit/s en el enlace descendente y en transferencia de datos de carga de datos de hasta 22 Mbit/s en el enlace ascendente (por portadora de 5 MHz) con entrada múltiple, salida múltiple (2x2 MIMO<sup>26</sup>) y modulación de orden superior (64 QAM) [12].

---

<sup>26</sup> MIMO: múltiples entradas múltiples salidas, es una norma de interfaz radioeléctrica que permite transmitir múltiples señales simultáneamente sobre un único medio de transmisión



#### **1.4.3.4 Cuarta generación.**

Es una tecnología basada 100% sobre IP, la cual brinda servicios mejorados de video llamadas, televisión en tiempo real, juegos en tiempo real, etc.

4G dispondrá de tasas de transferencia de datos de alrededor de 100 Mbps en un dispositivo móvil y 1 Gbps en estaciones fijas [13].

##### **1.4.3.4.1 Evolución a Largo Plazo – LTE**

Por sus siglas Long-Term Evolution. LTE es un estándar para la comunicación inalámbrica de banda ancha para dispositivos móviles y terminales de datos fijos, basado en las tecnologías GSM/EDGE y UMTS/HSPA. Aumenta la capacidad y la velocidad utilizando una interfaz de radio diferente junto con las mejoras de la red central con un sistema MIMO [13].

El estándar está desarrollado por el 3GPP y se especifica en su serie de documentos la versión 8, con mejoras menores descritas en la versión 9. LTE es la ruta de actualización para operadores con redes GSM/UMTS y redes CDMA2000.

Las diferentes frecuencias y bandas LTE utilizadas en diferentes países significan que solo los teléfonos multibanda pueden usar LTE en todos los países en los que se admite.

En Ecuador LTE opera bajo las frecuencias de 1700 MHz, 1900 MHz y 2100 MHz. Actualmente se está operando bajo la frecuencia de 700 MHz.

LTE se comercializa comúnmente como "4G LTE y Advance 4G", pero no cumple con los criterios técnicos de un servicio inalámbrico 4G, como se especifica en la serie de documentos 3GPP versión 8 y 9 para LTE Advanced.

De tal manera LTE se le conoce comúnmente como 3,95G.

##### **1.4.3.4.1.1 Arquitectura de una red LTE**

Una red LTE consta de tres elementos principales: [13]

- El Equipo de Usuario (UE).
- La red de acceso de radio terrestre UMTS evolucionada (E-UTRAN).
- El núcleo del paquete evolucionado (EPC).

El núcleo de paquetes evolucionado (EPC) se comunica con las redes de paquetes de datos en el mundo exterior, como Internet, las redes corporativas privadas o el subsistema multimedia IP. Las interfaces entre los diferentes elementos del sistema son Uu, S1 y SGi. La figura 1.12 muestra un esquema de una red LTE: [13]

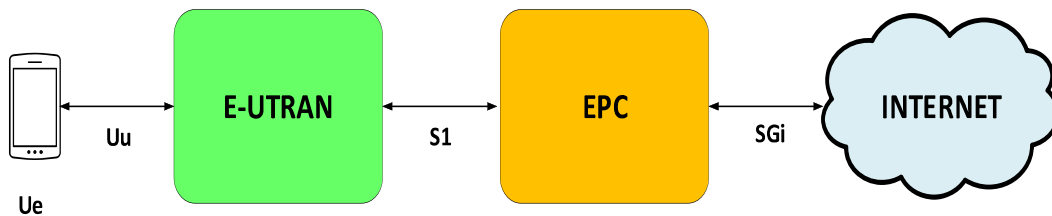


Figura 1.12. Arquitectura red LTE [13].

- **E-UTRAN:** La arquitectura de la red de acceso de radio terrestre UMTS (E-UTRAN) evolucionada se ilustra en la figura 1.13.

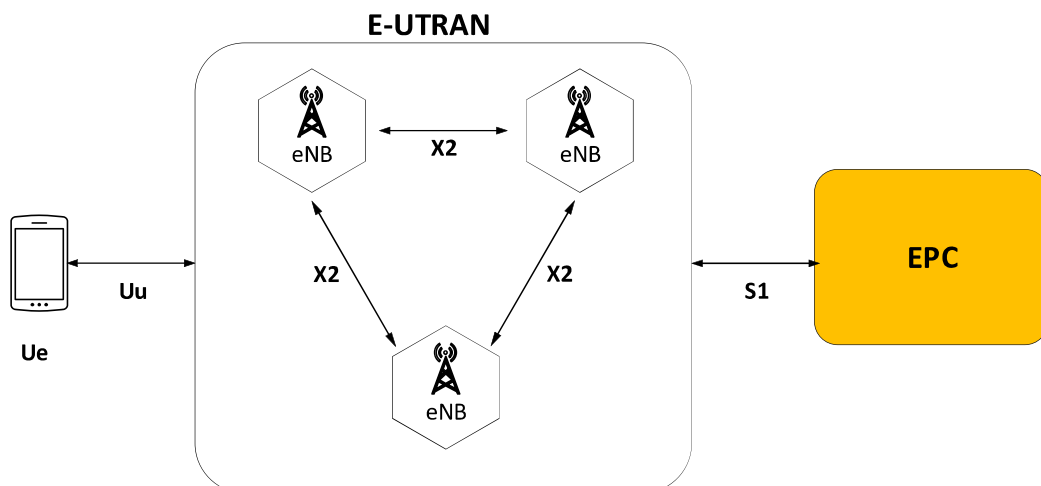


Figura 1.13. Arquitectura E-UTRAN [13].

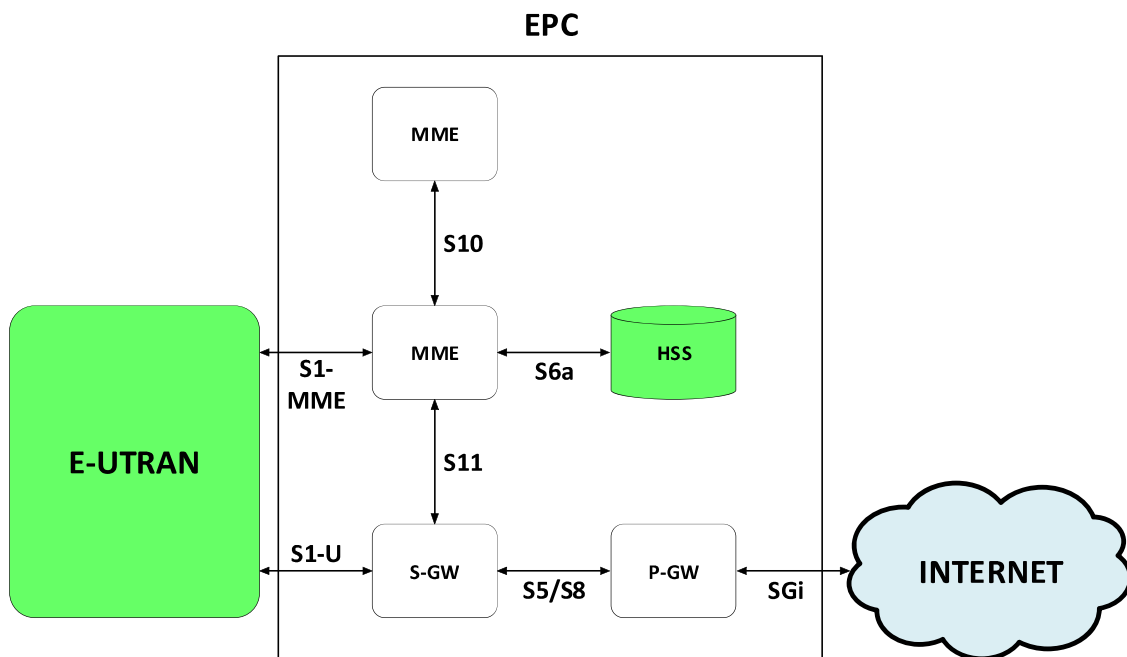
La E-UTRAN maneja las comunicaciones de radio entre el móvil y el núcleo del paquete evolucionado y solo tiene un componente, las estaciones base evolucionadas, llamadas **eNodeB** o **eNB**. Cada eNB es una estación base que controla los móviles en una o más celdas.

Cada eNodeB tiene las siguientes características:

- El eNB envía y recibe transmisiones de radio a todos los móviles utilizando las funciones de procesamiento de señales analógicas y digitales de la interfaz aérea LTE.
- El eNB controla el funcionamiento de bajo nivel de todos sus móviles, enviándoles mensajes de señalización, como comandos de handover.

S1 es la interfaz que conecta cada eNB con el EPC. Así también cada eNB se conecta con otro eNB mediante la interfaz X2, que se utiliza principalmente para la señalización y el reenvío de paquetes durante el handover.

- **EPC:** La arquitectura de Evolved Packet Core (EPC) se muestra en la figura 1.14.



**Figura 1.14.** Arquitectura de la EPC [13].

A continuación, se muestra una breve descripción de cada uno de los componentes que se muestran en la arquitectura anterior:

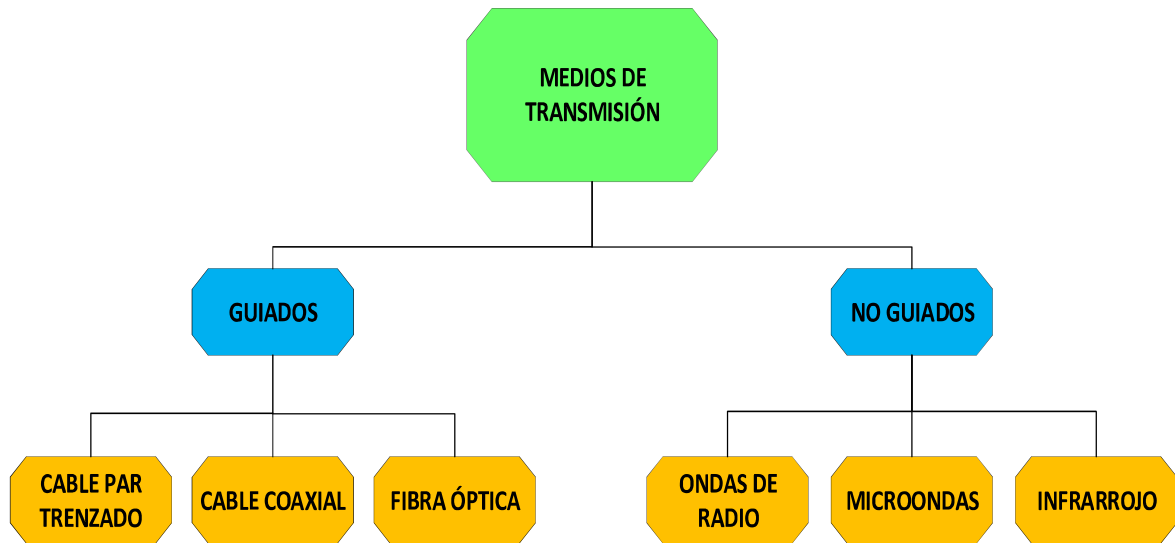
- **HSS:** es una base de datos central que contiene información sobre todos los suscriptores del operador de red.
- **P-GW:** es la puerta de enlace gateway, el cual comunica a la red con el mundo exterior (Internet). SGI es la interfaz entre el Internet y el P-GW.
- **S-GW:** es la puerta de enlace de servicio. Su función es actuar como enrutador. Transmite datos desde un eNB hacia la puerta de enlace P-GW.
- **MME:** este elemento controla la movilidad del equipo móvil. Es el control de alto nivel del equipo móvil mediante envío de mensajes de señalización.

#### 1.4.4 Medios de transmisión

Un medio de transmisión es una vía que puede transportar la propagación de diferentes tipos de señales para fines de las telecomunicaciones [14].

La comunicación es en forma de ondas electromagnéticas. Existen dos medios de transmisión, guiados y no guiados. Con medios de transmisión guiados, las ondas son guiadas a lo largo de un camino físico. Los ejemplos de medios guiados incluyen líneas telefónicas, cables de par trenzado, cables coaxiales y fibras ópticas. Los medios de transmisión no guiados son métodos que permiten la transmisión de datos sin el uso de medios físicos para definir la ruta que toma. Ejemplos de este medio de transmisión incluyen microondas, radio o infrarrojo. Los medios no guiados proporcionan un medio para transmitir ondas electromagnéticas, pero no las guían. Los ejemplos son la propagación a través del aire, el vacío y el agua de mar [15].

La figura 1.15 muestra el esquema de los medios de transmisión.



**Figura 1.15.** Medios de transmisión.

El término enlace directo se utiliza para referirse a la ruta de transmisión entre dos dispositivos en los que las señales se propagan directamente de los transmisores a los receptores sin dispositivos intermedios, distintos de los amplificadores o repetidores utilizados para aumentar la intensidad de la señal. Este término puede aplicarse tanto a los medios guiados como a los no guiados [14].

#### **1.4.4.1 Medios guiados**

También se les conoce como medios de transmisión por cable. Este tipo de medio de transmisión provee un enlace guiado confiable que conduce una señal asociada con la transmisión de información de un terminal fijo a otro [15].

Los medios guiados tienen las siguientes características:

- Alta velocidad
- Seguridad
- Utilizado para distancias cortas
- La señal eléctrica que es transmitida por un medio guiado puede radiarse hacia afuera del medio, lo que podría ocasionar interferencia a medios de transmisión cercanos.

Existen tres tipos de medios guiados: cable par trenzado, cable coaxial y fibra óptica.

#### 1.4.4.1.1 Par trenzado

El cable par trenzado consta de 2 cables conductores aislados por separado enrollados unos sobre otros en forma helicoidal, para reducir la interferencia eléctrica. En general, varios de estos pares están agrupados en una funda protectora. Son los medios de transmisión más utilizados. El par trenzado es de dos tipos: [15]

##### a. Par trenzado sin blindaje (UTP)

Este tipo de cable no tiene la capacidad de bloquear la interferencia a altas velocidades de transmisión. Se utiliza para aplicaciones telefónicas o de transferencia de datos a bajas velocidades de transmisión. Uno de los conectores más usado es el RJ45 en el caso de datos y el RJ11 en el caso de telefonía.

Ventajas:

- Menos caro
- Fácil de instalar
- Capacidad de alta velocidad

Desventajas:

- Susceptible a interferencias externas.
- Menor capacidad y rendimiento en comparación con STP
- Transmisión a corta distancia debido a la atenuación.

##### b. Par trenzado blindado (STP)

Este tipo de cable consiste en una cubierta especial para bloquear la interferencia externa. Se utiliza en Ethernet de velocidad de datos rápida y en canales de voz y datos de líneas telefónicas.

Ventajas:

- Mejor rendimiento a una velocidad de datos más alta en comparación con UTP
- Elimina la interferencia
- Comparativamente más rápido

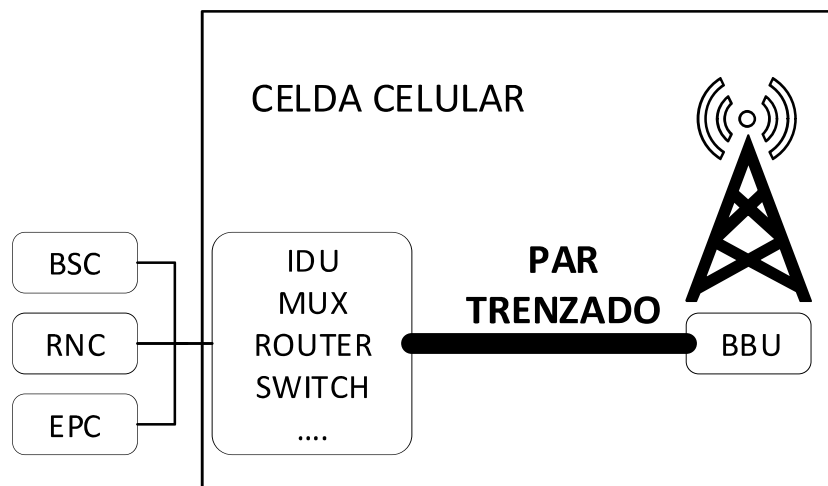
Desventajas:

- Comparativamente difícil de instalar y fabricar

- Más caro
- Voluminoso

El cable par trenzado es utilizado en una radio base como interfaz entre la unidad de banda base (BBU) y el equipo transmisor. El equipo transmisor es el encargado de enrutar el tráfico hacia la BSC, RNC o EPC.

El par trenzado es conectado a diferentes equipos de transmisión como son: IDU (equipos microondas), routers, switches, multiplexores (SDH), entre otros. La figura 1.16 muestra un ejemplo de comunicación entre una BBU y equipo transmisor.



**Figura 1.16.** Par trenzado.

Existen categorías para el cable de par trenzado. Actualmente la categoría 6 y 6a son las recomendables para una instalación de un nuevo nodo celular ya que la categoría 6 y 6a brindan una mayor velocidad de transmisión. Hoy en día la tecnología LTE demanda de una alta velocidad de transmisión que supera los 100 Mbps por lo cual necesita de un adecuado medio de transmisión.

- **Cat 6:** El estándar de cable especifica un rendimiento de hasta 250 MHz. Tiene una longitud máxima reducida de 55 metros cuando se usa para 10GBASE-T<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> 10GBASE-T: provee una conexión de 10 Gbit/s.

- **Cat 6a:** El estándar de cable especifica un rendimiento de hasta 500 MHz. Tiene una longitud máxima reducida de 100 metros cuando se usa para 10GBASE-T

#### **1.4.4.1.2 Cable coaxial**

Tiene una cubierta exterior de plástico que contiene 2 conductores paralelos, cada uno con una cubierta de protección aislada. El cable coaxial transmite información en dos modos: modo de banda base (ancho de banda dedicado del cable) y modo de banda ancha (el ancho de banda del cable se divide en rangos separados). La televisión por cable y las redes de televisión analógica utilizan ampliamente los cables coaxiales [15].

Ventajas:

- Alto ancho de banda
- Mejor inmunidad al ruido.
- Fácil de instalar y expandir
- Barato

Desventajas:

- La falla de un solo cable puede interrumpir toda la red

Este tipo de transmisión no es usado en telefonía celular.

#### **1.4.4.1.3 Fibra óptica**

Este medio de transmisión utiliza el concepto de reflexión<sup>28</sup> de la luz a través de un núcleo hecho de vidrio o plástico. El núcleo está rodeado por un recubrimiento de vidrio o plástico menos denso llamado revestimiento. Se utiliza para la transmisión de grandes volúmenes de datos [15].

---

<sup>28</sup> Reflexión: es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre en un mismo medio.



Teóricamente su ancho de banda permite capacidades mayores a 50000 Gbps, pero en la práctica se limita a una capacidad alrededor de los 100 Gbps en equipos DWDM<sup>29</sup>.

Ventajas:

- Mayor capacidad y ancho de banda
- Peso ligero
- Menos atenuación de señal
- Inmunidad a las interferencias electromagnéticas.
- Resistencia a materiales corrosivos.

Desventajas:

- Difícil de instalar y mantener
- Alto costo
- Frágil
- Unidireccional, es decir, se necesitará otra fibra, si se necesitara comunicación bidireccional.

Este medio de transmisión es muy usado para la telefonía celular, ya que cumple con mayor capacidad de transmisión y mayor ancho de banda. LTE demanda del uso de este medio de transmisión para cumplir con sus estándares de carga y descarga.

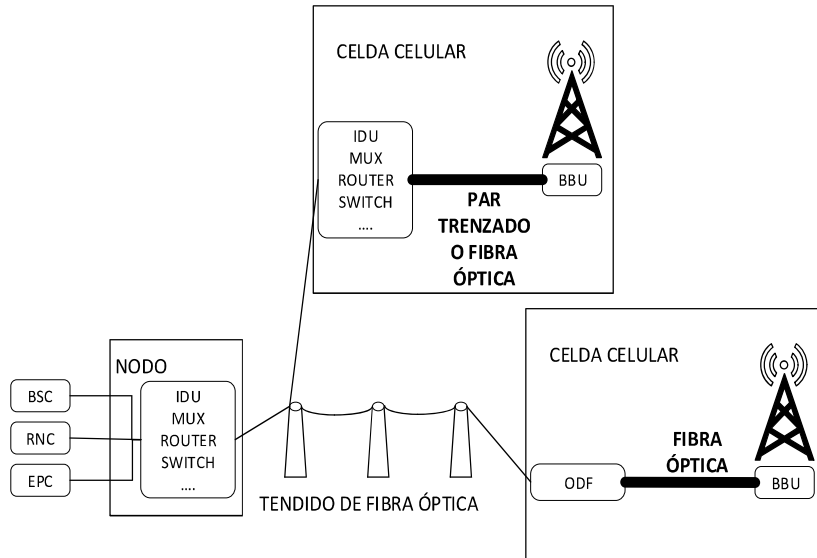
En la construcción de un nodo celular la fibra óptica puede conectarse directamente con los equipos de transmisión en la misma celda o puede actuar como fibra oscura<sup>30</sup>. Al actuar como fibra oscura el equipo transmisor puede estar a kilómetros de la nueva celda celular.

La figura 1.17 muestra un ejemplo de conexión de un nodo celular por medio de fibra óptica.

---

<sup>29</sup> DWDM: multiplexado denso por división en longitudes de onda, es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C (1550 nm).

<sup>30</sup> Fibra oscura: es un tendido de fibra óptica sin uso y sin un propósito a futuro.



**Figura 1.17.** Fibra óptica.

#### 1.4.4.2 Medios no guiados

Este tipo de transmisión también se le conoce como medios de transmisión inalámbricos o sin límites. No se requiere ningún medio físico para la transmisión de señales electromagnéticas. Los medios no guiados tienen las siguientes características: [16]

- La señal se emite a través del aire.
- Menos seguro
- Utilizado para distancias más grandes

Estos medios permiten movilidad de los usuarios y están libres de costo de cableado. Varias señales comparten el mismo medio de transmisión (aire). Existen frecuencias que no requieren de licencia para su operación. A medida que se incrementa su frecuencia, también lo hace la velocidad de transferencia de datos, así como su costo de operación.

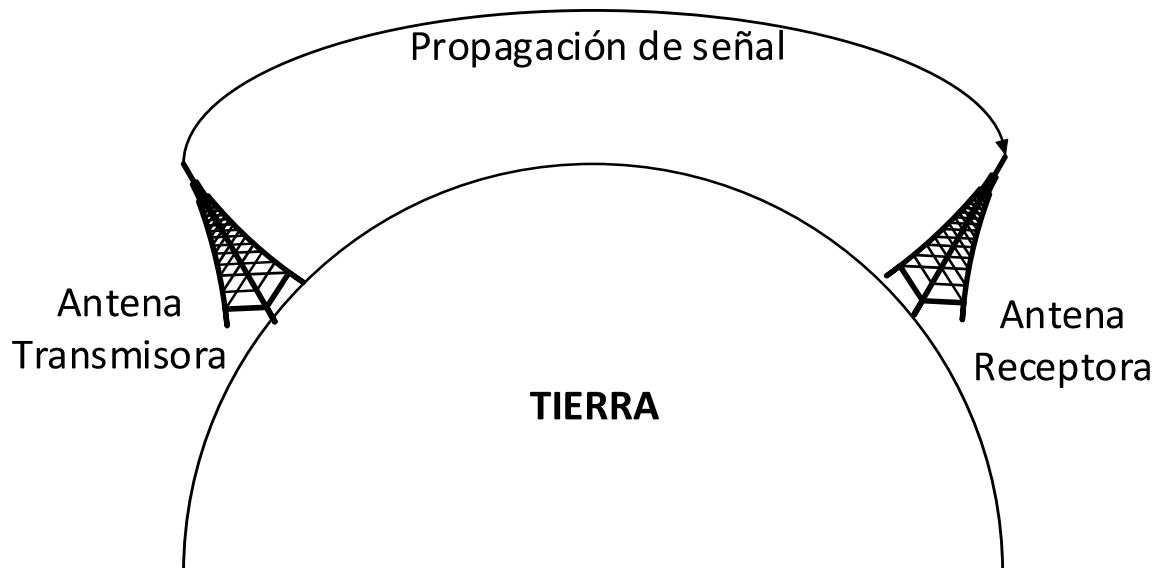
Hay 3 tipos principales de medios no guiados: ondas de radio, microonda e infrarrojo.

##### 1.4.4.2.1 Ondas de radio

Las señales de este medio de transmisión pueden penetrar a través de edificios. Las antenas de envío y recepción no necesitan estar alineadas. El rango de frecuencia es de 3 kHz – 1 GHz. Las radios AM y FM y los teléfonos inalámbricos utilizan las ondas de radio para la transmisión. En las bandas VLF, LF y MF las ondas de radio siguen la superficie de la tierra. En HF y VHF las ondas tienden a ser absorbidas por la tierra. Existen ondas que llegan a la ionósfera (100 km a 500 km de altura de la tierra). Estas ondas son refractadas y devuelta a la tierra [17].

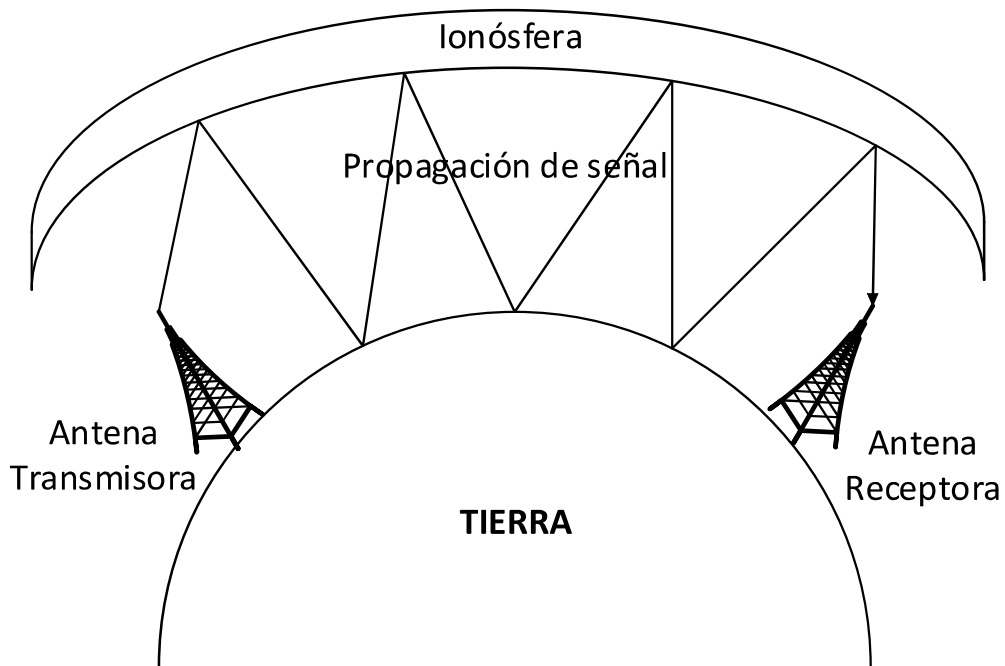
Estas señales de onda son usadas para radio y televisión.

En la figura 1.18 se muestra un ejemplo de transmisión de señales de radio menores a 2 MHz.



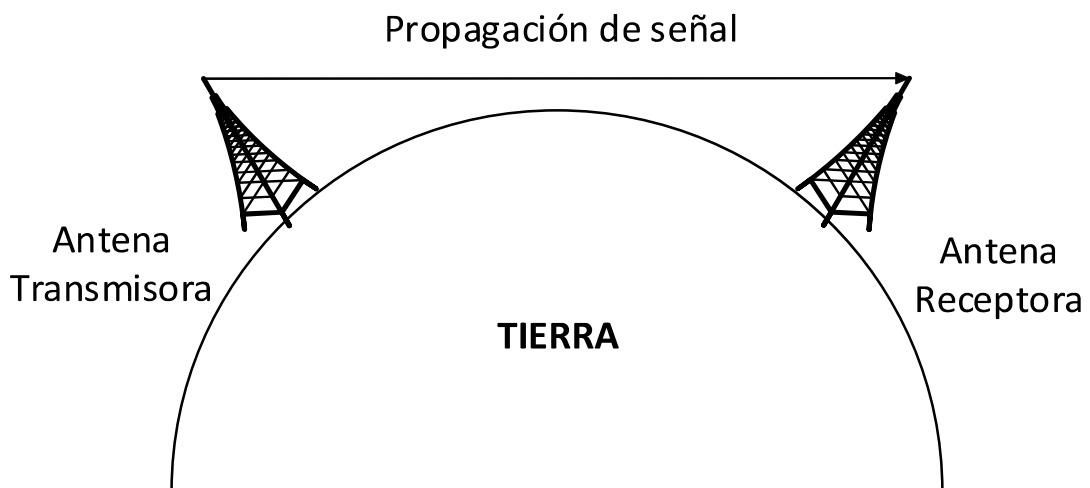
**Figura 1.18.** Ondas de radio menores a 2 MHz.

En la figura 1.19 se muestra un ejemplo de transmisión de señales de radio entre 2 MHz a 30 MHz.



**Figura 1.19.** Ondas de radio entre 2 MHz a 30 MHz.

En la figura 1.20 se muestra un ejemplo de transmisión de señales de radio sobre 30 MHz. Las ondas que se propagan por encima de los 30 MHz necesitan línea de vista (LOS<sup>31</sup>) para que exista comunicación.



**Figura 1.20.** Ondas de radio sobre 30 MHz.

<sup>31</sup> LOS: Line of sight, línea de vista para comunicaciones.

#### **1.4.4.2.2 Microondas**

Este tipo de señales es una línea de transmisión visual, es decir, las antenas transmisoras y receptoras deben estar correctamente alineadas entre sí. La distancia cubierta por la señal es directamente proporcional a la altura de la antena. Rango de frecuencia: 1 GHz – 300 GHz. Las microondas se utilizan principalmente para la comunicación de teléfonos móviles y la distribución de televisión [17].

Las microondas son económicas y reemplazan al tendido de fibra óptica en áreas de urbanas congestionadas.

En zonas rurales de difícil acceso con tendido de fibra óptica o en terrenos montañosos, los enlaces microondas son la mejor opción de comunicación.

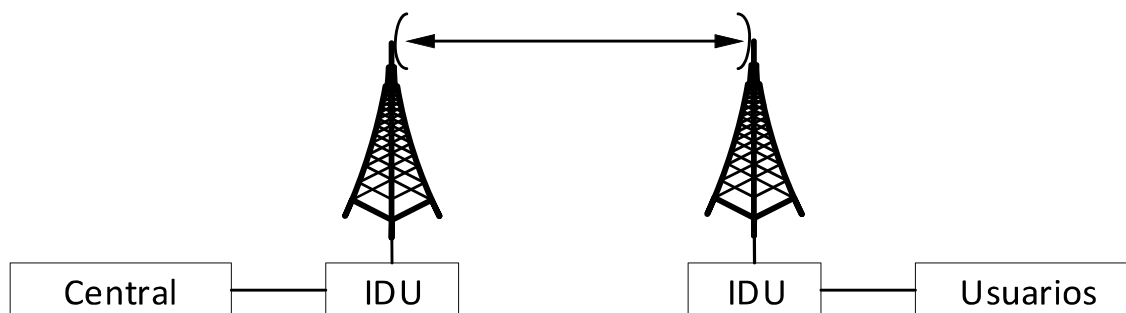
Existen dos tipos de microondas: terrestres y satelitales.

##### **1.4.4.2.2.1 Microondas terrestres**

Este medio de comunicación usa antenas parabólicas, son usadas para larga distancia en reemplazo de enlaces de fibra óptica o cobre. Estas antenas tienen que estar completamente alineadas con línea de vista. Los enlaces microondas son usadas para televisión y voz. Su medio de transmisión es el aire, motivo por el cual la transmisión sufre de interferencias por condiciones atmosféricas, mal tiempo o electromagnéticas [17].

Los enlaces microondas son usados para la implementación de nuevos nodos celulares con diferentes tecnologías como 2G, 3G y LTE.

En la figura 1.21 se muestra un ejemplo de enlace microonda para transporte de diferentes servicios [17].



**Figura 1.21.** Enlaces microonda.

#### **1.4.4.2.2 Microondas satelitales**

Un satélite no se encuentra en la superficie terrestre. Está compuesto por varios transponders<sup>32</sup>. Un transponder escucha una porción del espectro radioeléctrico, amplifica la señal recibida y la retransmite en otra frecuencia para que no exista interferencias [17].

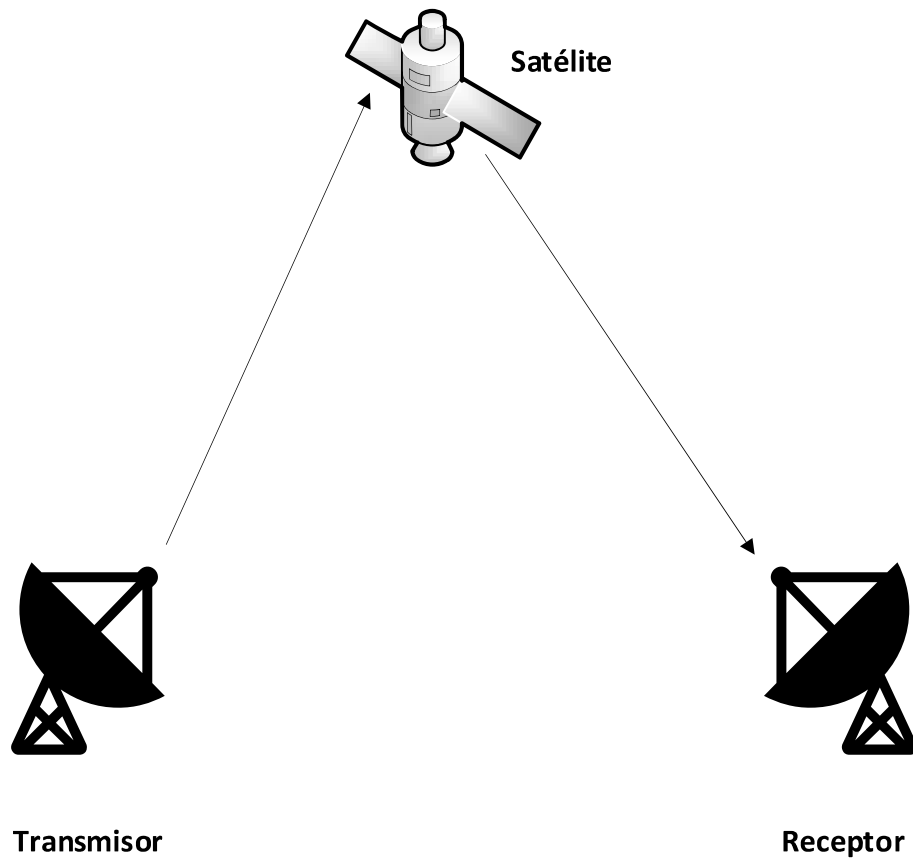
Este tipo de comunicación puede ser punto-punto o punto-multipunto.

Este tipo de comunicaciones son usadas en lugares de difícil acceso como por ejemplo en las Islas Galápagos. Desde el territorio ecuatoriano no existe un cable submarino que comunique con las islas, de tal manera que la salida de internet es satelital [2].

En la figura 1.22 se muestra un ejemplo de un enlace satelital punto-punto.

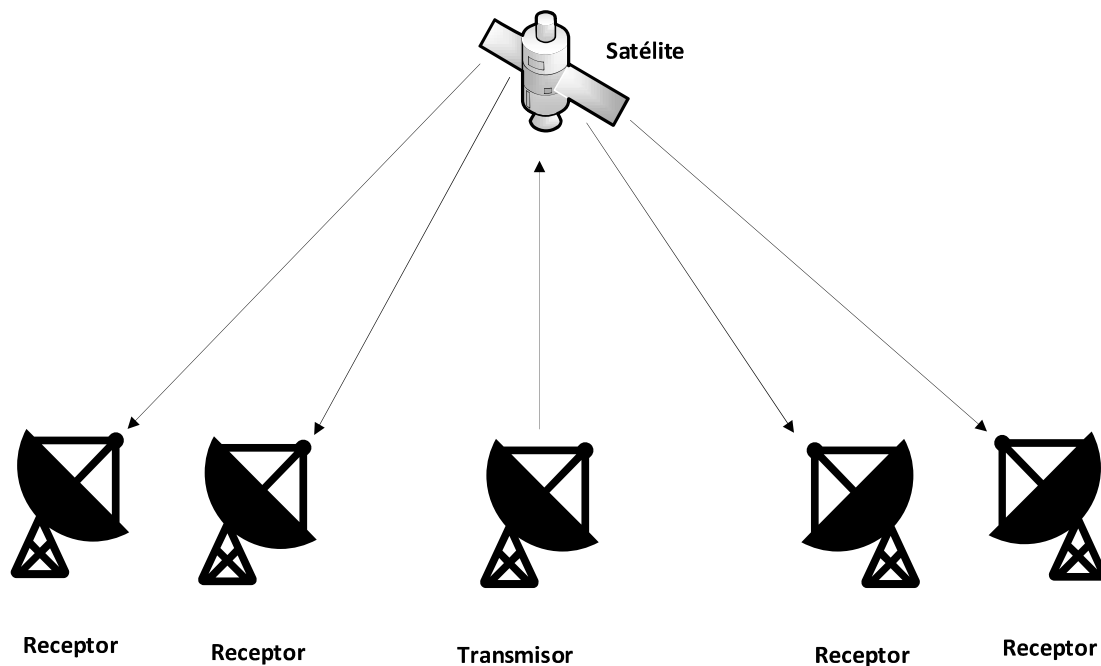
---

<sup>32</sup> Transponder: es un dispositivo que, al recibir una señal, emite una señal diferente en respuesta.



**Figura 1.22.** Enlace satelital punto-punto.

En la figura 1.23 se muestra un ejemplo de un enlace satelital punto-multipunto.



**Figura 1.23.** Enlace punto-multipunto.

#### **1.4.4.2.3 Infrarrojos**

Las ondas infrarrojas se utilizan para comunicaciones de corta distancia. No pueden penetrar a través de obstáculos. Esto evita la interferencia entre sistemas. Rango de frecuencia: 300 GHz – 400 THz. Se utiliza en controles remotos de TV, mouse inalámbrico, teclado, impresora, etc [17].

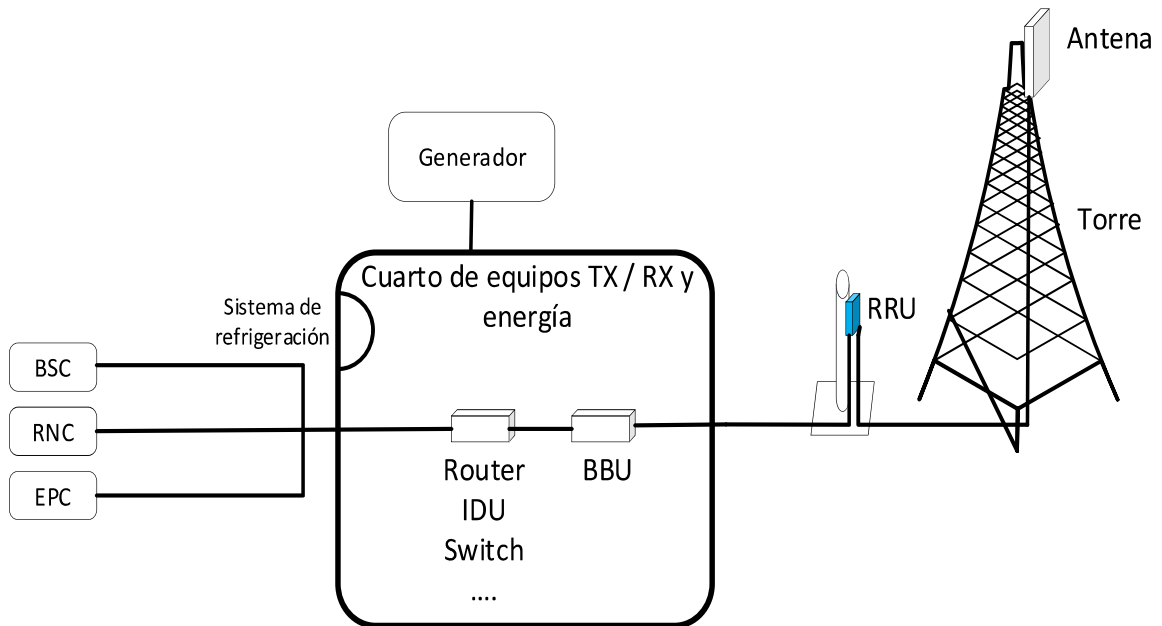
#### **1.4.5 Elementos de una radio base**

Una radio base de telefonía celular consta de varios elementos dependiendo de la necesidad, es decir, existen radio bases fijas y móviles. Las radio bases fijas tienen mayor infraestructura que las estaciones móviles. Estas estaciones móviles son momentáneas por horas o máximo días. Después de cierto período son desmontadas, es por eso que estas estaciones son instaladas con la infraestructura necesaria para brindar servicio de telefonía celular momentáneo. Los eventos pueden ser: partidos de fútbol, conciertos, etc.



Una estación fija contiene los siguientes elementos: infraestructura de soporte (torre, mástil, torreta, etc.), antenas, unidad de radio remota (RRU), equipos de procesamiento de información, enlace a la central, generador (algunos casos) [18].

La figura 1.24 muestra un ejemplo de una radio base estándar.



**Figura 1.24.** Elementos de una radio base [18].

#### 1.4.5.1 Antenas

Las antenas son elementos pasivos, los cuales permiten conectar los dispositivos móviles con los diferentes servicios que ofrece la operadora móvil por medio de ondas electromagnéticas. Las antenas celulares son bidireccionales (transmisión y recepción). Una antena sectorial cubre un rango de cobertura entre 60° y 120°. Es decir que teóricamente para cubrir una zona de 360° se necesitaría un arreglo de tres antenas [18].

Existen varios fabricantes de antenas celulares como son: Kathrein, Andrew, Compel, Huawei, etc.

### 1.4.5.2 Infraestructura de soporte

La infraestructura de obra civil es en donde se ubican las antenas u otros equipos de radiación o RRU. Esta infraestructura puede ser: torre autosoportada, monopolo, torreta o mástil [18].

#### 1.4.5.2.1 Torres auto soportadas

Estructura conformada en su totalidad por tubos metálicos. Desde su base hacia su último peldaño tiene forma en zigzag triangular. Existen torres auto soportadas desde los 40 metros hasta los 120 metros. Las torres más altas se encuentran en regiones que se acercan más al nivel del mar o en zonas cubiertas por árboles (selva espesa como la Amazonía). Para identificar a simple vista las alturas de estas torres se les pinta de dos colores, siendo cada color un identificativo de 3 metros. Por lo general los colores son blanco y rojo. La figura 1.25 muestra un ejemplo de torre autosoportada.



**Figura 1.25.** Torre autosoportada.

#### 1.4.5.2.2 Torre ventada o tensada

Este tipo de torre se caracteriza por tener en toda su estructura tensores hacia suelo firme. Estas estructuras tienen una altura máxima de 60 metros. Un ejemplo se muestra en la figura 1.26. Su estructura es está compuesta por tubos metálicos en zigzag y de forma rectangular.



**Figura 1.26.** Torre tensada.

### 1.4.5.2.3 Monopolos

Este tipo de estructuras se encuentran conformadas por tubos metálicos de 6 metros, estos tubos son huecos ya que hoy en día se permite instalar el cableado por dentro de los tubos. A medida que se asciende los tubos van disminuyendo de diámetro y van apilados uno encima de otro. Su altura máxima es de 42 metros. Un ejemplo de este tipo de estructura se muestra en la imagen 1.27.



**Figura 1.27.** Monopolo.

#### 1.4.5.2.4 Torreta

Su estructura es de similar forma de la torre ventada, pero de menor tamaño ya que son construidas en las terrazas de edificaciones urbanas. En toda su estructura poseen tensores hacia suelo firme. Tienen una altura de 12 metros. Un ejemplo de este tipo de estructura se muestra en la figura 1.28.



**Figura 1.28.** Torreta.

#### 1.4.5.2.5 Arreglo de mástiles

Estas estructuras constan de un conjunto de tubos de acero galvanizado, estos tubos son instalados en las terrazas de edificaciones a nivel urbano. Estos mástiles son de dos tipos: soportes simples y en forma H. Alcanzan una altura de 6 metros. En la figura 1.29 se muestra un ejemplo de estas estructuras.



**Figura 1.29.** Soporte simple y H.

En ocasiones por falta de espacio en terrazas se aprovecha de las fachadas de las edificaciones como se muestra en la figura 1.30.



**Figura 1.30.** Soportes en fachadas.

### **1.4.5.3 Unidad de radio remota – RRU**

Por sus siglas, Unidad de Radio Remota. Es el elemento que comunica a la antena con los equipos de transmisión y recepción. Las RRU son análogas a un transceiver ya que tiene puertos de entrada ópticos y puertos de salida eléctricos. Es decir, la comunicación con la BBU es por fibra óptica y la comunicación con la antena es por medio de cobre [18].

Existen diferentes proveedores de RRU en el mercado de las telecomunicaciones como son: Ericsson, Huawei, Nokia, Siemens, etc.

#### **1.4.5.4 Unidad de banda base – BBU**

Por sus siglas, unidad de banda base. Una estación de telecomunicaciones inalámbrica típica consiste en la unidad de procesamiento de banda base y la unidad de procesamiento de RF (unidad de radio remota - RRU). La unidad de banda base se coloca en la sala de equipos y se conecta con RRU a través de fibra óptica. La BBU es responsable de la comunicación a través de la interfaz física. Una BBU tiene las siguientes características: diseño modular, tamaño pequeño, bajo consumo de energía y se puede implementar fácilmente. La BBU es el equipo que se comunica directamente con los equipos de transmisión, los mismos se comunican con la BSC, RNC o EPC [18].

Existen diferentes proveedores como son: Ericsson, Huawei, Nokia, Siemens, etc.

#### **1.4.5.5 Equipos de transmisión**

Los equipos de transmisión son los equipos encargados de transportar el tráfico de la radio base a la BSC, RNC o EPC. Pueden ser varios equipos que cumplen con esta función como enlaces microondas, fibra oscura, routers, switch, multiplexores SDH, etc. [18].

#### **1.4.5.6 Generador**

Este equipo tiene como función de suministrar energía momentánea en caso que la radio base pierda su energía principal. Es un elemento importante en una radio base, pero no en todas están instaladas [18].

#### **1.4.6 Frecuencias de telefonía celular**

Según la página de la ARCOTEL (corte 2018 septiembre) en Ecuador existen tres operadoras móviles, CNT (estatal), CONECEL (CLARO) y OTECEL (TELEFÓNICA MÓVISTAR), estas dos últimas privadas [19].

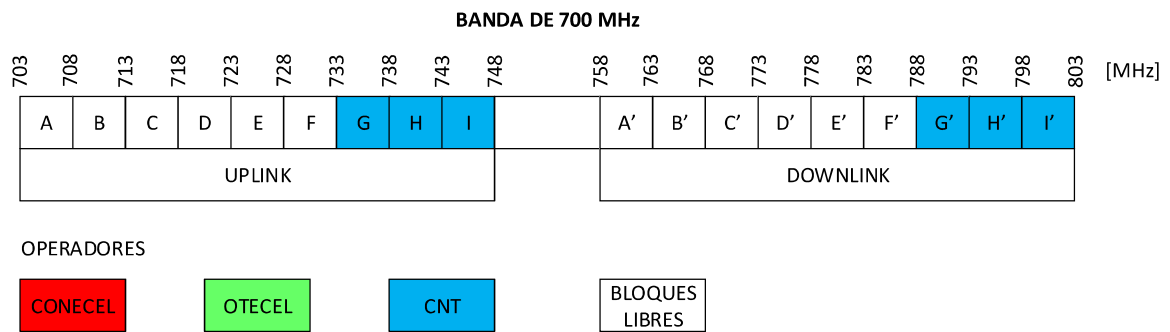


La operadora CONECEL con el nombre comercial de CLARO dispone en su red de telefonía celular de tres tecnologías: 2G, 3G y LTE [19].

La operadora OTECEL con el nombre comercial Telefónica MOVISTAR dispone en su red de telefonía celular de tres tecnologías: 2G, 3G y LTE [19].

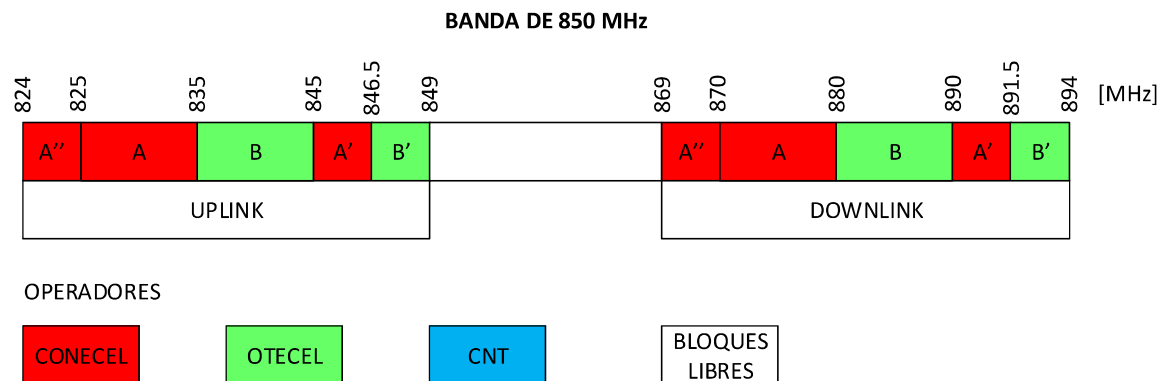
La operadora CNT dispone en su red de telefonía celular de dos tecnologías: 3G y LTE. [19]

La figura 1.31 muestra la asignación de frecuencias y canalización en la banda de 700 MHz de las tres operadoras móviles.



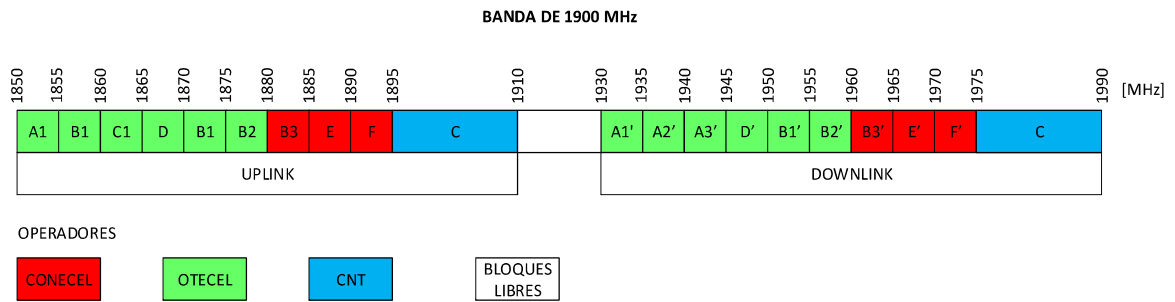
**Figura 1.31.** Banda 700 MHz [19].

La figura 1.32 muestra la asignación de frecuencias y canalización en la banda de 850 MHz de las tres operadoras móviles.



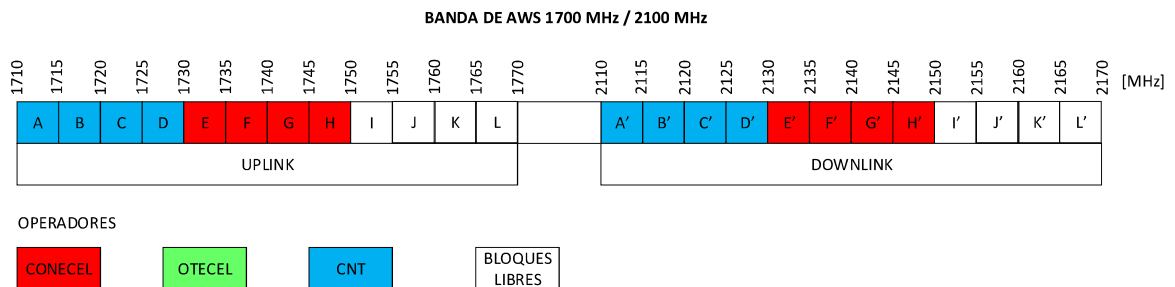
**Figura 1.32.** Banda 850 MHz [19].

La figura 1.33 muestra la asignación de frecuencias y canalización en la banda de 1900 MHz de las tres operadoras móviles.



**Figura 1.33.** Banda 1900 MHz [19].

La figura 1.34 muestra la asignación de frecuencias y canalización en la banda de AWS<sup>33</sup> 1700 MHz / 2100 MHz de las tres operadoras móviles.



**Figura 1.34.** Banda de AWS 1700 MHz / 2100 MHz [19].

### 1.4.7 Frecuencias por tecnología

En Ecuador el rango de frecuencias para las tecnologías 2G, 3G y LTE están en el rango desde los 700 MHz hasta los 2100 MHz [19].

<sup>33</sup> AWS: Advanced Wireless Services, banda del espectro utilizada para servicios móviles de voz, datos y video.

La tabla 1.1 muestra las frecuencias por tecnología de OTECEL, CONOCEL y CNT.

**Tabla 1.1** Frecuencias por tecnología [19].

<b>OPERADOR</b>	<b>TECNOLOGÍA</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>RED</b>	<b>SERVICIO</b>
CONECEL	GSM	850 / 1900 MHz	2G	Voz y Datos
	UMTS	850 / 1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	1700 / 2100 MHz	LTE	Datos
OTECEL	GSM	850 / 1900 MHz	2G	Voz y Datos
	UMTS	850 / 1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	850 / 1900 MHz	LTE	Datos
CNT	UMTS	1900 MHz	3G	Voz y Datos
	LTE	700 / 1700 MHz	LTE	Datos

## **2 METODOLOGÍA**

### **ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA NUEVA RADIO BASE CELULAR**

Como primera instancia es necesario conocer el estado de cobertura de una determinada zona geográfica, en este caso de la ciudad de San José de Chimbo. Para lo cual se utilizó la operadora CLARO. Con el análisis de cobertura se procede con el diseño de la nueva radio base celular.

Después de identificar una zona sin cobertura o con problemas de cobertura celular se procede a realizar un drive test<sup>34</sup>, el cual indica el estado de cobertura de la zona geográfica elegida.

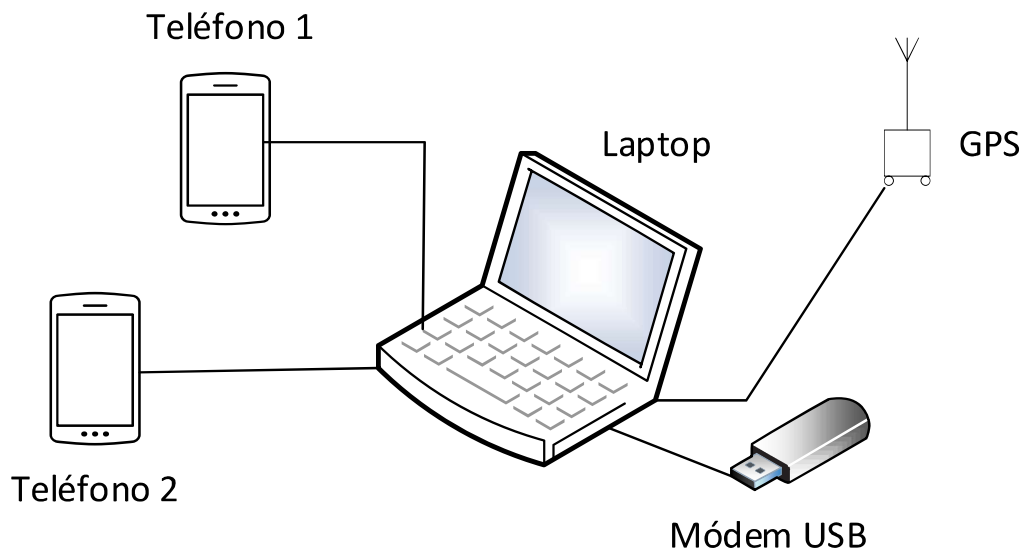
#### **2.1 Proceso de prueba de cobertura - Drive test**

En el área de las telecomunicaciones, específicamente en las redes celulares, drive test significa un proceso de validación en campo de una porción de una red celular en un área geográfica determinada para su post procesamiento. Con los datos obtenidos se puede optimizar diversos parámetros de la red celular como corrección de problemas de cobertura, caídas de llamadas, etc.

Para realizar una prueba de cobertura y corroborar que es necesario la instalación de una nueva radio base para ampliar la cobertura de una red celular es indispensable los siguientes elementos que se muestran en la figura 2.1:

---

<sup>34</sup> Drive test: es el proceso mediante el cual en una zona geográfica determinada se realizan pruebas de cobertura en cualquier tecnología de telefonía celular.



**Figura 2.1.** Elementos de un drive test.

- **Laptop con software de muestreo:** la computadora portátil debe de estar equipada con un software capaz de recolectar, almacenar y procesar los datos obtenidos durante el recorrido ya sea caminando o el auto [20].
- **Dos teléfonos:** los equipos celulares son usados para realizar llamadas largas y llamadas corta [20].
- **Módem USB:** este dispositivo es usado para realizar pruebas de carga y descarga hacia un servidor FTP [20].
- **GPS:** dispositivo usado para almacenar la ubicación exacta durante una prueba de cobertura [20].

La prueba de drive test se realiza con la ayuda de un vehículo, el cual realiza un recorrido por un área geográfica determinada para obtención de datos preliminares y su post procesamiento.

## **2.1.1 Delimitación del área geográfica a ser estudiada**

Para comenzar con una prueba de cobertura es esencial delimitar el área geográfica que va a ser intervenida y estudiada. La herramienta más usada es Google Earth. De tal manera existen dos maneras de delimitar un área geográfica.

### **2.1.1.1 Ruta Predefinida**

Para diseñar una ruta rápidamente en una zona geográfica es necesario tener la información del recorrido de un drive test realizado con anterioridad. El objetivo de delimitar un área con una ruta predefinida es marcar rutas previamente conocidas. El inconveniente de este proceso es la aparición de nuevas rutas que no existían en el drive test realizado con anterioridad. Este inconveniente se presenta en zonas rurales debido a su alto crecimiento poblacional.

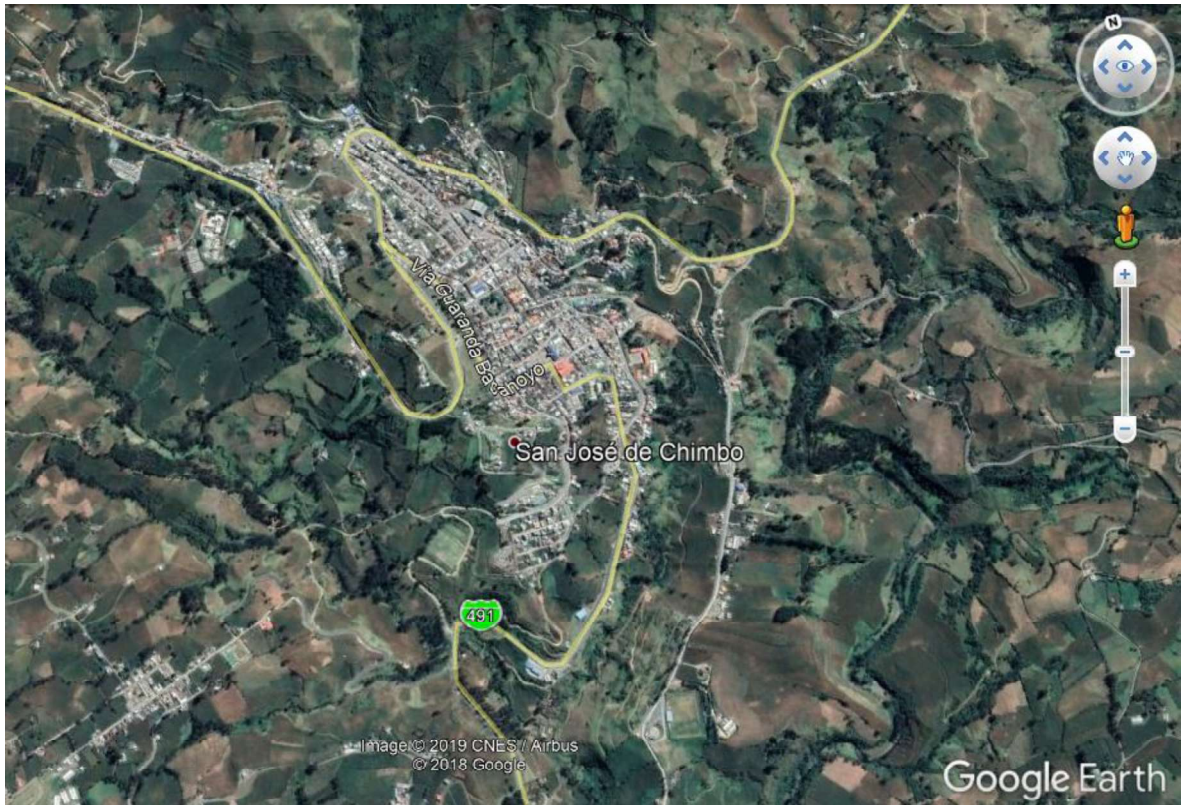
### **2.1.1.2 Polígono**

Este tipo de procedimiento se usa cuando no se ha realizado un estudio previo a una determinada área geográfica. De tal manera con la ayuda de Google Earth u otro software que contenga mapas se realiza un polígono que incluya la zona a ser estudiada.

Al realizar un polígono se tiene como ventaja que el ingeniero tiene toda la libertad de escoger las rutas para movilizarse en el área a ser estudiada. Con esta opción queda a criterio del ingeniero de no recorrer todas las vías, ya que podrían ser rutas de difícil acceso o rutas sin población.

## **2.1.2 Ubicación de la zona de análisis**

La ciudad de San José de Chimbo es la cabecera cantonal del cantón Chimbo, ubicada en el centro de la provincia de Bolívar. En la actualidad no consta de cobertura celular. En la figura 2.2 se muestra la ubicación de la ciudad de San José de Chimbo.



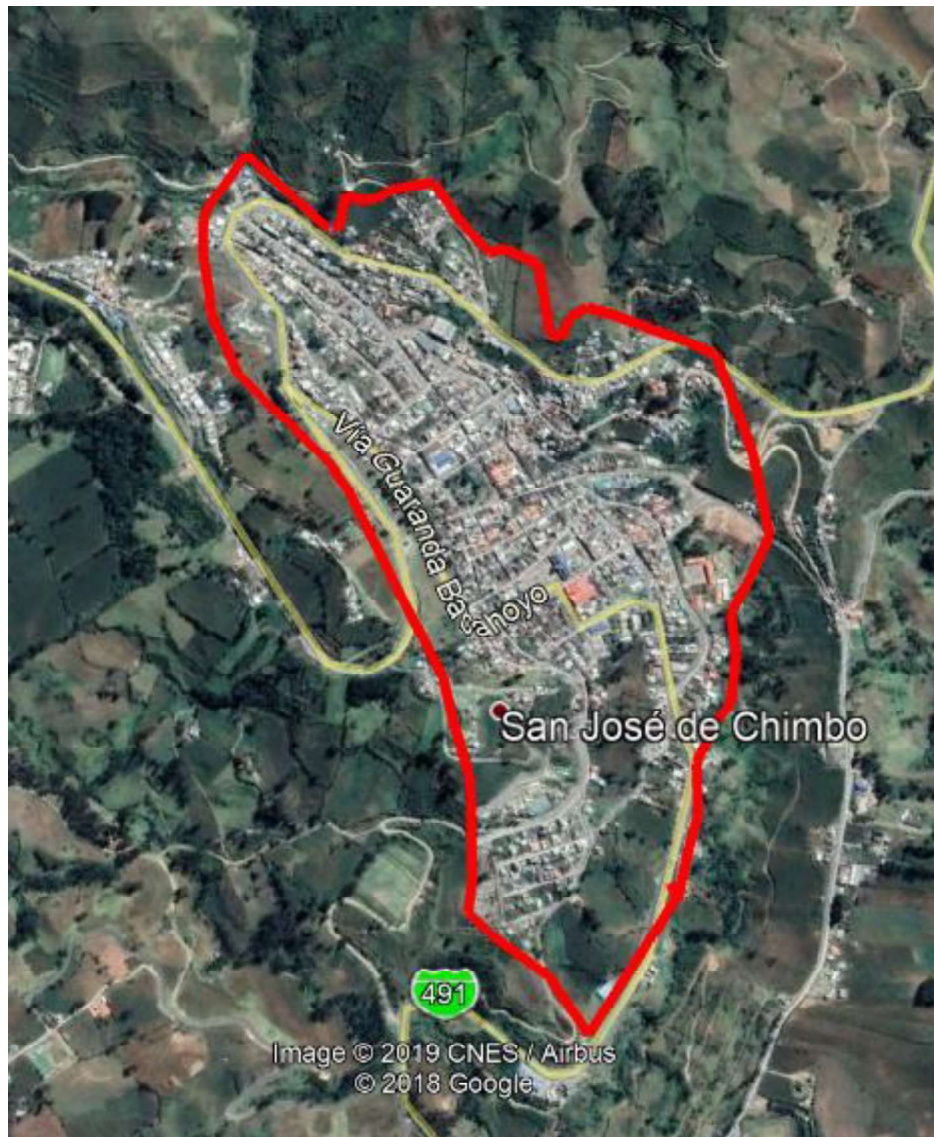
**Figura 2.2.** Ubicación de la ciudad de San José de Chimbo.

### **2.1.3 Ruta del drive test**

Se realizará una visita a la ciudad de San José de Chimbo para determinar si existen radio bases que brinden cobertura celular. Con personal de radio frecuencia en sitio se evidencia que no existe cobertura celular. De tal manera con ayuda de Google Earth se ha diseñado un polígono de cobertura, el cual será usado en el transcurso de este proyecto para determinar los cambios en el antes y el después de la implementación de una nueva radio base.

El polígono fue determinado tomando en consideración la ruta principal de la ciudad que es la E491, la cual comunica la ciudad de Babahoyo con la ciudad de Guaranda. Así mismo este polígono tiene que cubrir atractivos turísticos como la Plaza La Merced, Parque Central y la Iglesia Matriz. En la figura 2.3 se muestra el polígono de la ciudad de San José de Chimbo.





**Figura 2.3.** Polígono ciudad San José de Chimbo.

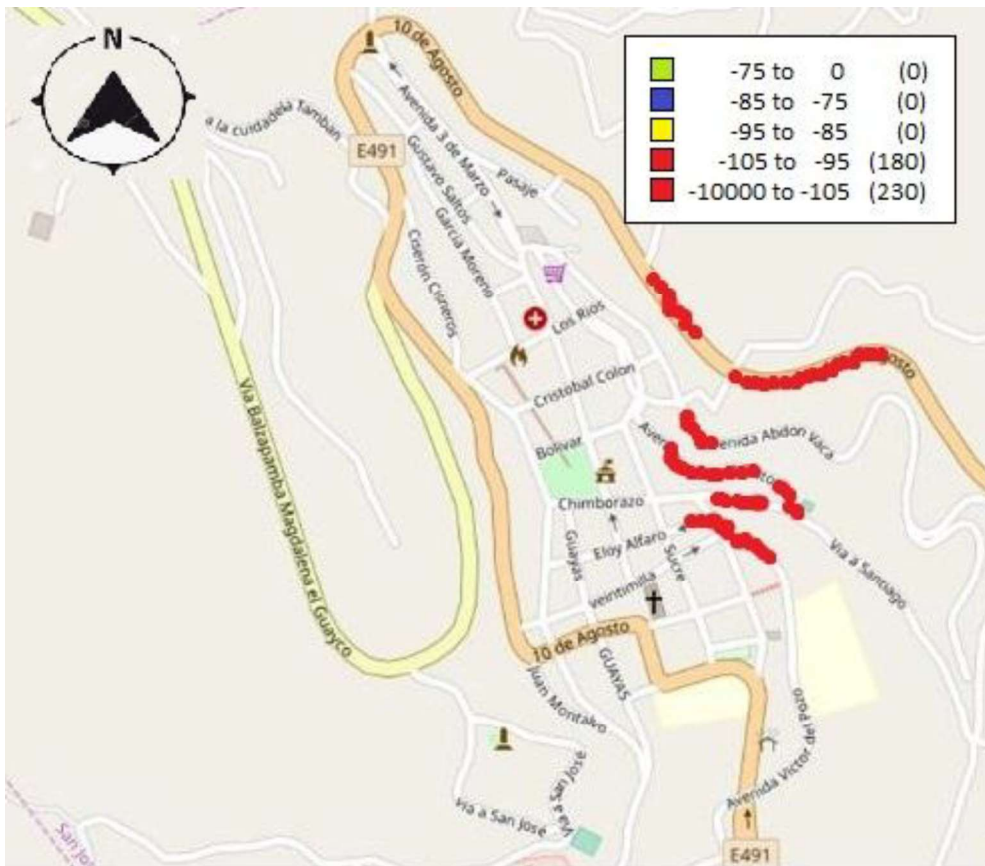
## **2.2 Resultado del drive test**

Después de realizar el recorrido se tomó muestras de recepción de potencia de las tres tecnologías por medio de un equipo celular y un software de recepción de muestras. Obteniendo como resultados que la ciudad de San José de Chimbo no disponía de telefonía celular.



## 2.2.1 Niveles de recepción – RXLev

Este parámetro indica el nivel de recepción de potencia de un dispositivo móvil en la tecnología 2G. En el recorrido realizado en la ciudad de San José de Chimbo se obtuvo resultados en ciertos puntos, debido a que el dispositivo móvil se conectaba a radio bases aledañas. La figura 2.4 muestra el resultado del análisis.



**Figura 2.4.** RXLev antes de implementar el nodo celular.

En la figura 2.4 se indica los niveles de recepción de potencia por colores, en donde el color rojo señala una recepción pésima de potencia del dispositivo móvil. Apenas se pudo obtener 410 muestras de RxLev.

Para el caso de 3G y LTE el software no obtuvo muestras, de tal manera se comenzó con el análisis de implementar un nuevo nodo celular.

La degradación de potencia (nivel de recepción de potencia) de 3G y LTE se debe a varios factores, los principales nombrados a continuación:

- Distancia a la radio base celular más cercana.
- Línea de vista a la radio base más cercana.
- Zona geográfica, indica el relieve o montañas que obstaculicen la penetración de potencia emitida por la radio base más cercana.

### **2.2.2 Potencia de Señal de Código Recibida – RSCP**

Este parámetro indica la intensidad y la potencia de la señal que reciben los dispositivos móviles o dispositivos portables (Modem 3G) conectados a una red celular. Este parámetro indica los niveles de recepción de señal en la red UMTS y LTE. Para este proyecto no se realizaron pruebas de drive test ya que no existe un nodo celular cercano de la operadora CLARO.

## **2.3 Análisis del nuevo nodo celular**

Para la implementación de un nuevo nodo celular se toma como referencia varios factores como: zona de búsqueda, negociación del sitio, instalación y pruebas de funcionamiento.

### **2.3.1 Zona de búsqueda**

La ciudad de San José de Chimbo por ser una zona geográfica de dimensiones pequeñas se ha tomado en consideración al edificio más alto con el fin de cubrir la mayor cantidad de área geográfica.

Después de realizar una búsqueda de las edificaciones más altas, se tiene como primer y único candidato al edificio más grande del poblado, en el cual funciona un hostel llamado Grant Ruiseñor. Adicional se considera su obra civil, posición geográfica estratégica y negociación con el propietario. En este proyecto se escoge la edificación más alta y que

abarque la mayor cantidad de área posible ya que alrededor no se encuentran nodos cercanos que puedan producir interferencia.

### 2.3.1.1 Candidato para el nuevo sitio

Debido a que la ciudad de San José de Chimbo es de pequeñas dimensiones se ha tomado en consideración la experiencia de los ingenieros en radio frecuencia para la localización del nuevo sitio que será sede de la nueva radio base.

A continuación, en la tabla 2.1 se muestra las características del sitio elegido.

**Tabla 2.1.** Características del candidato para la implementación de la nueva radio base.

Candidato	Coordenadas		Dirección	Descripción
	Latitud	Longitud		
1	S 01° 40' 54,70"	W 79° 01' 29,30"	Av. Abdón Vaca y Cristóbal Colón	Terraza Hostal GRANT RUISEÑOR Edificio de 5 pisos

En la figura 2.5 se muestra el candidato para la nueva radio base.



**Figura 2.5.** Candidato de la nueva radio base.

### **2.3.2 Objetivos de cobertura**

Con el objetivo de cubrir la mayor cobertura posible a la ciudad de San José de Chimbo se sigue instalando tres antenas en tres sectores diferentes. Con la visita a campo se valida los azimuts que deberá tener cada antena. Los objetivos de cobertura se muestran en la tabla 2.2 con sus respectivos azimuts.

**Tabla 2.2.** Objetivos de cobertura.

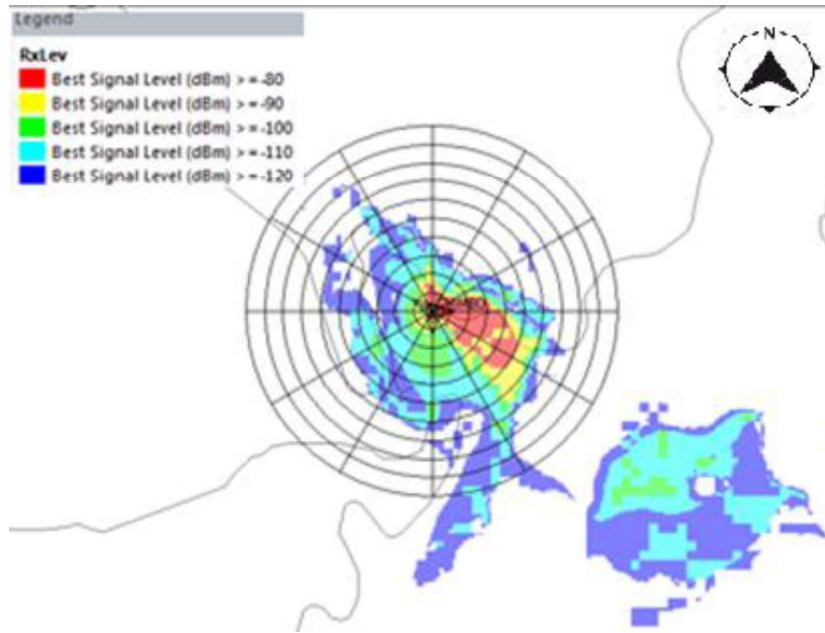
		
Sector X [azimut 35°]	Sector Y [azimut 120°]	Sector Z [azimut 290°]

### 2.3.3 Predicciones de cobertura

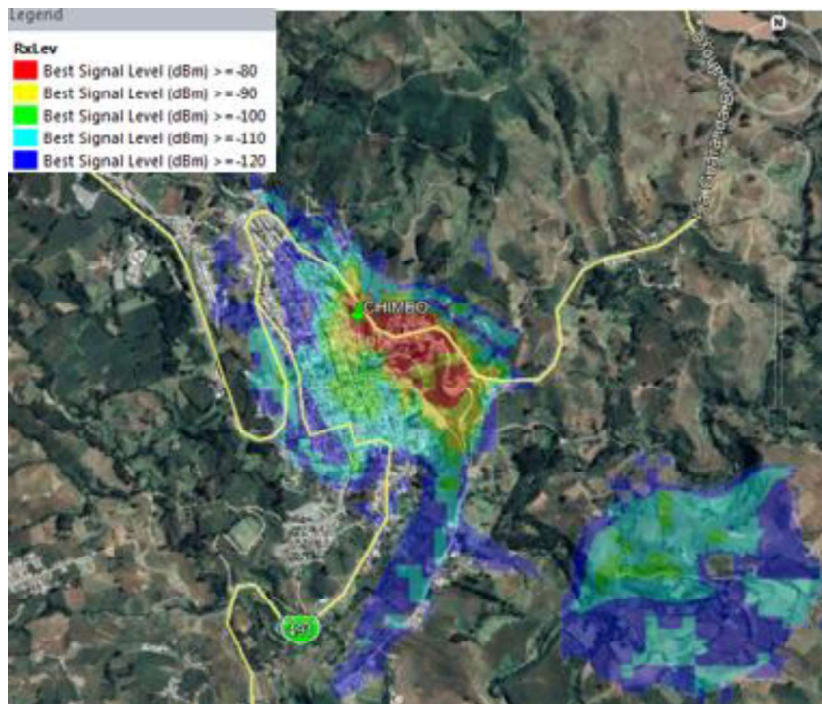
Por medio de software (ATOLL) se realiza las simulaciones para las tecnologías 2G, 3G y LTE con frecuencias de la operadora CLARO. La distribución será para tres antenas, y cada antena radiará las tres tecnologías en tres diferentes sectores. La información útil para la simulación se tomará de la tabla 2.2 donde se describen los azimuts. La frecuencia que se utilizará para las simulaciones y su futura implementación serán las siguientes: GSM en la frecuencia de 850 MHz, UMTS en la frecuencia de 1900 MHz y LTE en la frecuencia de 2100 MHz.

Las figuras 2.6 y 2.7 muestran la simulación del sector X en la tecnología 2G.



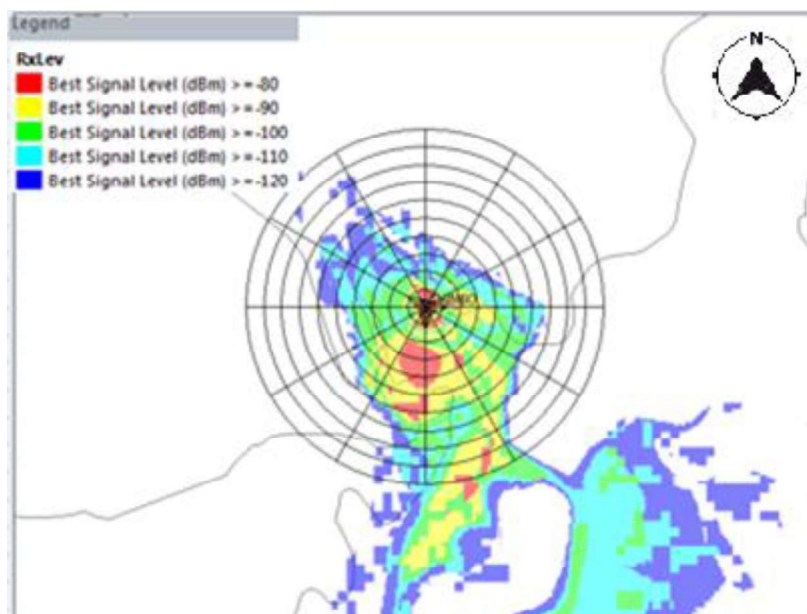


**Figura 2.6.** Predicción sector X (2G).

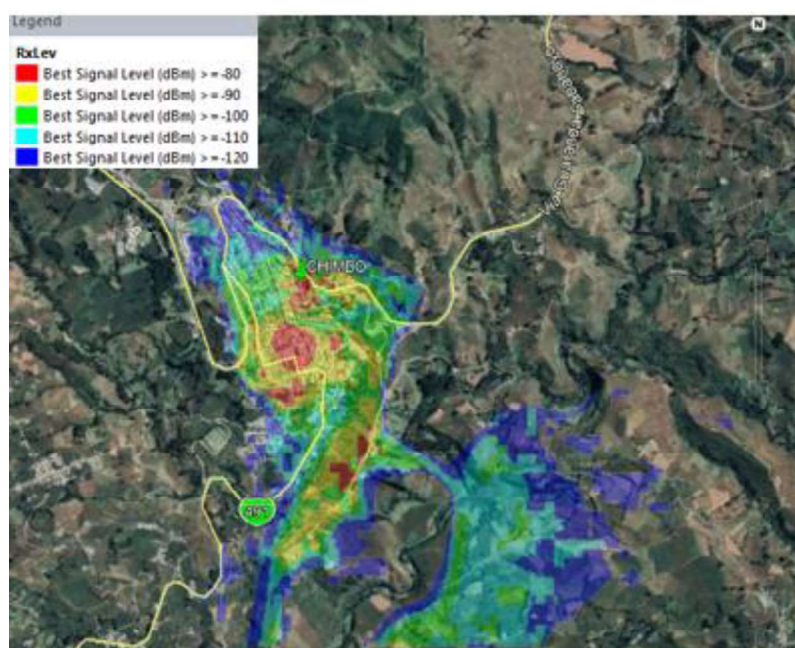


**Figura 2.7.** Predicción sector X en Google Maps (2G).

Las figuras 2.8 y 2.9 muestran la simulación del sector Y en la tecnología 2G.

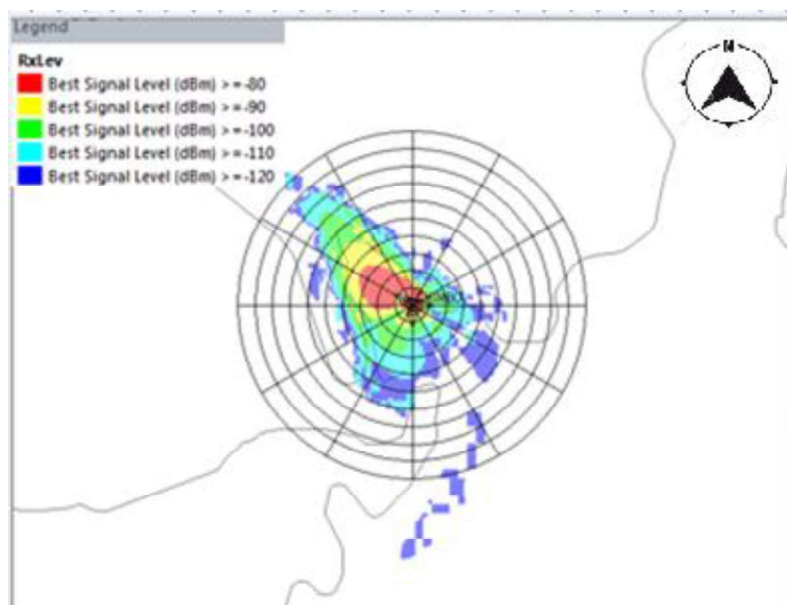


**Figura 2.8.** Predicción sector Y (2G).

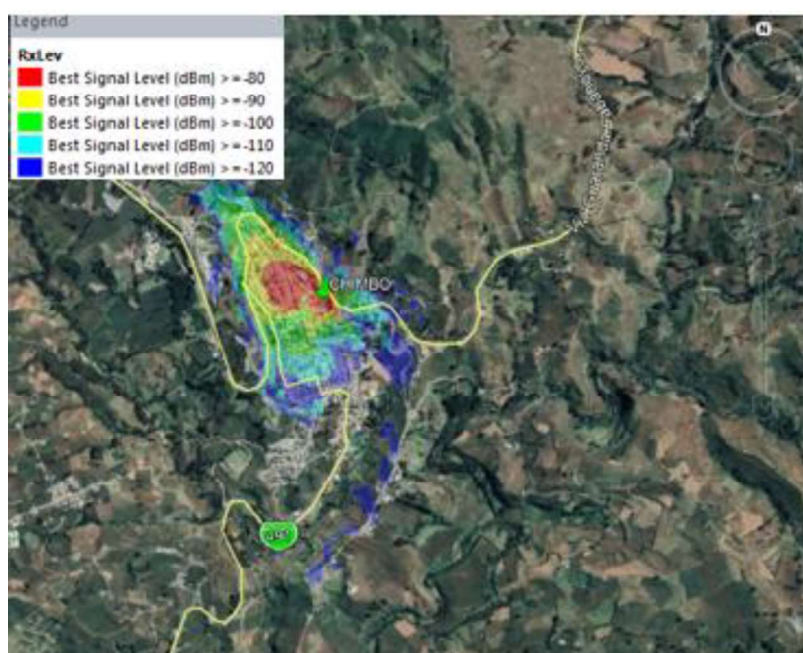


**Figura 2.9.** Predicción sector Y en Google Maps (2G).

Las figuras 2.10 y 2.11 muestran la simulación del sector Z en la tecnología 2G.



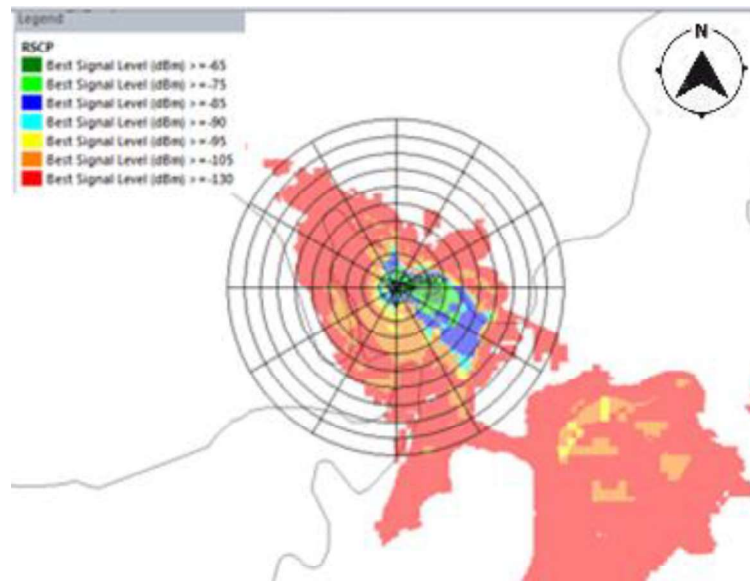
**Figura 2.10.** Predicción sector Z (2G).



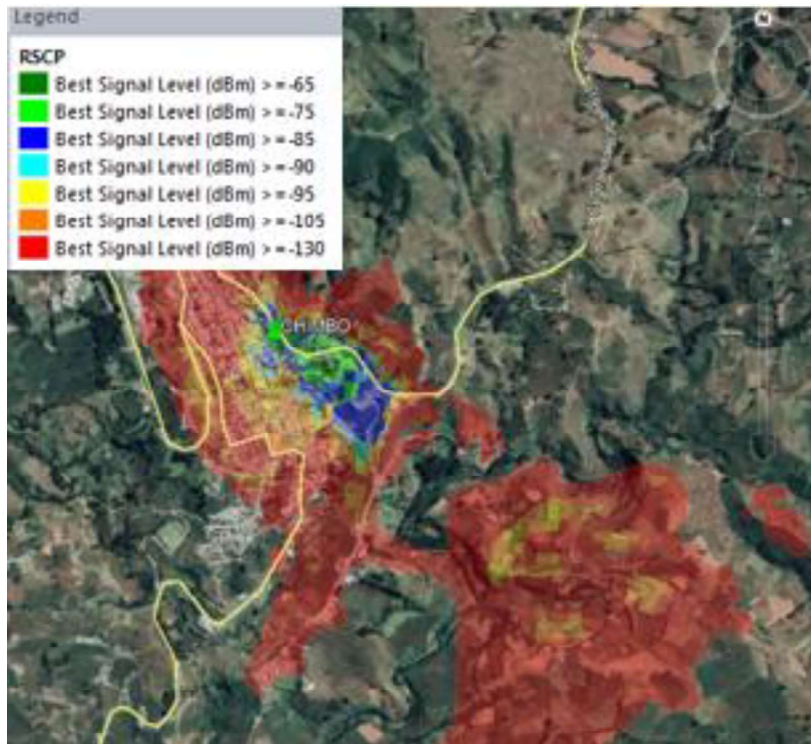
**Figura 2.11.** Predicción sector Z en Google Maps (2G).



Las figuras 2.12 y 2.13 muestran la simulación del sector X en la tecnología 3G.

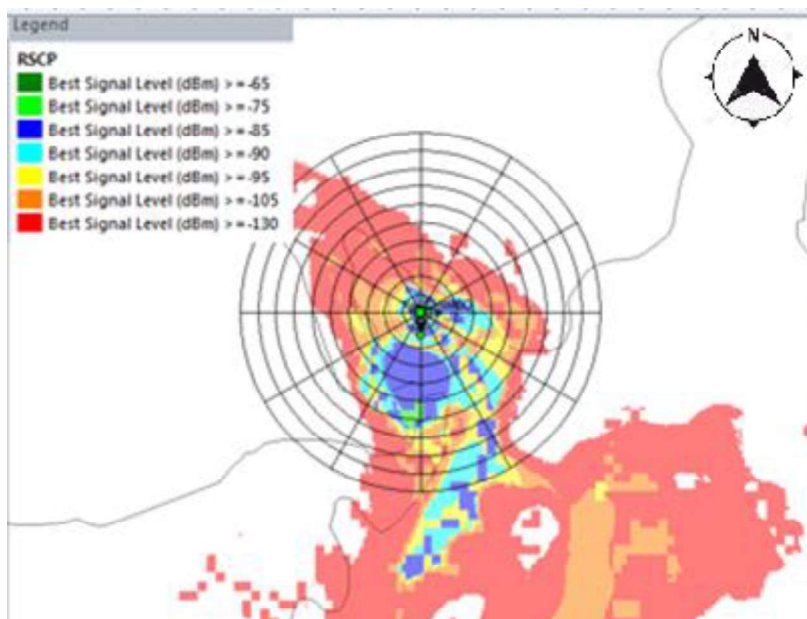


**Figura 2.12.** Predicción sector X (3G).

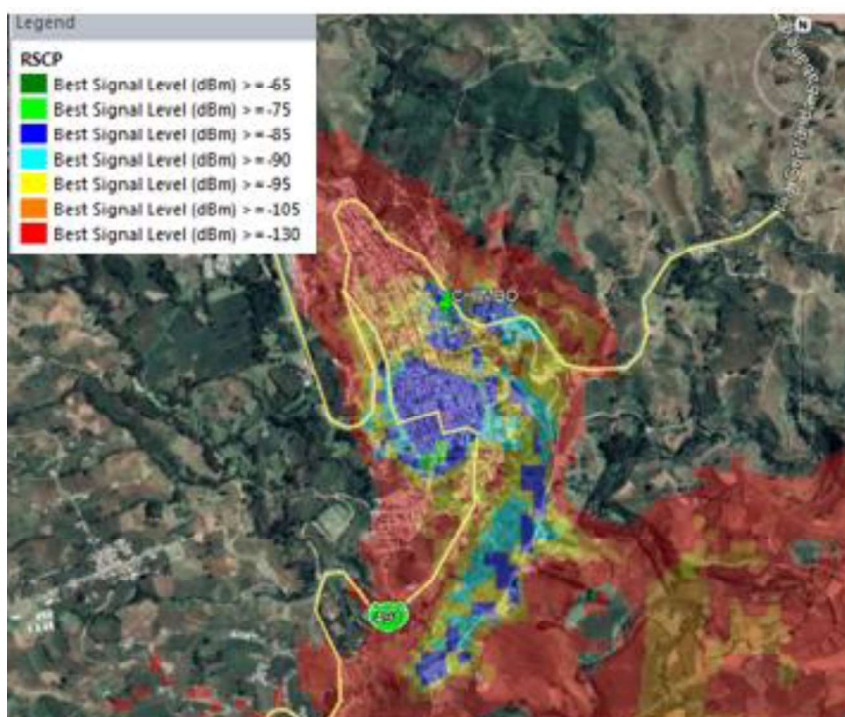


**Figura 2.13.** Predicción sector X en Google Maps (3G).

Las figuras 2.14 y 2.15 muestran la simulación del sector Y en la tecnología 3G.



**Figura 2.14.** Predicción sector Y (3G).



**Figura 2.15.** Predicción sector Y en Google Maps (3G).

Las figuras 2.16 y 2.17 muestran la simulación del sector Z en la tecnología 3G.

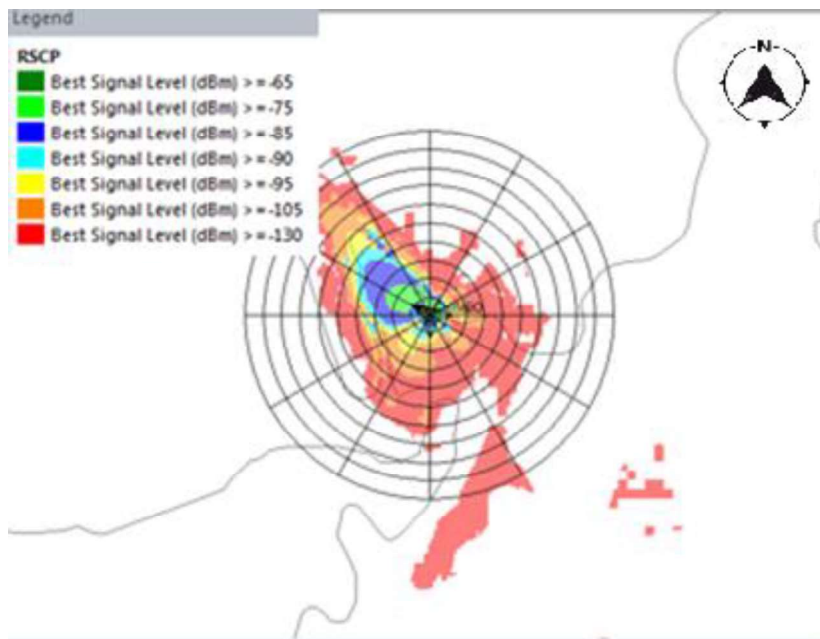


Figura 2.16. Predicción sector Z (3G).

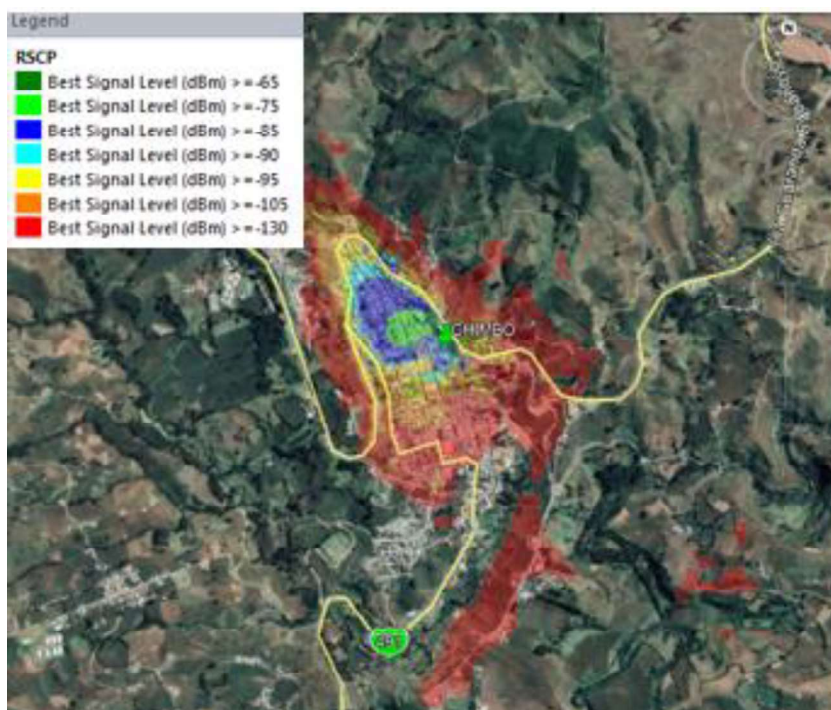
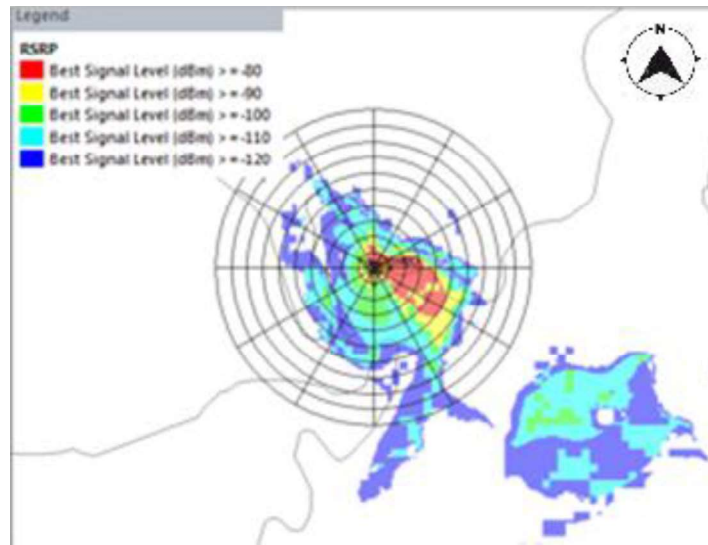


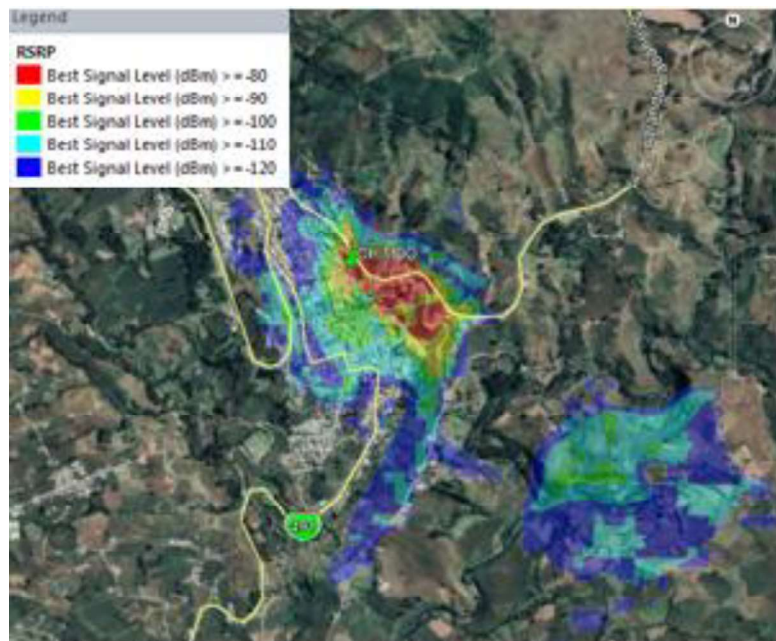
Figura 2.17. Predicción sector Z en Google Maps (3G).



Las figuras 2.18 y 2.19 muestran la simulación del sector X en la tecnología LTE.

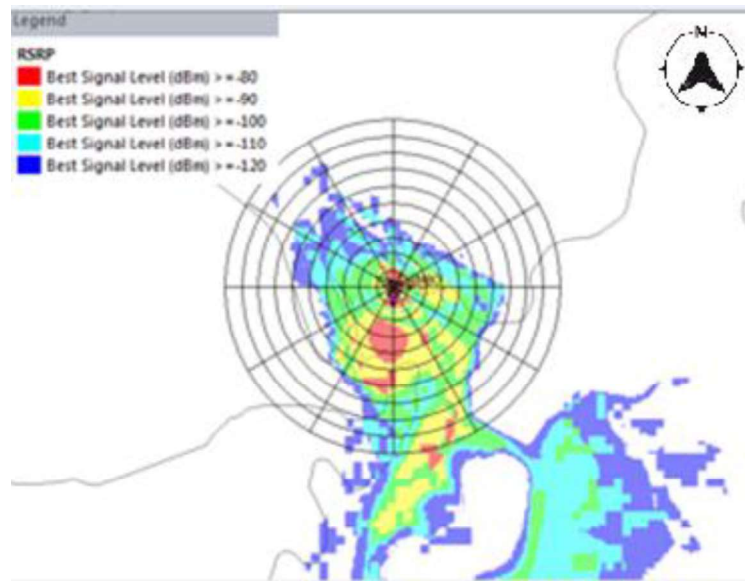


**Figura 2.18.** Predicción sector X (LTE).

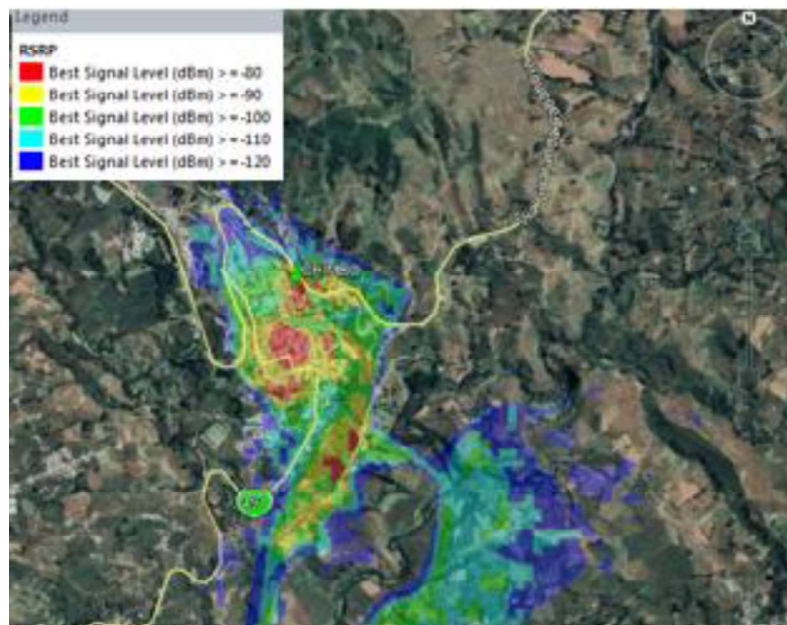


**Figura 2.19.** Predicción sector X en Google Maps (LTE).

Las figuras 2.20 y 2.21 muestran la simulación del sector Y en la tecnología LTE.

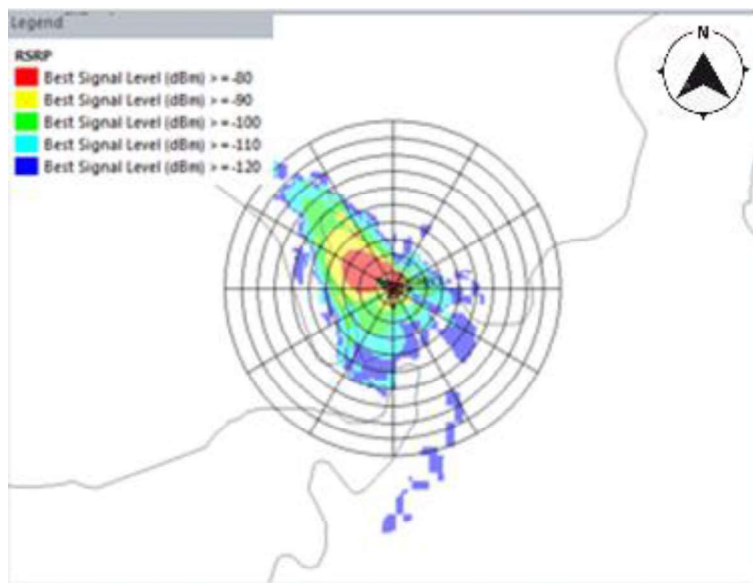


**Figura 2.20.** Predicción sector Y (LTE).

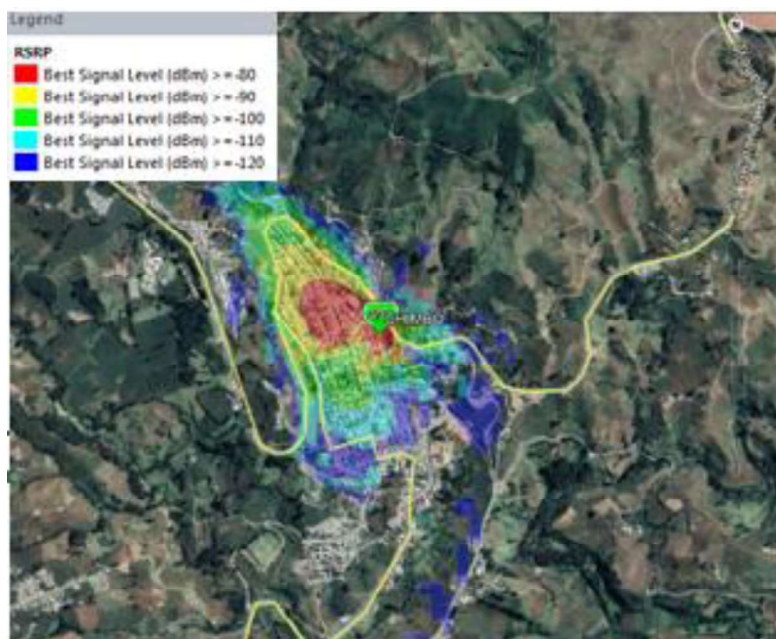


**Figura 2.21.** Predicción sector Y en Google Maps (LTE).

Las figuras 2.22 y 2.23 muestran la simulación del sector Z en la tecnología LTE.



**Figura 2.22.** Predicción sector Z (LTE).



**Figura 2.23.** Predicción sector Z en Google Maps (LTE).



A continuación, se muestra en las figuras 2.24 y 2.25 las simulaciones de cobertura de los tres sectores en la tecnología 2G.

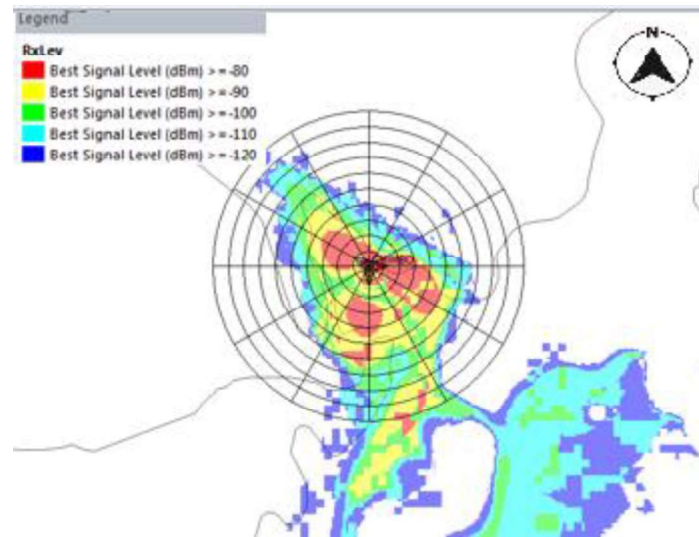


Figura 2.24. Predicción 2G.

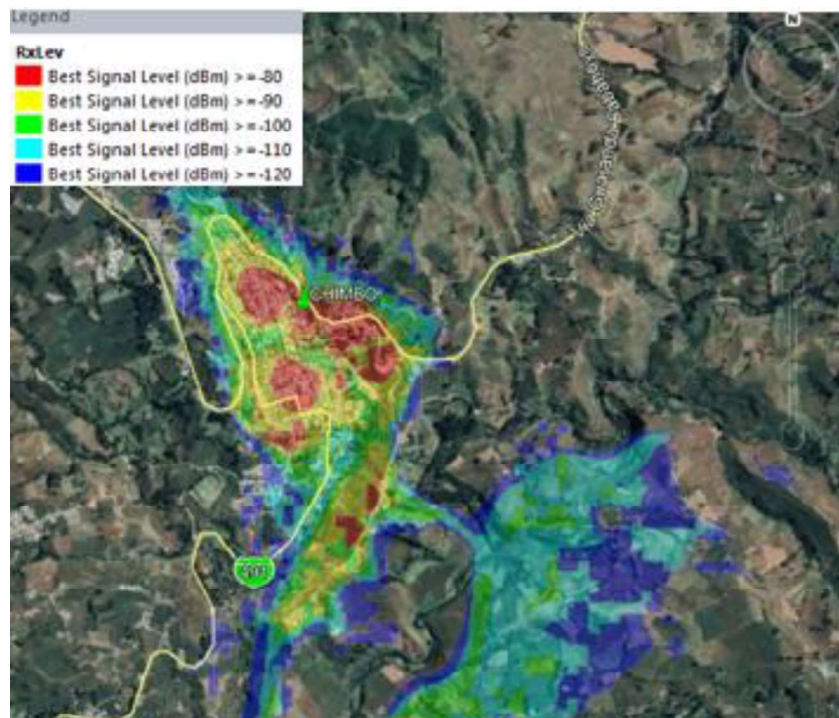


Figura 2.25. Predicción 2G en Google Maps.

A continuación, se muestra en las figuras 2.26 y 2.27 las simulaciones de cobertura de los tres sectores en la tecnología 3G.

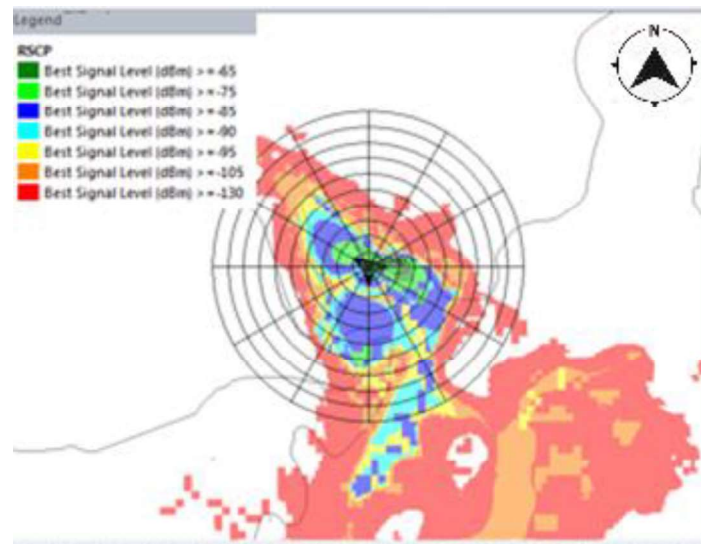


Figura 2.26. Predicción 3G.

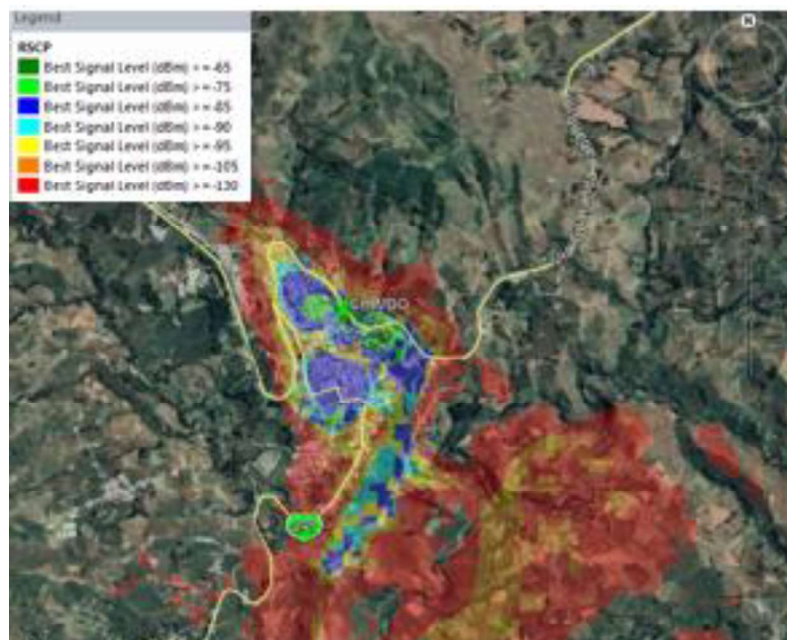
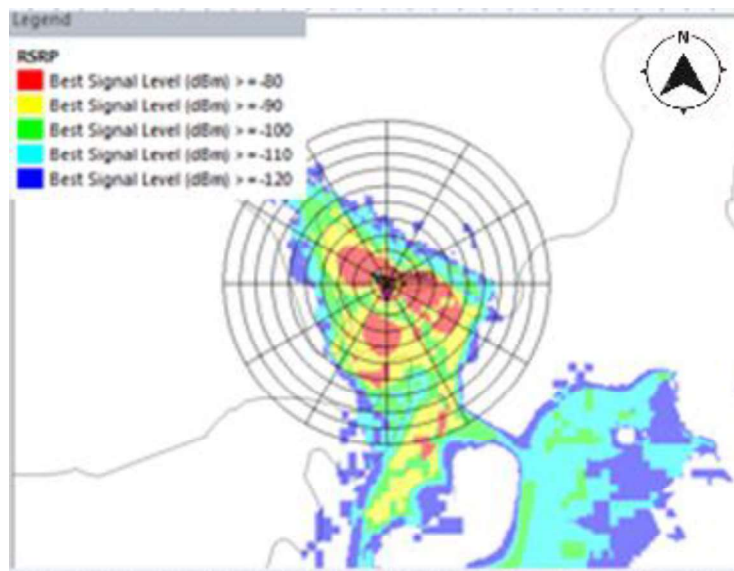


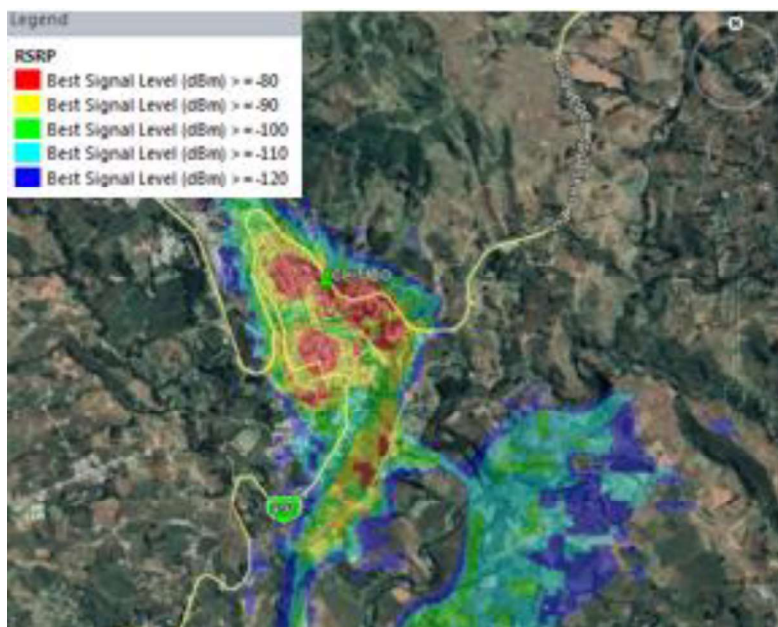
Figura 2.27. Predicción 3G en Google Maps.



A continuación, se muestra en las figuras 2.28 y 2.29 las simulaciones de cobertura de los tres sectores en la tecnología LTE.



**Figura 2.28.** Predicción LTE.



**Figura 2.29.** Predicción LTE en Google Maps.

#### **2.3.4 Diseño de la nueva radio base**

Posterior a la búsqueda del lugar para la instalación de la nueva radio base, existen varios factores que intervienen en la implementación. Por lo general los abogados son las personas encargadas de negociar con el propietario del inmueble en donde se implementará la nueva radio base.

Se procede a realizar un estudio técnico del sitio o en inglés technical site survey (TSS<sup>35</sup>). Este documento contiene la información de la futura radio base. Y a la par existe un equipo encargado de tramitar permisos ambientales, sistema eléctrico con la empresa eléctrica de la zona, permisos de telecomunicaciones (ARCOTEL). Una vez obtenido todos los permisos necesarios se procede con la implementación según los requerimientos del TSS.

Elementos generales de la nueva radio base:

##### **2.3.4.1 Tecnología celular a implementarse**

San José de Chimbo por ser una ciudad carente de servicio celular, se implementará las tres tecnologías celulares:

- GSM
- UMTS
- LTE

##### **2.3.4.2 Tipo de infraestructura**

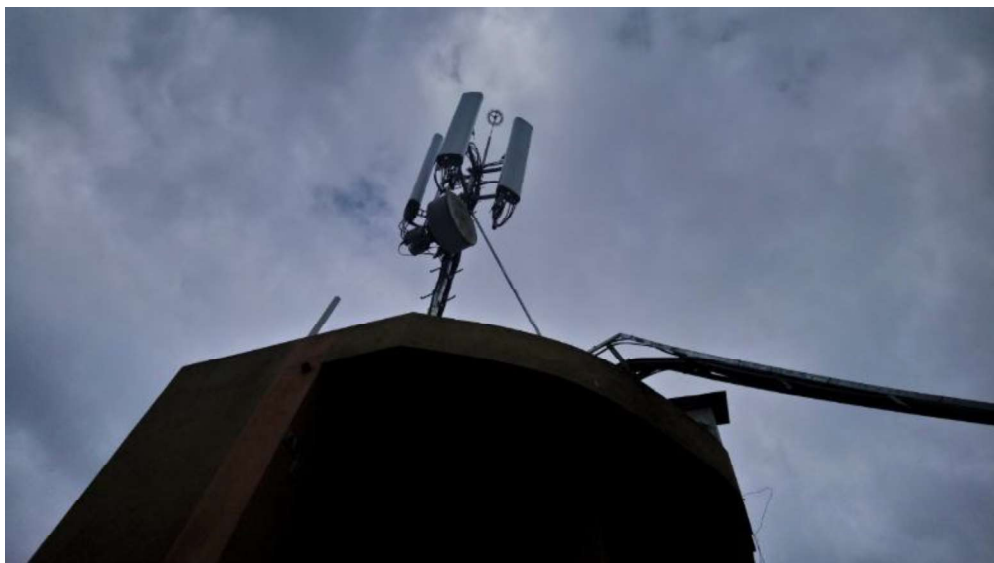
Para la implementación de la radio base se toma en consideración un arreglo de mástiles para soportar las antenas.

---

<sup>35</sup> TSS: diseño previo a la instalación de equipos de telecomunicaciones y eléctricos.

#### **2.3.4.2.1 Arreglo de mástiles**

Para el presente proyecto se ha escogido este tipo de estructura ya que con la suma de la altura del edificio huésped es suficiente para brindar cobertura celular a la ciudad de San José de Chimbo. En la figura 2.30 se muestra la instalación de un mástil, el cual soporta las antenas celulares y una antena microonda la cual tiene por objetivo de brindar la transmisión a la nueva celda celular.



**Figura 2.30.** Mástil sobre edificio huésped de la nueva radio base.

#### **2.3.4.3 Tipo de antena celular**

Para el diseño de la nueva radio base se ha escogido dentro del mercado de las telecomunicaciones al vendor Huawei ya que dispone de una antena que radia en las tres tecnologías en tres frecuencias diferentes. GSM en la banda de 850 MHz, UMTS en la banda de 1900 MHz y LTE AWS en la banda de 2100 MHz.

El modelo de la antena es AQU4518R9v06, la cual se muestra su contenido completo en el anexo A. La figura 2.31 muestra un ejemplo de esta antena.



New antenna **AQU4518R9V06**

**Figura 2.31.** Antena AQU4518R9V06.

#### **2.3.4.4 Unidades de radio remotas – RRUs**

Para el diseño de la nueva radio base se escoge el vendor Huawei, pero diferentes modelos ya que tienen que soportar las tres tecnologías.

- RRU 3952
- RRU 3953
- RRU 3971

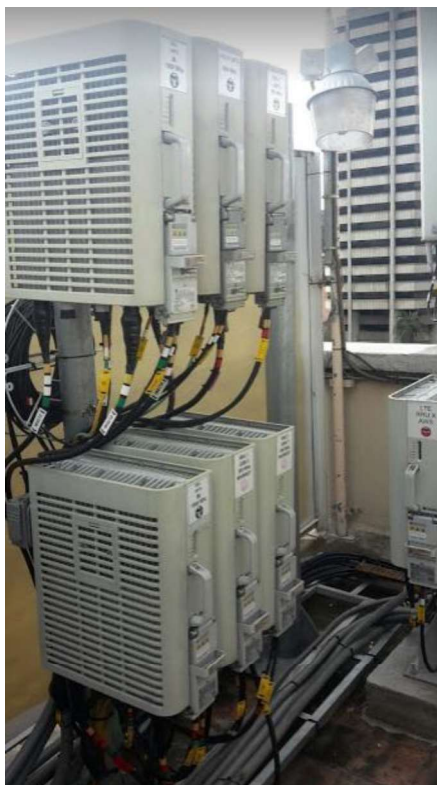
La RRU 3952 opera bajo la frecuencia de 850 MHz por ende se usará para la tecnología GSM.

La RRU 3953 opera bajo la frecuencia de 1900 MHz por ende se usará para la tecnología UMTS.

La RRU 3971 opera bajo la frecuencia de 2100 MHz por ende se usará para la tecnología LTE.

Un ejemplo de RRUs Huawei se presenta en la figura 2.32.

En el anexo E se muestran las características de las RRUs.



**Figura 2.32.** RRUs Huawei.

#### **2.3.4.5 Unidad de banda base – BBU**

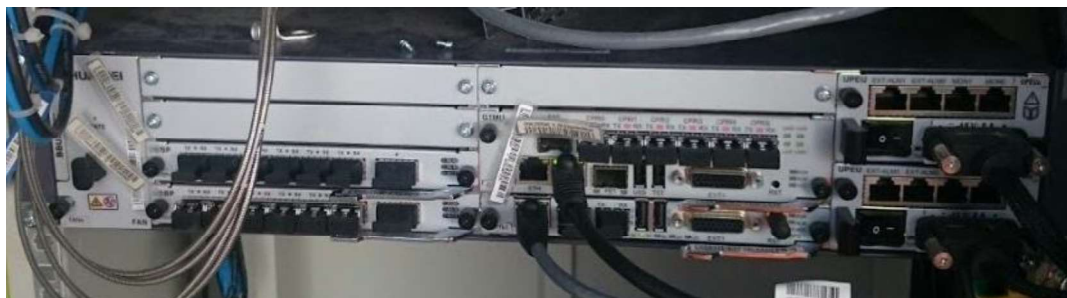
Continuando con la línea Huawei y para que exista compatibilidad con los elementos outdoor se escoge una BBU Huawei 3900. Este equipo consta de varias tarjetas procesadoras de información, a continuación, principales tarjetas.

- GTMU: interfaz entre BBU y BSC (GSM), esta tarjeta tiene dos funciones, la primera función es de proveer la comunicación entre la BTS y la BSC, y la segunda función es de proveer la comunicación entre la BBU y las RRUs por medio de los puertos de fibra óptica. Tiene una capacidad de 6 RRUs.
- WMPT: interfaz entre BBU y RNC (UMTS), esta tarjeta tiene como función de proveer la comunicación entre el nodeB y la RNC, no dispone de puertos de fibra óptica para la comunicación entre la BBU y las RRUs.
- UMPT: interfaz entre BBU y EPC (LTE), BBU y RNC (UMTS) y BBU y BTS (GSM), esta tarjeta tiene como función de proveer la comunicación entre el

EnodeB y la EPC, no dispone de puertos de fibra óptica para la comunicación entre la BBU y las RRUs.

- UBRIb: interfaz entre BBU y RRU, esta tarjeta tiene como función de expandir los sectores de la tarjeta GTMU, dispone de una capacidad de 6 RRUs.
- WBBP: interfaz entre BBU y RRU, esta tarjeta tiene los sectores de la tarjeta WMPT, dispone de una capacidad de 3 RRUs.
- UBBP: interfaz entre BBU y RRU, esta tarjeta tiene los sectores de la tarjeta UMPT, dispone de una capacidad de 6 RRUs.

Un ejemplo de BBU 3900 Huawei se muestra en la figura 2.33.



**Figura 2.33.** BBU 3900 Huawei.

En el anexo C se muestran las características de la BBU.

La BBU se energiza con voltaje DC, la cual se conecta a cualquier fuente que suministre - 48 V. En el caso de este proyecto la BBU se energizará directamente a un equipo llamado DCDU, el mismo que será detallado más adelante.

Cada tarjeta tiene su slot asignado en la BBU, la asignación y combinación entre tarjetas en los slots lo indica el fabricante en los respectivos datasheets. Para el caso del presente proyecto se tiene tres tecnologías que son GSM, UMTS y LTE y cada tecnología propaga tres sectores. De tal manera que la distribución de tarjetas en los slots de la BBU se muestra en la figura 2.34.

F A N			UPEU
	UBBP (BBU - RRU)	GTMU (BTS-BSC) (BBU-RRU)	
	WBBP (BBU - RRU)	UMPT (nodeB, enodeB - RNC, EPC)	

**Figura 2.34.** Distribución de tarjetas en los slots de la BBU.

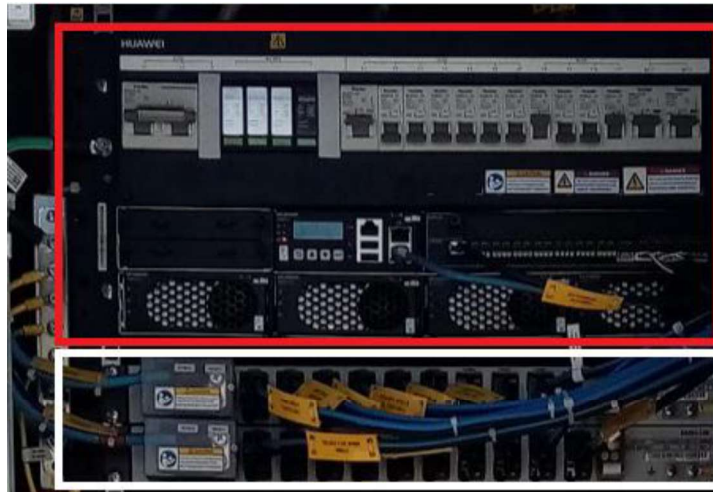
La tarjeta UMPT tiene la capacidad de realizar co-transmisión, es decir es la comunicación entre la BBU y RNC y BBU y EPC en un mismo puerto de transmisión.

La tarjeta UPEU tiene dos funciones, la primera es de alimentación eléctrica de la BBU y la segunda función es la configuración de alarmas como por ejemplo de puerta abierta, de bajo voltaje, temperatura, etc.

### 2.3.4.6 Energía

#### 2.3.4.6.1 Fuente energía continua y regleta de energía continua (DCDU)

Para suministrar al shelter de energía continua se utilizará el modelo TP48200A vendor Huawei. Este equipo tiene como función suministrar de energía continua a todos los equipos que necesiten de ella. Posee breakers de salida AC, barra de tierra, slots para rectificadores, breakers para baterías, breakers para cargas DC, unidad de monitoreo de alarmas, entre otros elementos menores. Para alimentar los equipos como BBU, routers, microondas, RRUs y otros equipos que necesiten de energía continua se instalará dos equipos llamados DCDU vendor Huawei modelo 12B. Este equipo contiene 10 fusibles de 30 A. en la figura 2.35 se muestra un ejemplo de un tablero TP48200A y dos DCDU 12B.



**Figura 2.35.** TP48200A y DCDU 12B.

Para el caso de este trabajo de titulación se proyecta dos DCDUs 12B, cada DCDU consta de 10 slots de 30 A. Para la instalación de la tecnología GSM se usará 3 RRUs, para UMTS se usará 3 RRUs y para LTE se usará 3 RRUs, por lo tanto, será un total de 9 RRUs. A cada de DCDU se conectará la BBU y el equipo de transmisión IDU respectivamente. Cada DCDU se conectará a los breakers señalados en el TP48200A siguiendo el diagrama de conexión del fabricante. Este diagrama también está señalado en el shelter del TP48200A.

#### **2.3.4.7 Fuente de reserva de energía**

En el shelter se instalará un banco de baterías en caso de que falle la energía DC. El equipo TP48200A será en encargado de realizar la conmutación en caso de falla de energía. En la figura 2.36 se muestra un ejemplo de banco de baterías.





**Figura 2.36.** Banco de baterías.

#### **2.3.4.8 Tablero de distribución de energía**

Consta de una serie de breakers AC para alimentar a toda la radio base, como lámparas, minishelter, reservas, etc. Conocido como TDE, se conecta directamente a la acometida principal de la estación es decir se conecta directamente al medidor de la empresa eléctrica de la zona. La figura 2.37 muestra un ejemplo de TDE.



**Figura 2.37. TDE.**

#### **2.3.4.9 Sistema puesta a tierra**

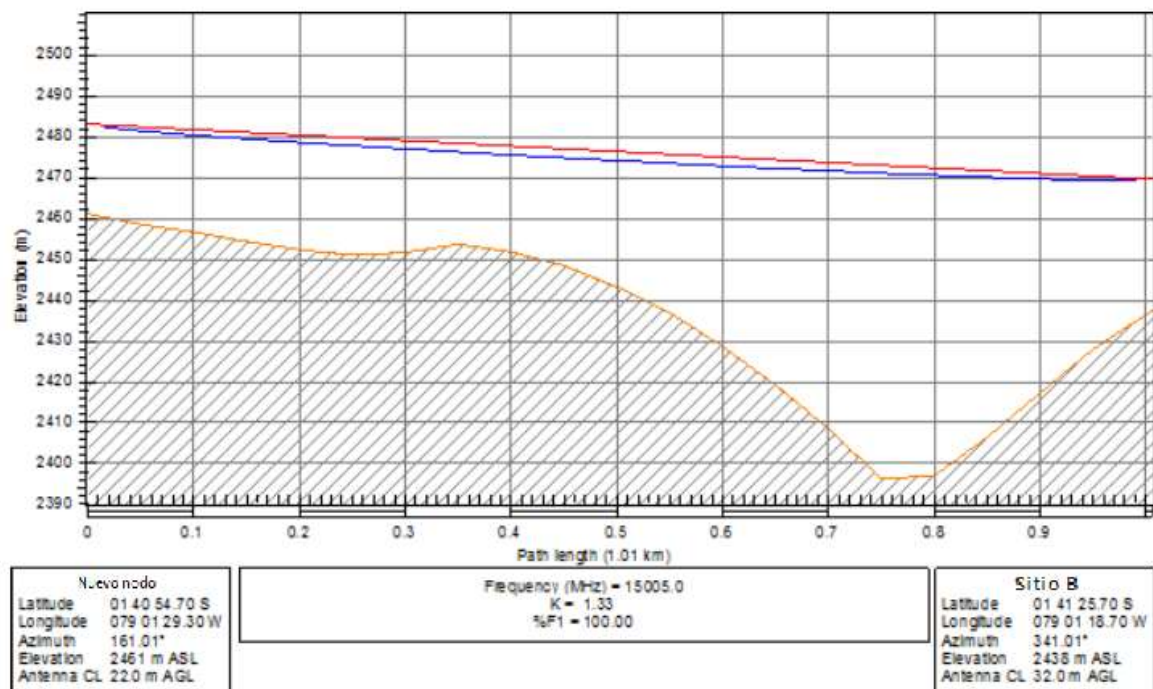
Cabe mencionar que todos los equipos deben ser aterrizados a un sistema de puesta a tierra. Existen varios tipos de puestas a tierra y se encuentran en diferentes ubicaciones de la radio base. Existe un conjunto de barra de tierra en la estructura que soporta las antenas, en las cuales se aterriza las antenas celulares, antenas microondas, ODUS etc. Existen barras de tierra en las escalerillas horizontales en las cuales se aterriza los minishelters, RRUs en caso de que se encuentren instaladas en mástiles (en el caso de la nueva radio base la antena microonda se ubicará en el mismo mástil de las antenas celulares), baterías, etc. En conclusión, todo equipo que conforme la radio base debe de estar aterrizado a tierra. En la figura 2.38 se muestra un ejemplo de puestas a tierra. Para el caso de este proyecto se instalará un electrodo de 30 cm a las afueras del edificio en un orificio de 15cm de ancho por 15 cm de alto por 50 cm de profundidad, este electrodo se conecta a la torreta y equipos por medio de una serie de barras de tierras distribuidas alrededor de la estación y conectadas entre sí por medio de cable desnudo. Se proyecta otro electrodo para el pararrayo.



**Figura 2.38.** Puesta a tierra en escalerilla horizontal.

#### **2.3.4.10 Medio de transmisión (enlace microonda)**

Para el presente proyecto, durante la realización del TSS se pudo evidenciar que existía otra estación ubicada al sur este de la nueva radio base proyectada a una distancia de 1 kilómetro aproximadamente. De tal manera se realiza un estudio radioeléctrico entre las dos estaciones. Este estudio se realiza en el software Pathloss y se muestra en la figura 2.39. Este software permite realizar la simulación del enlace microonda, el cual permite configurar la altura con referencia al nivel del mar, altura de la antena, potencia de transmisión y recepción de las dos antenas parabólicas, ancho de banda, modulación, pérdidas del enlace, frecuencia de transmisión y recepción, entre otros parámetros menores. Durante la simulación se coloca las coordenadas de cada estación y el software da como resultado si existe línea de vista y el azimut que tendrá, el cual será útil para la instalación.



**Figura 2.39.** Estudio radioeléctrico.

Los elementos que se tomó en consideración para el estudio radioeléctrico fueron antenas parabólicas de 0.6 metros de radio, ODUS en la frecuencia de 15 GHz y una IDU vendor Huawei. De tal manera se escogió una capacidad mayor a 100 Mbps ya que la nueva estación contará con LTE.

#### 2.3.4.10.1 Elementos de un enlace microonda

Para el presente proyecto se usará un enlace microonda punto a punto. El mismo que consta de los siguientes elementos.

Elementos ubicados en el mástil:

- Antenas: se usará dos antenas parabólicas de 0,6 metros de radio, ya que la distancia entre las dos estaciones es de 1 kilómetro.
- Coopler: este dispositivo es usado como interfaz entre la antena y las ODUS, el coopler tiene la capacidad de amplificar la señal obtenida de la IDU para que las antenas transmitan por medio de ondas electromagnéticas.
- ODUS: este elemento es la interfaz entre las antenas y el equipo indoor IDU. Por lo general se colocan dos ODUS, con el objetivo de protección, es decir si una odu se llegara a averiar en seguida se conmuta a la odu de respaldo.

- Cable IF: es el medio de transmisión entre la IDU y las ODUS. Este elemento es un cable de cobre.
- Kits de tierra: este elemento tiene por objetivo aterrizar el cable IF. En la mitad del recorrido del cableado IF se colocan estos kits y se aterrizan a una barra de tierra más cercana.

A continuación, en la figura 2.40 se muestra la microonda instalada en la nueva estación.



**Figura 2.40.** Elementos enlace microonda outdoor.

En el anexo B se muestran las características de la antena parabólica.

En el anexo D se muestran las características de la IDU.

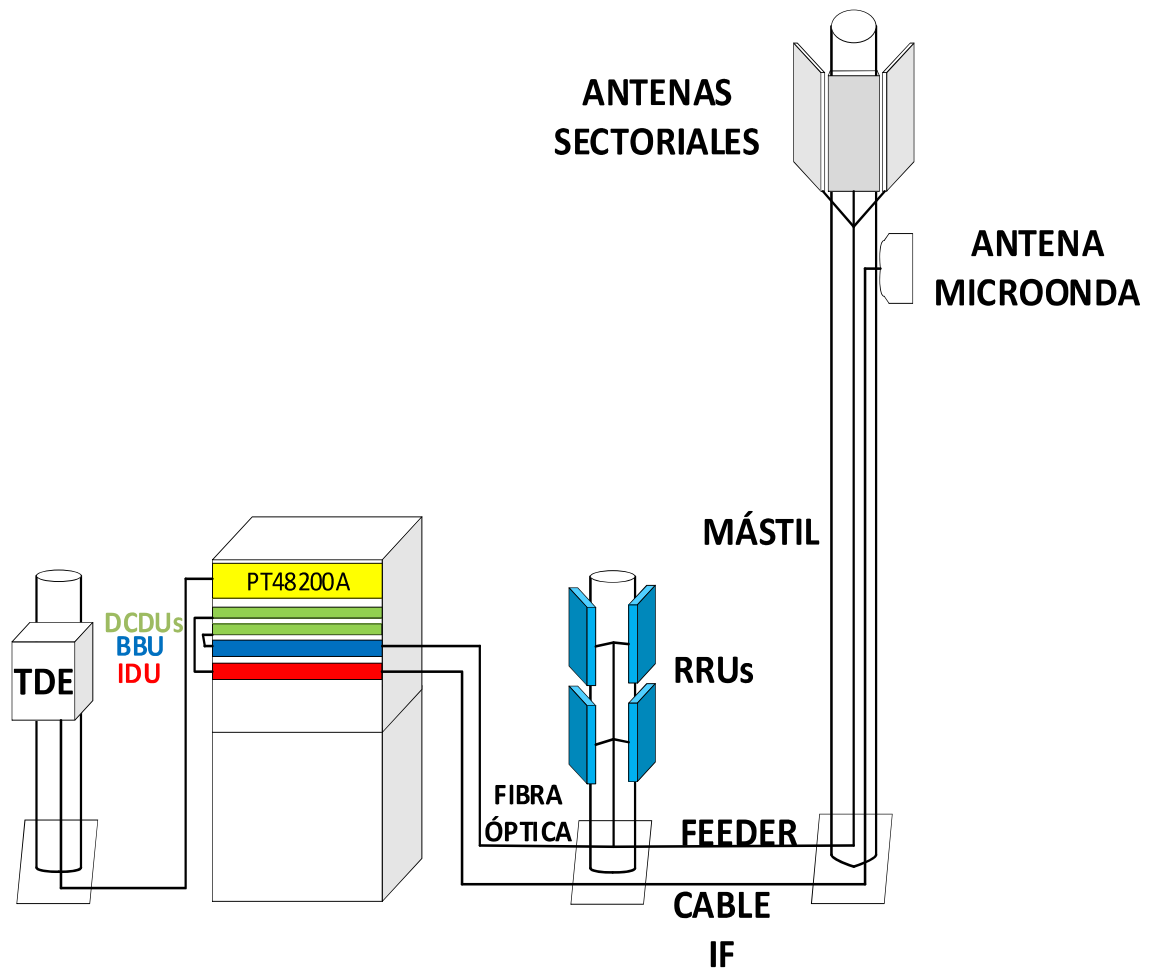
Elementos ubicados en el shelter:

- IDU: elemento encargado de realizar la transmisión hacia la BBU por medio de un cableado de cobre (UTP) o cableado de fibra. En la IDU se conectan los cables IF.

En la estación B es la misma estructura con la diferencia que el cableado de la IDU se realiza a otro equipo de transmisión como, por ejemplo: otro enlace microonda direccionado a un nodo principal, a un router, ODF, etc. Estos elementos tienen por objetivo direccionar el tráfico hacia las diferentes tecnologías como son BSC, RNC o EPC.

### 3 RESULTADOS

Como resultado se obtiene la implementación de una nueva radio base la cual brindará cobertura celular a la ciudad de San José de Chimbo. Las tres antenas sectoriales implementadas radiarán las tres tecnologías 2G, 3G y LTE. A continuación, en la figura 3.1 se muestra un diagrama de la nueva radio base con los principales elementos.



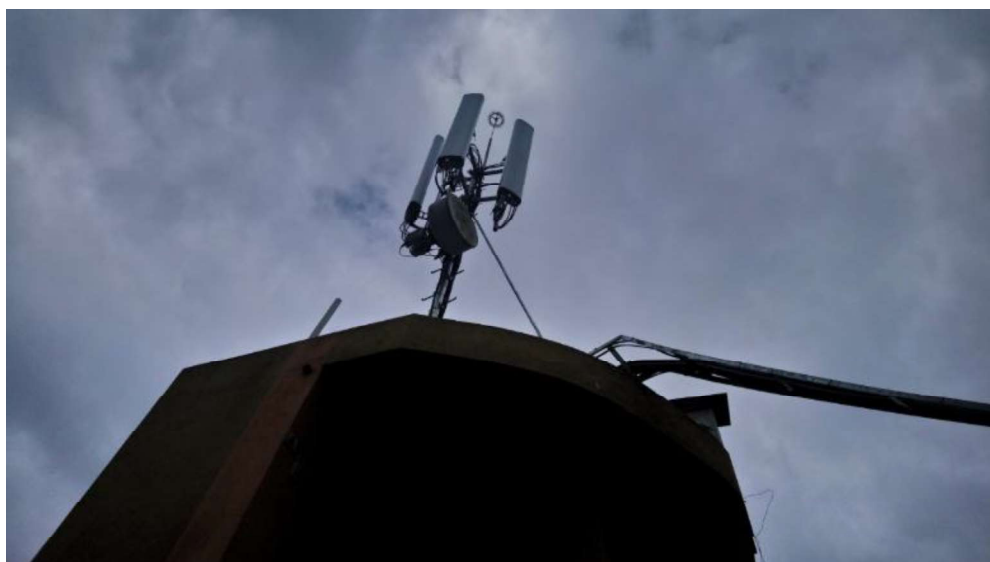
**Figura 3.1.** Diagrama de la nueva radio base.

A continuación, se muestra en la figura 3.2 los shelter que contienen los equipos de energía, BBU, IDU y baterías.



**Figura 3.2.** Equipos shelters instalados.

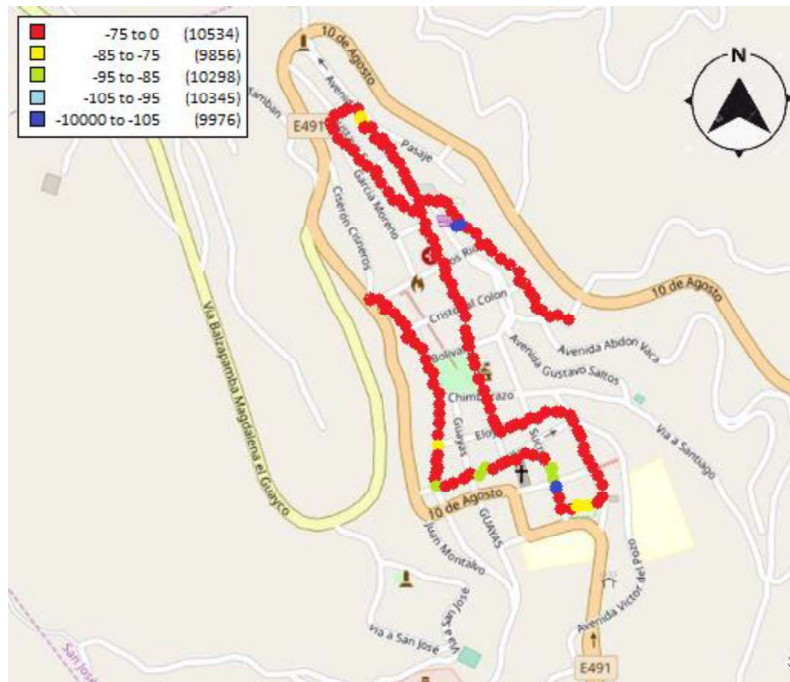
Finalmente, la figura 3.3 muestra las antenas sectoriales y antena microonda instalada en el huésped escogido en la ciudad de San José de Chimbo.



**Figura 3.3.** Antenas sectoriales y antena microonda de la nueva radio base.

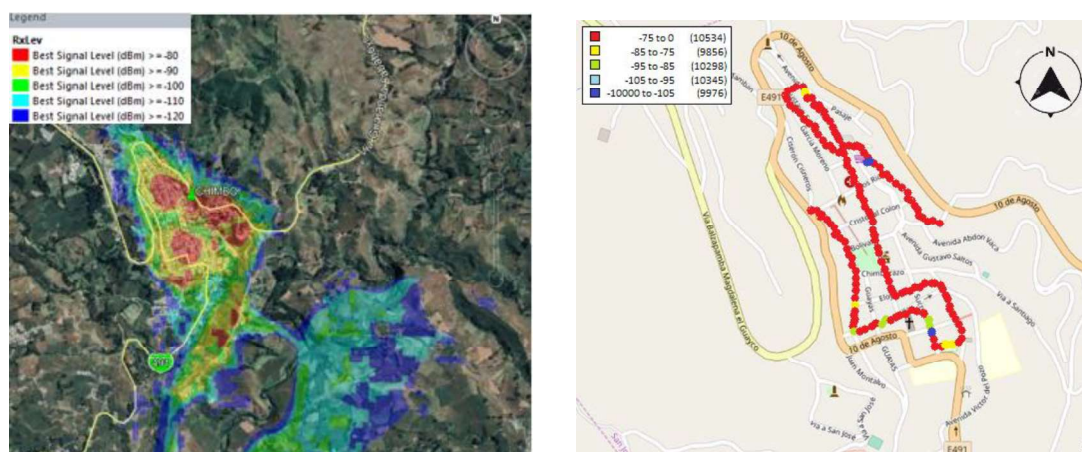


Después de la implementación del nodo celular se realiza el drive test para comprobar que la ciudad de San José de Chimbo ya posee cobertura celular en sus tres tecnologías con la operadora CLARO. En la imagen 3.4 se muestra el nivel de cobertura de 2G, en donde se muestra un nivel excelente y bueno.



**Figura 3.4.** RxLev después de implementar el nodo celular (2G).

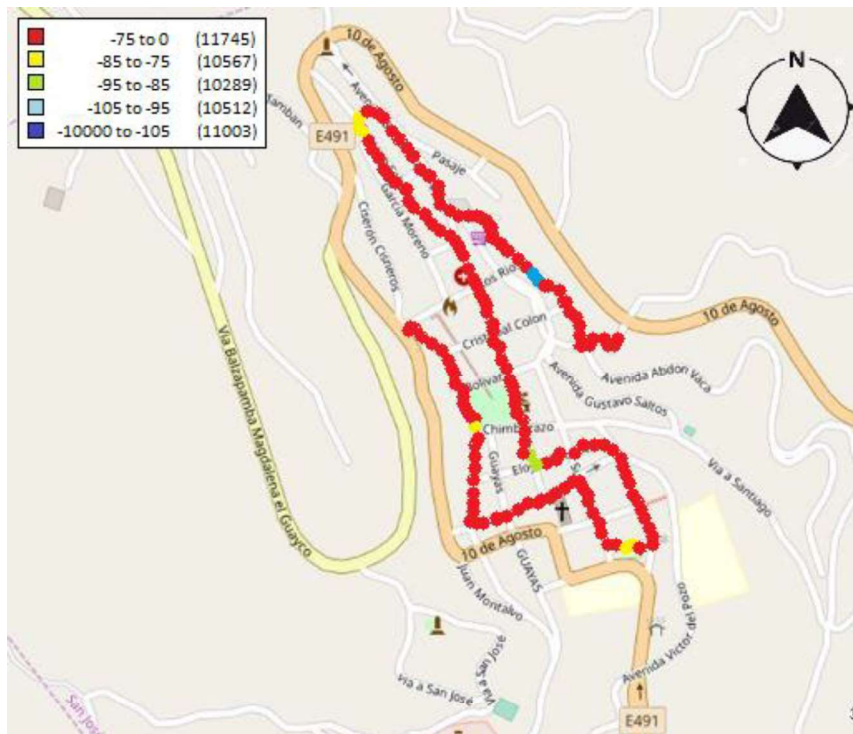
En la figura 3.5 se muestra la comparación entre la simulación o predicción y los niveles de cobertura reales en la tecnología GSM.



**Figura 3.5.** Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología GSM.

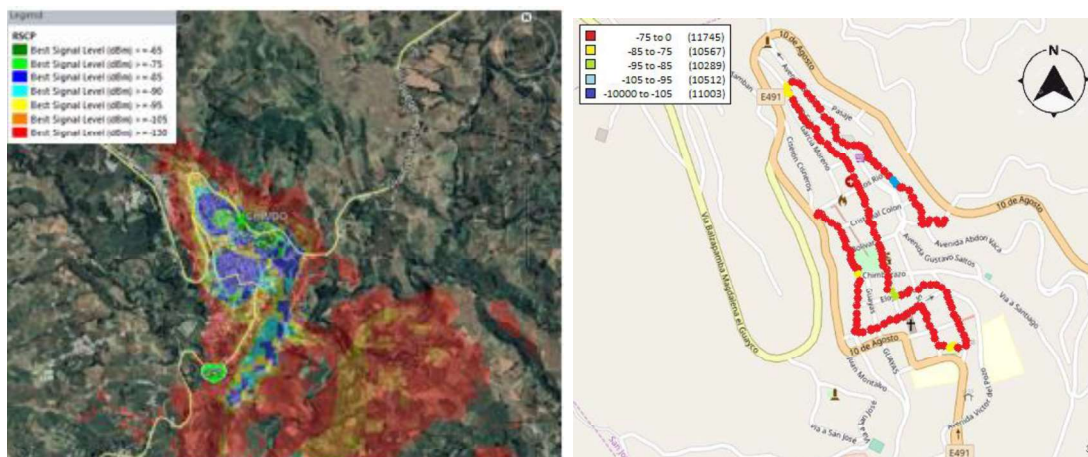


En la figura 3.6 se muestra los niveles de cobertura de la tecnología 3G, en la cual se evidencia una cobertura excelente y buena.



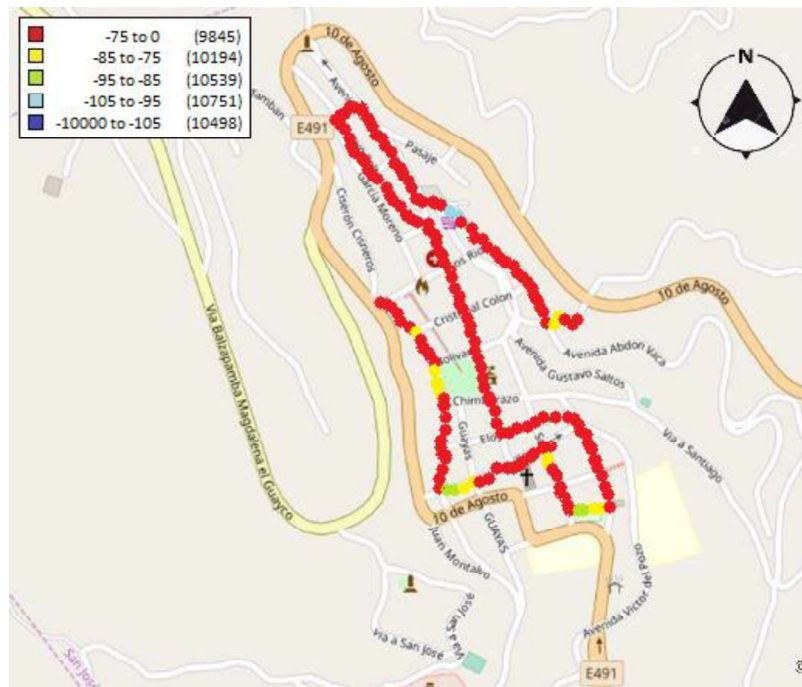
**Figura 3.6.** RSCP después de implementar el nodo celular (3G).

En la figura 3.7 se muestra la comparación entre la simulación o predicción y los niveles de cobertura reales en la tecnología UMTS.



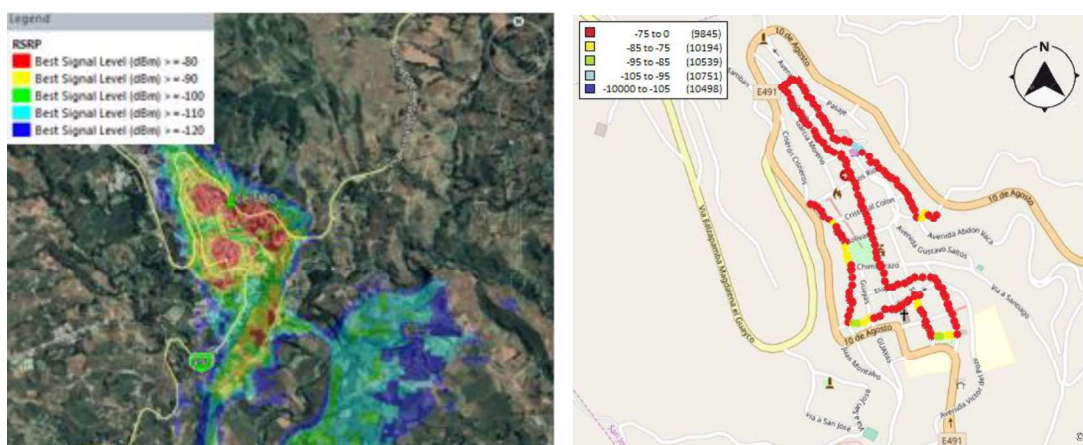
**Figura 3.7.** Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología UMTS.

En la figura 3.8 se muestra los niveles de cobertura de la tecnología 4G, en la cual se evidencia una cobertura excelente y buena.



**Figura 3.8.** RSCP después de implementar el nodo celular (4G).

En la figura 3.9 se muestra la comparación entre la simulación o predicción y los niveles de cobertura reales en la tecnología LTE.



**Figura 3.9.** Comparación entre predicción y cobertura real en la tecnología LTE.

En todos los resultados se muestra que las simulaciones son cercanas a las pruebas de cobertura. En los puntos que se degrada la señal no significa que se pierde conexión. Ya que los valores de recepción de potencia están dentro del rango de recepción aceptable por el cliente. Hoy en día las predicciones son muy cercanas a las coberturas reales.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Con las simulaciones realizadas se tiene una predicción aproximada de la zona geográfica que se va a cubrir de cobertura celular, ya que el software tiene la facilidad de exportar las simulaciones a mapas reales como lo es Google Maps.
- Con el fin de optimizar el espacio y peso sobre el mástil colocado sobre la terraza del edificio, una antena comparte las tres tecnologías 2G, 3G y LTE, es así que con la implementación de tres antenas sectoriales se puede cubrir la mayor cantidad de zona poblacional de la ciudad de San José de Chimbo.
- Para optimizar el espacio físico del huésped (terrace del edificio) se implementa shelter cerrados y así no es necesario la construcción de un cuarto de comunicaciones. De tal manera que la nueva radio base es netamente outdoor.
- La elección del huésped donde se instalarán el nuevo nodo celular no solo depende de la zona geográfica o predicciones sino también de la negociación que se tiene con los dueños de los inmuebles.
- Con la información obtenida de la ARCOTEL se puede observar que la mayor cantidad de usuarios de telefonía celular es en la tecnología UMTS debido que hoy en día las operadoras celulares ofrecen varios planes de internet móvil.
- En este proyecto se amplía de forma práctica los conocimientos impartidos de las diferentes materias de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, promoviendo de una manera didáctica todos los conocimientos teóricos adquiridos
- Con la implementación de la celda celular se logró dar mayor cobertura a la población de San José de Chimbo cumpliendo los objetivos de la implementación

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la optimización de la nueva radio base por medio de procedimientos como inicial tuning, con el fin de evitar pérdida de llamadas, mensajes de texto y navegación de datos.
- En un futuro se recomienda migrar la transmisión de enlace microonda a fibra óptica ya que tiene mayor velocidad de transmisión.
- En la simulación de los enlaces microonda se recomienda colocar las pérdidas por coupler en caso de que se usen couplers balanceados, ya que en el momento de la instalación los niveles de recepción en el remoto tendrán los mismos valores.
- En la instalación de una nueva radio base se recomienda etiquetar correctamente los elementos indoor como patch cords, energía, fibras, etc y los equipos outdoor como RRUs, feeder, jumper, antenas, etc con el fin de que cuando exista un evento de mantenimiento, personal en sitio pueda identificar el evento con más prontitud debido a un buen etiquetado.
- En la prueba de drive test se recomienda utilizar un GPS externo por bluetooth para que las muestras sean más precisas ya que si se utiliza el GPS del celular se ha verificado en otros drive test que existían desconexiones y no se guardaban las muestras suficientes por ende se tenía que repetir las pruebas.
- Se recomienda buscar varios candidatos huéspedes de la nueva radio base con el fin de realizar varias simulaciones y obtener el candidato más apropiado para cubrir la mayor zona geográfica posible.
- Durante el proceso de instalación se recomienda utilizar todo el EPP (equipo de protección personal) completo para realizar un trabajo seguro y sin riesgos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. M. d. B. González, Marketing Móvil, La Coruña: Netbiblo, 2007.
- [2] E. Rey, Telecomunicaciones móviles, Barcelona: Marcombo, 1998.
- [3] M. Tábor, Competencia y regulación en las telecomunicaciones, Ciudad de México: CEPAL, 2007.
- [4] J. M. Huidobro y R. Conesa, Sistemas de telefonía, Madrid: Paraninfo, 2006.
- [5] J. L. Valenzuela, Principios de comunicaciones móviles, Barcelona : UPC, 2003.
- [6] C. González, Marketing móvil, Una nueva herramienta de comunicación, La Coruña: netbiblo, 2007.
- [7] E. Celik, «Investigation of the underground structure elements of GSM towers with GPR and GSM signal effects in GPR data,» IEEE, Florencia, 2015.
- [8] L. Yingzi, Y. Jiawei y L. Jiandong, «Cell Finder-2000 with a new optimal measurement technology for CDMA cell planning of PCS and IMT-2000 systems,» IEEE, Beijing, 2000.
- [9] J.-H. Park y J.-H. Park, «Interworking between GPRS AND ISP for Wireless Internet Service of Mobile ISP Subscriber,» IEEE, Vancouver, 2006.
- [10] Y. Li y S. Wang, «An Energy-Aware Edge Server Placement Algorithm in Mobile Edge Computing,» IEEE, San Francisco, 2018.
- [11] Y. Kim, H. Im, J. Park, H. Bahk, J. Kim y S. Choi, «Implementation of smart antenna base station with a novel searcher and tracker for CDMA 2000 1X,» IEEE, Singapore, 2002.
- [12] M. Rahnema, «UMTS System and Air Interface Architecture,» IEEE, Wiley-IEEE Press, 2008.
- [13] H. Holma y A. Toskala, «HSDPA / HSUPA for UMTS,» John Wilwy & Sons, Finlandia, 2006.
- [14] A. Ghosh, «Fundamentals of LTE,» Prentice Hall, 2010.
- [15] P. Gil, «Redes y transmisión de datos,» Textos Docentes, Alicante, 2010.
- [16] F. Alcantud, Teleformación Diseño para todos, Valencia: LLiso, 1999.
- [17] A. Tanenbaum, «Redes de computadoras,» Pearson, Ciudad de México, 2003.
- [18] I. Bernal, «Comunicaciones Inalámbricas,» Quito, 2014.

- [19] M. S. Jiménez, «Comunicación Digital,» Quito, 2013.
- [20] O. Roig, «Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares,» UPC, Barcelona, 2014.
- [21] ARCOTEL, «<http://www.arcotel.gob.ec>,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-movil-avanzado-sma/>.
- [22] C. Quinatoa, *Planificación de ampliación y mejoramiento de cobertura celular mediante la validación RF de las tecnologías GSM, UMTS y LTE para la zona del parque industrial del sur y Ciudad Jardín en la ciudad de Quito*, Quito: Tesis, 2017.
- [23] E. Rey, Telecomunicaciones Móviles, Barcelona: Marcombo, 1998.
- [24] J. M. Miranda, Ingeniería de Microondas, Madrid: Prentice Hall, 2002.