



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN ESPECTRAL Y MODELAMIENTO ESTADÍSTICO
PARA ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE CANALES LTE 4G DE
UNA OPERADORA MÓVIL EN LA BANDA DE 700 MHZ
REALIZADO EN UN EDIFICIO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

ISRAEL GONZALO MOLINA RODRÍGUEZ

MARIO ANDRÉS BARZOLA VERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios Jehová por haberme otorgado vida y salud, por permitirme llegar hoy hasta aquí y a cada una de las personas, familiares y amigos entre ellos Héctor García, Henry Ariadel, Ricardo Becerra, William Llerena, Mario Barzola, Jonathan Santos, Rosendo Santos, que me han ayudado en los obstáculos presentados a lo largo de la carrera.

Agradezco a cada uno de los profesores por haberme impartido los conocimientos de la mejor manera e incentivando la superación continuamente de ciencia y tecnología.

Agradezco a la ESPOL por ayudarme a desenvolverme óptimamente en el ámbito laboral y en lo personal ser una mejor persona.

Israel Gonzalo Molina Rodríguez

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios sobre todas las cosas, ya que al darme la vida y salud he podido seguir adelante en mi vida profesional. A mi madre, que con su amor y sus enseñanzas me han dado la fuerza y las ganas de salir adelante. A mis amigos y todas las personas muy cercanas a mí, ya que por sus consejos, paciencia y la ayuda incondicional que me han brindado, ha sido posible la realización de este humilde proyecto. A mis maestros y profesores que me han sabido dar el conocimiento y la visión para mi futuro perfil profesional y laboral. A la ESPOL por abrirme las puertas hacia una sociedad del conocimiento. A todos ellos, muchas gracias.

Mario Andrés Barzola Vera

DEDICATORIA

A Jehová por darme la vida, a mi padre Carlos Molina por ayudarme en todo momento siendo padre y madre, a mi madre Virginia Rodríguez que aunque no estuvo en persona siempre me acompañó e inspiró a seguir adelante.

A mi familia, a mi abuelito José Rodríguez y mi abuelita Flor Peñaherrera quien fue como una madre para mí, a Victoria Figueroa por sus consejos, a mi hermano Christian Molina por impulsarme a tomar esta carrera, a su esposa Stefania Macías, a mi tía Eufemia Molina y a mi tío Jaime Marse por su ayuda, a mis amigos que desde el pre siempre han estado y a la persona que amo que está conmigo en las buenas y malas Karina Figueroa, quienes me han impulsado e inspirado a completar esta meta.

Gracias por su apoyo incondicional.

Israel Gonzalo Molina Rodríguez

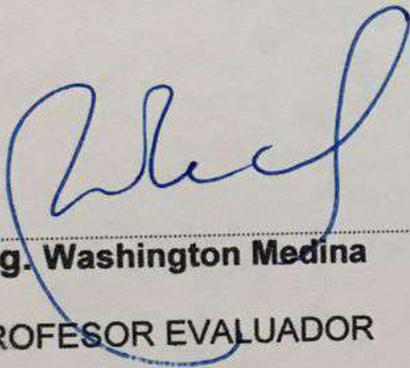
DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios por ser la fuerza espiritual que día a día me ha acompañado, a mi madre María, a mi padre Alan, a mis familiares más cercanos, mi tía Susana, mis primos Diego y Jessica, mis abuelos y todas aquellas personas que estuvieron siempre dándome la mano y apoyándome incondicionalmente.

A mis amigos más cercanos Nelson Carabajo, Priscila Burgos, Israel Molina, Katherine Guzmán, Luis Angulo y demás compañeros que durante todo este tiempo hasta hoy, me han visto crecer como persona y siempre han estado conmigo hasta en los momentos más difíciles. Gracias a todos ustedes por su apoyo, no los defraudare en el camino. Gracias.

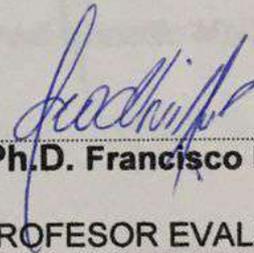
Mario Andrés Barzola Vera

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



.....

Ing. Washington Medina
PROFESOR EVALUADOR

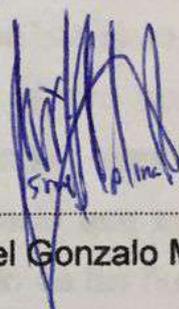


.....

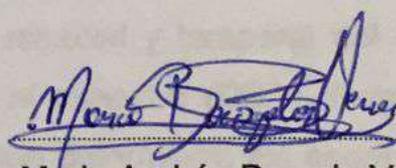
Ph.D. Francisco Novillo
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Israel Gonzalo Molina Rodríguez



Mario Andrés Barzola Vera

RESUMEN

A mediados de 1993 en adelante, Ecuador vio nacer a las primeras compañías celulares que otorgarían una nueva generación de comunicación para todos nosotros. Este tipo de comunicación tenía la peculiaridad de ser inalámbrica a diferencia de los otros dispositivos que utilizaban circuitos o mallas para brindar la comunicación telefónica. Debido a esto, las comunicaciones comenzaron a utilizar espacios dentro del espectro radioeléctrico para la transmisión y recepción de voz y datos. Desde su implementación hasta en estos tiempos, las compañías se han visto presionadas, por un lado por los clientes que utilizan el servicio y por el otro por los organismos gubernamentales para el desarrollo de nuevas y mejoradas tecnologías, pero a su vez se han visto con la cruda realidad de que el espacio que ocupan dentro del espectro radioeléctrico no es suficiente para el desarrollo de las nuevas tecnologías de comunicación. Este punto crítico entre eficiencia y el uso del espectro han promovido que se realicen estudios basados en esta problemática. Es ahí cuando surge el estudio basado en el aprovechamiento espacial y temporal del espectro radioeléctrico conocido como acceso oportunista al espectro (OSA). Este estudio engloba un conjunto de objetivos y mecanismos que determinan los segmentos de espectro disponible para la obtención del aprovechamiento del espectro radioeléctrico, de este estudio se desglosa un mecanismo llamado acceso dinámico al espectro (DSA), que se encarga de extraer solo una porción del espectro para su análisis y estudio sobre técnicas de aprovechamiento espacial y temporal de ese espacio de frecuencia.

En el capítulo 3 se dará a conocer el entorno del escenario de estudio y se analizará cada etapa del sistema de medición en las cuales está implicada desde la antena, el USRP en conjunto con el almacenamiento de datos y su debido procesamiento en el software labview por medio de un algoritmo implementado.

Este estudio se basa en sensar los niveles de potencia para los canales de 700 MHz LTE perteneciente a la compañía telefónica CNT en la ciudad de Guayaquil dentro de una zona urbana en el interior de un edificio. Dentro de este edificio se censó los niveles de potencia en diferentes pisos durante un periodo de tres semanas, para

luego estudiar el comportamiento que tiene el nivel de potencia para así determinar finalmente la existencia de disponibilidad sobre esta banda de frecuencia y de ser posible sugerir su reutilización o asignación a una organización competente para que se encargue de los canales de esa banda.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	vi
DECLARACIÓN EXPRESA	vii
RESUMEN	viii
ÍNDICE GENERAL.....	x
ABREVIATURAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
CAPÍTULO 1	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.1 Problema a resolver.	1
1.2 Objetivo general y objetivos específicos.....	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.1 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Alcance.....	4

1.5	Metodología.....	5
CAPÍTULO 2.....		7
2.	ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1	Orígenes de la tecnología LTE.....	7
2.2	Sistema LTE.....	14
2.3	Topología.....	17
2.3.1	Equipo de usuario (UE).....	19
2.3.2	Evolved nodo B (eNodoB).....	20
2.3.3	Entidad de gestión para la movilidad (MME).....	21
2.3.4	Gateway de servicio (S-GW).....	22
2.3.5	Gateway para la red de paquetes de datos (P-GW).....	23
2.3.6	Políticas y funciones de carga de recursos (PCRF).....	24
2.3.7	Servicios de suscripción local (HSS).....	24
2.4	Tipo de señal.....	25
2.5	Parametrizaciones de Tx y Rx.....	27
2.6	Reglamentación mundial y aspectos en Ecuador.....	30
2.7	ENodoB activas en Guayaquil.....	31
2.8	DSA, OSA y medición de niveles de potencia.....	34

2.8.1	Acceso dinámico al espectro (DSA)	34
2.8.2	Acceso al espectro oportunista (OSA).....	36
2.9	Estudios de LTE realizados en Ecuador en la banda de 700 MHz..	37
CAPÍTULO 3.....		40
3.	ESCENARIO DE ESTUDIO Y MEDICIONES.	40
3.1	Introducción	40
3.2	Descripción del escenario.....	40
3.3	Descripción general del proceso de medición	42
3.3.1	Antena	44
3.3.2	Hardware USRP	44
3.3.3	Procesamiento de datos.....	46
CAPÍTULO 4.....		49
4.	EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	49
4.1	Configuración del sistema	49
4.1.1	Localización geográfica y tiempo de la medición.....	49
4.1.2	Parámetros de configuración.....	51
4.2	Análisis de datos del escenario	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		58

BIBLIOGRAFÍA.....	60
ANEXOS.....	64

ABREVIATURAS

3GPP:	Proyecto Asociación de Tercera Generación
AMPS:	Sistema de teléfono móvil avanzado
BS:	Estación base
CNT:	Corporación nacional de telecomunicaciones
CDMA:	Acceso múltiple por división de código
CONECEL:	Consortio ecuatoriano de telecomunicaciones
D-AMPS:	Servicio telefónico móvil digital avanzado
DHCP:	Protocolo de configuración huésped dinámico
DNS:	Sistema de nombres de dominio
DSA:	Acceso dinámico al espectro
EDGE:	Tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM
EPC:	Núcleo de paquetes evolucionados
EPS:	Sistemas de paquetes evolucionados
FDMA:	Acceso múltiple por división de frecuencia
GPRS:	Servicio general de paquetes vía radio
GSM:	Sistema global para las comunicaciones móviles

HDPC:	Huésped dinámico de configuración de protocolos
ISP:	Interferencia causada por el sistema secundario
LC:	Pérdida ofrecida por cable
LCC:	Pérdida por conectores
LTE:	Evolución a largo plazo
MMOG:	Juegos multijugador en línea
MP:	Margen de protección
OFDMA:	Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal
OSA:	Acceso oportunista al espectro
PCRF:	Política y reglas de la función de carga
PR:	Potencia de analizador espectral
PR ANT:	Potencia de antena
QoS:	Calidad de servicio
SC-FDMA:	Múltiple acceso por división de frecuencia
SENATEL:	Secretaría nacional de telecomunicaciones
SMS:	Servicio de mensajes cortos
SP:	Sensibilidad del receptor
UMTS:	Sistema universal de telecomunicaciones móviles
UTRAN:	UMTS de red de acceso por radio terrestre

USRP: Radio serial de periférico serial

TDMA: Acceso múltiple por división de tiempo

WCDMA: Acceso múltiple por división de código de banda ancha

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura del modelo de impacto económico y social.....	4
Figura 2.1. Equipo celular Motorola Tango 300 utilizado por los usuarios en la compañía CONECEL S.A en el año 1993.....	8
Figura 2.2. Publicidad de la compañía CONECEL S.A año 2008.....	9
Figura 2.3. Evolución tecnológica de CONECEL en Ecuador.....	10
Figura 2.4. Línea de tiempo en evolución de CDMA a GSM de OTECEL.....	11
Figura 2.5. Migración tecnológica OTECEL en Ecuador.....	12
Figura 2.6. Evolución tecnológica de TELECSA en Ecuador.....	13
Figura 2.7. Topología del sistema LTE.....	18
Figura 2.8. Conexiones de un eNodoB con sus funciones.....	20
Figura 2.9. Conexiones de un MME y sus funciones.....	22
Figura 2.10. S-GW comunicándose con otros dispositivos lógicos en el proceso de enlace de subida (UL).....	22
Figura 2.11. Conexión de la P-GW en la interfaz de redes externas.....	23
Figura 2.12. Funcionamiento y conexiones lógicas del PCRF.....	24
Figura 2.13. Subdivisión y multiplexación de los usuarios en OFDMA.....	26
Figura 2.14. Sistema OFDMA y SC-FDMA.....	27

Figura 2.15. Beneficios de las antenas: a) Variedad, b) Ganancia de arreglo, c) Ganancia de la multiplexación espacial.....	28
Figura 2.16. Sistema de antenas MIMO para transmisión.....	29
Figura 2.17. Sistema de antenas MIMO para recepción.....	29
Figura 2.18. Plan de canalización ATP A5 en la banda de 700 MHz.....	30
Figura 2.19. Área de cobertura de LTE en el sector norte de Guayaquil.....	33
Figura 2.20. Área de cobertura de LTE en el sector centro de Guayaquil.....	33
Figura 2.21. Área de cobertura de LTE en el sector sur oeste de Guayaquil.....	34
Figura 2.22. Taxonomía del DSA.....	35
Figura 2.23. Simulación de cobertura LTE con el simulador SIRENET en las comunidades del milenio con el modelo de propagación Okumura Hata.....	39
Figura 3.1. Escenario urbano.....	41
Figura 3.2. Interferencias para reutilización del espectro.....	42
Figura 3.3. Sistema global de medición.....	43
Figura 3.4. Diagrama de bloques de una USRP.....	45
Figura 3.5. Proceso del manejo de datos.....	46
Figura 3.6. Diagrama de bloques medición.....	48
Figura 4.1. Escenario de estudio (EDIFICIO SRI- ENODO B CNT).....	50
Figura 4.2. Escenario de estudio (ENODO B CNT- EDIFICIO SRI).....	50
Figura 4.3. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz LTE de CNT para la planta baja.....	53
Figura 4.4. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz LTE de CNT para la planta baja.....	54
Figura 4.5. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el quinto piso.....	55

Figura 4.6. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el quinto piso.....	55
Figura 4.7. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el undécimo piso.....	56
Figura 4.8. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el undécimo piso.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países con cobertura LTE en Latinoamérica.....	3
Tabla 2. Porcentaje de penetración de los operadores de telefonía móvil en el Ecuador en el año 2014.....	14
Tabla 3. Resolución de la CONATEL para modificar el plan nacional de frecuencias.....	31
Tabla 4. Estaciones bases de CNT, LTE AWS y LTE 700 MHz.....	32
Tabla 5. Parámetros obtenidos del modelo Okumura Hata para el simulador SIRENET.....	38
Tabla 6. Algoritmo para encontrar la disponibilidad del canal.....	47
Tabla 7. Parámetros de configuración.....	51

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1 Problema a resolver.

Para la mayoría de nosotros, los dispositivos celulares en la actualidad son un recurso importante y vital para la comunicación personal y laboral, también nos permite vincularnos a través de herramientas de mensajería y redes sociales que son muy populares entre niños, jóvenes, adultos y sin menospreciar a las personas de la tercera edad.

Sin embargo, lo antes planteado nos hace pensar que a medida que la tecnología se desarrolle, también lo harán los problemas. En el contexto, para alcanzar los estándares de velocidades muy altas, el Ecuador ha adoptado el estándar LTE 4G, dicho estándar hace uso de femtoceldas que proporcionan al usuario una mejor calidad de la señal, tomando en cuenta que dichos dispositivos deben trabajar en la banda de frecuencia asignada por el operador móvil, esto causa un excesivo problema de interferencia entre femtoceldas.

Actualmente Ecuador ha formado alianzas estratégicas con las compañías en el mundo para completar la oferta actual de servicios como CNT, esto lo hace óptimo debido a que incrementa y fideliza al cliente, para esto los clientes deben tener teléfonos duales que les permita combinar una red de área local con la telefonía móvil [13].

Adicionalmente, se apuesta por el aumento futuro en la velocidad de las redes de telefonía celular y a su vez el aumento del ancho de banda ocupado para los servicios que hace uso el usuario común [2]. Viéndolo desde el punto de vista del operador esto es un gran problema que se debe solucionar de alguna forma y lo más pronto posible. Es por ello que se busca solucionar la demanda de tráfico y servicio de transmisión de voz y datos para los usuarios finales, sumado también a la reutilización de nuevas frecuencias del espectro para brindar una mejor calidad de servicio y finalmente corregir la gran demanda de datos e información.

1.2 Objetivo general y objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo general.

Determinar en la banda de 700 MHz LTE la disponibilidad de canales en un escenario interior de un edificio en una zona urbana.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Medir el nivel de potencia de los canales de CNT de la banda de **700 MHz**.
- Comparar los datos obtenidos con la sensibilidad de recepción de LTE 4G de CNT.
- Calcular la disponibilidad de canales en la banda de 700 MHz con su nivel de aprovechamiento.
- Modelar los resultados obtenidos de forma estadística con varias funciones de distribución de probabilidad conocidas (FDP).
- Analizar estadísticamente la disponibilidad de los canales en la banda de 700 MHz.
- Determinar la disponibilidad de canales en la banda de 700 MHz.

1.3 Justificación.

El asunto primordial de este proyecto es analizar la disponibilidad del espectro electromagnético de los canales de la banda 700 MHz debido a que día a día crece la densidad de usuarios de las compañías sean estas de televisión, proveedores de internet, compañías telefónicas o empresas privadas [14]. Este estudio busca la reutilización de una banda para que no exista interferencia entre usuarios o de la posibilidad de migrar a otra frecuencia los servicios dados de la misma empresa permitiendo fluidez, optimización y reutilización de espacios desaprovechados de frecuencia para conseguir estos fines, y tener clientes satisfechos con mejor fidelidad y calidad del servicio en transmisiones de datos,

se obtendrá una gran acogida por parte de las operadoras ya que incrementarán los usuarios y por ende sus ganancias.

Actualmente existen 13 redes comerciales que utilizan LTE en toda Latinoamérica en los países de República Dominicana, Antigua y Barbuda, México, Puerto Rico, Paraguay, Uruguay, Bolivia, Brasil y Colombia [17].

País	Operadora	Tecnología	Fecha de implementación
México	Telcel	FDD	nov-12
Colombia	Une	FDD	jun-12
Brasil	Sky Telecom	TDD	dic-11
	Claro	FDD	dic-12
Antigua y Barbuda	Digicel	FDD	nov-12
Puerto Rico	AT&T	FDD	nov-11
	Sprint Nextel	FDD	dic-12
	Claro	FDD	dic-11
	Open Mobile	FDD	abr-12
Paraguay	Copaco/VOX	FDD	feb-13
	Personal	FDD	feb-13
Uruguay	Antel	FDD	dic-11
República Dominicana	Orange Dominicana	FDD	jul-12
Bolivia	Entel	FDD	dic-12

Tabla 1. Países con cobertura LTE en Latinoamérica [18].

Pero en el Ecuador hay pocos estudios realizados con la tecnología LTE y es importante conocer si a 700 MHz la operadora concerniente CNT hace uso a cabalidad del canal y si dichos usuarios de la operadora hacen uso del servicio en una zona urbana de la ciudad de Guayaquil y de no serlo aprovechar aquel canal para una mejor reutilización de dicho espectro.

En el ámbito económico se prevé que esta tecnología alcanzará un gran impacto monetario según estudios realizados en América central y Asia [15], proporcionados por la empresa Alcatel-Lucent, aquellos estudios enfatizan que para el año 2020 casi 6.000 millones de personas en el mundo utilizarán redes en la banda de 700 MHz y de estos serán 4.000 millones en Asia y América Latina

reflejando así que por cada usuario se tendrá un estimado mínimo de un equipo conectado a la red gozando de dichos beneficios que nos brinda la tecnología LTE.

Según la figura 1.1 vemos un gráfico de cómo influyen las variables macroeconómicas con respecto al crecimiento de banda ancha de una región. La asignación de la banda de 700 MHz abre puertas al uso de esta frecuencia a compañías telefónicas y esto también promoverá el crecimiento de nuevas empresas y por ende nuevos departamentos que brindarán empleo mejorando la productividad y por ende el crecimiento económico de la región reflejado en el producto interno bruto (PIB).



Figura 1.1. Estructura del modelo de impacto económico y social [18].

1.4 Alcance.

Hoy por hoy, las tecnologías de comunicación de voz y datos encuentran nuevas mejoras en la calidad del servicio. En nuestro país aquellos servicios de internet lo podemos encontrar en espacios públicos tales como aeropuertos, instituciones educativas, instituciones gubernamentales, hospitales y estaciones de bus (metrovía) que son tan útiles para las personas que utilizan dispositivos móviles tales como tablets, smartphones y ordenadores personales.

Por lo tanto se busca como prioridad el acceso oportunista de una banda de frecuencias asignadas públicamente para aprovechar los espacios espectrales no utilizados en una zona urbana y densamente poblacional y así utilizarlo en aplicaciones basadas en el internet de las cosas.

Utilizando modelos estocásticos es posible estudiar matemáticamente el comportamiento espacial y temporal del espectro de frecuencias de la tecnología LTE CNT en la frecuencia 700 MHz y ver su disponibilidad con los parámetros mencionados.

Nuestro trabajo consiste en sensar niveles de potencia, calcular, analizar y justificar la disponibilidad de canales en la frecuencia de 700 MHz.

1.5 Metodología.

La metodología del proyecto comienza con el algoritmo que incorpora la configuración para un equipo USRP que nos ayudará a obtener las mediciones de potencia en los canales de la frecuencia LTE 700 MHz. Los canales asignados en nuestro caso son los canales definidos como G, H, I, para subida y G', H', I' para los canales de bajada según lo estipulado por la CONATEL en el año 2012 en la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 [12].

Luego de esto se procede a comparar estas mediciones con un valor umbral de potencia de receptor el cual para subida es de -110.5473 [dB] y para bajada de -98.9966 [dB], [16].

Haciendo las comparaciones haremos una tabla de estado en el cual si dicha potencia es menor al valor umbral le asignaremos a la medición con un valor de '1' caso contrario se le asignara con un valor de '0'.

Se calcula la disponibilidad de canales determinando cual es el tiempo que demora en hacerse una sola muestra y con ello se obtiene el número de muestras por segundo para ese periodo de tiempo, por consiguiente obtendremos el número de muestras que debemos agrupar en la tabla de estado y la sumatoria de agrupaciones se lo divide para dicho número de muestras, para finalmente obtener las diferentes disponibilidades y sus gráficas respectivamente.

Después de calcular la disponibilidad se procederá al análisis estadístico de cada disponibilidad buscando el mejor modelo estocástico que se ajuste a nuestros valores de disponibilidad.

Para terminar se observarán los resultados de este análisis estadístico y se verificará la existencia o no de la disponibilidad de espectro en el canal con la finalidad de brindar un mejor servicio a la comunidad.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1 Orígenes de la tecnología LTE.

En Ecuador con la aparición de los teléfonos celulares, la tecnología ha ido creciendo a través del tiempo, sin duda alguna gracias a la constitución de empresas celulares que llegaron a nuestro territorio y que fomentaron a que la tecnología de hoy en día se siga desarrollando. Nuestro país ha observado como las compañías telefónicas han migrado de tecnología motivados por la innovación y la eficiencia de servicio [27]. Entre las principales razones tenemos:

- El desarrollo de baterías eficientes
- El interés económico de los operadores, fabricantes y usuarios
- La reutilización del espectro radioeléctrico.
- El desarrollo de tecnologías basadas en microchips.

Como primer ejemplo tenemos a la compañía CONECEL S.A que apareció un 24 de junio de 1993 y que actualmente está vigente y funcionando en la ciudad de Guayaquil [19], su objetivo fue brindar un servicio de voz utilizando equipos de primera generación que brindaban mayor comodidad y portabilidad para los usuarios que en ese entonces solo se comunicaban de manera fija desde sus domicilios o puestos de trabajo. Durante esa época se hizo uso de la tecnología AMPS, en la figura 2.1 se puede apreciar un equipo celular utilizado durante los años 1993 y 1994 durante la primera generación de la tecnología móvil. En el año 1997 la compañía migró su tecnología hacia la segunda generación con el sistema D-AMPS.



Figura 2.1. Equipo celular Motorola Tango 300 utilizado por los usuarios en la compañía CONECEL S.A en el año 1993 [20].

Al llegar el año 2000, la empresa forma parte del grupo América Móvil en donde adquiere mayor conocimiento y tecnología que contribuyó a que la tendencia actual pase a dividirse en la utilización de voz y datos con la implementación de redes GSM y GPRS a comienzos del año 2003. Cuando la compañía consiguió la autorización para la creación de nuevas y mejoradas redes de telefonía, y transcurriendo un año, la SENATEL pidió que las redes GPRS que existían sean optimizadas para brindar a los usuarios una mayor velocidad de transmisión, y con la premisa de que se lograría alcanzar nuevos servicios como navegación de internet, video llamada y tiendas de música, nacieron así las redes EDGE en el año 2004. Pasó el tiempo y el Estado ecuatoriano hizo la renovación de la

concesión a esta compañía en agosto del 2008, aquella concesión les otorgó la posibilidad de utilizar las redes GSM y UMTS para permitir a los usuarios transmitir y recibir una gran cantidad de datos e información desde sus equipos celulares, información que se traducía en música, imágenes, sonidos, señales, voz, etc, dando paso a la tercera generación de equipos celulares y a una nueva tendencia en comunicación móvil, encaminándose a la misión de disminuir la brecha digital mediante la conectividad, de este hecho existe una gran campaña publicitaria que realizó dicha compañía en ese año en la figura 2.2 donde se muestra la integración de los equipos celulares a los servicios de internet y datos.



Figura 2.2. Publicidad de la compañía CONECEL S.A año 2008 [21].

Y es a partir del año 2011 que esta empresa llega a llamarse CLARO, para esta fecha la compañía implementó el estándar de tercera generación, e integración

de servicios con el servicio de internet a mayores tasas de velocidad y rendimiento. En la figura 2.3 se contrasta un resumen acerca del avance tecnológico de CONECEL en el Ecuador.

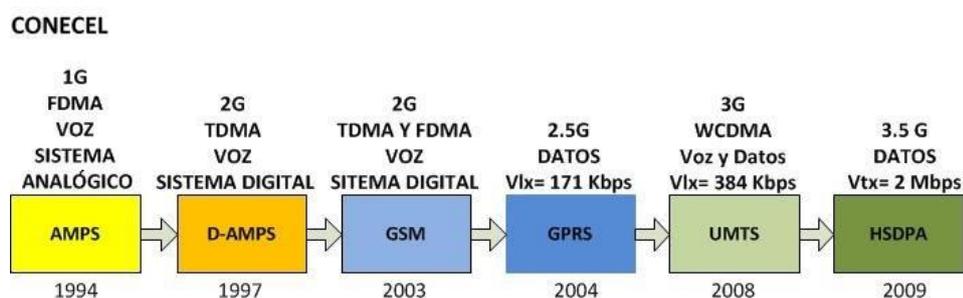


Figura 2.3. Evolución tecnológica de CONECEL en Ecuador [27].

La segunda empresa celular en el país llegando con buena acogida fue OTECEL S.A fundada en el año 1996 con el nombre comercial de Bellsouth. Esta empresa brindó también sus servicios celulares con una red de primera generación, lo que la hacía diferente ante la competencia no es precisamente su fecha de fundación, es su prolongado desvío tecnológico que la acompañó desde 1996 hasta el 2005. Mientras CONECEL siguió una línea comercial y popular, OTECEL apostó por el desarrollo y crecimiento del sistema AMPS desde sus inicios, luego le siguió los sistemas IS-54 e IS-136 denominadas como redes digitales TDMA que convirtieron dicha tecnología analógica en digital para la utilización de servicios de voz y datos. A medida que los usuarios comenzaron a crecer, ya para el año 2002 la empresa decidió lanzar al mercado la nueva red CDMA de 800 MHz con una campaña de migración masiva que permitiría descongestionar las redes TDMA que se encontraban ya saturadas para ese entonces. Después de un año

se lanzó la tecnología CDMA 2000 1x que daba la posibilidad de conectarse a internet y utilizar aplicaciones semejantes en equipos únicamente compatibles para dicha tecnología, para ese entonces la empresa OTECEL pasa a manos de Movistar de España y llegando el año 2005 la compañía pasa a llamarse comercialmente Movistar. Después de esto es que empiezan a operar con la red GSM de 850 MHz y promueven una campaña de lanzamiento de equipos con tecnología GSM y la utilización del chip que ya para entonces era ya utilizado por la competencia, y es a partir de aquí que comienza una renovación en la visión tecnológica y comenzó la visión comercial. En sus inicios hubo cobertura en las principales ciudades del país para después irse ampliando en todo el territorio ecuatoriano, las redes TDMA fueron desmontadas en el año 2008 y en el año 2014 según por decisión de la CONATEL, la plataforma CDMA dejó de funcionar y los abonados debían migrar a las nuevas tecnologías GSM de tercera generación, esto se lo puede apreciar en la figura 2.4.

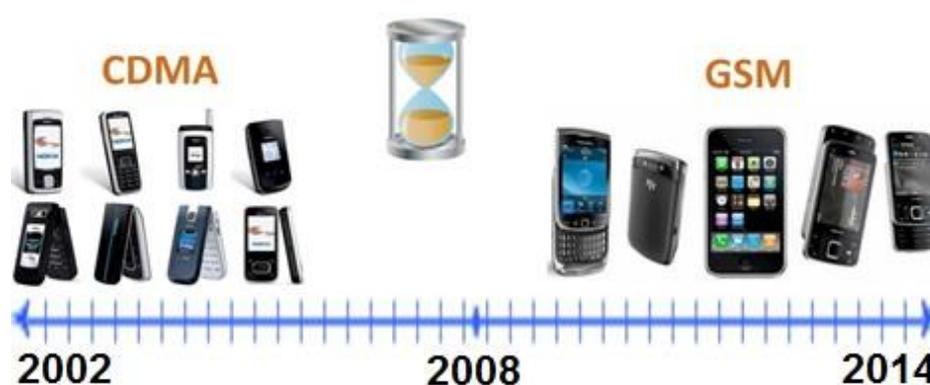


Figura 2.4. Línea de tiempo en evolución de CDMA a GSM de OTECEL.

Para el año 2009 esta operadora comenzó a otorgar a sus clientes el servicio de banda ancha inalámbrica con la tecnología UMTS/HSDPA en el rango de

frecuencia de 1900 MHz. Este avance tecnológico se lo ha resumido en la figura 2.5 en donde se muestra la evolución tecnológica que ha tenido OTECEL a lo largo del tiempo.

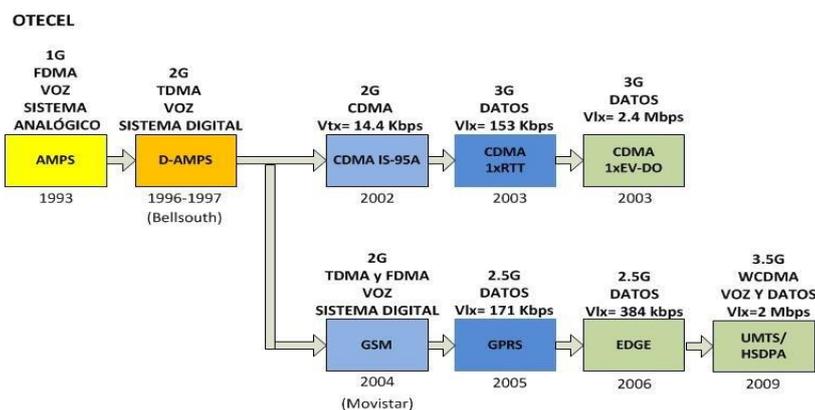


Figura 2.5. Migración tecnológica OTECEL en Ecuador [27].

Al retroceder unos años atrás, a partir del año 2003, apareció una nueva empresa celular llamada TELECSA como una alternativa telefónica creada por Andinatel y Pacifictel para ganar terreno en la telefonía móvil en el Ecuador, comercialmente llamada Alegre PCS. Por ser nueva y poco conocida debía ser más accesible a los ecuatorianos ofreciendo tarifas y promociones e inclusive promocionando nuevos y mejorados equipos celulares, los cuales debían ser más económicos que los grandes competidores, que en ese entonces eran PORTA y MOVISTAR, sin embargo debido a una mala visión administrativa, pérdidas que se acumularon desde su fundación y por estar a punto de llegar a la quiebra, el estado ecuatoriano anuncia que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) será la nueva dueña de la empresa ALEGRO PCS y pasó a llamarse CNT

en el año 2010 [19]. Durante el periodo de operación de la compañía TELECSA hasta finales del 2007 sólo pudo lograr el siguiente esquema de tecnología que se muestra en la figura 2.6.

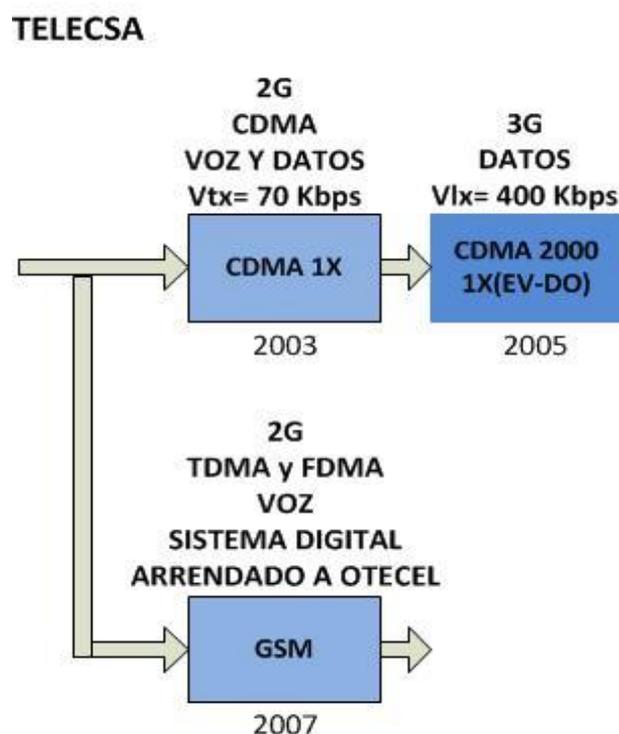


Figura 2.6. Evolución tecnológica de TELECSA en Ecuador [27].

Hoy en día, esta empresa pasa a ser de servicio público y a pesar de muchos errores y tropiezos, gracias a la toma correcta de decisiones y el apoyo del gobierno ecuatoriano, esta empresa pudo lograr ser la primera en brindar el servicio de LTE en el país, servicio que fue lanzado al público desde diciembre del 2013 tratando de cubrir en lo posible las ciudades de Quito, Guayaquil y seguidamente el resto de ciudades del Ecuador [23]. Después de una jornada de negociaciones por parte de CLARO y MOVISTAR, en el año 2015 estas dos empresas pudieron finalmente ofrecer el servicio de LTE en las principales

ciudades del país. Este retraso comercial en el servicio LTE en estas dos empresas permitió que esta tercera empresa reciba una cantidad significativa de clientes que tanta falta le hacían, ya que el índice de penetración que tuvo durante el año 2003 hasta el año 2010 fue de apenas 1.9% en comparación con el porcentaje obtenido en Movistar que fue de 28.4% y de Claro que correspondía al 69.7% según lo afirmado por la superintendencia de comunicación [24], estas cifras se las puede corroborar en la tabla 2.

OPERADOR	PREPAGO	POSPAGO	TOTAL	PORCENTAJE
CLARO	9.363.416	1.462.657	10.826.073	69,7%
MOVISTAR	3.745.175	670.307	4.415.482	28,4%
CNT E.P	234.895	54.816	289.711	1,9%

Tabla 2. Porcentaje de penetración de los operadores de telefonía móvil en el Ecuador en el año 2014 [23].

2.2 Sistema LTE.

Las compañías telefónicas mencionadas anteriormente buscaban como prioridad la satisfacción de sus usuarios al romper mitos tecnológicos y de comunicación, como resultado permitió unir a las personas que se encontraban distantes, todas estas cosas demandaron a su vez que aquellas compañías dieran lo mejor de sí, por ello se dice que las primeras generaciones están enfocadas principalmente en la voz como recurso importante, luego en la segunda generación se dedicaron exclusivamente a complementar los servicios de voz con la mensajería SMS que en aquel entonces reemplazaba significativamente aquellos mensajes físicos que se enviaban hacia otras ciudades por medio del correo, pero la capacidad que podían soportar se vería cada vez más saturada y quisieran o no debían incrementar la capacidad de usuarios, que en aquel caso se reflejaría en peticiones y demandas antes los entes reguladores de telecomunicaciones,

entonces comienza el camino hacia la evolución de las telecomunicaciones y las tendencias comerciales son las que imperan en el uso de este recurso. Mayor integración, servicios de música, vídeo llamadas y demás componentes se fueron sumando a dichos dispositivos y la gente empezó a requerir más y mejores resultados por parte de las compañías telefónicas, obligaron por ello que en este camino hacia la evolución se dieran algunos pasos gigantescos pasando de una primera, segunda y tercera generación hasta llegar a una cuarta generación de redes telefónicas y de servicios con mayor integración a los recursos requeridos en la actualidad, sobre todo, con mejores resultados. Esta cuarta generación es la más significativa y se la ha denominado LTE, sus siglas significan evolución a largo plazo, el mismo nombre califica de buena manera lo antes mencionado. Esta generación es un estándar creado por la norma 3GPP y fue promovido a finales del 2004 para utilizarlo sobre el estándar WCDMA desarrollado en la tercera generación, ofreciendo un aumento de la eficiencia espectral, adicionalmente se pensó en la reutilización de los equipos ya existentes y una mayor integración de los protocolos, garantizando a su vez la retro compatibilidad de equipos que pertenecían a la tercera generación, como el caso de los celulares BlackBerry [25] que fueron popularmente comercializados y distribuidos inicialmente por Movistar. Durante el proceso de creación de LTE se realizaron actualizaciones en la red de acceso de UMTS, llamado UTRAN, esta red de acceso recibió después el nombre de Evolved UTRAN y típicamente es llamado eNodoB (Evolved Nodo B), además se realizaron trabajos para la creación de redes troncales evolucionadas para la conmutación de paquetes llamado EPC (Evolved Packet Core), y al final se combinaron para conformar una red que involucra las redes de acceso y redes troncales llamado EPS (Evolved Packet System). Entre las principales características de esta tecnología es que al utilizar una técnica de transmisión basada en OFDMA en DL (Down Link) y la técnica de transmisión SC-FDMA en UL (Up Link), se garantiza una alta eficiencia espectral y robustez frente a las posibles amenazas de interferencias en el medio de propagación. La siguiente característica es que posee la propiedad de tener un ancho de banda adaptativo, es decir, puede trasladarse a diferentes anchos de banda como son de 1, 3, 4, 5, 10,15 hasta los 20 MHz, adicionalmente a esto se

le suma la posibilidad de trabajar en distintas bandas de frecuencias, y tener una arquitectura de protocolo simple, todo ello gracias a la raíz de múltiples discusiones propuestas por el grupo 3GPP durante la octava revisión de la arquitectura de la red (RELEASE 8), en la cual se establecieron estos objetivos:

- Reducir el costo por bit
- Incrementar la provisión del servicio y dar más servicios a un bajo costo con una mejor experiencia para el usuario.
- Flexibilidad de usar o existir una nueva banda de frecuencia.
- Arquitectura simple e interfaz abierta.
- Permitir que los terminales consuman un nivel de energía razonable.

Siendo que LTE hace uso del método de acceso OFDMA en la parte descendente, los datos transmitidos son llevados de forma paralela y hace uso de subportadoras de banda estrecha combinándolos con un prefijo cíclico, lo que hace que sea lo suficientemente robusta para la dispersión en el tiempo sin la necesidad de recurrir a receptores avanzados y complejos en el lado de la equalización del canal, esto convierte al sistema muy atractivo porque simplifica el procesamiento del receptor en la banda base y a su vez reduce el costo del terminal y como consecuencia principal la reducción del consumo de energía. Mientras en la parte ascendente, lo más prioritario fue permitir la alta eficiencia de energía en la transmisión, es por eso que se procuró utilizar una sola portadora basada en la transformada de fourier discreta, a esto se le denominó DTFS-OFDM también conocida como portadora simple de acceso múltiple por división de frecuencia SC-FDMA. A esto le sumamos que LTE hace uso de un conjunto de antenas MIMO que formaron parte del estándar 3GPP en la tercera generación, favoreciendo la eficiencia para la transmisión de datos y cuadruplicando su valor considerablemente.

LTE es una red IP en su totalidad debido a que en la estructura e interconexión física integra elementos propios de las redes IP como lo son los routers y servidores DNS (Domain Name Server) y DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), formando así una estructura de comunicación orientada a los servicios de internet IP y voz sobre IP, es decir, LTE está en la capacidad de integrar

servicios avanzados como navegación web, FTP, juegos en línea de tipo MMOG (juegos multijugador en línea), llamadas IP gratuitas, vídeo llamadas en tiempo real, entre muchos más servicios. Las ventajas de formar parte de una red IP es que permite mayor flexibilidad de comunicación en tiempo real como lo hacen las vídeo llamadas, esto brinda a los usuarios la facilidad de realizar reuniones laborales a distancia a un precio muy económico gracias a que esta red es puramente IP. Las redes IP utilizan una conexión llamada conmutación por paquetes, este tipo de conexión es la misma que se utiliza para la comunicación entre routers en una red, a diferencia de la conmutación por circuitos, en la que su principal inconveniente era la latencia y el retardo de los paquetes debido a que esta es una conexión fija e inamovible.

Finalmente se contrasta que el grupo 3GPP logró cumplir con todos los objetivos que se discutieron.

2.3 Topología.

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de creación de LTE se utilizó una actualización del sistema de acceso UMTS llamado eNodoB, en conjunto con una red troncal llamado EPC, ambos proporcionan de forma conjunta los servicios de transferencia de paquetes IP entre los usuarios y las redes de paquetes externas como es el caso de las plataformas IMS y el internet. La topología que sigue LTE es la que se muestra en la figura 2.7, dentro de la figura se aprecia que se encuentra dividido esta topología en 4 partes, el primer bloque corresponde a los servicios que proporcionan internet, el segundo bloque denominado EPC se encuentra el núcleo de los paquetes de datos que se transmiten y reciben a través de los bloques de control de carga PCRF, el proceso de anclaje y control de los procesos de handover que los realizan el P-GW y el S-GW, la base de datos HSS de los usuarios y los servicios que tiene, y el bloque MME que brinda el servicio de autenticación para evitar infiltración de usuarios no autorizados. En el tercer bloque se encuentra el E-UTRAN donde se encuentran los eNodoB que vienen a ser las estaciones bases, y finalmente el equipo de usuario que corresponde al terminal móvil que tiene el usuario final.

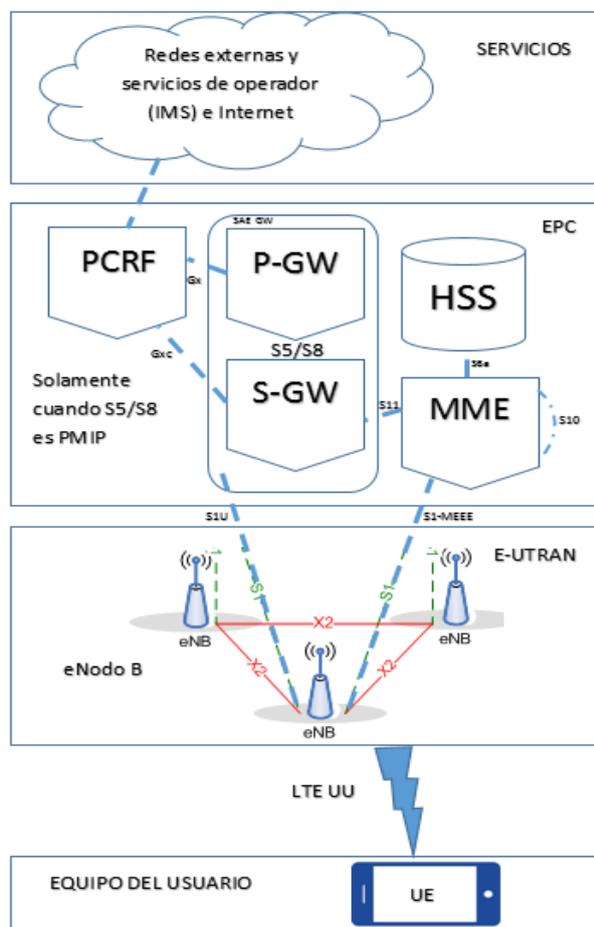


Figura 2.7. Topología del sistema LTE [24].

Como se observa en la figura 2.7, se puede apreciar que la arquitectura de LTE se divide en cuatro módulos:

- Servicios y su dominio
- Núcleo de la red de paquetes evolucionada (EPC)
- UTRAN evolucionada (E-UTRAN)
- Equipo de usuario (UE)

Estos módulos son equivalentes a los sistemas 3GPP implementados en la tercera generación, conservando el módulo de servicios intacto, pero evolucionando continuamente esta área. El conjunto de módulos se lo denomina

capa de conectividad de servicios, y los tres últimos módulos conforman la capa de conectividad del protocolo IP, E1EPS. Esta parte del sistema se lo conoce como el sistema de paquetes evolucionado y su función es de otorgar conectividad basada en servicios de red de manera óptima y especializada.

La diferencia que hace con el sistema de tercera generación es que la red EPC ya no hace uso de la conmutación por circuitos, en cambio se utiliza la conmutación por paquetes, es por ello que no existe una conexión directa hacia los ISDN o PSTN como se lo venía haciendo tradicionalmente. Los elementos SAE GW representan los gateway, gateway de servicios, y el gateway para la red de paquetes de datos.

Cada módulo desempeña una función en específico y se lo explicará a continuación.

2.3.1 Equipo de usuario (UE)

Es el equipo que el usuario final posee y lo utiliza para comunicarse, este equipo puede ser un teléfono inteligente como también una computadora portátil, ya que en la mayoría de casos, todos estos utilizan una red celular gracias al uso de módems inalámbricos que poseen un chip, a este chip se lo conoce como el módulo universal de identificación por suscriptor (USIM) que contiene un circuito llamado circuito universal integrado (UICC), este módulo permite identificar a un usuario que se encuentra registrado en una compañía telefónica y a su vez permite la autenticación para que este tenga la posibilidad de comunicarse y proteger su transmisión de datos en la interfaz radioeléctrica. El UE por su parte, es un módulo de comunicación que permite establecer la comunicación, gestiona la movilidad a través de procesos de handovers y a través de un número de serie llamado IMEI, se puede reportar el UE en caso de pérdida o robo del mismo. A través del UE es que se gestionan las aplicaciones que el usuario final utiliza como son los servicios de voz y datos, y además, los servicios de internet por medio de la red.

2.3.2 Evolved nodo B (eNodoB)

Es una estación base de radiofrecuencia que hace el papel de control para las funciones de radio. Debido a que se basa en una conectividad IP hacia el EPC, y considerando las distintas funciones de cifrado y descifrado de información, administración de los datos lógicos IP con sus respectivos controles de cabecera, se considera que el eNodoB trabaja en la capa 2 como unión entre el UE y el EPC.

El papel que desempeña es variado, controla los niveles de mediciones emitidas por el UE y analiza sus niveles de potencia para realizar el proceso de handover entre las celdas. Si un UE solicita conexión y se encuentra cerca, procede a redirigir la solicitud hacia la MME asignada anteriormente, o selecciona otro MME de no estar disponible.

Las eNodoB sirven a varias UE, pero las UE solo pueden trabajar con un solo eNodoB y estos a su vez dependen de eNodoB cercanos siempre y cuando se necesite realizar procesos de handover.

Todo este proceso se puede observar en la figura 2.8, en el que se explican las distintas conexiones entre los MME y SWG al eNodoB y a su vez hacia otros eNodoB o equipos UE.

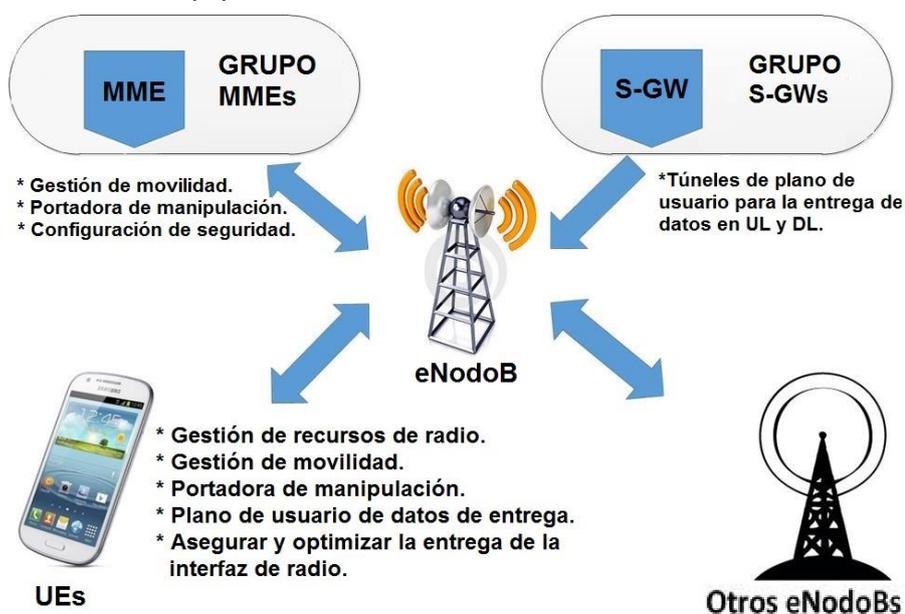


Figura 2.8. Conexiones de un eNodoB con sus funciones [24].

En la Figura 2.8, se puede destacar algunas funcionalidades adicionales sobre el eNodoB y estas son:

- Administración de bearers de radio.
- Control de admisión.
- Señalización de control.
- Cifrado de datos y scheduling de data de usuario.
- Administración de recursos de radio.

2.3.3 Entidad de gestión para la movilidad (MME)

Este es un elemento que se encarga de proporcionar las funcionalidades de control en una EPC ya que posee una interfaz lógica desde el CP hasta el UE. Estas funcionalidades son:

- Administración de data bearers.
- Autenticación de usuarios.
- Gestión de movilidad y suscripción de perfil para conectividad.
- Manejo de señalización y control en procesos de handovers.
- Generación de identificaciones temporales y asignaciones hacia los UEs.

Una MME puede realizar operaciones de repetición de autenticación de ser necesario periódicamente con la finalidad de proteger la comunicación y evitar la infiltración de intrusos a las redes. En la figura 2.9 se puede observar las interfaces en la que se encuentra conectada una MME.

En el momento que un UE se registra correctamente en la red, la MME se encarga de recuperar el perfil del UE en la suscripción de la red local, almacena la información durante el tiempo en el que se está dando servicio al UE con la finalidad de determinar que conexión de la red debe ser asignado a la UE en la red.



Figura 2.9. Conexiones de un MME y sus funciones [24].

2.3.4 Gateway de servicio (S-GW)

Es parte de la infraestructura de la red que se emplea en los operadores locales y está ubicada en la comunicación de subida (UL), actúa como anclaje durante los procesos de handover entre eNodeB a otro y permite conmutar el túnel de un eNodeB por control de la MME.

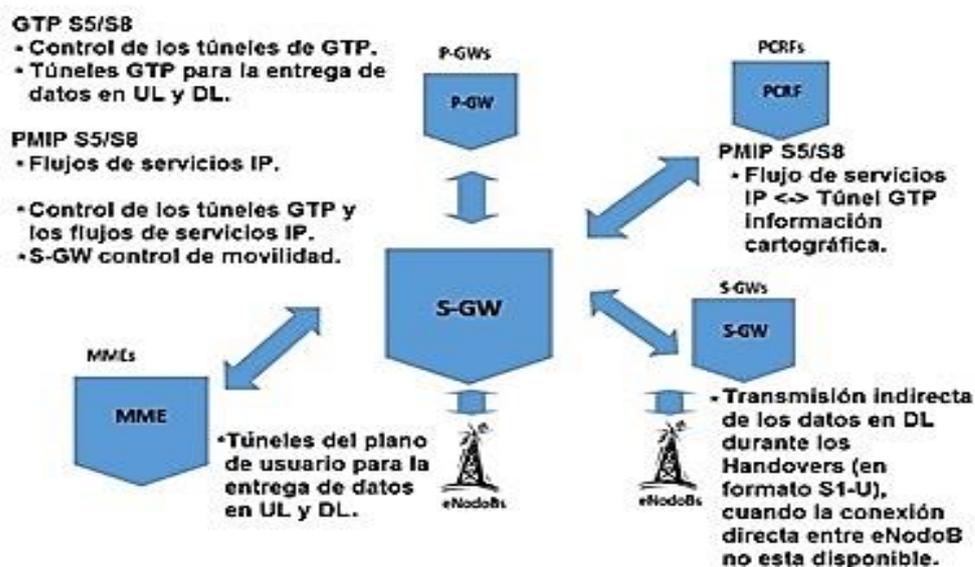


Figura 2.10. S-GW comunicándose con otros dispositivos lógicos en el proceso de enlace de subida (UL) [24].

Estos escenarios de movilidad abarcan el cambio de un S-GW a otro, al remover túneles anteriores de un S-GW para asignárselos a otro.

Durante los procesos de handover en la figura 2.10, se muestra el caso de envío de información UL desde el eNodoB a través del S-GW.

2.3.5 Gateway para la red de paquetes de datos (P-GW)

Se aloja en el nivel más alto de movilidad del sistema, se encarga de controlar el desplazamiento de las UEs al recibir la indicación de conmutar las portadoras hacia el nuevo flujo del S-GW. En la figura 2.11, los P-GW asignan direcciones IP a los UE y estos a su vez se comunican con otros host IP en las redes externas.

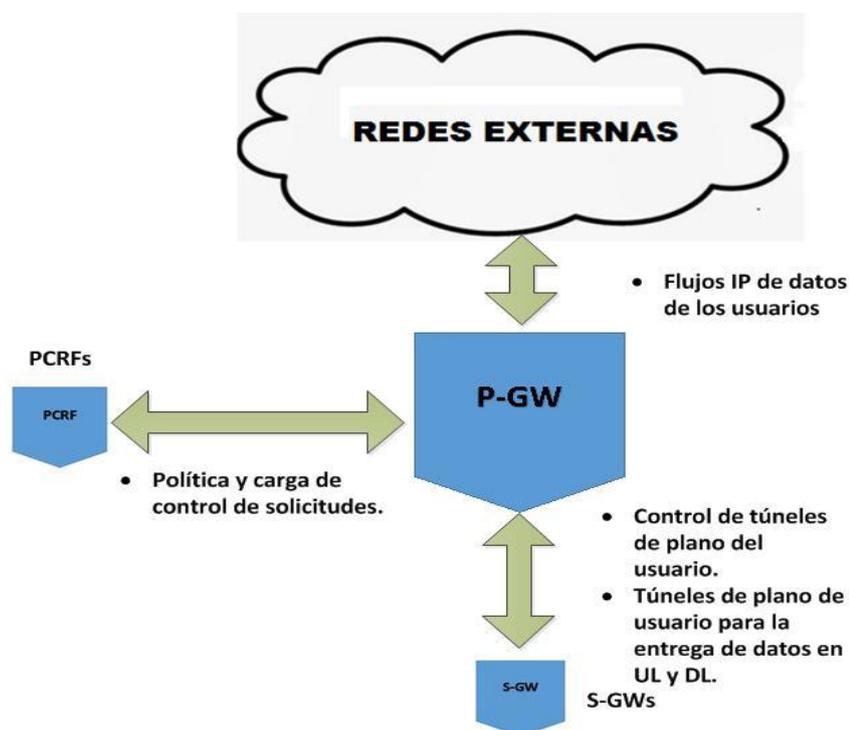


Figura 2.11. Conexión de la P-GW en la interfaz de redes externas

[24].

2.3.6 Políticas y funciones de carga de recursos (PCRF)

Un PCRF se responsabiliza de las políticas y el control de carga (PCC), otorga la información sobre servicios QoS, tomando decisiones de administración y manejo, y realiza la ejecución de las políticas y funciones de carga (PCEF).

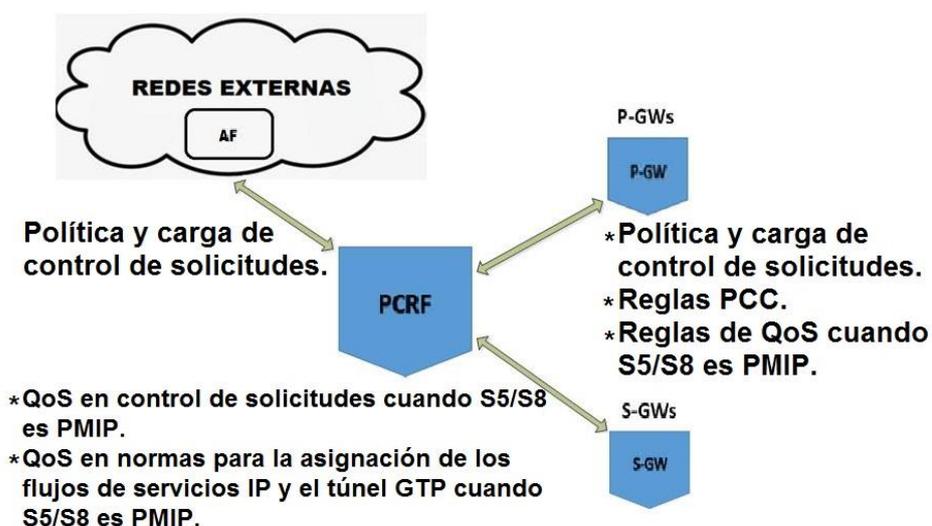


Figura 2.12. Funcionamiento y conexiones lógicas del PCRF [24].

En la figura 2.12 el PCRF entrega información a los PCEF conocidas como reglas del PCC, y esto lo realiza cuando se crean nuevas portadoras, esto siempre ocurre cuando un UE se une inicialmente a la red.

2.3.7 Servicio de suscripción local (HSS)

Se considera al HSS como un registro de datos de suscripción para los datos de un usuario permanente. Este registro está centralizado en las instalaciones de un operador móvil local. Aquí se almacenan los datos del cliente así como también los servicios que el usuario posee y servicios

aplicables. Los HSS se conectan con cada MME dentro de las redes en las cuales este usuario puede desplazarse, es decir, cancelando cada MME cuando una nueva MME reporta que se está dando servicio a la UE.

2.4 Tipo de señal.

LTE hace uso de dos técnicas de acceso llamadas OFDMA y SC-FDMA como técnicas de acceso para enlace descendente y ascendente correspondientemente.

La técnica OFDMA se basa en la versión multiusuario de OFDM, que permite compartir el canal con varios usuarios. En esta técnica se considera que para distintos usuarios, existen diferentes símbolos, y estos símbolos se modulan sobre distintas subportadoras con el objetivo de acomodar varias transmisiones simultáneas.

Al mismo tiempo, en el receptor se le asigna varias subportadoras y la UE solo reconocerá la subportadora asignada en ese momento y hará discriminación del resto de subportadoras.

Es muy fácil efectuar asignaciones dinámicas de las subportadoras disponibles en OFDMA, las asignaciones se las realiza al modificar los símbolos que se ingresan a cada una de las entradas del proceso en la transformada inversa de fourier (IDFT) durante el proceso de transmisión, permitiendo a su vez que en los periodos de tiempo cortos, se pueda modificar las subportadoras empleadas a cada usuario.

Esto es muy bueno debido a que permite que la red sea flexible y pueda acomodar los flujos de datos con los diferentes requerimientos, en especial los estrictos requerimientos de QoS que se piden.

Los sistemas OFDMA subdividen la banda total en pequeñas subportadoras como se lo puede apreciar en la figura 2.13, esto también garantiza que se puedan reutilizar las subportadoras y a su vez se reutilice de mejor forma las frecuencias similares a la de los sistemas de segunda generación.

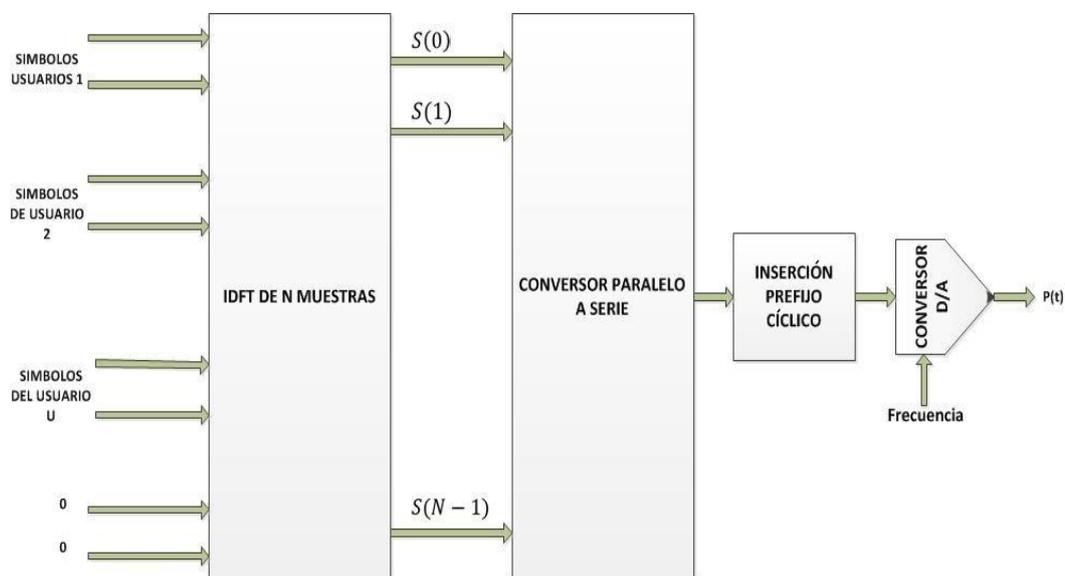


Figura 2.13. Subdivisión y multiplexación de los usuarios en OFDMA [26].

De cierta forma, el uso de OFDMA en sistemas LTE proporciona a los UE las siguientes ventajas:

- Sencillez de implementación en un dominio digital.
- Flexibilidad en la banda asignada.
- Diversidad en frecuencia.
- Diversidad multiusuario.
- Reutilización de bandas asignadas.

Para los enlaces de subida, los sistemas SC-FDMA utilizan una única portadora de acceso múltiple, esto se logra al pre codificar los símbolos a transmitir previo al proceso de transmisión OFDM para reducir variaciones en la potencia instantánea. Esta característica hace que la señal SC-FDMA tenga una relación de promedio pico a pico inferior en comparación con la señal OFDMA, garantizando mejor duración de la batería del teléfono y por ende que sea adecuada para el canal de subida.

En el siguiente gráfico de la figura 2.14 se muestra la comparativa de los sistemas OFDMA y SC-FDMA

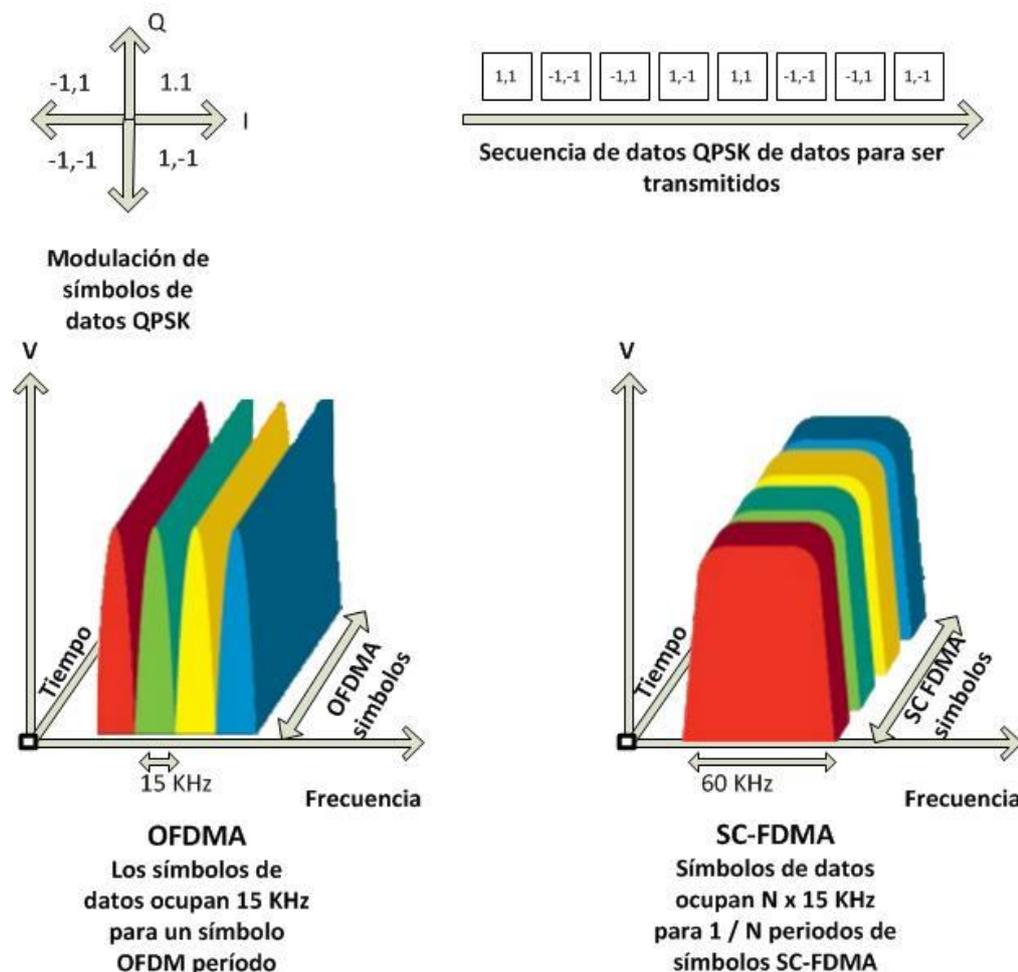


Figura 2.14. Sistema OFDMA y SC-FDMA [26].

2.5 Parametrizaciones de Tx y Rx.

Para la implementación de LTE, el grupo 3GPP propuso requerimientos que exigían una mayor eficiencia en el establecimiento de la conexión y menores latencias de transmisión, para este fin el grupo decidió utilizar la tecnología de antenas múltiples. La figura 2.15 ilustra el uso de las antenas múltiples que cumplen los siguientes propósitos:

- Variedad en la ganancia.

- Ganancia del arreglo.
- Ganancia de multiplexado espacial.

La variedad en ganancia permite que la transmisión del sistema en conjunto se vuelva robusto frente a las pérdidas por desvanecimiento en los multicaminos. La ganancia de la antena aumenta por cada aportación de las antenas independientes, llegando a concentrar toda esa energía por medio de la precodificación del haz, es decir que los usuarios pueden ubicarse en diferentes posiciones con respecto a cada antena, y cada usuario podrá ser servido de manera equitativa.

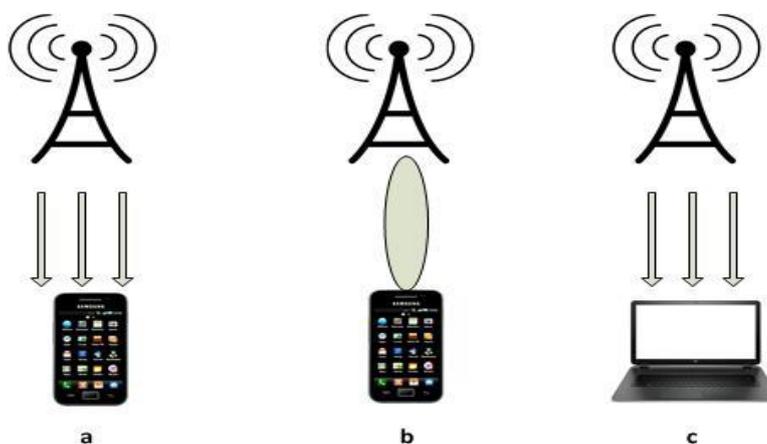


Figura 2.15. Beneficios de las antenas: a) Variedad, b) Ganancia de arreglo, c) Ganancia de la multiplexación espacial [27].

Este tipo de antenas múltiples se las conoce como antenas MIMO, tienen la peculiaridad de aprovechar los fenómenos físicos que ocurren durante el proceso de propagación de la señal, entre ellas está la propagación por multicaminos, las antenas aprovechan al máximo este fenómeno para poder incrementar la tasa de transmisión y a su vez reducir las tasas de errores. Cuando se llegó a implementar los estándares de tercera generación [27] se pensó previamente en el hecho de utilizarse este tipo de antenas debido a que en el formato de transmisión inalámbrica ocurren siempre las degradaciones de la señal y por ende la pérdida de los datos.

Las antenas MIMO fueron analizadas de la siguiente forma: si se considera un sistema de transmisión con un total de A_x antenas transmisoras y A_r antenas receptoras, se puede paralelizar un total de R canales MIMO en donde R es el rango de la matriz que recoge respuestas al impulso entre las diferentes combinaciones de antenas transmisoras y receptoras.

Este esquema se lo puede apreciar en la figura 2.16 y figura 2.17 para las antenas transmisoras y receptoras.

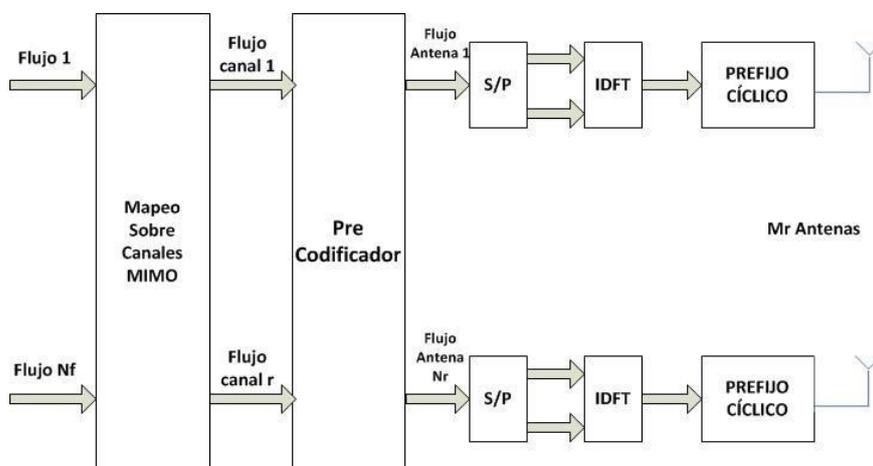


Figura 2.16. Sistema de antenas MIMO para transmisión [35].

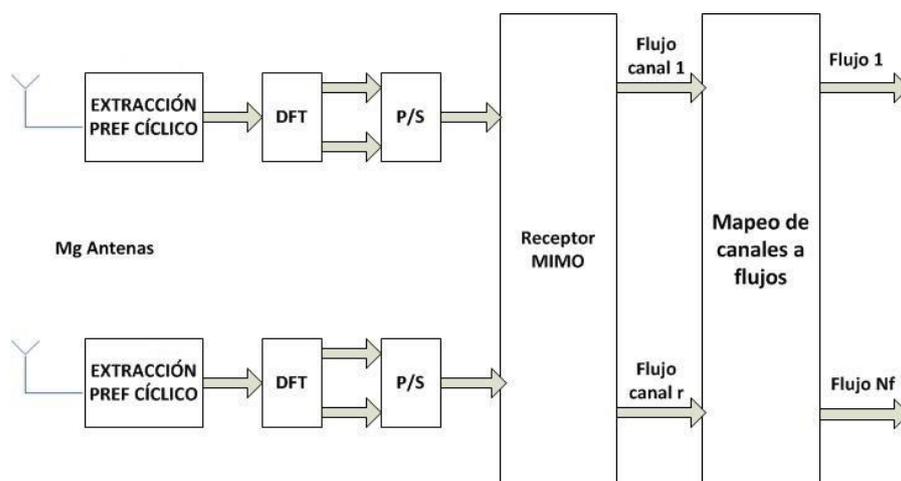


Figura 2.17. Sistema de antenas MIMO para recepción [35].

2.6 Reglamentación mundial y aspectos en Ecuador.

Durante el mes de junio del 2011, la compañía CNT EP comenzó el proceso de implementación de redes de cuarta generación por medio de la empresa Huawei y Alcatel-Lucent, Este contrato tuvo un costo de USD 72 millones de dólares, con ello se implementó las redes HSPA+ que permitirían la estabilidad hacia la red LTE en el país.

Luego en octubre del 2012, la CONATEL decidió resolver el plan de bandas de frecuencias utilizando la canalización de la Telecomunidad Asia Pacífico (ATP) en la banda de 700 MHz, en la figura 2.18 se puede observar el sistema de canalización adoptado en ese tiempo, este plan se lo denomina plan de canalización A5 y se puede visualizar el canal de subida y el canal de bajada con su respectivo ancho de banda.

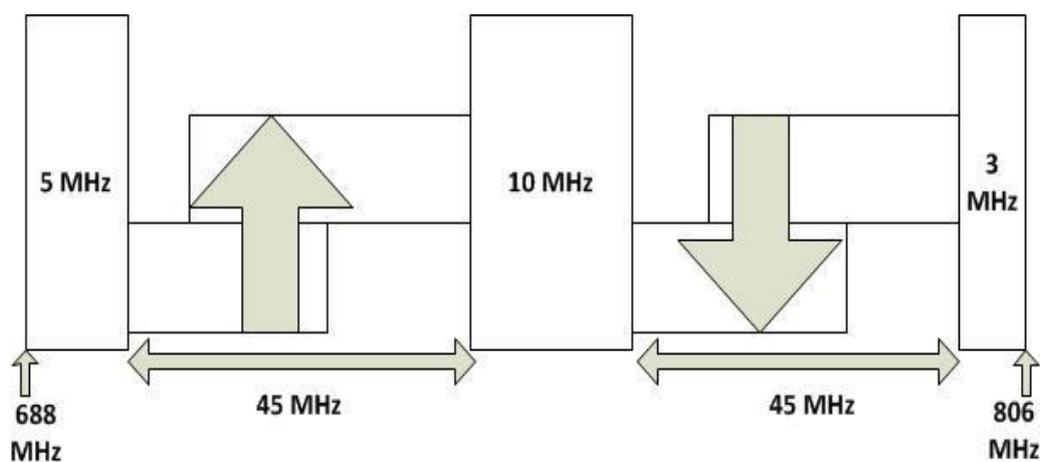


Figura 2.18. Plan de canalización ATP A5 en la banda de 700 MHz [27].

Para esta finalidad se debió despejar las bandas de frecuencias que se encuentran dentro del rango de los 698 a los 806 MHz que corresponden a los canales 50 hasta en 69 respectivamente, es por esto que la CONATEL por medio de la resolución TEL-268-11-CONATEL-2012 procede a cambiar el cuadro de atribuciones en el plan nacional de frecuencias, en la tabla 3 se puede ver la resolución tomada por la CONATEL [12].

Rango de Frecuencias (MHz)	Atribución	Notas
698-806	Móvil Fijo	EQA.85: En las bandas 698 - 806 MHz, 824 – 849 MHz, 869 - 894 MHz, 1710 - 2025 MHz y 2110 – 2200 MHz, operan sistemas IMT (International Mobile Telecommunications) para los servicios fijo y móvil. Los sistemas de audio y video por suscripción bajo la modalidad de televisión codificada terrestre (UHF codificado) concesionados en la banda 698 - 806 MHz, podrán continuar su operación hasta la vigencia de su contrato de concesión.

Tabla 3. Resolución de la CONATEL para modificar el plan nacional de frecuencias [12].

En la resolución se contempló que la compañía telefónica CNT EP tendrá la autorización de ejecutar el servicio de LTE dentro de la banda de 700 MHz, la cual está comprendida desde los 703 MHz hasta 748 MHz para el enlace ascendente, y para el enlace descendente desde los 758 MHz hasta 803 MHz, los canales están distribuidos y agrupados cada 10 MHz.

2.7 ENodoB activas en Guayaquil.

Durante el proceso de investigación, se encontró en los registros administrativos publicados por la ARCOTEL, que a partir del año 2015 la telefónica CNT comenzó las operaciones de 4 estaciones bases operando en la banda de 700 MHz distribuidas en la ciudad de Guayaquil. Estos detalles se los puede verificar en la tabla 4 en el que se muestra las estaciones bases funcionales en las diferentes provincias del territorio ecuatoriano.

ANUAL				
Radio bases CNT EP	2014		2015	
	LTE AWS	LTE 700	LTE AWS	LTE 700
Cotopaxi	0	3	26	1
Guayas	55	0	203	4
Sto. Domingo T.	0	0	0	1
Tungurahua	0	0	1	2

Tabla 4. Estaciones bases de CNT, LTE AWS y LTE 700 MHz [34].

Cuando el Consejo Nacional de Telecomunicaciones [12] resolvió autorizar el uso de 30 MHz para la banda de 700 MHz y de 40 MHz en la banda de 1700 a 2100 MHz para la empresa CNT EP, esta pudo en diciembre del año 2012 proveer el servicio móvil, de cuarta generación LTE, este avance lo realizó gracias a la ayuda de la empresa Alcatel-Lucent para proceder al despliegue de la tecnología en el país, con un costo aproximado de 28 millones de dólares para la distribución de la tecnología en las principales ciudades del país.

La provincia que empezó fue Santa Elena y actualmente se ha desplegado esta tecnología en las ciudades de Quito, Guayaquil, Portoviejo, Santo Domingo, Manta y Ambato.

Uno de las personas encargadas del proyecto, el Ing. Germán González aseguró que el despliegue de LTE podrá liberar el espectro radioeléctrico y, permitirá que las operadoras del país puedan ampliar sus planes de datos para que los usuarios puedan tener una mejor experiencia de navegación emulando los planes de internet fijo actuales.

En los siguientes mapas de las figuras 2.20, 2.21 y 2.22 se pueden ver los distintos puntos de cobertura en la ciudad de Guayaquil.

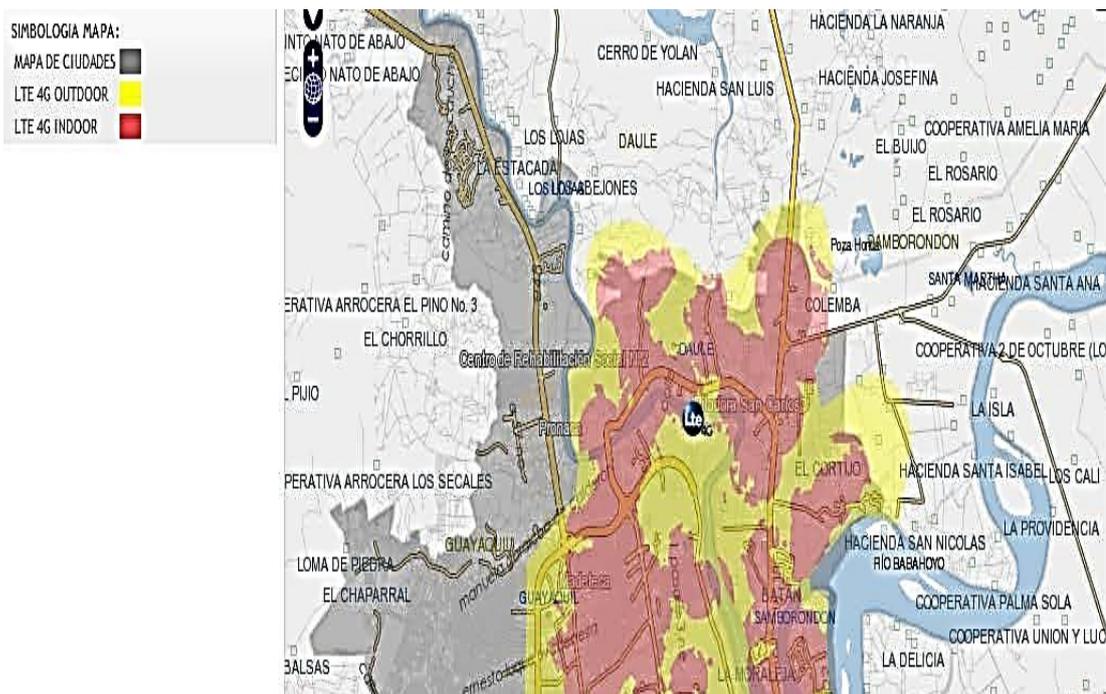


Figura 2.19. Área de cobertura de LTE en el sector norte de Guayaquil [23].

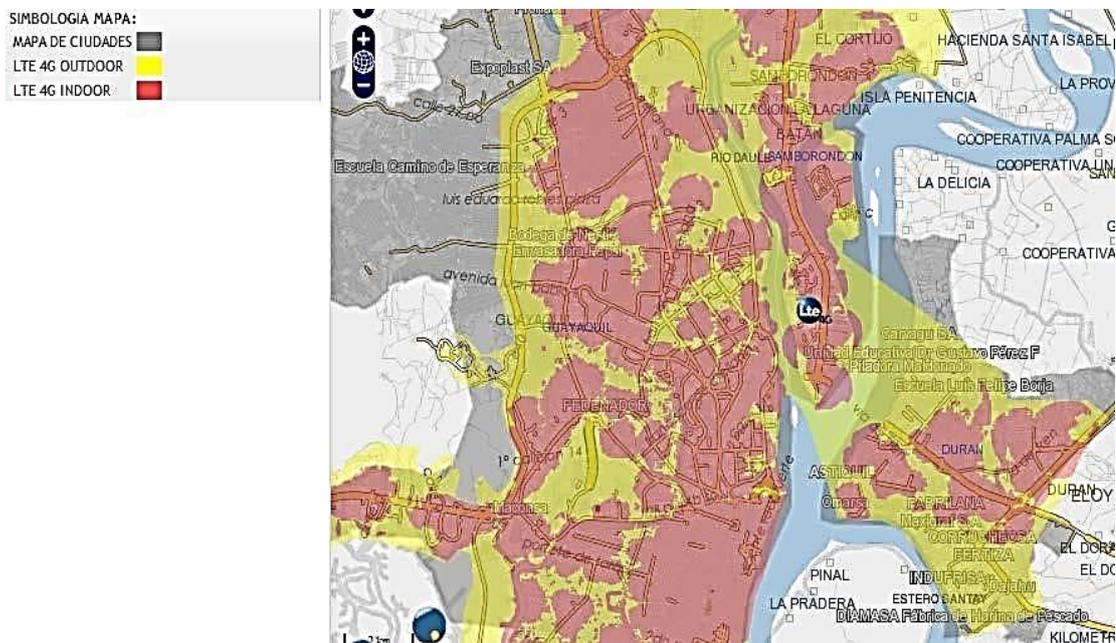


Figura 2.20. Área de cobertura de LTE en el sector centro de Guayaquil [23].

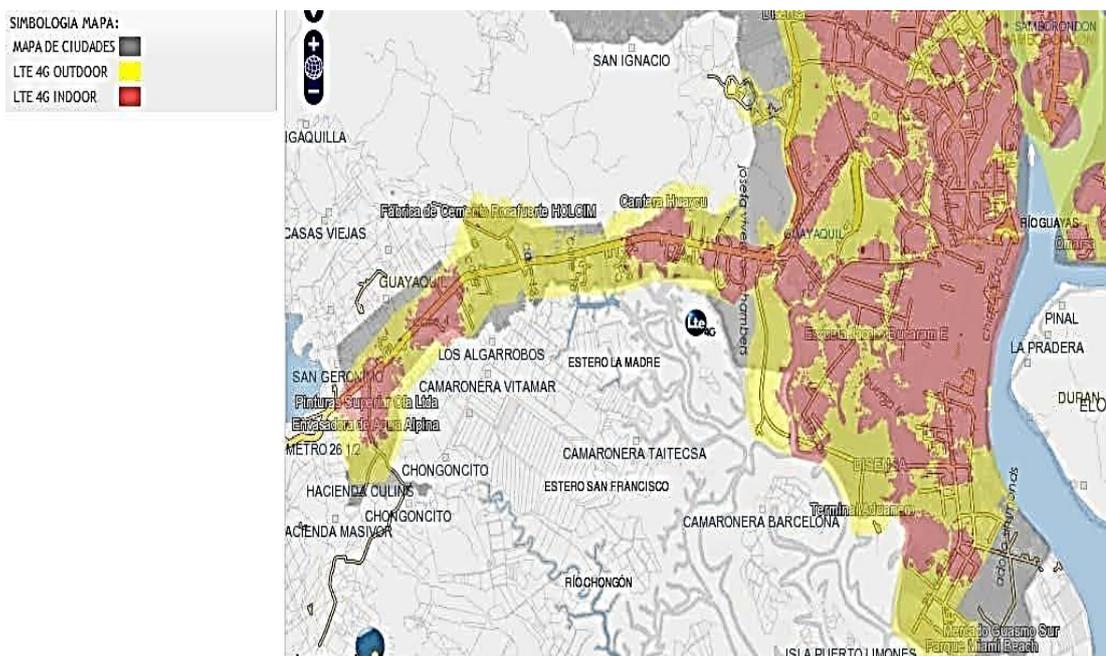


Figura 2.21. Área de cobertura de LTE en el sector sur oeste de Guayaquil [23].

En los sistemas LTE se debe tomar en consideración los dispositivos que van a usarse, en este caso hablamos de los equipos físicos que permiten desplegar la tecnología LTE en el Ecuador como son los eNodo B utilizados, los transmisores y las antenas MIMO.

2.8 DSA, OSA y medición de niveles de potencia.

2.8.1 Acceso dinámico al espectro (DSA)

Es un conjunto de técnicas que han sido desempeñadas para el acceso al recurso espectral bajo ciertas condiciones [3]. Esta técnica de acceso dinámico al espectro propone unos principios que se deben seguir, entre ellos se encuentran:

- Utilizar de una mejor manera los recursos del espectro existente.
- Empequeñecer el espectro no utilizado.
- Reconfiguración y redistribución adecuada de las bandas.
- Compartir y usar el espectro de mejor manera [4].

En la figura 2.23 se encuentra la taxonomía de las técnicas del acceso dinámico al espectro.

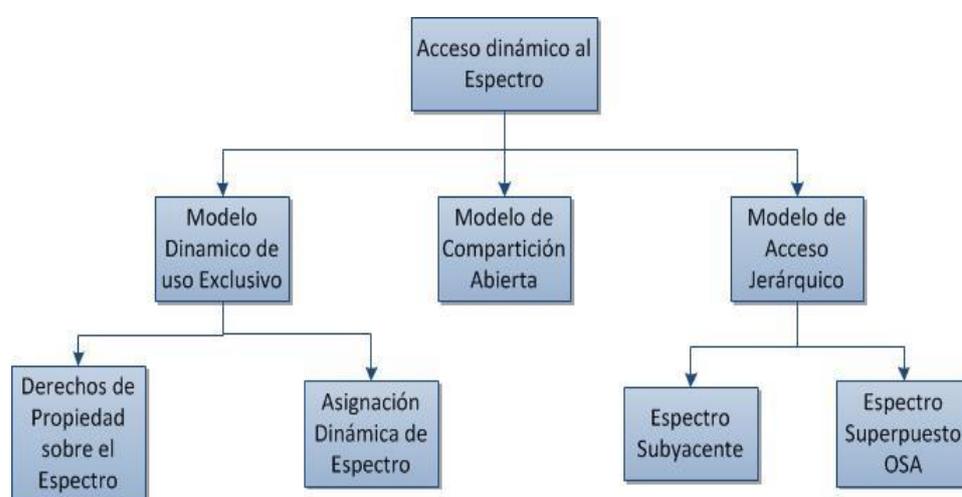


Figura 2.22. Taxonomía del DSA [3].

Esta técnica propone varios enfoques para cumplir el mismo fin, aprovechar al máximo los recursos limitados bajo el uso de técnicas de licencia, reglas de juego y modelos estadísticos, pero seguiremos la tendencia propuesta por el grupo de comunicación Drive Europa, este menciona que es posible aprovechar el espacio de frecuencia analizando estadísticamente su comportamiento temporal y espacial en el tráfico de diversos servicios [9].

Este enfoque específico es el que busca el espectro superpuesto OSA, y dicho enfoque no le interesa saber acerca del nivel de potencia en el que se opera como lo hacen otros enfoques que imponen restricciones estrictas en sus niveles de potencia para los usuarios, más bien se enfoca en los

espacios en blanco o huecos espectrales formados por motivos espaciales y temporales [10] para su respectivo aprovechamiento sin incurrir a la intrusión de dicha frecuencia basado en procesos estadísticos de ocupación y puntos de operación convencionales en redes inalámbricas [5].

Debido a que este es un modelo existente, se está en la capacidad de modificar los puntos de operación y se utilizará el mejor modelo estadístico para nuestro estudio.

Sin embargo al hacer esto se debe tomar en cuenta aspectos importantes como las variables que aporten o entorpezcan nuestro trabajo [8], es por ello que es necesario hacer un listado de posibles errores en el momento de tomar valores en un experimento como en el que vamos a proceder a hacer, dichos aspectos pueden ser: el número de obstáculos en el medio, condiciones climáticas, y el número de usuarios que estén ocupando un ancho de banda en un periodo de tiempo.

2.8.2 Acceso al espectro oportunista (OSA)

OSA es un estudio minucioso y de interés para el usuario secundario (SU) en una red de radio en la cual está saturado el medio en una frecuencia dada [31], al existir agujeros de espectro donde no se encuentre transmitiendo y no se mantenga una conexión por el usuario principal (PU), puede implementarse en esta zona OSA. Bajo el estudio de OSA se propuso un modelo reactivo usuario principal (RPU), se formuló el diseño OSA óptimo para la maximización de su rendimiento, claro está estando sujeta a una restricción de colisión condicional para la protección de la PU.

Este estudio es óptimo en una zona urbana, debido a que en este tipo de lugares por la infraestructura que estas poseen las señales transmitidas toman diferentes tipos de trayectoria y en cierto casos es imposible que estas señales entren en ciertos espacios haciéndolos inaccesibles, lo cual

incrementa la probabilidad al uso oportunista del espectro en aquel lugar haciéndolo de corto alcance y provechoso para el SU.

En el sistema primario es aquel que posee una licencia para así esta pueda operar dentro de un espacio determinado de espectro. Este sistema comprende desde la estación base (BS) hasta varios receptores RX.

En el sistema secundario no necesita una licencia para operar y su enlace corresponde desde la BS hasta un receptor sin línea de vista. [31]

2.9 Estudios de LTE realizados en Ecuador en la banda de 700 MHz

Un grupo de estudiantes de Universidad de las Fuerzas Armadas realizaron un estudio y diseño de redes de telefonía LTE para las comunidades del milenio, en concordancia con las políticas del plan del buen vivir que el gobierno nacional está fomentando en la actualidad.

Las comunidades del milenio se encuentran en la provincia de Sucumbíos dentro de las ciudades de Playas de Cuyabeno y Pañacocha.

Para el análisis de cobertura se utilizó un simulador de planificación llamado SIRENET, un software informático que permite la administración y gestión de radioenlaces en un área determinada.

Al utilizar el método de propagación llamado Okumura – Hata, este modelo pudo otorgar el valor medio de la pérdida de propagación en términos de la frecuencia, distancia y las alturas de la estación base y el móvil.

Los resultados obtenidos por medio del software SIRENET se los puede observar en la tabla 5 tomando en consideración la ubicación de cada radio base y las potencias utilizadas por las mismas.

Los datos simulados se los encuentran en la figura 2.23, donde se puede ver informaciones tales como rango de potencia, escala, sistema de coordenadas, multi transmisor en las que se aprecian magnitudes, tipo de recepción y dimensiones.

Parámetros	Red de datos APT LTE700
Ancho de banda [MHz]	15
Servicio	Móvil/terrestre/LTE/LTE down/LTE base-móvil
Potencia máxima de la antena transmisora [W]	20
Potencia máxima de la antena transmisora [dBm]	43
Tipo de antena	Andrew LNX-6514DS-VTM
Ganancia de la antena [dBi]	15.7
Perdidas en los cables de la antena TX [dB]	1
Polarización de la antena	Vertical
Banda de frecuencia de TX [MHz]	788 MHz- 803 MHz
Frecuencia de referencia de TX [MHz]	795.5
Potencia de la antena del receptor [mW]	200
Potencia de la antena del receptor [dBm]	23
Banda de frecuencia de la RX [MHz]	733 MHz- 748 MHz
Frecuencia de referencia de RX [MHz]	740.5
Altura de la torre [m]	80

Tabla 5. Parámetros obtenidos del modelo Okumura Hata para el simulador SIRENET [27].

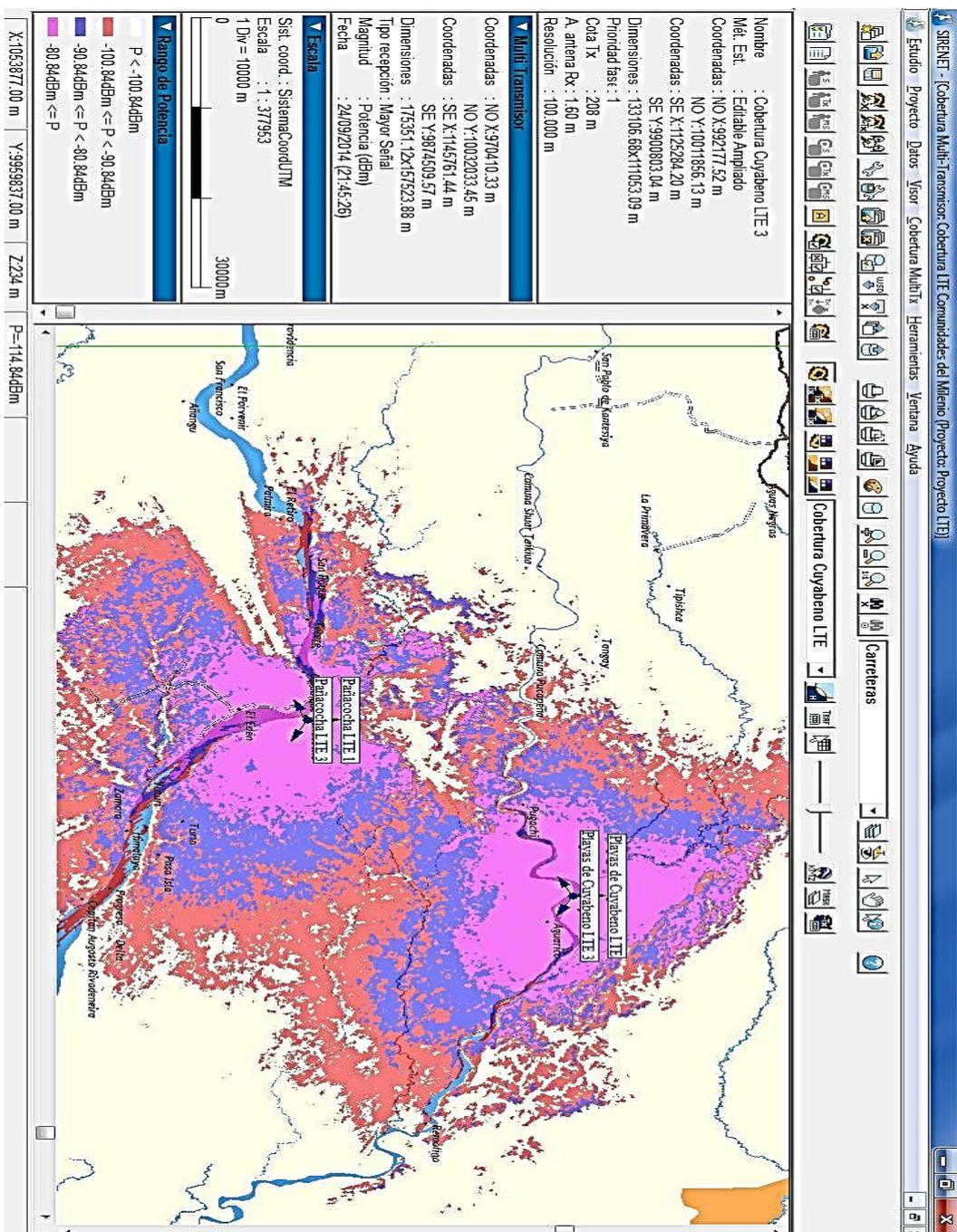


Figura 2.23. Simulación de cobertura LTE con el simulador SIRENET en las comunidades del milenio con el modelo de propagación Okumura Hata [27].

CAPÍTULO 3

3. ESCENARIO DE ESTUDIO Y MEDICIONES.

3.1 Introducción.

En anteriores capítulos se detalla una breve descripción acerca de la evolución de la tecnología LTE en nuestro país por medio de las diferentes operadoras.

Se explicó acerca sus orígenes, tanto las respectivas parametrizaciones, como la topología de dicha tecnología, también se habló de aspectos importantes tales como la problemática a resolver, funcionamiento de sistemas 4G LTE y el alcance de dicho proyecto realzando las ventajas que esto representaría.

En el capítulo 2 se realizó el debido estado del arte concerniente y se tomó en cuenta los sistemas de telecomunicaciones con la respectiva frecuencia que se consideró para el estudio con equipos adecuados y especializados para la obtención de datos en un escenario de una región urbana en la zona norte de la ciudad de Guayaquil.

Por tal motivo, en este capítulo el objetivo primordial es detallar el escenario que se ha escogido para realizar nuestro estudio, y los equipos que se utilizaron tales como: antena, USRP y el software programado a conveniencia para la obtención de datos adecuado de los canales a su respectivo ancho de banda.

3.2 Descripción del escenario.

El escenario del desenvolvimiento de este trabajo está ubicado en una zona urbana de la ciudad de Guayaquil en la parroquia Tarqui en el edificio SRI con una densidad de edificios considerable y de interés a estudiar [29].

A esta zona se la catalogó como zona urbana o centro urbano debido a sus rangos que los caracteriza por su mayor población, por su densidad de población y de poseer una infraestructura dotada concentrándose así en actividades socio económicas, un ejemplo sencillo de esto se lo ilustra en la figura 3.1.

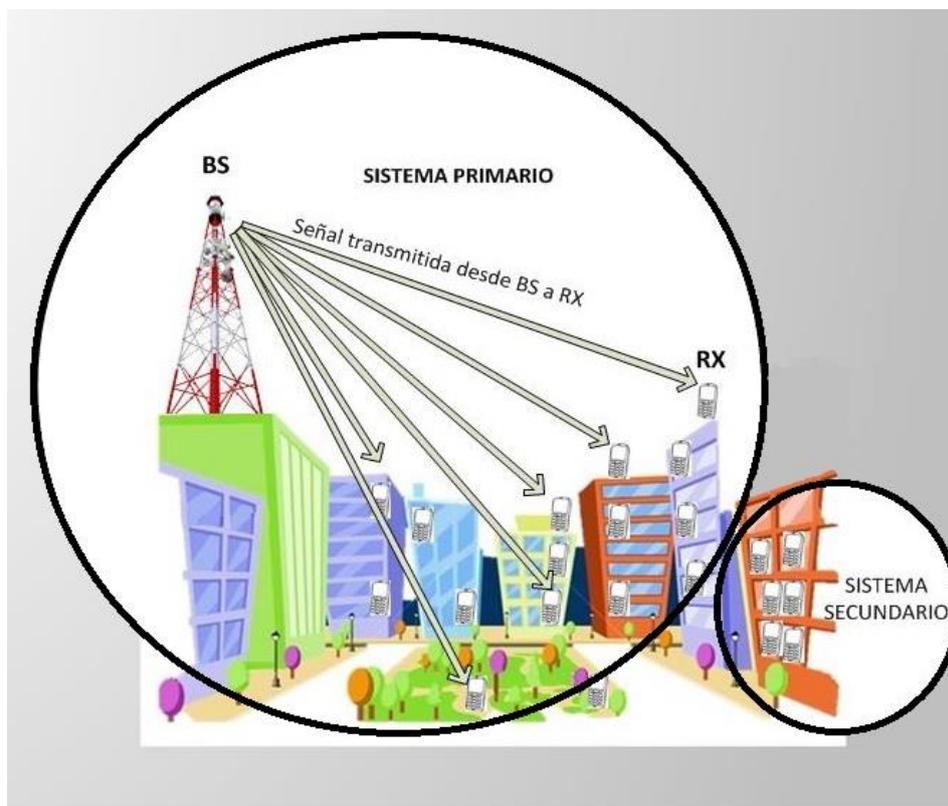


Figura 3.1. Escenario urbano.

En el escenario urbano logramos notar la afluencia de casas y edificios que se encuentran en este sector, existen clientes conectados a una red móvil de una operadora cualquiera y todos estos clientes se encuentran sometidos bajo un sistema de amplia cobertura. Debido a este escenario urbano que posee una gran densidad de edificios es posible que existan problemas de comunicación debido a los efectos que producen las pérdidas por atenuación y refracción, teniendo consideración la ubicación de la estación base (BS) hacia los distintos dispositivos móviles y la cercanía de los edificios y casas en cuestión.

Debido a estas pérdidas que se producen en el trayecto se debería verificar la disponibilidad de canales dentro del espectro radioeléctrico para lograr de esta forma poder reutilizar este espacio vacío de manera segura y de forma local dentro de estos sitios. Reutilizando el espacio en cuestión, es posible el uso de

servicios móviles secundarios dentro de una banda licenciada, claro está no interfiriendo con las comunicaciones del sistema primario [29], este esquema se encuentra en la figura 3.2.

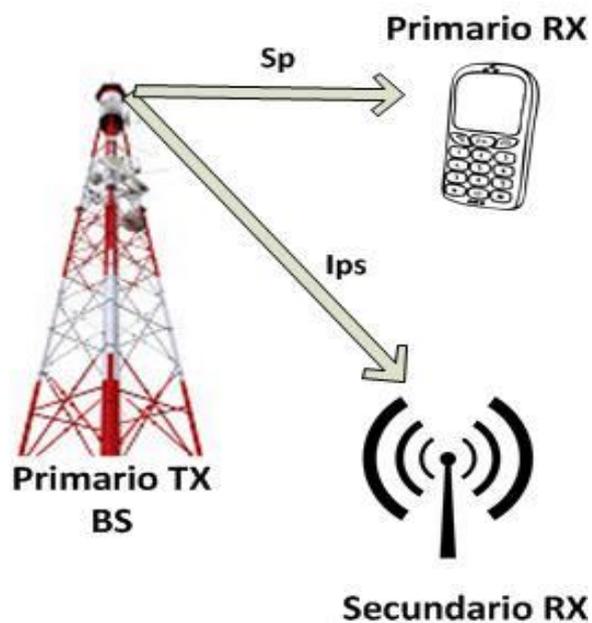


Figura 3.2. Interferencias para reutilización del espectro [8].

En la figura 3.2 se puede ver la interferencia I_{sp} que en el sistema secundario interfiere al primario, entonces lo importante para la reutilización de dicho espectro de frecuencias es que aquellas interferencias no sobrepasen los niveles de sensibilidad del receptor Rx. Para ello debemos tener en cuenta la siguiente condición:

$$I_{sp} \leq S_p - M_p \quad (3.1)$$

Donde M_p es el margen de protección y S_p la sensibilidad del receptor primario Rx [8].

3.3 Descripción general del proceso de medición.

El sistema de medición que se utilizó en nuestro proyecto comprende equipos adecuados para la obtención de datos y el debido procesamiento de muestras

obtenidas, este sistema consta de algunas etapas las cuales se las puede ver a continuación en la figura 3.3.



Figura 3.3. Sistema global de medición.

En el sistema la primera etapa que se tiene es la antena la cual capta las señales que se encuentran en el medio y por ende el nivel de potencia que llega a la antena (PR ANT) teniendo en cuenta la ganancia que proporciona la antena, con el respectivo acoplamiento por medio de un cable (conector) a la entrada de la USRP y este mismo compensa las pérdidas que presenta el cable, conectores para obtener la misma potencia receptada por la antena en la entrada del equipo USRP la cual es una potencia (PR) vista en el sistema.

$$PR_{ant} = PR + L_c + L_{cc} - G - G_{ant} \quad (3.2)$$

Entonces la potencia PR ANT se la puede determinar con la ecuación 3.2 donde L_c es la pérdida que ofrecida por el cable para la conexión establecida desde la antena con el USRP y L_{cc} la pérdida ocasionada por los conectores [32].

Por medio del sistema de la figura 3.3 se puede ver que el procesamiento de la señal que se le da, aquel sistema tiene tres etapas, recepción de la señal por medio de una antena, esta señal con ganancia es receptada por el USRP e internamente realiza un proceso para así obtener la misma potencia de entrada vista en la antena, estos datos de información son enviados para procesarlos en

el programa labview con una programación implementada previamente para la captura de dichos datos y guardados continuamente en un archivo de excel, de esta manera poder procesar aquellos datos para obtener resultados de manera gráfica y así analizar las muestras obtenidas.

3.3.1 Antena.

Se escogió una antena llamada sirio SD3000 ya que nos permite trabajar dentro de las frecuencias de 300 MHz hasta los 3000 MHz, y la frecuencia de 700 MHz que se está estudiando entra muy bien dentro de sus rangos. Esta antena está fabricada de acero inoxidable y aluminio anodizado para así garantizar de mejor manera la eficiencia y rendimiento. Teniendo una impedancia de 50Ω [30], esta antena es omnidireccional de polarización vertical de ganancia hasta 2.2 dBi con una potencia máxima de propagación de 200 W, garantizando así menos pérdidas debido a la fabricación de esta antena [30].

3.3.2 Hardware USRP.

Con el fin de tomar los datos de manera óptima se utilizó un cable de menor longitud para evitar así las pérdidas producidas o que estas pérdidas sean mínimas y esto no perjudique al sistema al momento de acoplarse con el hardware.

El hardware que se utilizó fue el USRP N-210 de la empresa Ettus Research (a national instrument company) subsidiaria de propiedad absoluta de National Instrument, la cual fue fundada en el año 2004 con sede Mountain View, California.

El USRP N-210 brinda a su disposición un gran ancho de banda hasta 40 MHz, trabajando así en un rango de frecuencias comprendida desde 50 MHz hasta 2200 MHz, de esta manera está diseñado para exigentes aplicaciones de interés de rápido desarrollo.

Tiene una operación dual de 100 MS/s a 14 bits ADC y una conectividad dual de 400 MS/s a 16 bits DAC y llega hasta los 50MS/s ethernet gigabit streaming, su diseño modular permite operaciones DC a 6 GHz, también posee un puerto de expansión permitiendo así conectarse a otro dispositivos sincronizándose y de esta manera ser posible utilizarlo en una configuración MIMO.

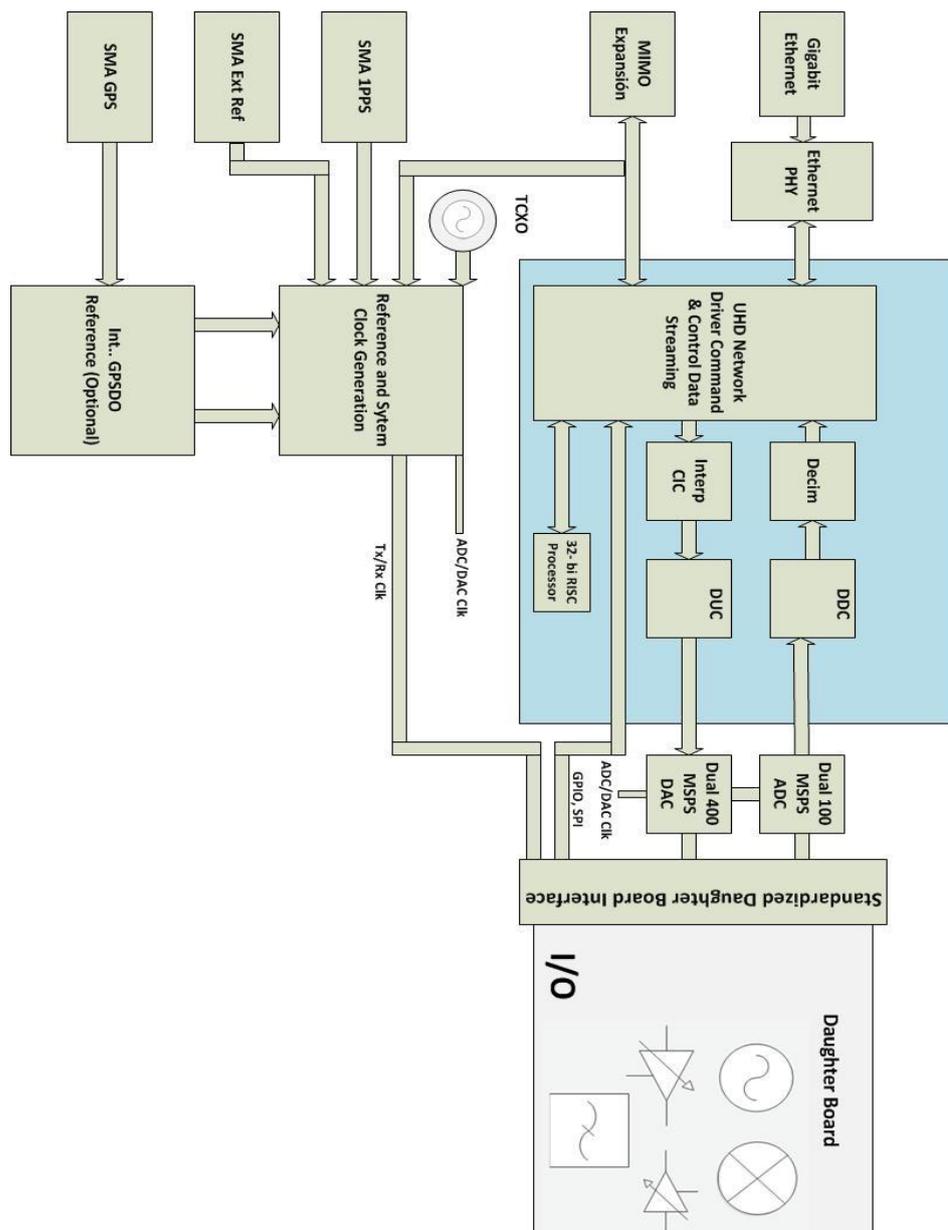


Figura 3.4. Diagrama de bloques de una USRP [33].

La conexión de red MIMO lo encontramos en el panel frontal del equipo y puede configurarse de manera MIMO 2x2 por medio de dos equipos de la serie networked.

El modelo N-210 es eficiente debido que posee internamente una FPGA para así brindar a los clientes una mayor integración de funcionalidades personalizables.

Debido a la versatilidad del equipo en cuestión, se puede cambiar la frecuencia de operación, siendo posible de manera visual y en tiempo real la potencia testeada por canal [33].

3.3.3 Procesamiento de datos.

El procesamiento de datos se lo puede visualizar en la figura 3.3 es la última parte del sistema de medición y es importante debido que en esta parte se obtienen los datos transmitidos de la USRP para ser almacenados en un archivo de excel, esto haciéndose de una manera continua canal por canal y de esta manera se va almacenando los datos en un archivo .xlsx tanto la potencia receptada como la frecuencia del canal en que se encuentra.



Figura 3.5. Proceso del manejo de datos.

Se puede observar en la figura 3.5 que los datos capturados por el USRP van por medio de un cable a la plataforma labview que por medio de un

algoritmo se realiza la captura por canal. Luego de esto, con los datos en excel de cada piso que se obtuvo, se procedió a trabajar en matlab, determinamos una granularidad de 28, y a su vez 58700 datos útiles para nuestro estudio, por medio de esto obtuvimos la matriz de potencia para cada piso y por medio de un pequeño algoritmo procedimos a obtener la matriz de disponibilidad así mismo de cada piso tanto para los canales de subida como los de bajada.

En la tabla 6 a continuación se puede leer el algoritmo que se utilizó en el software matlab para obtener la matriz de disponibilidad que se necesita para nuestro estudio.

```

Disponibilidadbajadapiso5new=[];
cnt1=0;
cnt2=0;
canales=3;
datos=57792;
granularidad=28;

for columna=1:1:canales
  for fila=1:1:datos
    cnt1=cnt1+1;
    if (IMbajadapiso5new(fila,columna)==1)
      cnt2=cnt2+1;
    end

    if(cnt1==granuralidad)
      cnt1=0;
      Disponibilidadbajadapiso5new
        (fila/granuralidad, columna)=cnt2/granuralidad;
      cnt2=0;
    end
  end
end
end

```

```

IMbajadapiso5new=double(Potenciasubidapiso5new> -110,5473)

```

Tabla 6. Algoritmo para encontrar la disponibilidad del canal.

Por medio del algoritmo se procede a recorrer el tamaño total de los datos con la granularidad antes estipulada y con un lazo for se va analizando cada

componente de la matriz IM que previamente ingresamos en el software matlab, para ilustrar este código se utilizó como ejemplo el caso del piso 5. Una vez obtenida la matriz de disponibilidad se obtuvo el gráfico de disponibilidad que puede ser visto en el anexo de este documento.

En la figura 3.6 se encuentra el diagrama de bloques del algoritmo en labview del receptor (Rx), utilizado para la recepción y almacenamiento de los niveles de potencia en función del tiempo dentro del archivo de excel.

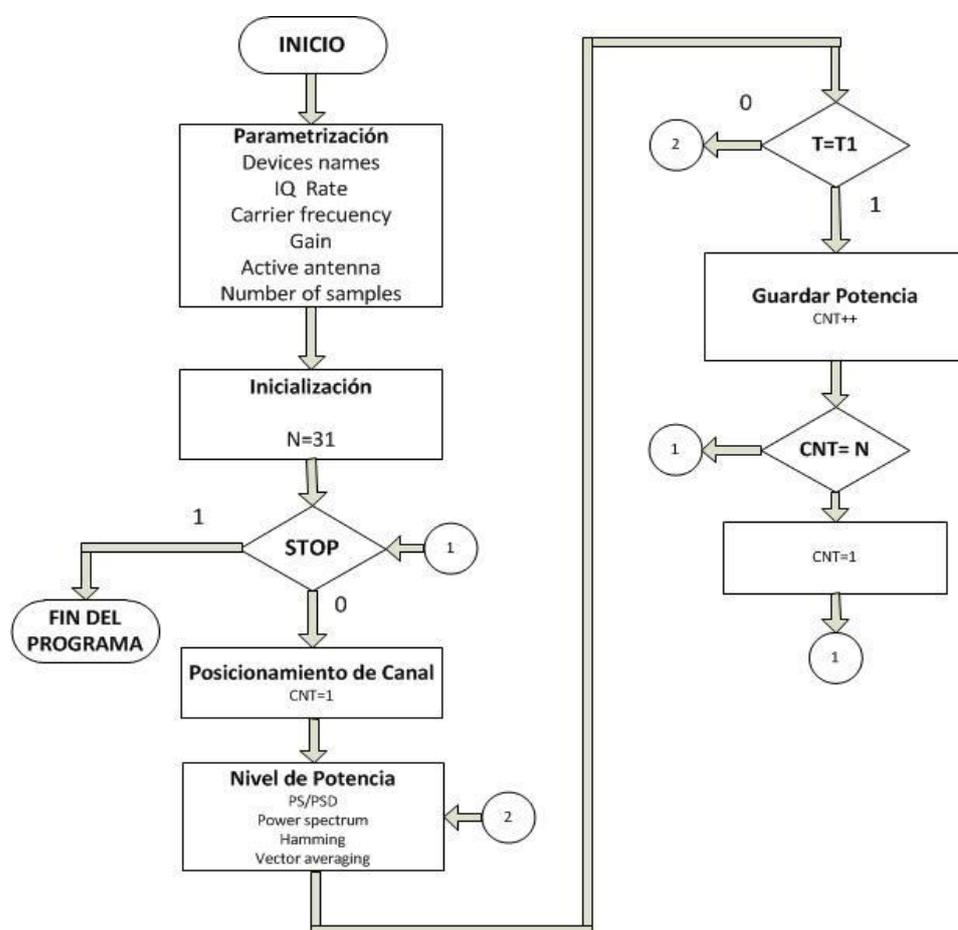


Figura 3.6. Diagrama de bloques medición.

CAPÍTULO 4

4. EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1 Configuración del sistema.

En el presente capítulo se muestran los parámetros utilizados en la configuración de los equipos de medición, se da a conocer a fondo el lugar en donde se procedió a realizar dicha medición, para posteriormente obtener los valores de potencia de los canales de la banda de 700 MHz LTE de CNT.

Luego se procederá a realizar el análisis de potencia en la banda de 700 MHz LTE de CNT; con la finalidad de obtener la disponibilidad temporal y de esta forma generar de ser posible los modelos estocásticos apropiados para su predicción.

Finalmente, se procederá a realizar un análisis basado en los resultados obtenidos para determinar la capacidad total permitida por la banda en el sitio de la medición.

4.4.1 Localización geográfica y tiempo de la medición.

Por las condiciones expuestas, junto con los objetivos planteados al inicio de este proyecto, se eligió una zona comercial densamente poblada y compuesta de edificios y casas comerciales, para tal propósito se eligió el edificio de SRI en la ciudad de Guayaquil.

El edificio a estudiar posee 15 pisos, para lo cual se eligió realizar la medición en la planta baja, en el quinto piso, y finalmente en el undécimo piso, con el objetivo de determinar la disponibilidad de existir o no en este escenario.

Las mediciones fueron realizadas en un periodo de 3 semanas en los tres escenarios antes mencionados.

Este edificio se localiza en el norte de Guayaquil (latitud 2°09'46.4"S y longitud 79°53'53.1"W) como lo podemos apreciar en la figura 4.1



Figura 4.1. Escenario de estudio (EDIFICIO SRI- ENODO B CNT)

Fuente: Google Earth.

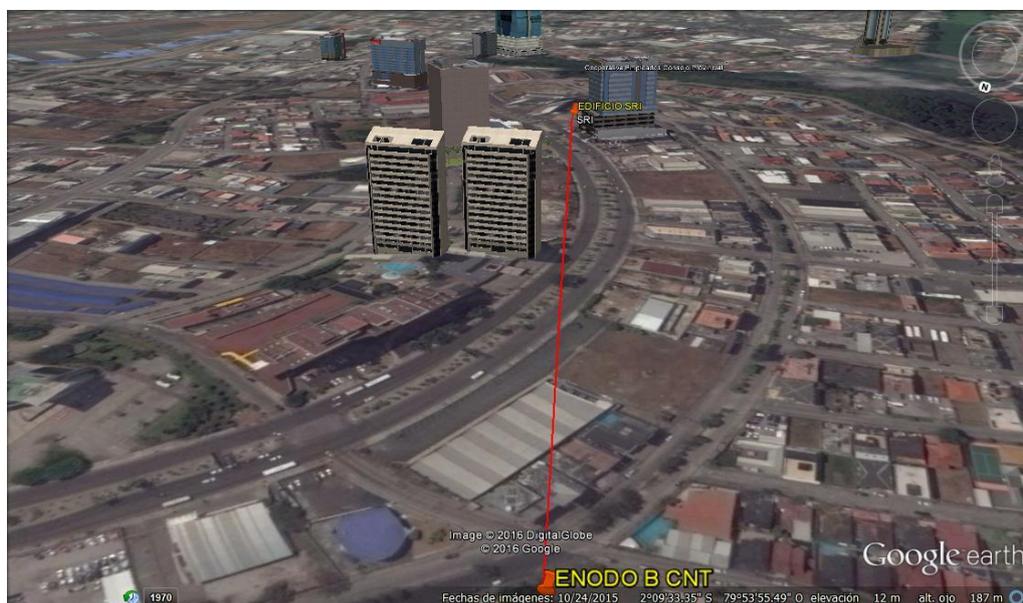


Figura 4.2. Escenario de estudio (ENODO B CNT- EDIFICIO SRI)

Fuente: Google Earth.

4.4.2 Parámetros de configuración.

Para desarrollar el experimento se estableció la banda de 700 MHz LTE de CNT en Ecuador, como la banda de análisis para el cálculo de disponibilidad. Cada canal tiene una separación de 5 MHz para la configuración de la USRP tanto para el enlace de subida como para el enlace de bajada, en la tabla 7 se lo puede visualizar en los parámetros como ancho de banda de captura.

Parámetros	Valores	Unidades
Ancho de banda, BW	UP: 733-748 ; DL: 788- 803	MHz
Ancho de banda de captura	5	MHz
Frecuencia inicial (UL), f_{OUP}	733	MHz
Frecuencia final (UL), f_{NUP}	748	MHz
Frecuencia inicial (DL), f_{ODN}	788	MHz
Frecuencia final (DL), f_{NDN}	803	MHz
Canal inicial (UL), Ch_{OUP}	G	
Canal final (UL), Ch_{NUP}	I	
Canal inicial (DL), Ch_{ODL}	G'	
Canal final (DL), Ch_{NDN}	I'	
Número de canales, N	6	
Número de muestras (Disponibilidad), N_s	28	
Potencia umbral [26] (UL), λ_{UP}	-110,5473	dB
Potencia umbral [26] (DL), λ_{DN}	-98,9966	dB
Tiempo de captura por canal, T_c	1,49	S
Tiempo de muestreo por canal, T_s	8,94	S

Tabla 7. Parámetros de configuración.

Con los parámetros de la tabla 7, fue posible la configuración del USRP y a su vez el cálculo de la granularidad que se utilizó para determinar la disponibilidad del canal, ya que al obtener los datos del tiempo de captura del canal (T_c) en conjunto con el tiempo de muestreo por canal (T_s), fue posible determinar la granularidad que será de utilidad para este ejercicio.

Bajo estas condiciones, el USRP fue configurado tomando en cuenta de que para un sistema de telefonía, existen dos tipos de canalización, una asignada para los canales de subida o UPLINK y otra asignada para los canales de bajada o DOWNLINK. Se procedió a localizar los canales útiles y la respectiva frecuencia a la que operan. Luego de tomar el dato de la frecuencia con la que empieza el ancho de banda de captura de la USRP se procedió a determinar las frecuencias centrales para cada ancho de banda capturado y de esa forma lograr la configuración en la USRP, y así determinar los niveles de potencia tanto en los enlaces de subida como de bajada.

4.2 Análisis de datos del escenario.

En el capítulo 3 se hizo mención del proceso de medición de los niveles de potencia, en donde se mostró el escenario en el que se hizo las capturas de los datos durante 3 semanas para luego ser analizados. Esta información fue obtenida en 3 instancias: en la planta baja, el quinto piso y el undécimo piso. Más adelante se detallarán los resultados obtenidos de los canales de la banda de 700 MHz LTE de CNT.

Dada las gráficas de las figuras desde 4.3 hasta la 4.8, se puede ver los valores de potencia de la planta baja, quinto piso y el undécimo piso del edificio. En estos gráficos se identifica una leve variación de los niveles de potencia receptada, cada variación es detectable a través de una paleta de colores que contiene la escala de valores-color en la que se encuentran nuestros datos, es decir, si nos acercamos al rojo se podrá obtener un valor de -10 dBm, y si nos acercamos al azul se obtendrá a su vez un valor de -90 dBm, y así sucesivamente. Sin embargo al tomar en consideración esto, se aprecia la existencia de una gran predominancia de tonos que van desde el azul oscuro hasta el celeste correspondiente al rango de -90 dBm a los -80 dBm respectivamente, y al ser comparados con las potencias umbrales de subida y bajada de la tabla 7, se puede notar que las potencias se encuentran durante un largo tiempo por debajo

de dichos valores, por ende podemos determinar que existe una gran disponibilidad de canales en esta zona de estudio.

Las figuras 4.3, 4.5 y 4.7 corresponden a los niveles de potencia de los canales denominados G, H e I, que pertenecen a los enlaces de subida, y las figuras 4.4, 4.6 y 4.8 pertenecen a las potencia de los canales G', H' e I' correspondiente a los enlaces de bajada para cada uno de los pisos de análisis en el edificio del SRI en la ciudad de Guayaquil.

Para el caso de la planta baja en general, se puede notar instantes de tiempo en los cuales existen presencias de niveles bajos de potencia (PR Ant < -93 dBm) y principalmente en los canales H y H' en donde estos niveles bajos aparecen con mayor frecuencia, en comparación con el resto de canales en los que la potencia promedio (PR Ant \approx -87 dBm) se encuentra mayormente presente durante el transcurso del tiempo, sin embargo hay que recalcar que estos niveles de potencia no son suficientemente cercanos a los valores umbrales establecidos en la tabla 7, los que nos hace llevar a la conclusión de que en este piso se podrá aprovechar la disponibilidad existente sobre estos canales de frecuencia.

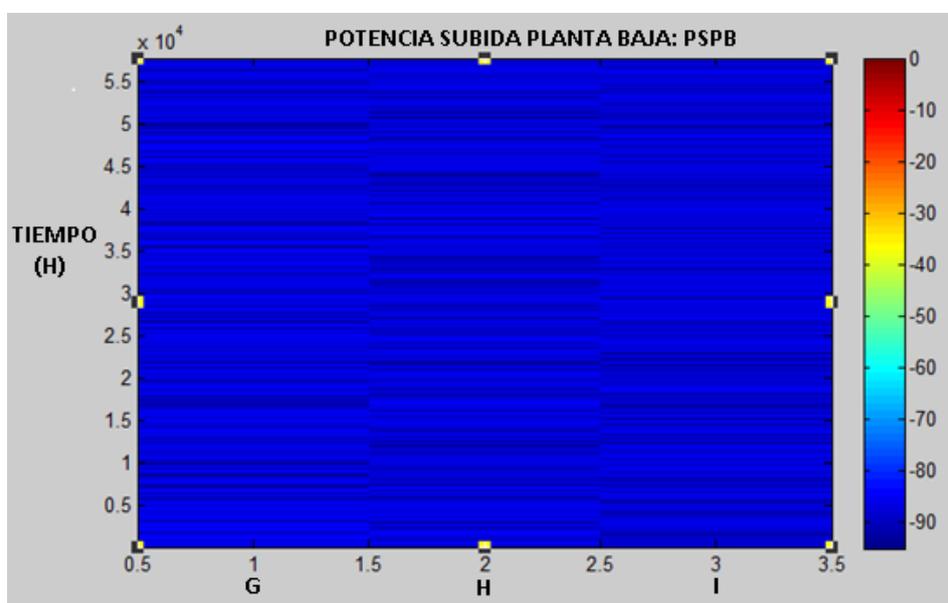


Figura 4.3. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz LTE de CNT para la planta baja.

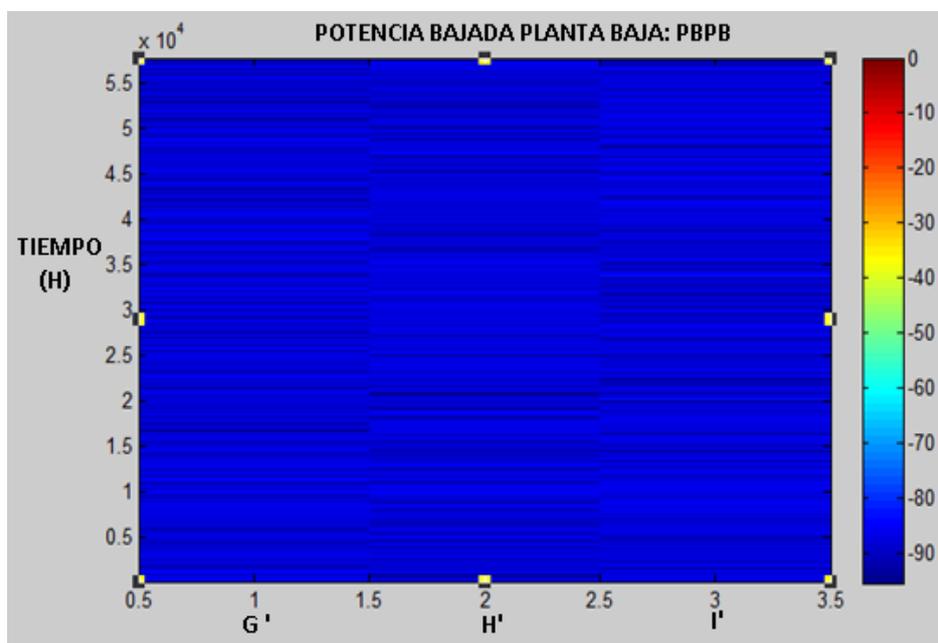


Figura 4.4. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz LTE de CNT para la planta baja.

En el caso del quinto piso, el procedimiento fue semejante al anterior, en el que se pudo apreciar que existen espacios de tiempo en los que niveles de potencia descienden aún más ($PR_{Ant} < -74$ dBm) en comparación con el piso anterior, y estos niveles bajos van apareciendo con mayor frecuencia y de forma intermitente variando entre los -65 dBm y los -77 dBm de potencia, obteniendo una potencia promedio ($PR_{Ant} \approx -71$ dBm).

Estos valores de potencia aún siguen siendo más bajos a los niveles umbrales que se han establecido.

De esta forma se puede decir con seguridad que existe una gran disponibilidad de banda en este piso y a su vez se nos da una alerta de que posiblemente no se está haciendo uso de la banda de 700 MHz en la ciudad de Guayaquil, aquella sería la razón por la cual se ha obtenido estos niveles de potencia.

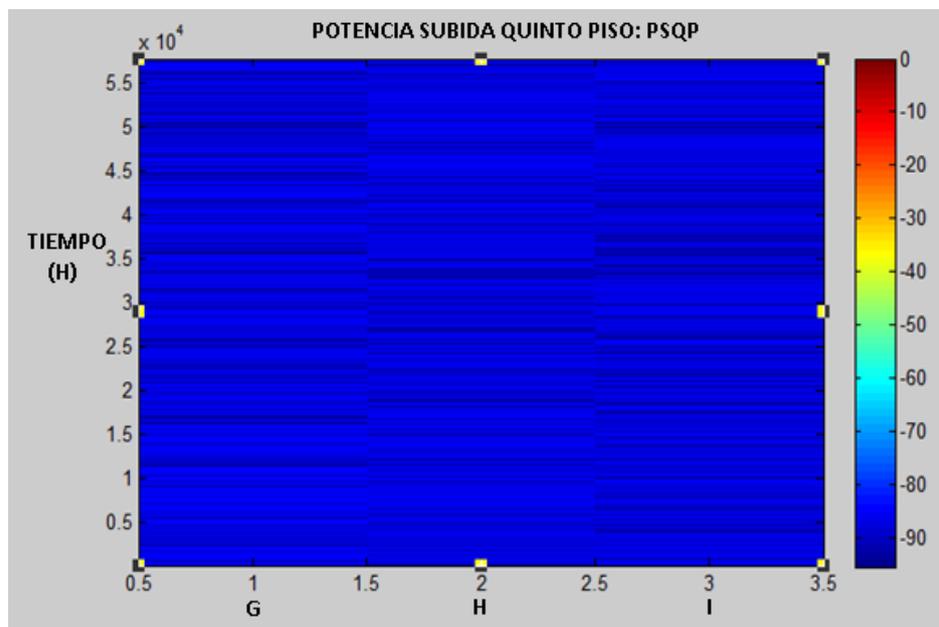


Figura 4.5. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz
LTE de CNT para el quinto piso.

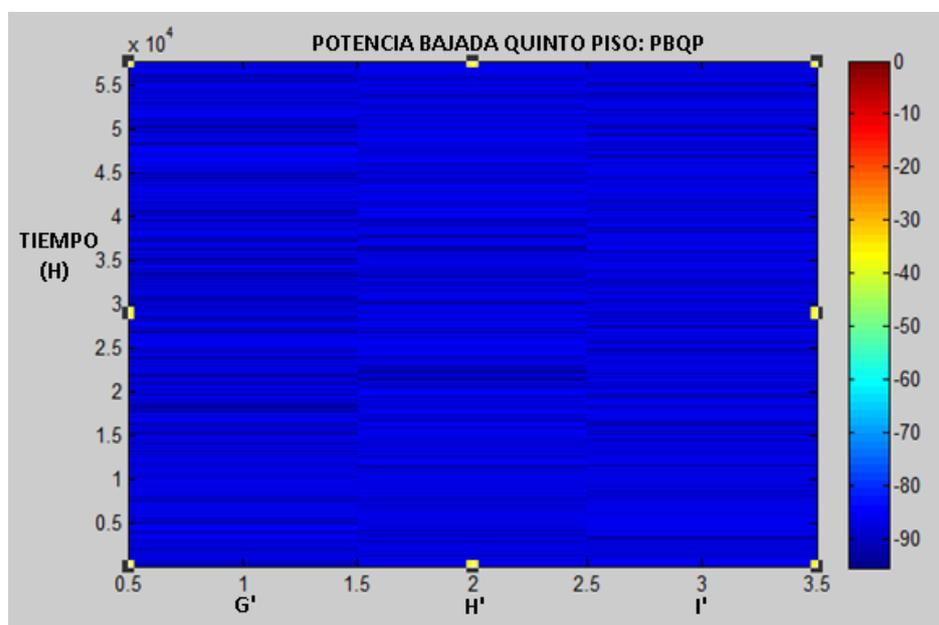


Figura 4.6. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz
LTE de CNT para el quinto piso.

Durante la recepción de los niveles de potencia en el undécimo piso, se puede observar que los niveles aún siguen siendo bajos para los parámetros de la potencia umbral de la tabla 7, esto reafirma la posibilidad de que en Guayaquil la telefónica CNT todavía no está haciendo uso de esta banda de frecuencia para el servicio de LTE.

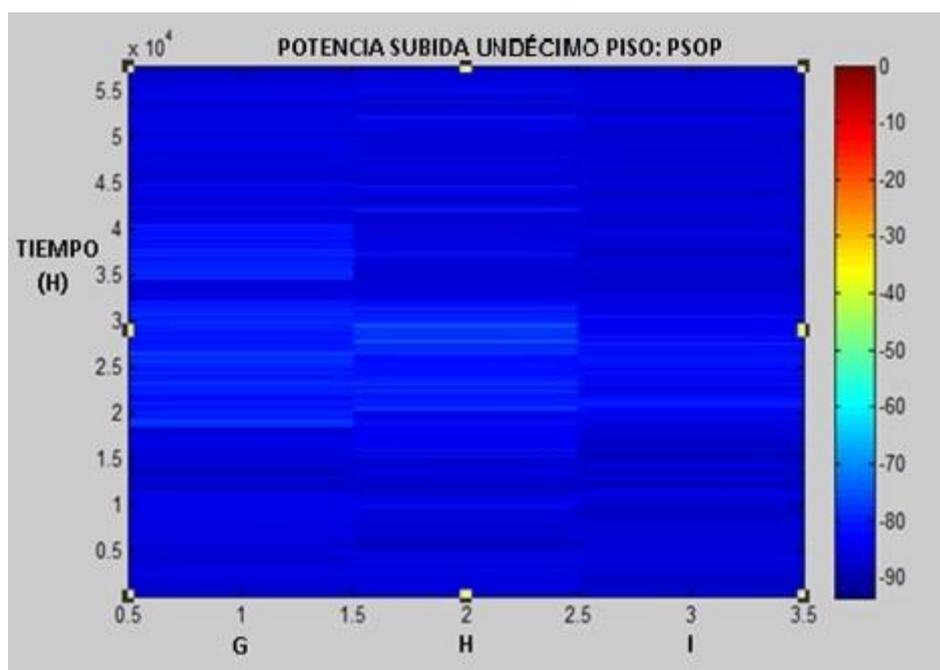


Figura 4.7. Niveles de potencia de subida en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el undécimo piso.

Por lo antes mencionado se puede establecer que existe disponibilidad de la banda de 700 MHz en este edificio, sea cual sea el motivo de que aún no se esté haciendo uso de esta porción de frecuencia, se ha podido lograr determinar la existencia de disponibilidad total cumpliendo así la meta para la cual estuvo destinado este proyecto.

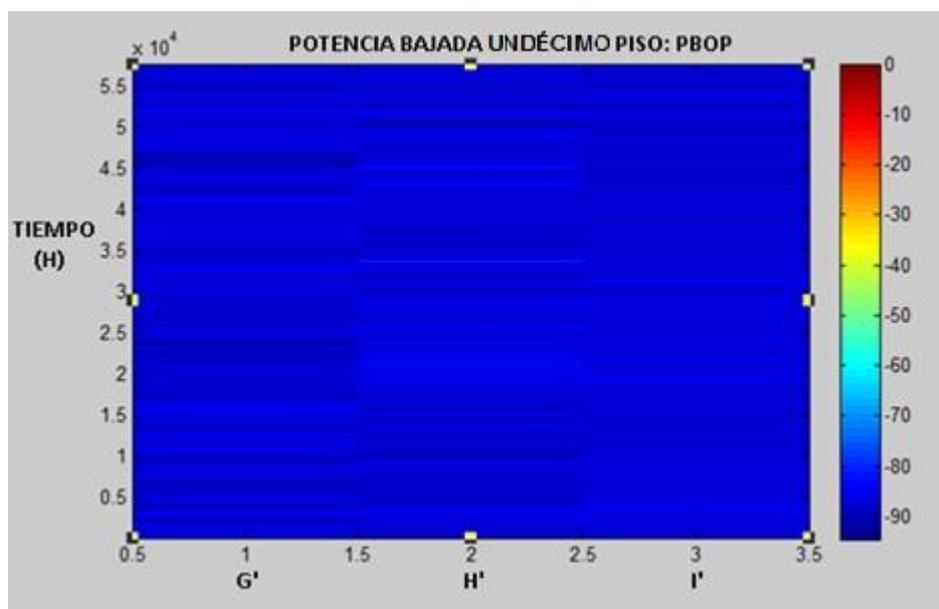


Figura 4.8. Niveles de potencia de bajada en la banda de 700 MHz LTE de CNT para el undécimo piso.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- 1) Dentro de este proyecto se realizó la medición de potencia dentro de un edificio para una zona urbana, tomando como pilar importante el efecto espacio temporal del espectro que nos enseñó la teoría de OSA y DSA para la obtención y medición de datos.
- 2) Por medio de estos datos en la banda de 700 MHz LTE de CNT, se observó que los niveles de potencia son relativamente bajos en comparación a los niveles de potencia umbral establecidos dentro de la tabla 4.1. Esto a su vez nos dice que dentro del edificio existe disponibilidad en todos los canales y que a su vez se podrá hacer uso de esta banda de frecuencia para otros fines.
- 3) A través del gráfico del perfil de elevación entre la estación base (eNodoB) y el edificio del SRI, se logró observar la existencia de un obstáculo que impide que la señal tenga una buena línea de vista entre estos dos puntos. Esto produjo una pérdida por difracción de -6.598 dB, haciendo que los niveles obtenidos fueran relativamente bajos, si a esto le sumamos que solo existen cuatro eNodoB de 700 MHz activos en la ciudad de Guayaquil, justifica la existencia de disponibilidad dentro del edificio de estudio.
- 4) Se obtuvo la disponibilidad del 100% dentro de la banda de 700 MHz LTE de CNT por medio del procesamiento de los datos, la observación, el análisis y bajo el adecuado uso de las herramientas computacionales que existen actualmente.

Recomendaciones

- 1) El conocimiento teórico de las comunicaciones inalámbricas, hace que futuros proyectos consideren el análisis y estudio de pérdidas lo que permite otorgar una mejor visión sobre el medio y sustentarse en esos cálculos si el caso lo amerita.

- 2) El desarrollo de este proyecto contribuirá a estudios más precisos de modelos de propagación que logren adicionar escenarios secundarios dentro de un escenario principal, y de esta manera obtener un mejor aprovechamiento del espectro y una mejor reutilización de los espacios en donde la recepción de la señal es baja.
- 3) Finalmente, el análisis de disponibilidad depende principalmente de las condiciones del medio de propagación, de la disposición del edificio, la altura de observación y el tiempo en el que se tomaron las muestras. Todos estos parámetros ayudarán en un futuro a desarrollar un mejor desempeño de tecnologías inalámbricas y equipos avanzados que se ajusten a las peores condiciones de propagación, para brindar a su vez mejores servicios basados en el internet de las cosas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. de la Roche, A. Ladanyi, D. Lopez, C. C. Chong, J. Zhang, "Self-organization for LTE enterprise femtocells", *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE*, vol., no., pp.674-678, 6-10 Dec. 2010, doi: 10.1109/GLOCOMW.2010.5700406
- [2] M. Morales Céspedes, "Gestión de Interferencias en Sistemas Femtocelda," Proyecto Fin de Carrera, Dep. Teoría De la Señal y Comunicaciones, Universidad Carlos III de Madrid, España: Madrid, 2010.
- [3] A. Galvis Quintero, "Acceso Dinámico al Espectro: Estado Actual, Tendencias y Retos," GIDATI, Entre Ciencia e Ingeniería, 2009.
- [4] LS Telcom. (2009). *Gestión del espectro de espacios en blanco / Acceso dinámico al espectro* [Online]. Disponible en: <http://www.lstelcom.com/es/productos-y-servicios/gestion-del-espectro/gestion-del-espectro-de-espacios-en-blanco/>.
- [5] D. Ospina, A. Ocampo y R. Hincapié, "Aplicación de esquemas de acceso oportunista al espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos," *Revista en telecomunicaciones e informática*, UPB, Colombia: Medellín, 2011, vol. 1.
- [6] R. Barbosa Correa y H. Llinás Solano, "Procesos estocásticos con aplicaciones". Editorial Universidad del Norte, 2014.
- [7] A. Ferragut. (2009) *Geometría estocástica aplicada a las telecomunicaciones* [Online]. Facultad de ingeniería, Disponible en: <http://goo.gl/AFol4w>.
- [8] F. Novillo, "Proposal and evaluation of channel assignment algorithms for wireless local area networks with opportunistic spectrum access capabilities", *Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions - Universitat Politècnica de Catalunya*, España: Catalunya, 2013.
- [9] L. Xu, R. Tonjes, T. Paila, W. Hansmann, M. Frank, and M. Albrecht, "DRiVE-ing to the Internet: Dynamic radio for IP services in vehicular environments", in *Proc. 25th Annual IEEE Conf. Local Computer Networks*, Nov. 2000, pp. 281–289.

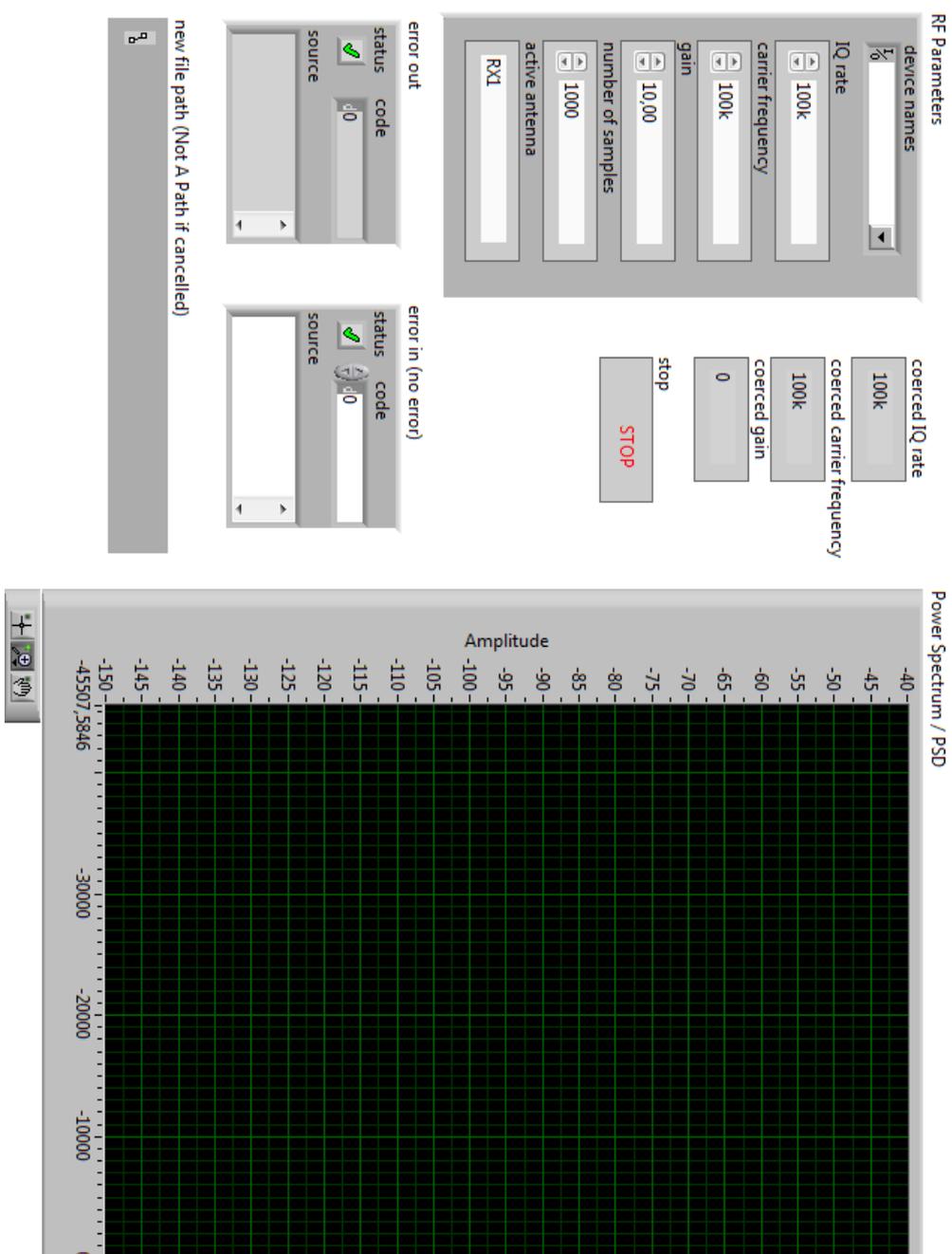
- [10] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access, Signal processing, networking and regulatory policy", *IEEE Signal Processing Magazine*, Mayo, 2007.
- [11] S Parkvall, Ericsson Research, "LTE-Advance – Evolving LTE towards IMT-Advanced" *IEEE Xplored*, March 20, 2009.
- [12] CONATEL., "Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012", Ecuador, 2012.
- [13] C.J. Corrales Moya, "Diseño de Redes Utilizando La Tecnología De Las Femtoceldas En La Telefonía Móvil", Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero En Electrónica Y Telecomunicaciones, *Escuela Politécnica Nacional*, Ecuador: Quito, Marzo, 2011.
- [14] D. Evans, "Internet de las cosas Cómo la próxima evolución de Internet lo Cambia todo", Informe Técnico, CISCO IBSG, San José CA, Abril, 2011.
- [15] L. Ledesma. (2015) *Adjudicación de espectro radioeléctrico en 700 MHz será clave para acelerar la adopción de LTE en América Latina*. 4G Américas [Online]. Argentina: Buenos Aires. Disponible en: <http://goo.gl/w459Xp>.
- [16] V. Ayo y J. Alexis, "Estudio y Diseño de una Red Inalámbrica de Banda Ancha para ofrecer Servicios de Voz y Datos en las Comunidades de Milenio", Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero En Electrónica Y Telecomunicaciones, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador: Sangolquí, Octubre, 2014.
- [17] A. M. Moran. (2013, Febrero). *4G Américas informa que hay 150 redes LTE comerciales en 67 países; 250+ redes LTE previstas para fin de 2013*, 4G Américas [Online]. Argentina: Buenos Aires. Disponible en: <http://goo.gl/bKleuz>.
- [18] A.Guevara y V. Vásquez, "Estado actual de las Redes LTE en Latinoamérica", Tesis Previa A La Obtención Del Título De Ingeniero En Electrónica Y Telecomunicaciones, Ecuador: Cuenca, Abril, 2013.
- [19] J. Parra Zamora. (2010, Agosto) *Claro, Movistar o Alegro: ¿Cuál conviene?* [Online]. WordPress. Disponible en: <https://japarzam1337.wordpress.com/>.
- [20] Ecuamensajes. (2012, Octubre). *Recordando al Motorola Tango 300* [Online]. Ecuamensajes.com. Disponible en: <http://goo.gl/a09svl>.

- [21] M.C.A Souffriau Llanos. (2008, Enero). *Ecuador ya tiene 3G, gracias a Porta* [Online]. NectarPace.ORG. Disponible en: <http://necatpace.org/ecuador-ya-tiene-3g-gracias-a-porta/>.
- [22] S. Angulo. (2014, Octubre. 24). *Los celulares sin 'chip' ya no operan en el país.* [Online] ELCOMERCIO.COM. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/tendencias/telefonos-celulares-cdma-conatel-red.html>
- [23] Corporación Nacional de Telecomunicaciones [Online]. Disponible en: <http://corporativo.cnt.gob.ec/>.
- [24] N Verónica y O. Garzón, "Estudio de Factibilidad para la migración del Sistema Móvil, UMTS/HSPA a LTE", Escuela Politécnica del Ejército, Tesis Previa A La Obtención Del Título De Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ecuador: Sangolquí, 2011.
- [25] K. Puerto. (2008, Abril. 21). *BlackBerry, un poco de historia* [Online]. Xataka Móvil, Disponible en: <http://www.xatakamovil.com/blackberry/blackberry-un-poco-de-historia>
- [26] V. Ayo y J. Alexis, "Estudio y Diseño de una Red Inalámbrica de Banda Ancha para ofrecer servicios de Voz y Datos en las Comunidades del Milenio", ESPE, Proyecto de Titulación previo a la Obtención del Título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ecuador: Sangolquí, 2014.
- [27] D. Ortiz, "Análisis Comparativo de las Tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha para Acceso a Internet, HSPA (HIGH SPEED PACKET ACCESS) y Wimax (802.16e-2005)", Escuela Politécnica Nacional, Proyecto de Titulación previo a la Obtención del Título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Ecuador: Quito, 2010.
- [28] M.I. Municipalidad de Guayaquil. (2014). *Guayaquil/División* [Online]. Ecuador: Guayaquil. Disponible en: <http://www.guayaquil.gob.ec/guayaquil/la-ciudad/division>.
- [29] L. Mendoza, V. Sarmiento y F. Novillo, "Disponibilidad Espacial del Espectro dentro de Zonas Urbanas Densas", ESPOL, Ecuador: Guayaquil.
- [30] Model SD 3000 U/N Wide band Base Station Antenna, Copyright SIRIO antene, SIRIO, Italy, 1999.

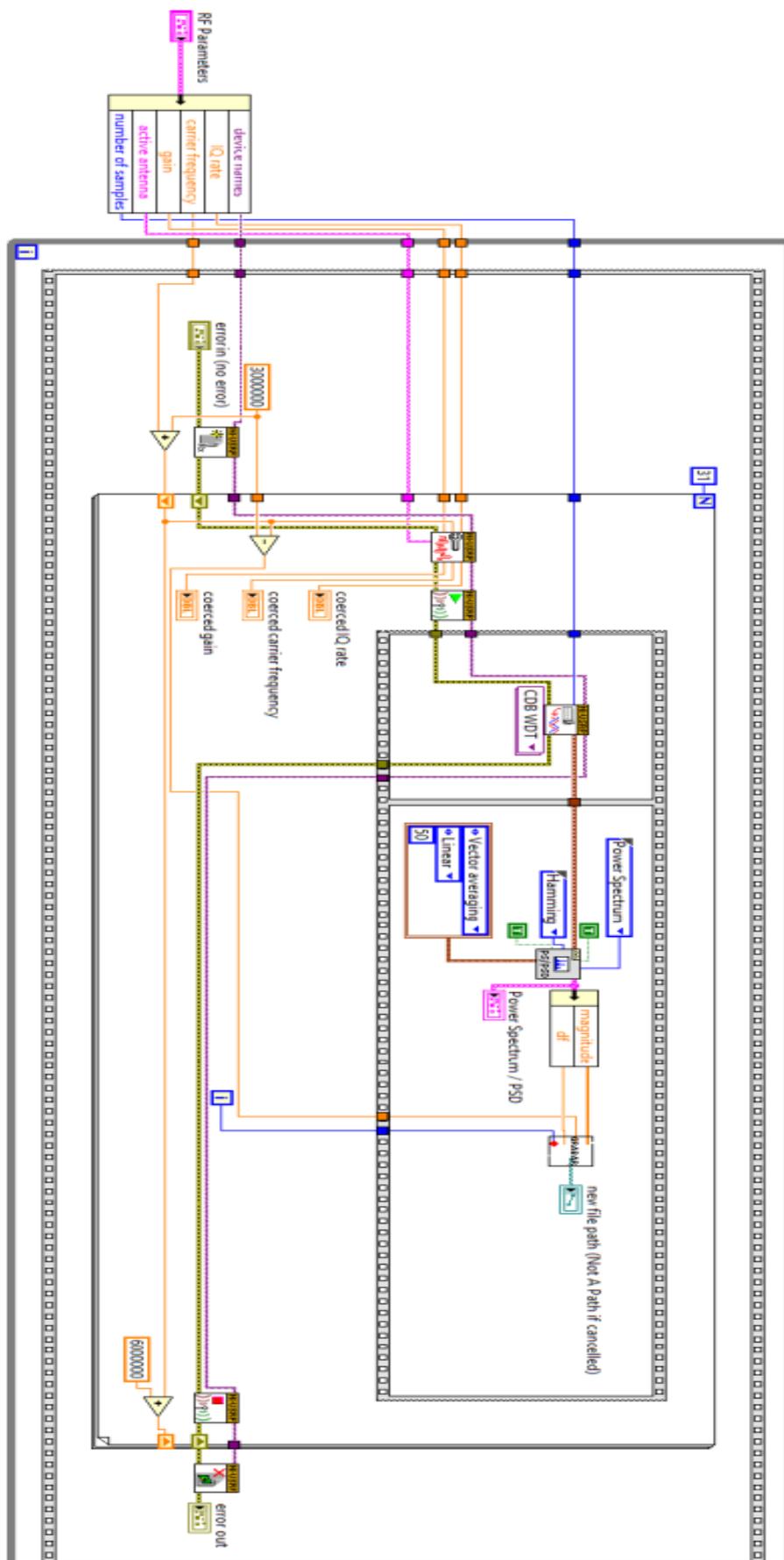
- [31] Y. Ling Che, "Opportunistic Spectrum Access for Cognitive Radio in the Presence of Reactive Primary Users", *IEEE XPLORE*, 2011.
- [32] J. Gómez, "Modelado de la disponibilidad de canales de banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (osa) en una zona urbana", Espol, Ecuador: Guayaquil, 2015.
- [33] Ettus Research, USRP N210/N210 NETWORKED SERIES, Ettus Research A National Instrument Company, 1043 North Shoreline Blvd Suite 100, 2012.
- [34] Arcotel, SERVICIO MOVIL AVANZADO Detalle mensual y anual de radiobases por tecnología y por provincia- CNT EP, Registros administrativos ARCOTEL, Ecuador, 2015.
- [35] P. Gómez, "Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena", UPSE, Ecuador: Libertad, 2013.

ANEXOS

ANEXO 1. Panel frontal Rx.vi

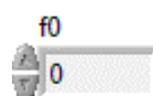


ANEXO 2. Diagrama de Bloques Rx.vi

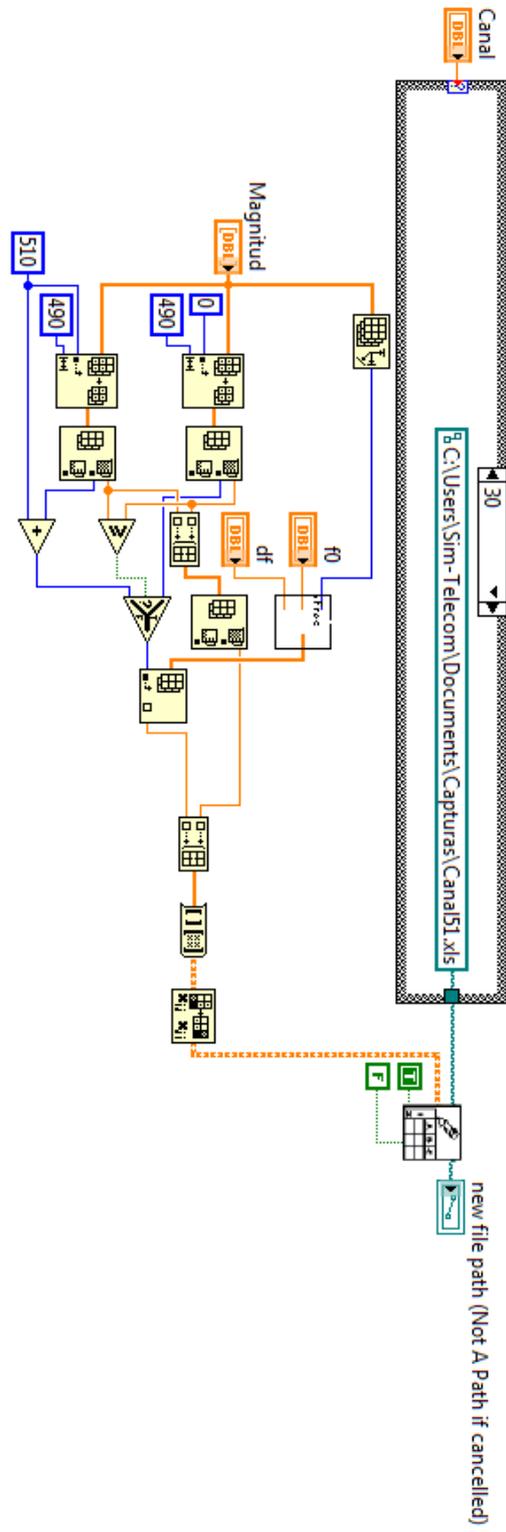


ANEXO 3. Panel Frontal Grabar.vi

new file path (Not A Path if cancelled)



ANEXO 4. Diagrama de Bloques Grabar.vi



ANEXO 5. Detalle de los últimos años de radio bases por tecnología y provincia

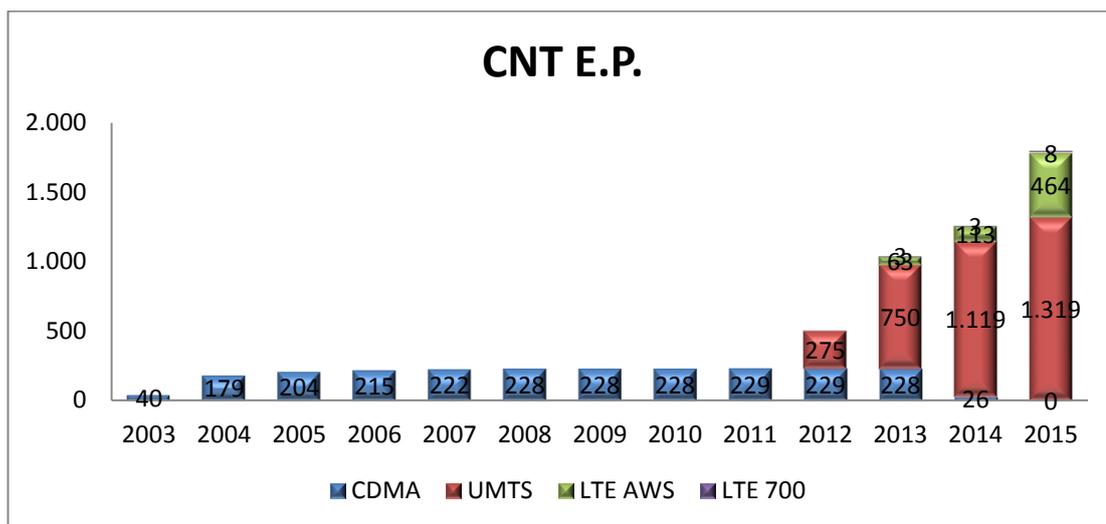
CNT-EP. (Fuente: Registros Administrativos ARCOTEL)

Radiobases CNT EP	ANUAL										
	2013				2014				2015		
	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700	UMTS	LTE AWS	LTE 700
Azuay	22	26	0	0	0	39	0	0	49	6	0
Bolívar	1	1	0	0	0	8	0	0	9	0	0
Cañar	3	3	0	0	0	7	0	0	10	0	0
Carchi	3	10	0	0	1	13	0	0	13	1	0
Chimborazo	3	28	0	0	0	40	0	0	29	0	0
Cotopaxi	3	20	0	3	0	35	0	3	95	26	1
El Oro	7	11	0	0	0	29	0	0	11	0	0
Esmeraldas	6	20	0	0	1	35	0	0	14	0	0
Galápagos	0	5	0	0	0	6	0	0	7	1	0
Guayas	58	150	5	0	6	197	55	0	417	203	4
Imbabura	6	29	0	0	0	45	0	0	36	15	0
Loja	3	6	0	0	0	19	0	0	62	27	0
Los Ríos	4	7	0	0	0	19	0	0	10	1	0
Manabí	16	34	0	0	2	66	0	0	6	0	0
Morona Santiago	0	2	0	0	0	5	0	0	24	0	0
Napo	0	8	0	0	0	12	0	0	11	0	0
Orellana	0	6	0	0	0	11	0	0	34	6	0
Pastaza	0	6	0	0	0	7	0	0	46	1	0
Pichincha	69	270	58	0	10	372	58	0	31	6	0
Santa Elena	8	14	0	0	3	26	0	0	254	154	0
Sto. Domingo de los Tsachilas	7	30	0	0	2	35	0	0	36	0	1
Sucumbios	0	13	0	0	0	23	0	0	43	16	0
Tungurahua	9	47	0	0	1	61	0	0	35	1	2
Zamora Chinchiipe	0	3	0	0	0	8	0	0	36	0	0

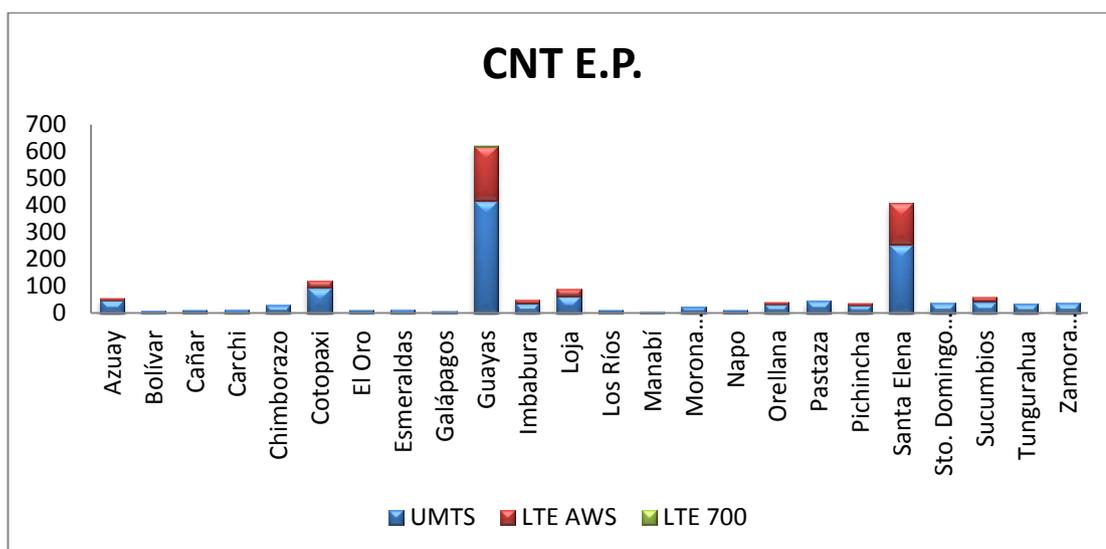
ANEXO 6. Detalle de Año/Mes 2015 de radio bases por tecnología y provincia CNT-EP. (Fuente: Registros Administrativos ARCOTEL)

MENSUAL 2015												
Radiobases CNT E.P.	oct-15				nov-15				dic-15			
	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700	CDMA	UMTS	LTE AWS	LTE 700
Azuay	0	48	6	0	0	48	6	0	0	49	6	0
Bolívar	0	9	0	0	0	9	0	0	0	9	0	0
Cañar	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0
Carchi	0	13	1	0	0	13	1	0	0	13	1	0
Chimborazo	0	43	16	0	0	43	16	0	0	29	0	0
Cotopaxi	0	36	0	7	0	36	0	1	0	95	26	1
El Oro	0	35	1	2	0	35	1	2	0	11	0	0
Esmeraldas	0	36	0	0	0	36	0	0	0	14	0	0
Galápagos	0	6	0	0	0	6	0	0	0	7	1	0
Guayas	0	253	154	0	0	253	154	0	0	417	203	4
Imbabura	0	46	1	0	0	46	1	0	0	36	15	0
Loja	0	29	0	0	0	29	0	0	0	62	27	0
Los Ríos	0	29	0	0	0	29	0	0	0	10	1	0
Manabí	0	87	26	1	0	87	26	1	0	6	0	0
Morona Santiago	0	8	0	0	0	8	0	0	0	24	0	0
Napo	0	13	0	0	0	13	0	0	0	11	0	0
Orellana	0	11	0	0	0	11	0	0	0	34	6	0
Pastaza	0	7	1	0	0	7	1	0	0	46	1	0
Pichincha	0	402	204	4	0	402	203	4	0	31	6	0
Santa Elena	0	31	6	0	0	31	6	0	0	254	154	0
Sto. Domingo de los Tsachilas	0	36	15	0	0	36	15	0	0	36	0	1
Sucumbios	0	24	0	0	0	24	0	0	0	43	16	0
Tungurahua	0	62	25	0	0	62	27	0	0	35	1	2
Zamora Chinchiipe	0	10	1	0	0	10	1	0	0	36	0	0

ANEXO 7. Detalle de incremento mensual de radio bases por tecnología. (Fuente: Registro Administrativo ARCOTEL)



ANEXO 8. Radio bases por tecnología -provincia.(Fuente: Registro Administrativo ARCOTEL)

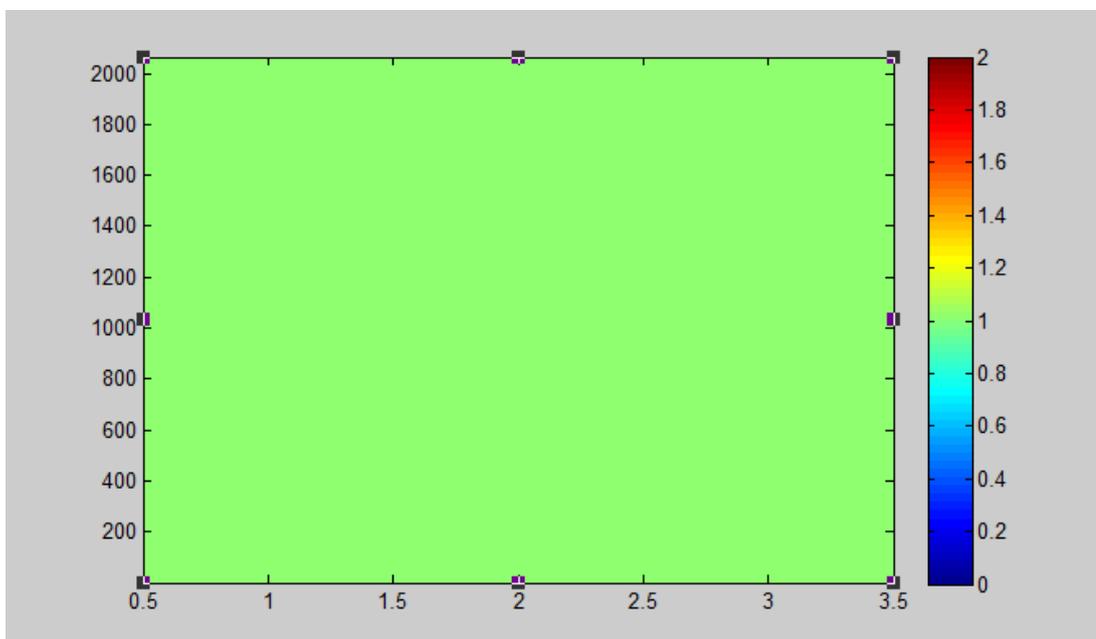


ANEXO 9. Detalle de líneas activas por tecnología y prestador. (Fuente: Registros Administrativos ARCOTEL)

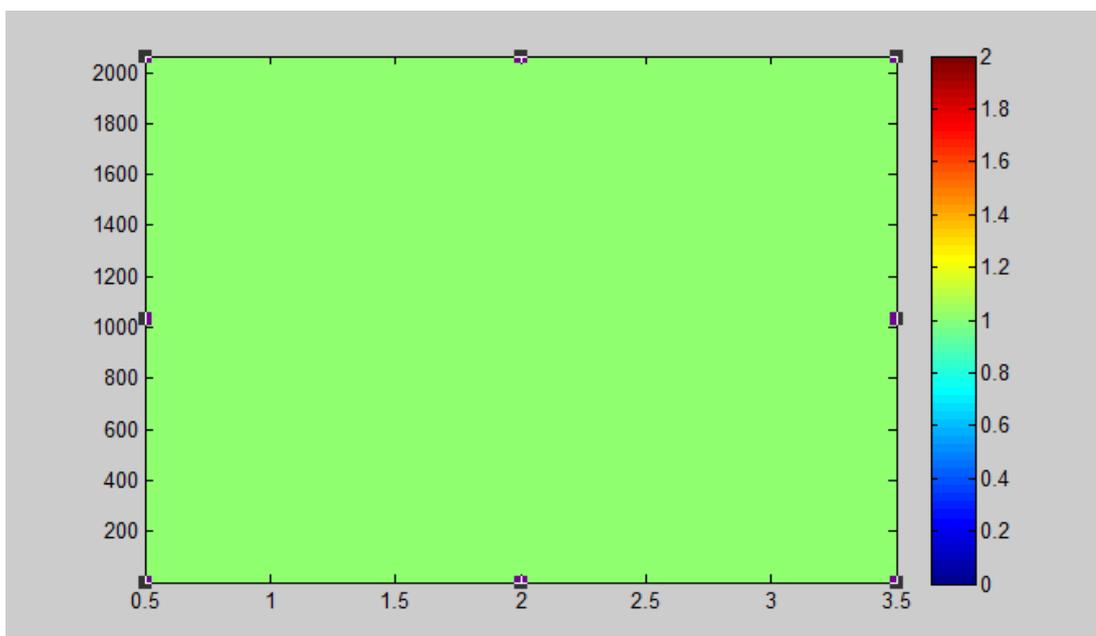
MES/AÑO	CONECEL S.A.					TOTAL CONECEL	OTECEL S.A.					TOTAL OTECEL
	CDMA	GSM	UMTS	HSPA +	LTE		CDMA	GSM	UMTS	HSPA+	LTE	
Ene 2015	0	9.146.755	1.641.546	542.170	0	11.330.471	0	4.571.476	337.990	132.078	0	5.041.544
Feb 2015	0	8.685.881	1.616.146	567.987	0	10.870.014	0	4.564.274	335.472	138.890	0	5.038.636
Mar 2015	0	8.347.296	1.596.466	561.069	0	10.504.831	0	4.244.051	325.738	153.596	0	4.723.385
Abr 2015	0	8.137.359	1.595.756	559.887	0	10.293.002	0	4.202.478	318.105	168.402	0	4.688.985
May 2015	0	7.867.450	1.594.391	645.636	0	10.107.477	0	4.077.090	309.061	146.570	36.551	4.569.272
Jun 2015	0	7.721.787	1.569.091	631.840	0	9.922.718	0	4.063.644	301.183	151.320	44.179	4.560.326
Jul 2015	0	7.507.427	1.592.522	519.676	0	9.619.625	0	4.055.726	291.551	150.919	57.106	4.555.302
Ago 2015	0	7.439.699	1.529.088	479.307	0	9.448.094	0	4.003.445	328.679	127.403	92.449	4.551.976
Sep 2015	0	7.324.458	1.506.883	441.363	0	9.272.704	0	3.900.735	331.079	104.097	127.450	4.463.361
Oct 2015	0	7.225.301	1.441.047	312.157	105.991	9.084.496	0	3.648.796	333.836	127.633	122.163	4.232.428
Nov 2015	0	7.048.699	1.346.691	256.123	136.398	8.787.911	0	3.816.931	191.763	123.354	171.282	4.303.330

MES/AÑO	CNT EP					TOTAL CNT	TOTAL CDMA	TOTAL GSM	TOTAL UMTS	TOTAL HSPA +	TOTAL LTE	TOTAL
	CDMA	GSM	UMTS	HSPA +	LTE							
Ene 2015	2.310	229.810	0	548.441	108.216	888.777	2.310	13.948.041	1.979.536	1.222.689	108.216	17.260.792
Feb 2015	1.716	229.985	0	581.320	132.846	945.867	1.716	13.480.140	1.951.618	1.288.197	132.846	16.854.517
Mar 2015	0	223.268	0	615.250	193.805	1.032.323	0	12.814.615	1.922.204	1.329.915	193.805	16.260.539
Abr 2015	0	221.264	0	626.708	224.404	1.072.376	0	12.561.101	1.913.861	1.354.997	224.404	16.054.363
May 2015	0	221.691	0	638.789	255.981	1.116.461	0	12.166.231	1.903.452	1.430.995	292.532	15.793.210
Jun 2015	0	221.929	0	678.424	283.486	1.183.839	0	12.007.360	1.870.274	1.461.584	327.665	15.666.883
Jul 2015	0	221.730	0	411.989	308.750	942.469	0	11.784.883	1.884.073	1.082.584	365.856	15.117.396
Ago 2015	0	221.564	0	413.897	324.167	959.628	0	11.664.708	1.857.767	1.020.607	416.616	14.959.698
Sep 2015	0	234.000	0	332.718	452.685	1.019.403	0	11.459.193	1.837.962	878.178	580.135	14.755.468
Oct 2015	0	234.839	0	311.560	503.670	1.050.069	0	11.108.936	1.774.883	751.350	731.824	14.366.993
Nov 2015	0	236.775	0	302.476	491.968	1.031.219	0	11.102.405	1.538.454	681.953	799.648	14.122.460

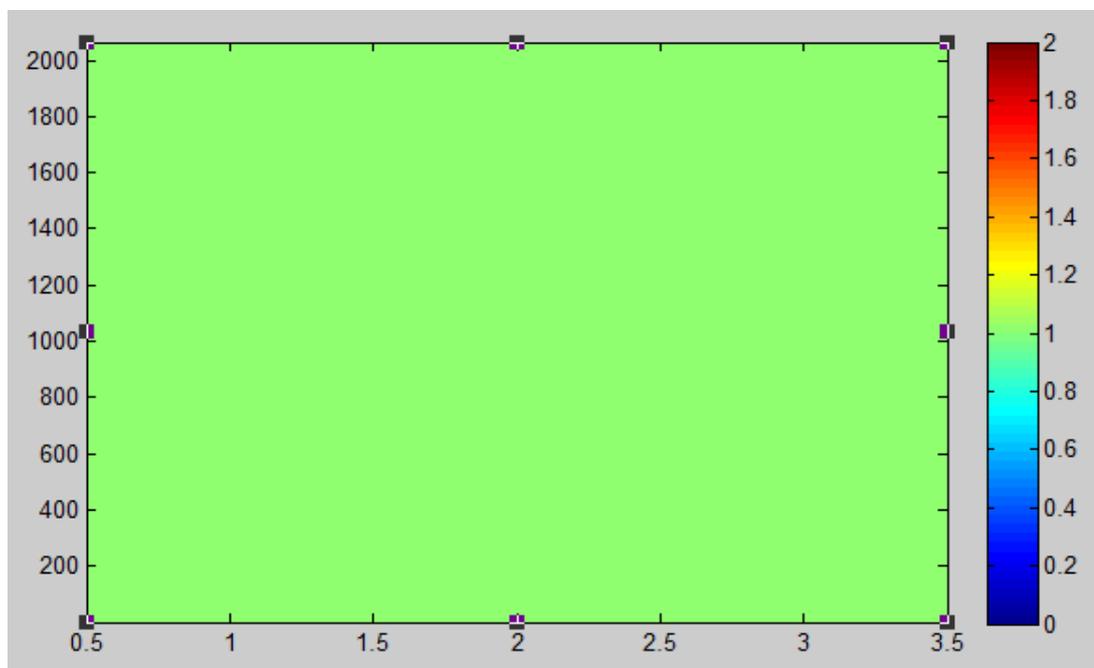
ANEXO 10. Gráfico de disponibilidad bajada planta baja.



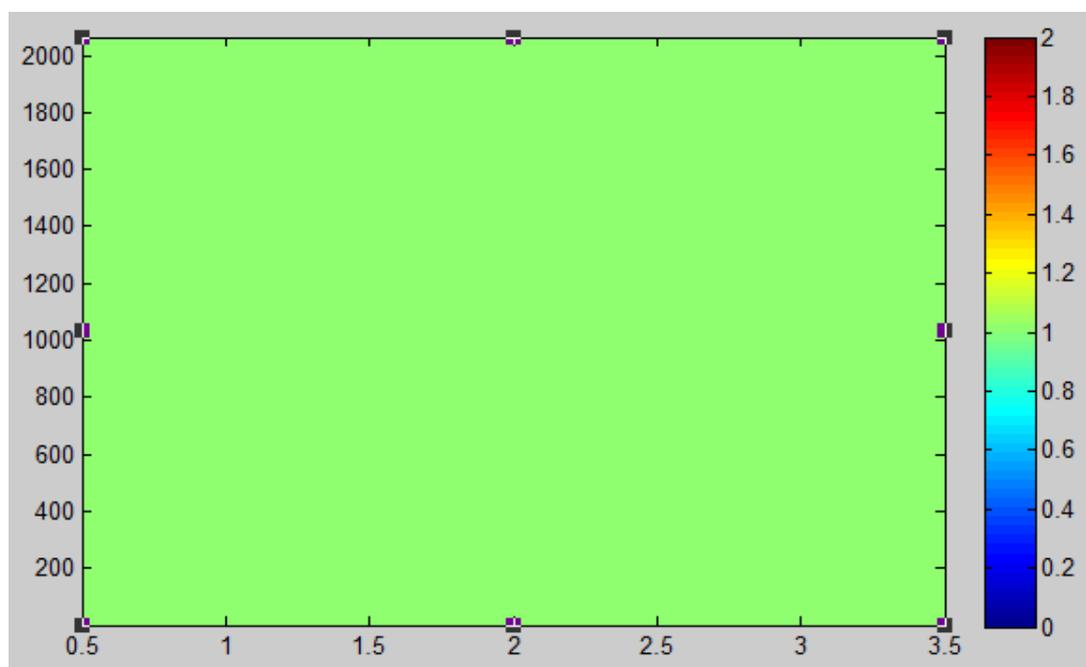
ANEXO 11. Gráfico de disponibilidad subida planta baja.



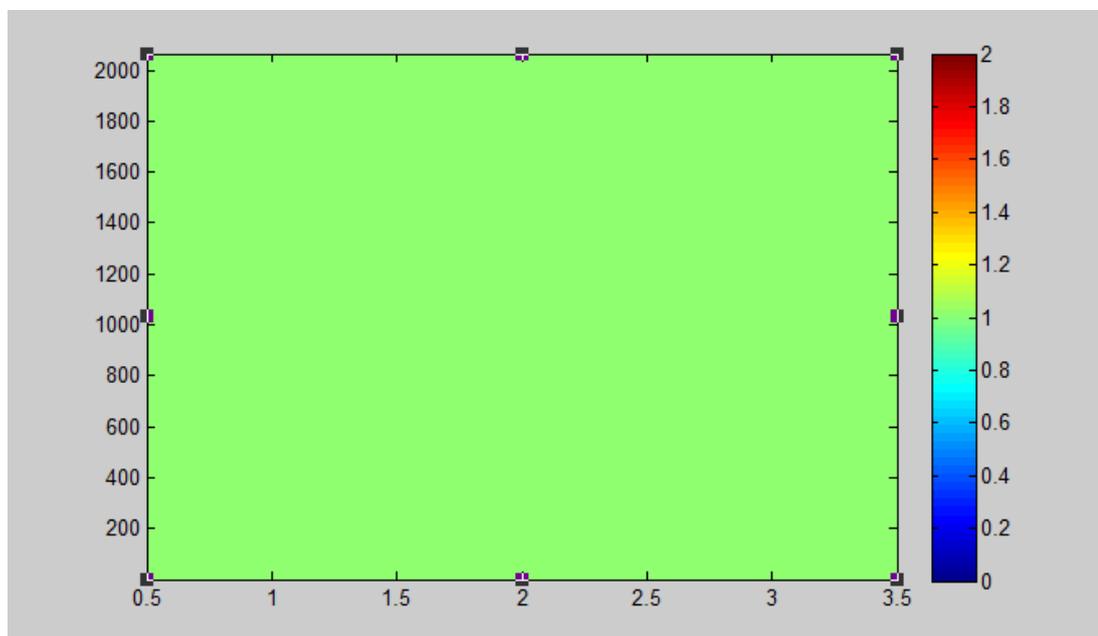
ANEXO 12. Gráfico de disponibilidad bajada quinto piso.



ANEXO 13. Gráfico de disponibilidad subida quinto piso.



ANEXO 14. Gráfico de disponibilidad bajada undécimo piso.



ANEXO 15. Gráfico de disponibilidad subida undécimo piso.

