



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTORES:

FELIPE ALBERTO LEÓN COELLO

LENIN ISRAEL RECALDE TIPANLUISA

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE
CUARTA GENERACIÓN LTE EN EL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO PARA LA CNT EP”**

DIRECTOR: DR. GONZALO OLMEDO

CODIRECTOR: MS. DARÍO DUQUE

SANGOLQUÍ, FEBRERO 2014

CERTIFICADO

Se Certifica que el trabajo titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA LA CNT EP**”, realizado por Felipe Alberto León Coello y Lenin Israel Recalde Tipanluisa, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Felipe Alberto León Coello y Lenin Israel Recalde Tipanluisa que lo entregue al Ingeniero Paúl Bernal Msc, en su calidad de Director de Carrera.

Sangolquí, 07 de Marzo de 2014

Dr. Gonzalo Olmedo
DIRECTOR

Ing. Darío Duque Ms.
CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Felipe Alberto León C.

Lenin Israel Recalde T.

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA LA CNT EP**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 07 de Marzo de 2014

Felipe Alberto León C.

Lenin Israel Recalde T.

DEDICATORIA

A mis adorados padres, que han sido el motor que me impulsa a superarme cada día más; que me han apoyado para que pueda terminar esta etapa de mi vida con el mayor de los éxitos; y que me han enseñado valores para enfrentar la situaciones de la vida.

A mis hermanas, por ser las compañeras que me alientan a seguir adelante y por compartir mis alegrías y tristezas.

Lenin Recalde

A toda la gente que han hecho de mí una mejor persona, a mi familia, mis padres, mis hermanos, a los amigos que han estado siempre ahí apoyándome en las buenas y en las malas, a AMD que estuvo acompañándome durante todo el tiempo universitario en todo momento, a todos ellos que celebraron mis éxitos y me apoyaron en mis derrotas.

Felipe León

AGRADECIMIENTO

A mi Señor, por haberme regalado el don de la vida y porque a lo largo de mi camino por este mundo siempre me ha dado la fortaleza para seguir adelante y alcanzar mis metas. **A mis Padres**, por brindarme la oportunidad de crecer cada día como ser humano. **A mis Maestros**, que con nobleza y entusiasmo vertieron todos sus conocimientos en mí; y por haberme transmitido enseñanzas de vida a lo largo de mi paso por esta prestigiosa Institución. **A mi Universidad**, porque en sus aulas recibí valiosas lecciones e inolvidables recuerdos. **A la Corporación Nacional de Telecomunicaciones**, por brindarnos su ayuda en la elaboración del proyecto de tesis brindándonos información necesaria para la culminación del mismo.

Lenin Recalde

Mi más grande agradecimiento a Dios, por estar a mi lado en todo momento. A mis padres por apoyarme con todas mis metas. A mis hermanos por guiarme con sus consejos. A la ESPE por darme las oportunidades que tuve. A CNT por el auspicio para desarrollar este trabajo. A AMD que en todo momento me escucho y aconsejo permitiéndome crecer como persona.

Felipe León

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.3. ALCANCE.....	6
1.4. OBJETIVOS.....	7
CAPÍTULO II.....	8
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
2.1. EPC (<i>EVOLVED PACKET CORE</i>)	8
2.2 RAN (<i>RADIO ACCESS NETWORK</i>).....	16
2.3 IP-RAN	27
2.4. UE (<i>USER EQUIPMENT</i>).	34
CAPÍTULO III.....	35
DISEÑO DE LA RED LTE.....	35
3.1. DESCRIPCIÓN SOFTWARE DE PLANEACIÓN.....	35
3.2. ANÁLISIS DE MODELOS DE PROPAGACIÓN MÁS ADECUADOS PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....	45
3.3 ANÁLISIS CLUTTERS	50

3.4. CREACIÓN DE UN PROYECTO LTE EN U-NET	52
3.5 DISEÑO PRELIMINAR DE RF	68
CAPÍTULO 5.....	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. CONCLUSIONES	89
5.2. RECOMENDACIONES	91
ANEXOS	94
ANEXO 1.....	94
ANEXO 1.1 CINEMARK	94
ANEXO 1.2 EL LABRADOR	95
ANEXO 1.3 IÑAQUITO	95
ANEXO 2.....	97
FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	98
ACTA DE ENTREGA	103

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 eNodo B – EPC</i>	8
<i>Figura 2 Arquitectura de la red de acceso</i>	11
<i>Figura 3 Arquitectura de la red EPC</i>	13
<i>Figura 4 Arquitectura del PCC</i>	15
<i>Figura 5 Arquitectura del hardware del eNodeB</i>	20
<i>Figura 6 Múltiples caminos de un eNodeB hacia un UE</i>	22
<i>Figura 7 Configuración de las antenas</i>	25
<i>Figura 8 Modos Mimo en LTE en base a la velocidad del UE y el SINR</i>	27
<i>Figura 9 Estructura U-Net</i>	38
<i>Figura 10 Ventana Principal U-NET</i>	38
<i>Figura 11 Descripción del Menú Ventana</i>	40
<i>Figura 12 Barra de Tareas</i>	41
<i>Figura 13 Pestaña GEO</i>	42
<i>Figura 14 Pestaña DATA</i>	43
<i>Figura 15 Pestaña Network</i>	43
<i>Figura 16 Pestaña Operation</i>	44
<i>Figura 17 Creación del Proyecto</i>	53
<i>Figura 18 Importando Mapa</i>	54
<i>Figura 19 Seleccionando el Mapa</i>	54
<i>Figura 20 Mapa Importado</i>	55
<i>Figura 21 Importando vectores</i>	55
<i>Figura 22 Mapa Cargado Con Vectores.</i>	56
<i>Figura 23 Importando Heights</i>	56
<i>Figura 24 Mapa Distrito Metropolitano de Quito</i>	57
<i>Figura 25 Tipo de Coordenadas</i>	57
<i>Figura 26 Configurando estilo de Coordenadas</i>	58
<i>Figura 27 Eligiendo modelo de Propagación</i>	58
<i>Figura 28 Configurando Modelo de Propagación</i>	59
<i>Figura 29 Configurando Modelo de Propagación</i>	59
<i>Figura 30 Creando Antena</i>	60
<i>Figura 31 Configuración General</i>	60
<i>Figura 32 Configuración Lóbulo Horizontal</i>	60
<i>Figura 33 Configuración Lóbulo Vertical</i>	60
<i>Figura 34 Configuración Propiedades</i>	61
<i>Figura 35 Configurando Ancho de Banda</i>	61
<i>Figura 36 Añadiendo Un Nuevo Site y Transceiver</i>	62
<i>Figura 37 Sites en el Mapa</i>	62
<i>Figura 38 Configurando Propiedades del Site</i>	63
<i>Figura 39 Configurando Sites</i>	63
<i>Figura 40 Accediendo a la tabla Cells</i>	64
<i>Figura 41 Configurando parámetros Cells</i>	64

<i>Figura 42 Configurando Neighbors</i>	65
<i>Figura 43 Configurando Parámetros ICIC</i>	66
<i>Figura 44 Eligiendo Frecuencia y Canal.</i>	67
<i>Figura 45 Realizando una Predicción</i>	67
<i>Figura 46 Creando un Grupo de Predicción</i>	68
<i>Figura 47 Procedimiento de Link Budget y dimensionamiento de cobertura</i>	69
<i>Figura 48 Link Budget en UL</i>	70
<i>Figura 49 Link Budget en DL</i>	70
<i>Figura 50 Proceso de Cálculo del MAPL</i>	71
<i>Figura 51 IM vs. Load</i>	74
<i>Figura 52 SFM vs. Hard Handover</i>	76
<i>Figura 53 Resultados Link Budget AWS</i>	76
<i>Figura 54 Inter-Cell Interference Coordination (ICIC)</i>	77
<i>Figura 55 Prioridades para las predicciones</i>	80
<i>Figura 56 Predicciones Prioridad 1</i>	81
<i>Figura 57 Prioridad 2_1</i>	81
<i>Figura 58 Prioridad 2_2</i>	82
<i>Figura 59 Predicciones Prioridad 3_1</i>	82
<i>Figura 60 Predicciones Prioridad 3_2</i>	83
<i>Figura 61 Predicciones Prioridad 4</i>	83
<i>Figura 62 Predicciones Prioridad 5</i>	84
<i>Figura 63 Predicciones Distrito Metropolitano de Quito</i>	85
<i>Figura 64 Predicciones Distrito Metropolitano de Quito</i>	86
<i>Figura 65 Porcentaje de Cobertura LTE en Distrito Metropolitano de Quito</i>	87
<i>Figura 66 Porcentaje de throughput LTE</i>	88

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Reglas PCC.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Especificaciones del eNodeB.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3 Modos de transmisión Downlink para LTE Release 8.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4 Aplicación de los modos de transmisión.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 5 Estructura del EF_EPSLOCI.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6 Estructura del EF_EPSNSC.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 7 Descripción de la ventana principal.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8 Descripción de la Barra de Menús.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9 Descripción del menú Archivo.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10 Descripción del Menú de Edición.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 11 Descripción del Menú Ventana.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 12 Descripción de la barra de Herramientas Estándar.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 13 Descripción de la Barra de Tareas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 14 Descripción de la Pestaña GEO.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 15 Descripción de la Pestaña DATA.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 16 Descripción Pestaña Network.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 17 Descripción Pestaña Operation.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 18 Modelos de Propagación.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 19 Análisis Clutters.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 20 Clases de Clutters.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 21 Número de RB por Ancho de Banda.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 22 Ejemplo de MCS.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 23 Requerimientos CNT EP.....</i>	<i>76</i>

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Espaciamiento requerido para baja correlación</i>	26
<i>Ecuación 2 Ecuación de Okumura-Hata</i>	46
<i>Ecuación 3 Ecuación Cost231-Hata</i>	48
<i>Ecuación 4 Ecuación de SPM</i>	48
<i>Ecuación 5 Margen de Interferencia</i>	74

GLOSARIO

3GPP	Third Generation Partnership Project
AF	Application function
AMC	Adaptive Modulation Coding
ARP	Allocation and Retention Priority
CS	Circuit Switched
DL	Downlink
DSL	Digital Subscriber Line
EF	Elementary Files
EPC	Evolved Packet Core
ePDG	Evolved Packet Data Gateway
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EUTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplex
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMA	GSM Association
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
ICIC	Inter-cell interference coordinator
IP	Internet Protocol
IP-CAN	IP Cellular Access Network
ISP	Internet Service Provider

ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MME	Mobility Management Entity
NAT	Network Address Translation
NGMN	Next Generation Mobile Network
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCC	Policy and Charging Convergence
PCEF	Policy and Charging Enforcement Function
PCRF	Policy and Charging Rule Function
PCRF	Policy and Changing Rules Function
PDN	Packet Data Network
PHY	Physical Layer OSI
PS	Packet Switched
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS class identifier
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RNC	Radio Network Controller
SAE	System Architecture Evolution
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SDMA	Spatial Division Multiple Access

SIM	Subscriber Identity Module
SISO	Single Input Single Output
SPR	Subscription Profile Repository
TDD	Time Division Duplex
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	Terrestrial Radio Access
VoIp	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network

RESUMEN

En el presente proyecto se da a conocer las funcionalidades de la tecnología móvil de cuarta generación LTE y su implementación por parte de la Corporación Nacional De Telecomunicaciones para el Distrito Metropolitano de Quito. Los componentes tanto de CORE como de Acceso y sus funcionalidades se encuentran en el Capítulo 2, en el cuál se da a conocer de una manera detallada porque cada uno de ellos hace que esta Red Móvil sea tan versátil y permita tener mayores prestaciones que las Redes UMTS. En el Capítulo 3 se procede a dar una explicación del Software de Predicción a ser usado, explicando de manera ordenada cada paso a seguir desde la creación de un proyecto hasta la configuración de los distintos parámetros ya sean modelos de propagación, *tilts* eléctricos, mecánicos, azimuths, el tipo de *cluster* y potencias de transmisión para así obtener una predicción lo más cercana a la realidad de las distintas zonas topográficas en las que se vayan a colocar las radio-bases. En el Capítulo 4 se realiza un formato de las guías de instalación a ser usadas por los técnicos para la implementación de los *eNodesB*, así como las distintas pruebas que se deben realizar en cada uno de ellos para saber sus *throughputs* máximos y colectivamente definiendo un *cluster* para observar el nivel y calidad de la señal radiada por las radio bases que lo conforman y optimizarlas en caso de ser requerido para que brinde mejores prestaciones que en su configuración inicial.

Palabras Clave: LTE, throughput, cluster, modelos de propagación, eNodeB

ABSTRACT

In the current project all the functionalities of the fourth generation of mobile communications LTE are shown, and its implementation by “Corporación Nacional De Telecomunicaciones” for the “Distrito Metropolitano de Quito”. The different components for the CORE and access network and their capabilities are presented in the 2nd chapter, in which all the information of each network component in a detailed manner is given, showing why this kind of mobile network is more versatile and allows more ranges of services than UMTS networks. In the 3th Chapter, a brief explanation of the planning software is given, explaining step by step all the process to create a Project until the configuration of the different parameters, such as propagation models, electrical and mechanical tilts, type of clutters, transmission power, parameters that will help obtain a prediction closer to reality, in all the different topographic zones t the radio base stations are going to be placed. In The 4th Chapter, first a small installation guide is described for the implementation technicians to be used, then the different tests that must be done in each eNodeB for knowing parameters such as maximum throughputs, and by radio bases group defining a cluster to measure the quality and level of de irradiated signal of the radio base stations, and optimizing the parameters in case of being required for providing better services than in their initial configuration.

Key Words: LTE, throughput, cluster, propagation models, eNodeB

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

Las telecomunicaciones han tenido un desarrollo vertiginoso con las comunicaciones inalámbricas en los últimos años, siendo la telefonía celular la más vanguardista, puesto que hoy en día hay una gran demanda de teléfonos celulares que se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, incrementando el uso no solo de los servicios voz, sino también los de datos, por lo cual surgió la necesidad de migrar de tecnologías constantemente al pasar de los años, primero de la telefonía analógica 1G que hizo su aparición en 1979, siendo usada estrictamente solo para el uso de voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja con una velocidad 2400 *bauds*, la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad ya que eran basadas en FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) y la seguridad en esta primera tecnología no existía.

En la década de los 90 empezó el auge de la segunda generación 2G de redes móviles en las cuales se incluía GSM(*Global System for Mobile Communications*), PCS(Personal communications services), TDMA(*Time Division Multiple Access*) y CDMA (*Code Division Multiple Access*), estas redes reemplazaron las comunicaciones analógicas de las redes de primera generación, dando así paso a las transmisiones inalámbricas de voz y de datos. El desarrollo más recalculable que se dio en esta tecnología fue en lo que concierne solo a voz, ya que de ésta se dio un sin número de aplicaciones como el *push-to-talk*, mensajes de texto SMS , llamadas de

conferencia, identificador de llamadas, correo de voz, y en la opción de datos se dieron aplicaciones básicas como mensajes email y navegador web , estas últimas para afrontar las necesidades de tener mayor velocidad las compañías celulares siguieron con el desarrollo de las mismas, y las cuales dieron como resultado el surgimiento EDGE(*Enhanced Data-rates for Global Evolution*), y posteriormente EGPRS(*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) que con velocidades de 56 kbps hasta 114 kbps no eran suficientes para que se oferte más aplicaciones multimedia .

Dado el inconveniente de no poder aumentar el ancho de banda en las redes 2G, se continuo con en el estudio de nuevas tecnologías, surgiendo la tercera generación de redes móviles inalámbricas 3G o conocida también como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), las cuales incrementaron los anchos de banda a velocidades DSL, que tenían un rango teórico de 144 kbps a más de 2 Mbps, soportando más y mayores aplicaciones multimedia como videoconferencias, VoIP, video y *streaming* de música, como también ofrece mayor velocidad al navegar por la Web y en la bajada de archivos.

Al 3G se le han hecho algunas modificaciones, una de las más importantes fue la actualización de la tecnología UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), haciendo llegar la misma a velocidades de hasta 14Mbps, en sus mejores condiciones. A esta actualización se le dio el nombre de HSDPA(*High-Speed Downlink Packet Access*), la cual también se conoce como 3.5G, o 3G+ las cuales se vieron insuficiencias, porque a pesar de proveer mejor calidad de servicio en voz, velocidad en la transmisión de datos e incrementar la cantidad y calidad de los servicios multimedia no pudieron satisfacer los requerimientos cada vez más demandantes de los usuarios. Para suplir esta limitación se está dando la evolución

de estas redes a la más actual, robusta y dinámica que existe hoy en día conocida como 4G o LTE (*Long Term Evolution*), permitiendo así trabajar en una red totalmente conmutada por paquetes.

Las redes LTE(*Long Term Evolution*) son producto de la evolución tecnológica de las comunicaciones móviles, permitiendo a los usuarios acceder a servicios antes solo exclusivos para redes fijas, las tendencias actuales en todo el mundo están orientados a la conectividad y uso de servicios de datos.

En CNT la evolución de la tecnología móvil ha sido primero a través de su red 2G CDMA y GSM, esta red 2G es conocida como la red MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*), la cual es una red virtual arrendada por la CNT a MOVISTAR, con el fin de que esta le permita tener cobertura 2G en el país, después con su red propia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) HSPA+ considerada 3.5G, y actualmente es la primera empresa en el país con tener la concesión de las bandas para LTE 4G, para lo cual se necesita planificar y analizar las mejores alternativas para que su implementación sea exitosa, y así poder ofrecer todos los beneficios de esta red de cuarta generación,

CNT EP para realizar el diseño y la planificación de su red 3G y HSPA+ usa la herramienta U-NET 3.0 la cual es un software propietario de Huawei y desarrollado por Forsk. Este simulador es caracterizado por permitir a sus usuarios cargar parámetros reales de terrenos, vectores, *clutters* y antenas los cuáles son importantes puesto que al instante de realizar predicciones de sitios antiguos para poder optimizarlos basándose en el tráfico de voz y datos con los que cada *NodeB* ha estado trabajando, también de sitios nuevos para observar su comportamiento y determinar

que parámetros como altura, *tilt* eléctrico, mecánico y azimuts requieren estos para brindar una cobertura con QoS (*Quality of Service*) óptima para brindar niveles de RSCP (*Received Signal Code Power*) no menores a -100 dBm requeridos para que los niveles de cobertura de una red móvil sea la adecuada en cuanto a voz y para que la velocidad de transmisión que el *NodeB* provee al terminal para su navegación en internet mantenga un *throughput* constante. Varias son las operadoras móviles que a nivel mundial trabajan con este software entre ellas tenemos a AT&T, O2 y Vodafone. Este software también permite trabajar con redes 4G para ello se actualizó a versión U-NET 3.8 la cuál a diferencia de su predecesora trabaja ya con modelamientos de RRM (*Radio Resource Management*) y con la capacidad de poder utilizar MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*).

En la ESPE se han realizado proyectos de graduación que estudian la tecnología de cuarta generación, en los cuales se realiza estudios de la migración de la red 3G a 4G, otra consistió en la posible implementación de la tecnología LTE en el Ecuador, así como también el diseño de una red LTE en los valles de Tumbaco y Los Chillos, fueron desarrollados con el fin de dar una introducción de lo que esta nueva generación móvil es capaz de hacer.

1.2 Justificación e Importancia

El propósito del actual proyecto es incursionar en el diseño y dimensionamiento en el acceso inalámbrico de la red de cuarta generación de telefonía inalámbrica LTE que van a ser implementadas por la CNT en el Distrito Metropolitano de Quito. Por lo cual la investigación pretende presentar una solución para evolucionar en las actuales redes 3G de CNT a un servicio 4G, que promete mejorar el acceso móvil,

debido a que su red de transporte permitirá una conexión entre Radio Bases mejorando la manera en la que pueden conectarse al CORE MPLS de la CNT y así suplir y las tendencias actuales, las cuales marcan que de aquí en 5 años el acceso de datos móviles se incrementara significativamente a más del 30% de acuerdo a los estudios de mercado globales realizados por la GSacom, la implementación de la red LTE surge como una necesidad para suplir las necesidades de futuros clientes.

Debido a las características geográficas del Distrito Metropolitano de Quito, el diseño de la red LTE implica que tanto los equipos como las torres de transmisión instaladas cumplan con el área de cobertura especificada, por lo cual el análisis para el diseño en los diferentes sectores de la ciudad y el número de *eNodesB* (*Evolved Nodes B*) que con la ayuda del software U-NET se sabe que son aproximadamente 250, esto se da porque esta herramienta permite colocar varios polígonos en cada sector de las parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito y calcula el número de *sites* por polígonos que es requerido; Los diferentes segmentos puede variar de acuerdo a las características geográficas del Distrito Metropolitano. El requerimiento de la CNT EP es tener un diseño basado en el análisis de los *clutters*, los parámetros de las antenas, las guías de instalación, que permitan tener una buena calidad de servicio y cobertura.

En este caso específicamente para realizar la implementación del primer *cluster* de 21 *eNodesB* de la Red LTE en la ciudad de Quito.

Además de que CNT posee la exclusividad de las frecuencias AWS (*Advanced Wireless Services*) MHz para las redes de cuarta generación, siendo un proyecto prioritario que se prevé sea implementado a partir del mes de octubre del presente año.

1.3. Alcance.

Diseño de la red LTE para el Distrito Metropolitano de Quito en las bandas AWS MHz utilizando la herramienta de predicción U-NET 3.8 para la elaboración de mapas de cobertura. En estos mapas de cobertura se procederá a realizar el análisis de cuál es el modelo de propagación más adecuado para basar el análisis de la banda de frecuencia es más óptima y obtener la mejor configuración tanto, por la geografía como por el marco regulatorio.

Se realizara el análisis de los parámetros de las antenas para las frecuencias AWS MHz y así poder cargarlos a la herramienta de predicción, lo que servirá para poder distribuir de mejor manera la ubicación de las celdas. Posteriormente se realizará la configuración de parámetros como *tilts* eléctricos y mecánicos de las antenas, *clutters*, potencias de transmisión, interferencias entre las diferentes radio bases los cuáles servirán para contar con un diseño lo más optimizado y apegado a la realidad posible.

Posteriormente, se realizará la implementación del primer *cluster* con 21 eNodesB en el sector comercial donde existe mayor demanda de servicios el cual es el sector de Ñaquito en la ciudad Quito y se entregaran las guías que son ejemplos de formatos de instalación de la configuración de los diferentes protocolos de prueba e *initial tuning* (Sintonización inicial del *Cluster*) en los cuáles se procederá a modificar los parámetros físicos como la colocación de nuevas tarjetas en las BBU(*Base Band Unit*) dentro de los *Mini-Shelters*; Y configurando de manera lógica los sectores vecinos de los *eNodesB* para que se puede realizar *handovers* entre celdas, permitiendo así obtener resultados que ayudaran a optimizar el *cluster* instalado para brindar una mejor cobertura.

1.4. Objetivos.

1.4.1. General.

Diseñar la red de acceso LTE para el Distrito Metropolitano de Quito utilizando software predictivo e implementar y optimizar el primer cluster LTE en la ciudad de Quito para la CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP.

1.4.2. Específicos.

- Investigar la estructura de una red 4G y sus principales características.
- Levantar la información por sectores con la configuración adecuada del software de predicción para cada sector.
- Considerar modelos de propagación para la implementación de una red LTE en el ámbito urbano.
- Diseñar una red LTE con todos los elementos disponibles considerando aproximadamente 250 eNodesB distribuidos correctamente, para los diferentes niveles topográficos de la ciudad de Quito.
- Determinar los diferentes parámetros de cada celda así como su cobertura para su correcta implementación.
- Realizar la implementación, los drive tests y optimización de un cluster con 21 eNodesB en la ciudad de Quito.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. EPC (*Evolved Packet Core*)

La característica especial de la red de acceso evolucionada, es que tiene un elemento capaz de gestionar recursos de radio, procesos de encriptación y des encriptación de información, maneja planos de usuario y control, cabeceras de paquetes y su compresión tanto como para enlaces ascendentes como descendentes, versatilidad característica que la tiene el elemento *eNodeB*.

Los elementos más importantes del núcleo de paquetes, son los MME, SGW y PGW, que interconectados entre sí que junto con el acceso de radio proporcionan redundancia y reparto de carga.

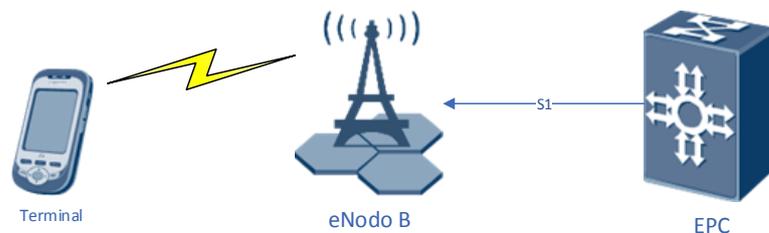


Figura 1 eNode B – EPC

Elaborada por Autores del Documento

2.1.1. MME (Mobility Management Entity).

El MME es el principal elemento de control dentro del núcleo de paquetes evolucionado, y no está involucrado con el envío de paquetes de datos.

Provee manejo de movilidad, registro de localización, así como establecimiento y liberalización de portadoras, también proporciona autenticación de usuarios, y encripta las señales entre las terminales móviles.

Realiza el control de señalización con redes 3GPP e interactúa con el HSS, donde disponen de un elemento dedicado a esta y separa las funciones de los Gateways.

La interface con la que se interconecta con el núcleo es la S1 que contiene un plano de control y un plano de usuario propiamente S1-mme, S1-u.

Las funciones que incluye el MME son:

- Señalización NAS.
- Procedimientos de alcance del terminal de usuario.
- Intercepción del tráfico de señalización.
- Autenticación.
- Autorización.
- Roaming.
- Funciones de manejo de Portadora incluyendo asignación de portadora.
- Transferencia de mensajes de advertencia.
- Selección de SGSN para *handovers* a 2G o 3G 3GPP.
- Selección de MME cuando hay *handovers*.
- Selección de P-GW y S-GW.
- Mapeo de la ubicación de la terminal, huso horario, señalización del UE y cambio de Huso horario asociado con movilidad.

- Señalización para movilidad entre redes de acceso 3GPP.
- Incluir control y ejecución de retransmisión de paginado.

2.1.2. S-GW (Serving Gateway).

Recoloca de datos recibidos por los *eNodeB* al PGW y funciona como punto de anclaje para cuando existe *handover* entre acceso LTE y 3G.

Adicionalmente si recibe un paquete desde el PGW a un terminal que no tiene establecido portadora, dispone al MME establecer portadoras. Mediante la interface S4 envía tráfico de usuario para la movilidad entre LTE y otra tecnología que sea 3GPP.

Las funciones que incluye el S-GW son:

- El anclaje local de movilidad para inter *eNodeB handover*
- Intercepción Legal
- Ruteo y envío de paquetes
- Asistir el reordenamiento en eNodeB
- Anclaje de movilidad para movilidad inter 3GPP
- Nivel de paquetes de transporte marcando el *uplink* y *downlink*, basado en el QCI y la portadora asociado.
- Contabilización para la tarificación interpretadora, la S-GW genera datos de contabilización de datos por UE y portadora.

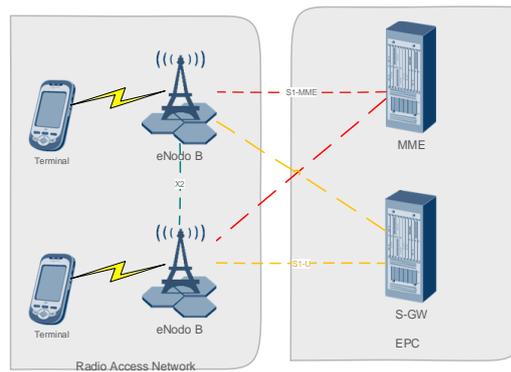


Figura 2 Arquitectura de la red de acceso
Elaborada por Autores del Documento

2.1.3. P-GW (Packet Data Network Gateway).

Realiza la transferencia de políticas de calidad y tarificación al tráfico de usuario, reubica direcciones IP a los terminales de usuario.

A través de la interface S7 realiza la transferencia de políticas de calidad, tarificación y servicio que se aplican al tráfico entre PCRF y el PGW. Facilita la movilidad entre redes tecnológicamente heterogéneas (3GPP, UMTS, HSPA) a otras redes no alienadas con el 3GPP.

Las funciones que incluye el P-GW son:

- Asignación del IP al UE
- Filtrado de paquetes por usuario
- Servicio de tarificación UL and DL
- Detección de paquetes
- Funciones de DHCPv4 y DHCPv6
- Vinculación de portadora para UL y DL

- Reforzamiento de la tasa de transmisión del DL a través de la acumulación de MBRs(*Maximum Bit Rate*) de los SDFs(*Service Data Flow*) agregados.
- Contabilización para la tarificación inter-operadora

2.1.3.1. PCEF (*Policy and Charging Enforcement Function*).

Es el elemento funcional que acompaña la política de refuerzo y las funcionalidades, la entidad de funcionalidad está localizada en el PGW. Provee el control sobre el plano de control de usuario, controlando tanto la Gateway y el QoS, y provee detección del servicio de flujo de datos así como las interacciones offline y online.

Para el servicio de flujo de datos que está bajo el control del PCEF, permite que pase a través del gateway solo si corresponde a un PCC activo, para tarificación online el OCS autoriza el crédito aplicable con la clave correspondiente de tarificación.

Si el PCRF lo pide, el PCEF debe reportar al PCRF cuando un status de un servicio cambia, este procedimiento puede ser usado para monitorear el IP CAN, que es el portador dedicado para la señalización de tráfico.

2.1.4. HSS (*Home Subscriber Server*).

Es el repositorio de datos para los datos de los usuarios permanentes en la red, además guarda la ubicación de los usuarios en el nivel de nodo de control visitado. Guarda un perfil global del suscriptor, que contiene información acerca de los servicios que son aplicables a los diferentes usuarios.

El HSS interactúa con el MME en toda la red, por lo que el MME reporta a cuales terminales de usuarios está sirviendo, y si el terminal de usuario se conecta con otro MME el HSS cancela la anterior ubicación.

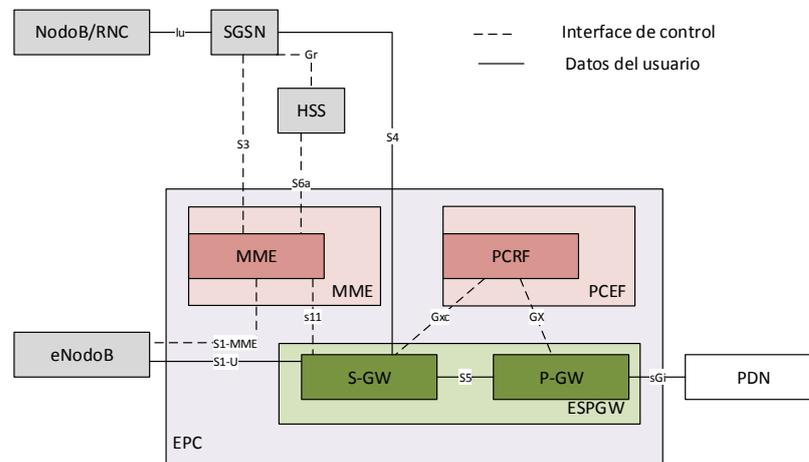


Figura 3 Arquitectura de la red EPC
Elaborada por Autores del Documento

2.1.5. PCRF (Policy Control and Charging Rules Function).

Es un elemento funcional envuelve tanto el control de políticas de decisión y el control de funcionalidades de tarificación, el PCRF provee control en la red con respecto al servicio de detección de flujo de datos, QoS y fluido de tarificación hacia el PCEF.

PCRF recibe información relacionada a sesiones y media de la función de aplicación (AF), e informa al AF sobre eventos de tráfico. El PCRF proverera reglas de PCC al PCEF por la interface Gx.

Las decisiones de PCRF PCC son basadas en las siguientes opciones:

- Información obtenida de la AF via la interface Rx, sesión, media e información de suscriptor.

- Información obtenida desde el PCEF via la interface Gx, Atributos de portadoras, tipos de requerimientos, e información relacionada al suscriptor.
- Información obtenida del SPR via la interface SP, datos relacionados al suscriptor y servicio
- Información propia del PCRF configurada previamente

El PCRF permite al terminal de usuario (UE) pedir servicios de QoS, el PCRF agregara esta información del tráfico a la regla correspondiente de PCC.

2.1.5.1. PCC(*Policy Control and Charging*)

Los propósitos de las reglas PCC son:

- Detectar un paquete que pertenece al servicio de datos
- Identificar el servicio de flujo de datos al que contribuye
- Proveer parámetros aplicables de tarificación al flujo de servicios de datos
- Proveer las políticas de control para el flujo de datos

El PCEF seleccionara una regla PCC para cada paquete recibido, evaluando los paquetes recibidos con el flujo de servicios de datos de las reglas PCC. Cuando un paquete coincide con un filtro de flujo de datos, el proceso de comparación para el paquete es completado, y la regla PCC debe ser aplicada.

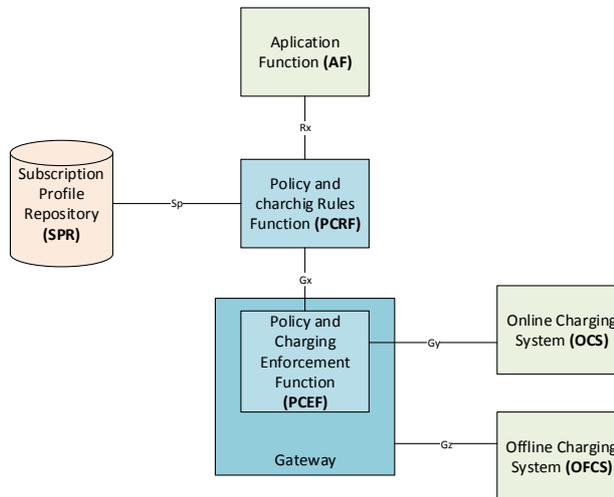


Figura 4 Arquitectura del PCC
Elaborada por Autores del Documento

Hay dos tipos diferentes de PCC:

- Reglas Dinámicas.- Son provisionadas dinámicamente por el PCRF y el PCEF vía la interface GX, estas reglas pueden ser instaladas, modificadas o removidas cualquier momento.
- Reglas Predefinidas.- son reglas pre configuradas en el PCEF, estas reglas pueden ser activadas o desactivadas por el PCRF cualquier momento. Las reglas predefinidas pueden ser agrupadas permitiendo al PCRF activarlas dinámicamente vía la interface Gx.
-

Las reglas PCC:

Tabla 1 Reglas PCC

Nombre de la regla	Debe ser usada para definir una regla PCC de comunicación entre PCEF y el PCRF
Identificador del servicio	Debe ser usado para seleccionar el servicio o componente del servicio del flujo de datos
Servicio de flujo de datos	Debe ser usado para seleccionar el tráfico para el cual cada regla aplica
Procedencia	De donde proviene el trafico
Status de Gate	Indica si el flujo de tráfico detectado por el filtro de flujo de datos, debe pasar o ser descartado tanto en el uplink como downlink
Parámetros de QoS	Incluye QCI que significa que autoriza la clase de servicio QoS para el flujo de datos, también ARP y bitrates autorizados para downlink y uplink
Clave de tarificación	Define las interfaces de online y offline que son usadas, en qué nivel de PCEF debe reportar el uso relacionado a la regla.
Otros Parámetros de tarificación	
Clave de monitorización	Identifica y monitorea la instancia de control y debe ser usada para el control de monitorización, controlado y predefinido por la regla PCC

2.2 RAN (*Radio Access Network*)

Debido al incremento de las funcionalidades los UE, y para favorecer una buena calidad de la red, hay una necesidad creciente de que la tecnología de acceso de radio sea más efectiva usando recursos de frecuencia limitados y una variedad de aplicaciones para redes móviles, incrementar la velocidad de transferencia de datos y proveer una baja latencia en las comunicaciones de radio, LTE se encarga de satisfacer todas esas necesidades.

LTE usa OFDMA como método de acceso de radio para el DL, también habilitando la comunicación multitrayecto, modificando el número de subportadoras por lo que posibilita adaptar una variedad de diferentes anchos de banda de acuerdo a lo asignado por la operadora móvil. Además con la tecnología MIMO permiten implementar comunicaciones de altas tasas de transmisión.

Para el UL es utilizada SC-FDMA, uno de los beneficios de usar esta tecnología es la habilidad de reducir la potencia pico, por lo que ayuda al ahorro de energía en el UE, y reducir los costos asociados con los amplificadores de potencia y transmisores. También es posible aplicar programación independiente del canal en el dominio de la frecuencia, y ya que las señales son ortogonales entre usuarios de una misma celda, puede ser usado TPC (*fractional transmission power control*) para modificar la potencia de transmisión en las celdas vecinas y en los bordes de las celdas, esta técnica de control de interferencia hace posible que se obtengan altas tasas de transmisión.

La modulación para LTE tiene tres esquemas de modulación QPSK, 16QAM, y 64QAM, en adición, la tecnología de la modulación y codificación adaptativa es usada (AMC), que proporciona un cambio rápido entre las diferentes tipos de esquemas de modulación, de acuerdo a la calidad de comunicación entre el *eNodeB* y el UE

MIMO es un sistema o arreglo de antenas tanto para recepción o transmisión, los *eNodeB* utilizan una configuración 2x2 MIMO para en DL obtener un *throughput* de transmisión de hasta 100Mbps por UE en la banda de 20MHz combinando tecnología de modulación

2.2.1 ENODEB.

El eNodeB es compuesta de una unidad de banda base (BBU) y hasta tres cabezas de radio remotas (RRUs) que pueden ser conectadas, Para conectar cada BBU y RRU, una interface óptica que obedece las normas de interface de radio CPRI es usada, un ejemplo de las especificaciones el eNodeB son mostradas en la tabla 2.

Tabla 2 Especificaciones del eNodeB

Ítem	Especificaciones
Banda de radio frecuencia	Banda 4, Banda 9, Banda 17
Ancho de Banda	5,10,15,20 MHz
Esquema de Acceso	DL: OFDMA UL:SC-FDMA
Tecnología de la antena	DL:2x2 MIMO UL:1x2 SIMO
No de Sectores	6 sectores máximo
Máxima potencia transmisión	60W
Máxima tasa de transmisión por sector	DL: 150Mbps 50Mbps
Interface S1/X2	1000Baset-Sx, 1000Base-T
ambiente móvil	Hasta 350 km/h

2.2.1.1 BBU

Es responsable por el procesamiento de señales de la banda base digital, usa la terminación S1 para conectarse con la EPC, la terminación X2 para conectarse con un *eNodeB* vecino, aparte del procesamiento y monitoreo de llamada, los paquetes IP que vienen desde el EPC son modulados a señales de banda base y transmitidos al RRU, las señales de banda base recibidos del RRU son demoduladas en paquetes IP y son transmitidos al EPC.

2.2.1.1 RRU

Transmite y recibe las señales inalámbricas, procesa las señales de banda base del BBU que han sido procesadas en una señal específica del protocolo y las amplifica y transmite al UE. Las señales RF recibidas del UE son amplificadas y convertidas al BBU

2.2.1.2 Arquitectura

Para reducir el tamaño, peso y potencia consumida, el *eNodeB* es diseñado para integrar múltiples tarjetas que son incluidas para lograr una arquitectura simple. Como resultado el número de componentes e interfaces entre tarjetas han sido reducidos.

Las partes funcionales del *eNodeB* son las siguientes:

- CNT .- Es la tarjeta de control que desempeña el procesamiento IP, el control de procesamiento de las llamadas, operaciones de administración y mantenimiento OAM, procesamiento S1/X2, procesamiento NAT, control de banda, y colección de datos de información fallido, esto es realizado por CPU de alto procesamiento y FPGA.
- El software instalado en el APL cumple las especificaciones de los estándares y es responsable del control de las llamadas, incluyendo el bloqueo de las celdas y la detección de las llamadas
- BB.- Realiza el proceso de control para cada capa del RCL, PDCP, MAC y PHU.EL BB es la parte funcional responsable por la banda base digital incluyendo el procesamiento MIMO, modulación multinivel, procesamiento OFDMA, procesamiento SC-FDMA, procesamiento AMC, procesamiento H-ARQ, control de la potencia e interferencia inter celdas, esta parte es realizada por un procesador de señales DSP y un FPGA.
- TRX.- Es la parte funcional que se encarga del procesamiento de la señal inalámbrica incluyendo, distorsión, y compensación, conversión D-A, esto es realizado por un CPU y un FPGA.
- AMP.- La parte funcional que amplifica las señales inalámbricas para su transmisión

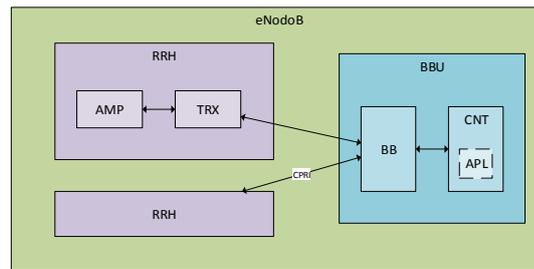


Figura 5 Arquitectura del hardware del eNodeB
Elaborada por Autores del Documento

Prestaciones de los eNodeB

Las mayores prestaciones de los eNodeB son las siguientes:

- Pequeños, livianos y bajo consumo de potencia.- utilizan amplificadores con tecnología de compensación e distorsión, reducción de tamaño de los componentes, lo que ha provocado que sean más livianos y su consumo sea menor
- Instalación flexible.- tanto los BBU como los RRU son desarrollados para exteriores, pueden ser instalados en lugares fáciles, y de manera separada
- Configuración de los equipos flexible.- Los equipos pueden ser configurados de manera que lo requiera el sistema, el número de sectores, ancho de banda etc.
- Mantenimiento fácil.- Pueden ser actualizados de manera remota, tienen sistemas autónomos de diagnóstico y mantenimiento, cuando un equipo falla, el tiempo que esta sin servicio puede ser disminuido, quitando algún servicio para que siga operando
- Medidas ambientales.- Reduciendo el consumo de energía.

- ICIC Coordinador de interferencia inter celdas.- una característica que los eNodeB vecinos asignan automáticamente recursos inalámbricos y diferentes frecuencias, de esta manera la interferencia de las señales de radio puede ser evitados, eso mejora el throughput de los terminales ubicados en los bordes de las celdas
- Monitorización de consumo y temperatura.- es una característica que se puede visualizar centralmente el consumo de energía y las emisiones CO2 de la red.
- Prendido y Apagado Remoto.- Cada eNodeB tiene la capacidad de apagar el equipo remotamente, dependiendo de las condiciones del tráfico de datos, esto reduce el consumo eléctrico durante las noches cuando el tráfico de datos disminuye

2.2.4 ANTENAS PARA LTE

Ya que la capacidad de LTE es mucho mayor a otras tecnologías requiere de igual manera una tecnología capaz de soportar altas tasas de transmisión como lo son las antenas con técnicas MIMO.

Las siglas en ingles MIMO, significan múltiples entradas, múltiples salidas, lo que quiere decir que se puede usar más de una antena tanto para transmitir como para recibir señales en una misma frecuencia. MIMO ya se ha venido utilizando en redes WLAN, es relativamente nuevo para tecnologías celulares, pero es una característica standard para redes LTE.

Debido a la naturaleza de las transmisiones, donde las señales van a llegar a su destino a diferentes tiempos y con diferentes niveles, se debe diseñar la red correctamente para condiciones en donde puedan existir muchos obstáculos, siendo primordial optimizar para obtener el mejor rendimiento en un ambiente establecido así como lo es en la ciudad de Quito.

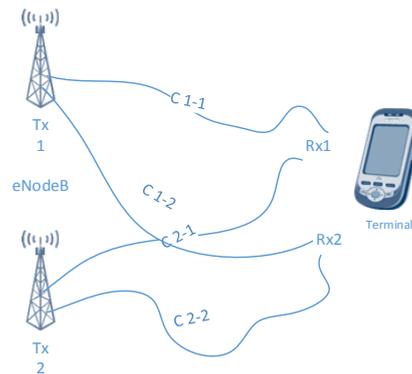


Figura 6 Múltiples caminos de un eNodeB hacia un UE
Elaborada por Autores del Documento

Arreglos de múltiples antenas pueden compensar cuando existe pérdidas de SNR debido a las condiciones multitrayecto que tienen diferentes características, combinando técnicas MIMO se puede obtener las pedazos de cada señal obtenida, lo cual mejora los niveles de ganancia SNR, lo que junto con esquemas de transmisión como 16QAM, 64QAM se pueda aumentar el *throughput* de la transmisión.

Para incrementar el *throughput* LTE utiliza una técnica MIMO llamada Multiplexado espacial, donde cada Tx envía diferentes datos a múltiples Rx, estos datos son reconstruidos por el UE, se podría decir que existiría interferencia en vez de mayor *throughput*, pero lo que hace el multiplexado espacial, es reusar el espectro donde las señales son transmitidas, en diferentes celdas. Para reusar el espectro las celdas deben estar separadas a una distancia justa para evitar interferencias, lo que hace el multiplexado espacial, es que las señales en vez de ocupar una celda distinta,

ocupa en diferente espacio-tiempo la misma celda. Con buenas condiciones de multitrayecto se crea la ortogonalidad entre las señales, que convierten a una celda en múltiples microceldas de acuerdo a la cantidad de datos en una banda de frecuencia.

Para obtener todos los beneficios de LTE es necesario tener el efecto multiplicativo de la tecnología MIMO, con configuraciones 2x2 (2 Tx y 2 Rx) el *throughput* para usuarios como para la celda se podría doblar. Sin embargo para lograr dichos resultados se debe tomar en cuenta diferentes factores como la correcta configuración del **eNodeB**, los factores de dispersión, y la capacidad de aprovechar los multitrayectorias del UE.

2.2.4.1 Modos de transmisión *downlink* LTE MIMO

Debido a que las condiciones de las redes son variables y las capacidades de los UE pueden ser tan diferente, los sistemas mimo deben ser muy flexibles para poder maximizar las ganancias de *throughput*. Los *eNodeB* pueden ser configurados en termino de cómo se adapta la transmisión en tiempo real, por eso es importante comprender los modos de transmisión disponibles en LTE.

Tabla 3 Modos de transmisión Downlink para LTE Release 8

Modo de transmision	Esquema de transmision Downlink
Mode 1	Single Antena Port (SISO or SIMO)
Mode 2	Transmit Diversity
Mode 3	Open-Loop Spatial Multiplexing
Mode 4	Closed-Loop Spatial Multiplexing
	Continua →
Mode 5	Multi-User MiMO
Mode 6	Closed-Loop Rank-1 Spatial Multiplexing
Mode 7	Single Antena Port Beamforming
Mode 8	Dual-Layer Beamforming

Los modos 1 y 7 se presentan técnicas no-MIMO, por lo que no son relevantes para las técnicas LTE MIMO pero que dan la opción de que las redes LTE puedan desplegar dichas técnicas.

Los modos 5 y 8 son técnicas de antenas de anteriores versiones, pero que son planeadas para que LTE-*advanced* sean más robustas por lo que no son importantes para el estudio.

Los modos 2, 3,4 y 6 son el núcleo de las operaciones MIMO de LTE, en el cual más de una antena se comunica con más de una antena en un UE. La Selección del SU-MIMO depende de factores de movilidad, SNR, y correlación de canal.

2.2.4.2 SU-MIMO Y MU-MIMO

SU-MIMO usa múltiples antenas Tx para enviar datos a múltiples antenas dentro del mismo UE, dependiendo de las condiciones reportadas del canal, y la capacidad del UE de enviar dicha información rápidamente, de acuerdo a eso el *eNodeB* selecciona el modo de Tx.

En multiplexado espacial Rank, se refiere el número de flujo de datos transmitidos sobre la misma frecuencia. *Transmit diversity* y *Closed Loop Rank 1*, usan múltiples antenas para mejorar el SNR en el UR, mientras que *Closed* y *Open Loop Spatial Multiplexing* son capaces de transmitir en múltiples capas, las transmisiones en múltiples capas incrementan grandemente la capacidad en una canal con un SNR mucho más alto.

MU-MIMO separa los flujos de datos que son enviados a UE que están separados espacialmente dentro del mismo subcanal, esto incrementa la capacidad general del

sistema pero no incrementa el *throughput* para cada UE. Como SU-MIMO, MU-MIMO es dependiente de las características de dispersión de cada UE para decodificar el flujo de datos para cada UE. Por lo tanto para optimizar el MU-MIMO, mediciones de la ortogonalidad de la señal as como SNR de flujo de datos individuales son cruciales para optimizar.

Debido a que en LTE-*release* 8, MU-MIMO tiene un desempeño inferior a SU-MIMO, no ha sido desplegado, siendo el objetivo de las operadoras maximizar el *throughput* por lo que SU-MIMO ha sido escogido para el despliegue.

2.4.3 Mejor Configuración de las Antenas en la Radio base

La configuración más óptima de la configuración de antenas, depende del tipo de configuración MIMO antes ya explicado, y dependiendo del escenario en el que se vaya a instalar la celda.

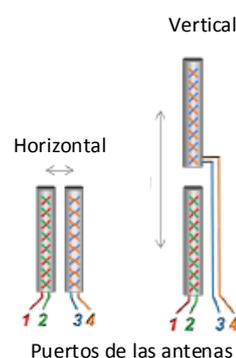


Figura 7 Configuración de las antenas

2.4.3.1 Características de las antenas

La correlación que existe entre los puertos de las antenas impacta en el desempeño del MIMO. Una baja correlación requiere un buen grado de discriminación por polarización cruzada.

La correlación entre los puertos de la misma polarización está influenciada bajo los mecanismos de propagación, la dispersión multitrayecto, y el ángulo de extensión. El ángulo de extensión visto desde un par de antenas, depende del espacio y del plano en el que están espaciados, siendo horizontal en el plano del azimut y vertical en el plano de elevación.

La correlación depende del espaciado de las antenas y el ángulo de extensión, dando las siguientes relaciones

- Angulo de relación mayor es igual a menor correlación.
- Espacio entre antenas mayores es igual a menor correlación.
- La extensión en el plano de elevación es menor en el azimut, por eso las configuraciones verticales requieren de mayor espaciamiento para obtener decoración.

$$s = \lambda / 2\theta_M$$

Ecuación 1 Espaciamiento requerido para baja correlación

Donde:

S= espaciamiento

λ = longitud de onda en metros

θ_M =ángulo de extensión

Tabla 4 Aplicación de los modos de transmisión

Modo de transmisión	Descripción	Aplicación
Mode 1	Single Antena Port (SISO or SIMO)	Controla algunos canales
Mode 2	Transmit Diversity	El modo mas robusto, bajo SINR, altas velocidades en UE, controla canales
Mode 3	Open-Loop Spatial Multiplexing	alto SINR, altas velocidades en UE
Mode 4	Closed-Loop Spatial Multiplexing	Alto Sinr, bajas velocidades UE Cont

Mode 5	Multi-User MiMO	MU-MIMO basico para release 8, no es usado
Mode 6	Closed-Loop Rank-1 Spatial Multiplexing	Bajo SINR, baja velocidad UE
Mode 7	Single Antena Port Beamforming	no es usado
Mode 8	Dual-Layer Beamforming	base para release 10

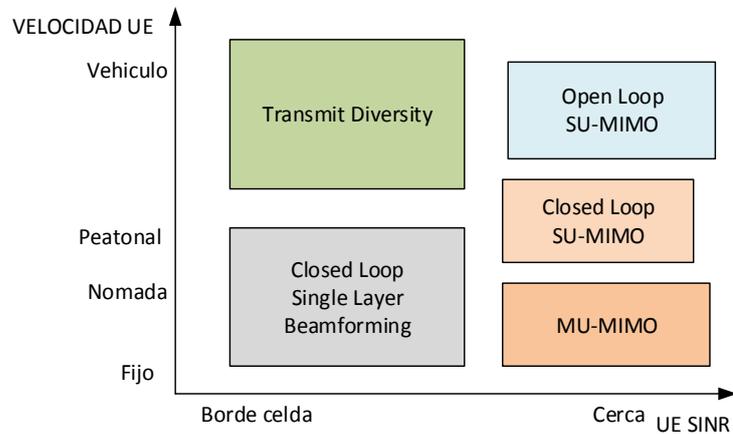


Figura 8 Modos Mimo en LTE en base a la velocidad del UE y el SINR
Elaborado por Autores del Documento

2.3 IP-RAN

Al introducir LTE, se deben tomar en cuenta varias implicaciones que se deben tomar en cuenta en la red de transporte, las cuales serán detalladas a continuación

2.3.1 Implicaciones en la Red de Transporte

2.3.1.1 Mayor Capacidad a menor costo y Transporte de Multiservicio

Debido a que el proveedor debe soportar aplicaciones de datos, que pueden consumir gran ancho de banda por larga duración, la red de transporte necesita ser eficiente en costos y tener alternativas de alta capacidad de *backhaul*.

La tendencia hacia Ethernet de *backhaul* es debido a que esta tecnología se desempeña mejor con información ya empaquetada, y su alta escalabilidad, que pueden proveer un gran ancho de banda para soportar la infraestructura LTE, la carga debe ser determinada por los siguientes factores:

- Eficiencia espectral
- Cantidad de espectro
- Numero de sectores usados
- Velocidad de los UE
- Número de suscriptores

A medida que se vaya introduciendo gradualmente LTE, la red de *backhaul* tiene que ser compatible con servicios existentes de 2G/3G, lo que significa que la red *backhaul* necesita soportar la combinación, de TDM, ATM y trafico Ethernet/IP, mientras controla parámetros de QoS, para que soporte las interfaces deberán soportar el uso de servicios CES (*circuit emulated services*), y mecanismos de sincronización avanzados que soporten los tiempos requeridos para los *handoffs* en las estaciones base.

2.3.1.2 Baja Latencia y Calidad de Servicio

Para poder otorgar calidad de servicio para servicios en tiempo real, como por ejemplo aplicaciones de VoIP, se necesita un manejo determinístico de la calidad de servicio para los diferentes paquetes de tráfico que provee un tratamiento diferente para los diferentes flujo de datos, asignando prioridades por ejemplo, y que también permite mecanismos de sincronización para converger rápidamente a través de la RAN.

Mejorando la calidad de servicio, se puede pasar de un QoS de servicio mejorado, que permita personalizar la experiencia de usuario, esta versión mejorada, toma en cuenta perfiles, uso, ubicación, tipo de UE, tiempo, fecha, recursos de la red y demás parámetros, haciendo así que el uso de la red sea óptimo.

2.3.1.3. Convergencia de backhaul/backbone

Ya que las funciones de movilidad con LTE son manejados por los MME, la red de transporte debe habilitar la conectividad entre los *eNodeBs* y MMEs y S/PGWs al menor costo por bit. Es ventajoso utilizar la misma tecnología en la red de transporte para ganar sinergia y reducir los costos de operaciones comunes, administración y mantenimiento.

2.3.1.4. Incrementar conectividad y compartición de carga

LTE introduce nuevas opciones en la red a través de la interconexión entre radio bases a través de la interfaz X2, entre los nodos adyacentes, esto es beneficioso para la red ya que el tráfico no fluye a través de un *hub* principal

La solución ideal de transporte sería en capa 2 o capa 3 a través de VPNs, proveyendo conexión punto a punto de manera directa, esto puede ser implementado en cualquier tecnología, ya sea para proveer punto a punto, o punto multipunto.

VPN en capa 2 provee una conectividad transparente entre el *eNodeB* y el S/PGW, con el procesamiento IP hecho en los nodos en los bordes. En VPN en capa 3, MPLS es usado para el servicio de transporte, los routers de servicio IP/MPLS proveen una arquitectura de malla que permite a las celdas comunicarse entre sí, lo que permite una mejora significativa en el desempeño de la red

Otra opción que permite LTE es la capacidad de incorporar una arquitectura flexible, la interface S1 permite compartir la carga y el tráfico a través de los aGWs y MME, aquí el uso de VPLS o IP VPNs puede proveer simplificación de operaciones y reducción de costos, especialmente si la UTRAN continua creciendo, La red de

backhaul móvil debe obtener ventaja del balanceo de carga para optimizar los recursos de transporte lo máximo posible

2.3.1.5. Reconfigurabilidad y agilidad de la red

El uso de WDM dentro de las redes de transporte metropolitanas, puede proveer un servicio más rápido, simplificar operaciones, y mejorar el desempeño, proveyendo un mejor costo de uso. Siendo que WDM sea fácilmente configurable de acuerdo a las demandas de tráfico.

La capa óptica debe tener mecanismos de rastreo de longitud de onda, para poder monitorear y rastrear paquetes, y así poder reducir los costos operacionales, un rastreador de longitud de onda agrega funcionalidad a través de longitudes de onda protegidas.

2.3.1.6 Sincronización precisa de reloj y seguridad

En la migración hacia redes IP/Ethernet que no transportan la referencia del reloj transparentemente requieren la implementación de un QoS estricto, para mantener el *delay* y el *jitter* dentro de las recomendaciones ITU y para asegurar la recuperación de la referencia del reloj.

Con procesos de capa física así como NTR (*network timing recovery*), SyncE (*Synchronous Ethernet*). El reloj es extraído de un flujo de datos sincrónico, esto ha sido demostrado como una manera efectiva de mantener la sincronización de la frecuencia y soporta las estaciones base LTE. Una manera efectiva de mantener la sincronización del reloj puede ser implementada usando varias técnicas de la capa física correspondientes a las diferentes tecnologías de *backhaul*.

Con LTE el encriptamiento de las señales es desempeñado por el *eNodeB*, sin embargo algunas estaciones base y cabinas no pueden ser implementadas en lugares seguros, las femto celdas también se convierten en parte de la red LTE. Para LTE IPSec *tunneling* entre el *eNodeB* y el SGW puede ser usado para proteger los datos y proveer QoS, Adicionalmente el uso de 802.1x, que actúa como un guardan al negar el ingreso a la red hasta la autenticación no sea exitosa.

2.3.2. Backbone

Actualmente el Backbone de CNT EP es una red IP/MPLS conformada por equipos Cisco. El IP-RAN está compuesto *Cell Site Router* que agregan el tráfico 3G/4G hacia el Backbone. Los Router que agregan hasta 5 celdas en cada anillo. Y equipos que enrutan el tráfico entre el IP-RAN y los PEs del sobre enlaces de 10GE.

Para la interconexión entre el Backhaul móvil y el Backbone se levantará una sesión MP-BGP. BGP *fast reroute* es una característica que combina técnicas de direccionamiento indirecto en el plano de reenvío y pre cálculo de caminos de respaldo BGP en el plano de control para soportar re-enrutamiento rápido de tráfico BGP en torno a *next-hops* inalcanzables o fallidos.

Los routers necesitan recibir varias rutas BGP de los Cisco para que pueda calcular un camino de respaldo, adicionalmente el protocolo BFD debe ser habilitado entre los Agregadores y los Cisco para acelerar la detección de una falla, cuando una falla ocurre el tráfico es conmutado al camino de respaldo y el tiempo de convergencia es independiente del número de prefijos afectados.

Para lograr un balanceo de carga en la red se debe usar BGP FRR con *Multipath/ECMP* con estos protocolos el router tendrá múltiples caminos primarios de igual costo, lo que significa que existirán mejores caminos calculados por el BGP.

2.3.3. Backhaul Movil.

2.3.3.1. Sistema Intermedio a Sistema Intermedio (IS-IS).

Es usado IS-IS como protocolo IGP principalmente por su escalabilidad y confiabilidad, además de su soporte nativo de IPv6, lo que a futuro podría permitir que la versión 6 de IP pueda correr en el plano de control de la red. Dado que este proyecto está en su fase inicial todos los routers de la red estarán en la misma área y serán nivel 2 (L2), con esto se podría llegar a tener hasta 1000 routers en una sola área, luego de alcanzar esta cifra nuevas áreas L1 se podrían ir incorporando con lo que el Backhaul de CNT EP podrá manejar una gran cantidad de equipos dentro de un mismo Sistema Autónomo (AS).

A continuación las principales características de IS-IS:

- Protocolo de estado de enlace
- Altamente escalable (hasta 1000 routers por área)
- Las aéreas son conectadas a través de routers L2.
- Autenticación: Por defecto la autenticación esta deshabilitada, pero soporta los métodos de
 - autenticación simple y MD5.
- Métrica: IS-IS tiene un costo por defecto de 10 para todos los segmentos, sin importar la actual
- capacidad del enlace.

- Soporta VLSM y CIDR
- Redistribución de rutas
- IS-IS *extensions* para LTE

2.3.3.2. Plano de Control de MPLS.

MPLS es usado como protocolo de transporte a lo largo de todo el IP-RAN, donde RSVP-TE será el protocolo de distribución de etiquetas de transporte y T-LDP o MP-BGP para las etiquetas de servicio.

RSVP-TE es el protocolo de distribución de etiquetas debido a que expande las funciones básicas de señalización MPLS, ya que además de poder escoger caminos diferentes al calculado por el IGP, permite el uso de MPLS *Fast Reroute*, el cual forma parte de un conjunto de mecanismos de protección. La protección que brinda MPLS-TE está basada en el pre-aprovisionamiento de túneles de respaldo (o LSPs de protección), lo que permite que los tiempos de restauración sean comparables a SDH (50 ms).

2.3.3.3. Servicios.

Una variedad de servicios puede ser implementada para soportar los requerimientos de tráfico del cliente, estos se pueden clasificar en servicios de capa 2 y de capa 3, los servicios de capa 2 pueden ser punto a punto (VLL) o punto a multipunto (VPLS), mientras que los servicios de capa 3 son VPNs IP (VPRN o VRF).

Para la creación de servicios se necesitan otros protocolos que distribuyan las etiquetas internas o de servicio que irán dentro del túnel de transporte creado por

RSVP-TE. Estos protocolos son el T-LDP para servicios de capa 2 y el MP-BGP para la VPRN.

2.4. UE (*User Equipment*).

2.4.1. USIM.

La autenticación en LTE difiere de EG en los parámetros que son generados y guardados en el tiempo de la autenticación son diferentes, si estos parámetros fueran guardados en EFs(*Elementary Files*) dentro del USIM, y esos parámetros fueran usados para autenticaciones subsecuentes, la cantidad de procesamiento pudiera ser reducida. Por esta razón los archivos que sirven para guardar estos parámetros han sido especificados en las normas técnicas.

2.4.1.1. Extensión de los archivos de la USIM.

Previamente, para la autenticación 3G se crearon *EF_Location Information* (LOCI) y *EF_Packet Switched Location* (PSLOCI), usados en los dominios de CS y PS, Cada uno de estos archivos pueden ser guardados temporalmente en el TMSI, Estos archivos hacían una autenticación fácil cuando la USIM era insertada en una nueva terminal o cuando entraba a una nueva área, estos datos podían ser guardados en el RAM de la terminal.

Para la autenticación LTE se crearon unos nuevos archivos llamados *EF_Evolved Packet System Location Information* (EPSLOCI), y también el *EF_EPS non-access-Stratum Security Context* (EPSNSC) que especifica guardar una llave cifrada. Haciendo que cuando se mueva el USIM a una nueva terminal no sea necesario ejecutar el proceso de autenticación desde el principio, lo que provoca que disminuya

el tiempo de autenticación, o el tiempo que se demora en engancharse a la red, y mejorar la experiencia de usuario y reduciendo el tráfico de la red

2.4.1.2. Estructura de datos.

La estructura de datos de los diferentes archivos son las siguientes:

Tabla 5 Estructura del EF_EPSLOCI

Elemento	Datos Almacenados	Tamaño
GUTI	Autenticacion temporal del ID	12 bytes
Ultimo TAI de visita registrado	Ultima red visitada y area de rastreo	5 bytes
EPS update status	Attach/dettach completion Status	1 bytes

Tabla 6 Estructura del EF_EPSNSC

Elemento	Datos almacenados	tamaño
EPS contexto de seguridad NAS	K, etc	12 bytes

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA RED LTE

3.1. Descripción software de planeación.

U-NET es un software que está totalmente centrado en el desarrollo de diseño de redes inalámbricas para su optimización, trabajando con operadores móviles, proveedores de equipos y socios de todo el mundo. Empezó con su software de predicción 3G en el 2000, y está a la vanguardia en el mercado con la herramienta de planificación LTE que tuvo su lanzamiento en el 2008. Diseña la red de una manera abierta, escalable y flexible con una plataforma de optimización que permite a los operadores móviles planificar la red desde el diseño inicial hasta la densificación y la

optimización de la misma. Utilizando el método de simulación Monte Carlo, el cual “es una técnica cuantitativa que utiliza modelos matemáticos para poder simular el comportamiento de sistemas reales.” (Faulin, 2005)

U-NET 3.8 amplía aún más las características técnicas que han permitido que se convierta en el software de planificación de radio líder en el mercado para la optimización integrando single RAN(*Radio Access Network*) y múltiples RAT(*Radio Access Technology*) para el diseño y optimización de redes actuales integradas y futuras 2G/3G/4G(LTE), “esta nueva versión simplifica la planificación y optimización multi-tecnología mediante la producción combinada simulada, optimizada y modelada de redes GSM/UMTS/CDMA/LTE con sus funcionalidades” (Atoll Overview, s.f.) también incorpora una arquitectura actualizada con una nueva interfaz de usuario que ofrecen gestión de datos mejorada, puesto que utiliza parámetros y valores reales de las antenas a ser usadas como pérdidas, atenuación, etc.

Otra de las bondades de esta herramienta es que soporta datos geográficos de multi-formato y multi-resolución de alta definición en las zonas urbanas y rurales apoyados en datos reales del país de manera interactiva con múltiples capas, incluyendo la ingeniería y los gráficos de predicción. También cuenta con un editor integrado cartografía en vectores y rasters, este último “se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdillas, generalmente cuadradas. Cada una de estas celdillas recibe un único valor que se considera representativo para toda la superficie abarcada por la misma” (Alonso, 2006) el cuál se integra con herramientas líderes de SIG(Sistema De Información Geográfica) como MapInfo y ArcView. U-NET al disponer de funciones integradas de Sistemas De Información Geográfica (SIG) permite el modelamiento de

servicios, modelamiento NE, modelamientos de propagación, predicciones, obtener parámetros de planificación y análisis de resultados, permite realizar esto debido a la arquitectura del mismo, mostrada a continuación, ver Figura 9

En la Figura 9 se muestra las siguientes partes:

- **Plataforma.-** Esta parte proporciona la función de gestión de datos y las funciones básicas comunes, tales como la gestión de proyectos, SIG, Modelado NE, modelado de servicios y modelos de propagación. U-Net gestiona todas las funciones de la plataforma mediante el uso de la función de gestión de proyectos.
- **Aplicación del Sistema.-** Esta parte proporciona funciones de servicio para el sistema de red actual, incluida la planificación de los parámetros, la capacidad de simulación, predicción y análisis de resultados. La planificación parámetro afecta principalmente a la planificación de las celdas vecinas.

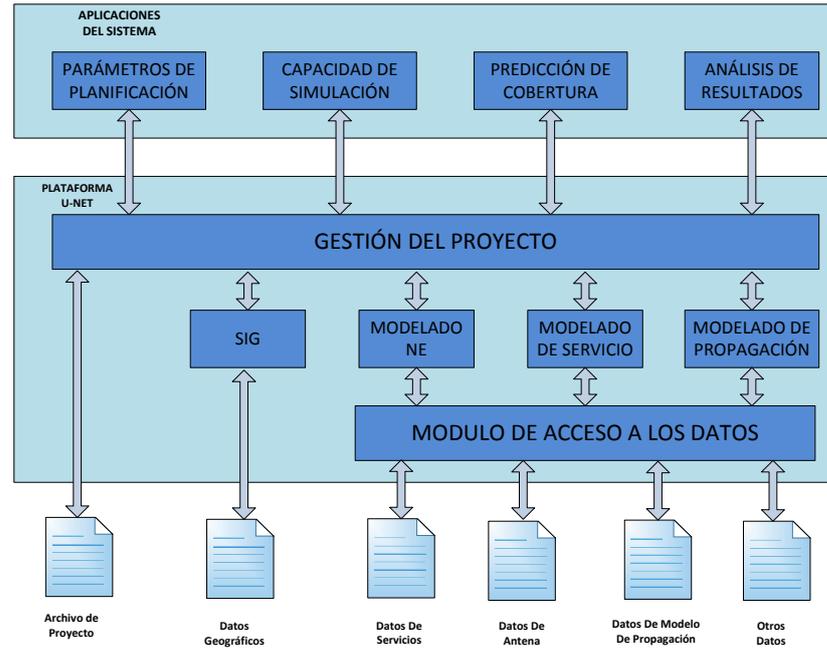


Figura 9 Estructura U-Net

3.1.1 Ventana Principal U-NET

La Figura 10 muestra el aspecto de la ventana principal.

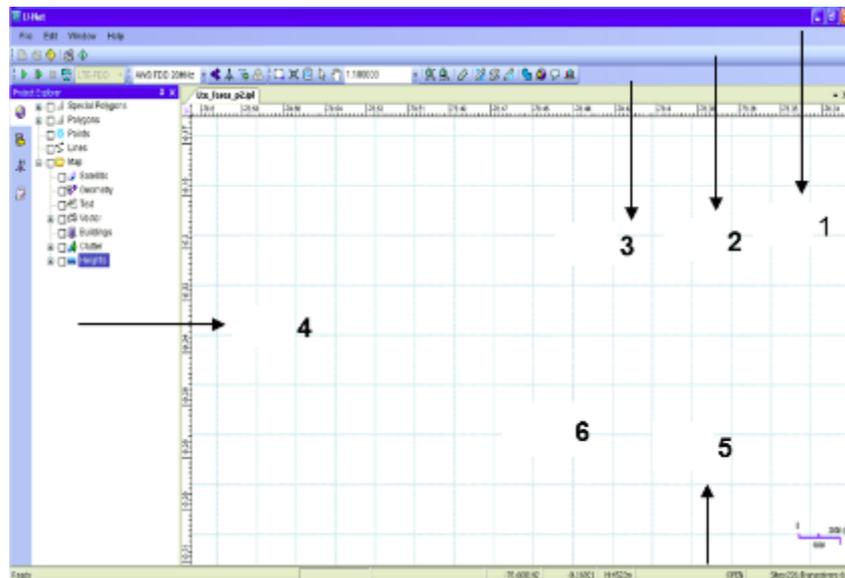


Figura 10 Ventana Principal U-NET

En esta ventana está compuesta por lo siguiente:

Tabla 7 Descripción de la ventana principal

1	Barra de menú	Proporciona el menú principal del sistema.
2	Barra de herramientas estándar	Proporciona los iconos de acceso directo para las operaciones comunes relacionadas con los proyectos.
3	Barra de tareas	Proporciona los iconos de acceso directo para las operaciones comunes relacionadas con las tareas.
4	Ventana del Explorador	Provee las entradas a las principales operaciones utilizando un árbol de navegación.
5	Ventana del mapa	Muestra el mapa.

3.1.1.1 Barra de Menús

La barra de menús de la U-Net ofrece el menú principal del sistema, el cual está organizado sobre la base de las principales funciones de la U-Net para facilitar sus operaciones. La Tabla 8 describe la barra de menú de U-Net y las funciones correspondientes.

Tabla 8 Descripción de la Barra de Menús

Barra de Menús	Descripción
Archivo	Proporciona las entradas a las operaciones relacionadas con la gestión y administración de impresión del proyecto.
Editar	Proporciona las entradas para ver el análisis de interfaces gráficas de usuario.
Ventana	Proporciona entradas a las operaciones comunes relacionadas con los mapas.
Ayuda	Proporciona entradas de Ayuda U-Net y la gestión de licencias
Guardar	Guardar el proyecto actual.
Guardar	Guardar el proyecto actual como otro.
Configuración de la impresión	Establecer las propiedades de impresión.
Vista preliminar	Vista previa de una tarea de impresión.
Imprimir	Iniciar la impresión.
Importar a Excel	Importa datos.
Exportar	Exportar datos.
Generar plantilla	Crear una plantilla de parámetros de ingeniería.
Archivos recientes	Ver los nombres de los proyectos que han sido abiertos recientemente.
Salida	Salir de la U-Net.

Tabla 9 Descripción del menú Archivo

Menú	Descripción
Nuevo	Crear un proyecto.
Abrir	Abrir un proyecto existente.
Cerrar	Cerrar un proyecto.

Tabla 10 Descripción del Menú de Edición

Menú	Descripción
Deshacer	Deshacer una operación.
Uso de recursos	Ver el uso de recursos.
Mostrar Cuadrícula	Mostrar las líneas de cuadrícula.
Buscar	Buscar NEs.

Tabla 11 Descripción del Menú Ventana

Menú	Descripción
Información del proyecto	Mostrar u ocultar la ventana del explorador.
Barra de herramientas estándar	Mostrar u ocultar la barra de herramientas estándar.
Barra de estado	Muestra u oculta la barra de estado.
Leyenda	Mostrar u ocultar la ventana de leyenda.
Curvas de simulación	Mostrar u ocultar la ventana de proceso de la simulación actual.
Herramienta de Análisis de Puntos	Mostrar u ocultar la ventana de análisis de punto.

3.1.1.2. Barra de herramientas estándar.

Puede hacer clic en un icono en la barra de herramientas estándar para realizar la operación relacionada con el proyecto correspondiente rápidamente.



Figura 11 Descripción del Menú Ventana

La Figura 11 muestra los iconos de la barra de herramientas estándar. En la Tabla 12 se describen los iconos que se muestran en dicha figura.

Tabla 12 Descripción de la barra de Herramientas Estándar

Icono	Descripción
	Crear un proyecto.
	Abrir un proyecto.

	Guardar un proyecto.
	Lleve a cabo una tarea de impresión.
	Ver la información del software U-Net.

3.1.1.3 Barra de tareas

Puede hacer clic en un icono de la barra de tareas para realizar rápidamente las operaciones relacionadas con el mapa y el análisis del punto.



Figura 12 Barra de Tareas

La Figura 12 muestra los íconos de la barra de tareas. En la Tabla 13 se describen los íconos que se muestran en la Figura 12

Tabla 13 Descripción de la Barra de Tareas

Icono	Descripción
	Calcular pérdidas.
	Forzar el cálculo de pérdidas.
	Detiene el cálculo de las pérdidas.
	Iniciar el análisis de punto.
LTE-FDD:20 MHz ▾	Seleccionar una plantilla de la estación base.
	Crear estaciones base en lotes.
	Crear una estación base.
	Crear un repetidor.
	Mostrar hexágonos que indican la cobertura de las celdas.
	Seleccione un área rectangular.
	Centrar el mapa.
	Actualizar el mapa.
	Seleccione un elemento a la vez.
	Mover un mapa.
1:200000 ▾	Seleccionar un escalado.
	Acercar o alejar el mapa.

	Ampliar un área en específico.
	Medir la distancia.
	Dibujar un polígono.
	Dibujar una línea.
	Dibujar un punto.
	Combinar polígonos.
	Exportar un mapa al Google Earth.
	Ver resultados detallados.
	Dibujar una línea clutter de análisis.

3.1.1.4 Ventana del Explorador

La ventana del explorador se encuentra en el panel izquierdo de la ventana principal. La ventana del Explorador tiene cuatro páginas con pestañas: GEO, DATOS, REDES y OPERACIÓN.

Pestaña GEO

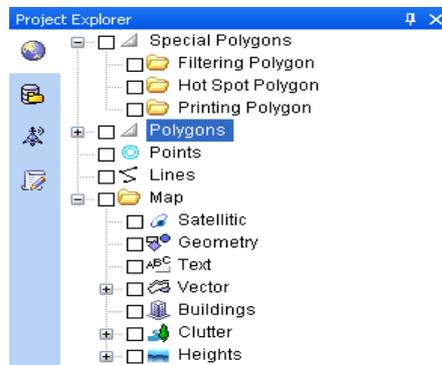


Figura 13 Pestaña GEO

A continuación en la Tabla 14 se describe la pestaña GEO.

Tabla 14 Descripción de la Pestaña GEO

Árbol de navegación	Descripción
Polígonos especiales	Tareas de operaciones relacionadas con polígonos especiales.
Polígonos	Tareas de operaciones relacionadas con polígonos.
Puntos	Tareas de operaciones relacionadas con puntos.
Líneas	Tareas de operaciones relacionadas con líneas.

Mapa

Tareas de operaciones relacionadas con mapas.

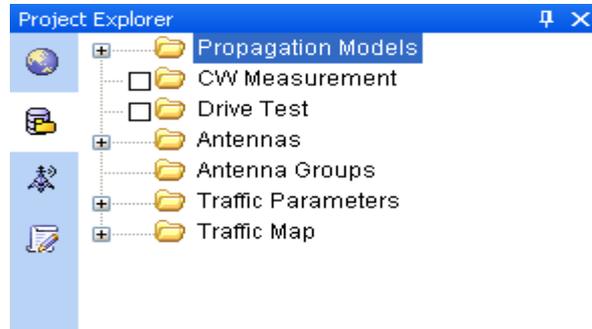
Pestaña DATA

Figura 14 Pestaña DATA

A continuación en la Tabla 15 se detalla la pestaña DATA

Tabla 15 Descripción de la Pestaña DATA

Árbol de navegación	Descripción
Modelos de propagación	Tareas de operaciones relacionadas con los modelos de propagación.
CW Medición	Tareas de operaciones relacionadas con los datos de medición de CW.
Test Drive	Tareas de operaciones relacionadas con los datos de prueba.
Antenas	Tareas de operaciones relacionadas con las antenas.
Grupos de antena	Tareas de operaciones relacionadas con los grupos de antenas.
Parámetros de tráfico	Tareas de operaciones relacionadas con los parámetros de tráfico.
Mapa de tráfico	Tareas de operaciones relacionadas con los mapas de tráfico.

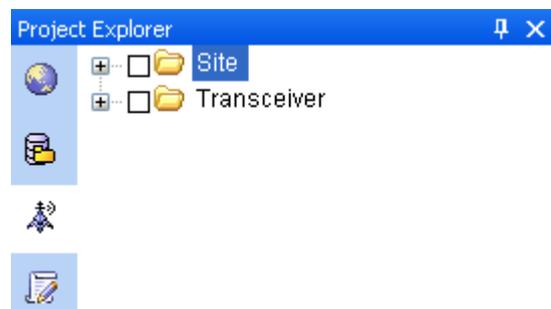
Pestaña Network

Figura 15 Pestaña Network

A continuación en la Tabla 16 se detalla la pestaña Network.

Tabla 16 Descripción Pestaña Network

Árbol de navegación	Descripción
Sitio	Tareas de operación relacionados con los sitios.
Transceptor	Tareas de operaciones relacionadas con transceptores.

Pestaña Operation

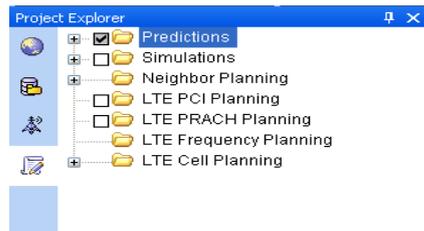


Figura 16 Pestaña Operation

Tabla 17 Descripción Pestaña Operation

Árbol de navegación	Descripción
Predicciones	Tareas de operaciones relacionadas con las predicciones.
Simulaciones	Tareas de operaciones relacionadas con la capacidad de simulación.
Planificación Vecino	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación célula vecina.
LTE PCI Planificación	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación PCI.
LTE Planificación PRACH	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación PRACH.
LTE planificación de frecuencias	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación de las frecuencias.
LTE Planificación TAC	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación TAC.
LTE Planificación de Celdas	Tareas de operaciones relacionadas con la planificación de celdas LTE.

3.2. Análisis de modelos de propagación más adecuados para el Distrito Metropolitano de Quito.

El modelo de propagación consiste en una metodología de predecir la propagación de la señal inalámbrica. Tener un modelo preciso es una precondition en el *Radio Network Planning*.

No existen un modelo general y preciso debido a lo complicado del ambiente inalámbrico y a los diferentes terrenos y morfologías, por lo tanto, se utilizan diferentes modelos de propagación para diferentes escenarios y rangos de frecuencia. Los modelos típicos de propagación incluyen: Okumura-Hata, Cost231-Hata y SPM (*Estándar Propagation Model*).

Tabla 18 Modelos de Propagación

Modelo de Propagación	Frecuencia	Tipo de Celda	Morfología	Comentarios
Okumura-Hata	150~ 1500MHz	Macro Celda 1-20km	Urbano, Suburbano, Rural. La antena está ubicada sobre los techo	Imita la curva Okumura
COST 231-Hata	1500~ 2000MHz	Macro Celda 1-20km	Urbano, Suburbano, Rural. La antena está ubicada sobre los techo	Expandir al modelo Okumura-Hata de 2GHz
SPM	150~ 2000MHz	Macro Celda	Escenarios de macro celdas outdoor	Modelo general, debe ser sintonizado por datos de campo

3.2.1 Okumura-Hata

Modelo empírico en cuál se considera las pérdidas por propagación a partir de las mediciones realizadas por Okumura, aquí se fueron estableciendo relaciones numéricas para describir el método gráfico propuesto por Okumura, es por esto que a este modelo

se lo conoce como **Okumura-Hata** o simplemente llamado Hata. En este modelo se tiene que “el valor mediano de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil”⁴, es por esto que este modelo tiene una gran acogida en trabajos de planificación de redes móviles.

Es usado para las frecuencias de 150Mhz a 1500Mhz, la altura de la antena transmisora debe estar en el rango de 30 a 200 metros y la altura de la antena receptora de 1 a 10 metros.

$$L_b = 69,55 + 26,16 \log f - 13,82 h_T - a_{h_m} + (44,9 - 6,55 \log(h_T)) \log(d) \text{ (dB)}$$

Ecuación 2 Ecuación de Okumura-Hata

Donde:

f : Frecuencia.

h_T : Altura de Tx (30 a 200m).

h_m : Altura del receptor (1 a 10 m).

d : Distancia (1 a 20 km).

El valor de $a(h_m)$ toma valores distintos de acuerdo a las áreas en las que se vaya a trabajar, y estos son:

- **Área urbana:** Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde existen una gran concentración de casas.
- a) Ciudades Pequeñas y Medianas

$$a_{h_m} = [1.1 \log(f - 0,7)h_m] - [1,56 \log(f - 0,8)]$$

- **Donde** $1 \leq h_m < 10$

b) Ciudades grandes

$$a_{h_m} = \begin{cases} 8,29(\log(1,54) h_m)^2 - 1,1 & f \leq 200 \text{ Mhz} \\ 3,2(\log(11,75) h_m)^2 - 4,9 & f \geq 400 \text{ Mhz} \end{cases}$$

- **Área suburbana:** Ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa, existen obstáculos cerca del usuario pero no provocan congestión.
- $L_b = L_b(\text{urban}) - 2 \left[\log \frac{f}{28} \right]^2 - 5,4 \text{ (dB)}$
- **Áreas rurales:** Son los espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones en el camino de la señal.

$$L_b = L_b(\text{urban}) - (4,78 \log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 \text{ (dB)}$$

Este método de cálculo proporciona resultados óptimos en ambientes urbanos y suburbanos, pero no así en áreas rurales, debido que no se toma en cuenta la ondulación del terreno ni el grado de urbanización a lo largo del trayecto.

3.2.2. Cost231-Hata.

Modelo que es extensión del Okumura-Hata con la diferencia de que se lo aplica para frecuencias de 1.5-2 GHz, es empírico y es adecuado para predicciones en micro-celdas y macro-celdas pequeñas, su ecuación es la siguiente:

$$L_{\text{urban}} = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_T + (44.9 - 6.55 \log h_m) \log d + C_M \text{ (dB)}.$$

Ecuación 3 Ecuación Cost231-Hata

Donde:

f : Frecuencias desde 1.5 GHz a 2GHz.

h_T : Altura de Tx (30 a 200m).

h_m : Altura del receptor (1 a 10 m).

d : Distancia (1 a 20 km).

$$C_M = \begin{cases} 0 \text{ dB} & \text{Para ciudades medianas y áreas suburbanas} \\ 3 \text{ dB} & \text{para áreas metropolitanas} \end{cases}$$

Este modelo y el Okumura-Hata no son usados para la planeación de RF para cantones urbanos.

3.2.3 Modelo de Propagación Estándar (SPM)

Este modelo está basado en el modelo Cost231-Hata y sus parámetros son ajustables y la también toma en cuenta la difracción. Diferentes constantes (K_1) y el factor de distancia (K_2) son soportadas en ambientes LOS/NLOS y cerca/lejos. De esta manera, el modelo se ajusta para varios escenarios.

$$L_{model} = K_1 + K_2 \log d + K_3 \log H_{Tx\text{eff}} + K_4 \times \text{Diffraction Loss} \\ + K_5 \log d \log H_{Tx\text{eff}} + K_6 H_{Rx\text{eff}} + K_{clutter} f(\text{clutter}) \text{ (dBm)}$$

Ecuación 4 Ecuación de SPM

Donde

K_1 : Constante de cambio (dB).

d : Distancia de transmisor-receptor (m).

K_2 : Factor de multiplicación para $\log(d)$.

$H_{T_{\text{eff}}}$: Altura efectiva del transmisor (m).

K_3 : Factor de multiplicación para $H_{T_{\text{eff}}}$.

Pérdidas de difracción: pérdidas debido a obstrucciones en la propagación (dB).

K_4 : Factor de multiplicación para las pérdidas de difracción. K_4 Debe ser un número positivo.

K_5 : Factor de multiplicación para $\log(H_{T_{\text{eff}}}) \times \log(d)$.

$H_{R_{\text{eff}}}$: Altura efectiva para el móvil (m).

K_6 : Factor de multiplicación para $H_{R_{\text{eff}}}$.

$f(\text{clutter})$: Pérdidas efectivas para el clutter.

K_{clutter} : Factor de multiplicación para $f(\text{clutter})$.

La precisión del modelo SPM está basada en el test de campo de dónde se obtienen los datos para sintonizar los parámetros K los que forman un modelo adecuado para un ambiente específico. Los resultados del procedimiento de *model tuning* para la red UMTS/HSPA+ de CNT en la banda de 1900MHz, fueron los siguientes:

Tabla 19 Análisis Clutters

Name	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Downtown	20.23	44.9	5.83	1	-6.55	0
Dense Urban	18.79	44.9	5.83	1	-6.55	0
Urban	17.75	44.9	5.83	1	-6.55	0
Suburban	7.51	44.9	5.83	1	-6.55	0

Al conocer ya cómo se comporta la red UMTS/HSPA+ de CNT basado en este estudio se eligió este como modelo de propagación ya que los resultados obtenidos para esa red cumplen con los objetivos que se propone CNT EP. Conforme lo solicitado por

CNT requiere que para la banda de AWS, se utilice el mismo modelo de propagación que el actualmente utilizado en la red UMTS/HSPA+. El modelo de propagación fue calibrado en el año 2011 para ser utilizado con el modelo de propagación SPM (*Standard Propagation Model*) disponible en la herramienta de Huawei Genex U-Net.

3.3 Análisis Clutters

Los datos del *clutter* se combinan con el modelo de elevación digital (DEM), los cuales se usan para aplicaciones como localizador inalámbrico, microondas, servicios de comunicaciones personales y para planificar una red inalámbrica. Estos tienen características artificiales y naturales que pueden afectar la propagación de radiofrecuencia por la reflexión, difracción, absorción o dispersión de las ondas de transmisión.

Estos datos ayudan a los ingenieros refinar sus modelos de predicción de pérdida de señal de acuerdo con las características del terreno subyacente y la cobertura del suelo, ya que en el mercado competitivo de hoy, la industria de las telecomunicaciones inalámbricas se ha visto impulsada por la necesidad de ofrecer una mejor cobertura de los servicios y reducir los costos de infraestructura, los beneficios de configurar un *clutter* de una manera correcta son:

- Mejorar la cobertura de los servicios y reducir las llamadas caídas.
- Predecir el desempeño de servicios inalámbricos en zonas de transmisión.
- Planificar la construcción o rediseño de su red.

- Optimizar la ubicación de los sitios de transmisión y reducir los costes de infraestructura.

Los datos de cobertura son fundamentales para el diseño de redes inalámbricas debido a que la superficie a ser cubierta afecta a la propagación de la señal inalámbrica digital, ya que a partir de estos se puede determinar la ubicación óptima para los *sites* mediante la integración del clutter con los datos de superficie de elevación, de atributos físicos y eléctricos y con modelos de propagación del software de RF.

El *clutter* al expresar el impacto en la propagación de RF por los objetos en el suelo, tienen las siguientes clases:

Tabla 20 Clases de Clutters

Clutter	Definición
Water (salt / sweet)	Dividido en lagos y mares.
Rural / Open land	Zona con muy poca o sin vegetación.
Forest	Bosques con gran cantidad de árboles.
Residential	Densidad Sub-urbana que implica calles, lotes pequeños de 30x30 metros que cuentan con cobertura vegetal. Casas individuales son frecuentemente visibles y la altura media es inferior a 15 metros.
Urban	El medio urbano tiene la densidad media en calles, la altura media es inferior a 40 m.
Dense Urban	Están incluidas áreas urbanas densamente pobladas con un gran desarrollo.
Open in urban	Pequeña superficie abierta sin vegetación, rodeada por un entorno urbano, residencial o densamente urbano.

Como puede verse en las características del *clutter* describen la influencia que tienen en RF, entre ellas se tienen la altura media del edificio, cómo se encuentran situados uno al otro (ancho de la calle). Estas clases reflejan la necesidad de precisión por el planificador de radio, ya que son un parámetro que tiene efecto en la precisión.

La resolución es otro parámetro que se tiene en cuenta en las redes celulares comerciales, ya que generalmente el *clutter* está disponible en 100 x 100 metros, aquí la atención se centra en las zonas pobladas urbanas, donde está la mayor parte del tráfico.

3.4. Creación De Un Proyecto LTE En U-Net

Para realizar un proyecto se tiene que seguir los siguientes pasos, los cuales deben seguirse en orden para que al crear el mismo no se presente ningún error, estos pasos se describen a continuación:

- A. Primero procederemos a crear el proyecto, para lo cual nos dirigimos a **File → New → Lte FDD**, como se ilustra a continuación, ver
- B. Se elige esta opción debido que La Senatel como ente regulador para el otorgamiento del espectro radioeléctrico del país a determinado que las operadoras móviles trabajen en FDD debido a que en esta se puede trabajar con mejores estándares tanto en el UL como DL a determinado que CNT EP que ya consta con una red UMTS 1900 con esta canalización y que con pruebas realizadas en *eNodesB* trials de esta tecnología opere en el rango de frecuencias 733-748 en el *UPLINK* y 788-803 para el *DOWNLINK* y en AWS desde 1710-1730 para el *UPLINK* y 2110-2130 para el *DOWNLINK*, como ya se mencionó anteriormente.
- C. Los drive test permitieron observar el comportamiento de esta Red LTE con sus 21 *eNodesB* iniciales en un ambiente real, para lo cual se realizaron pruebas en las que se procedió a medir varios parámetros a la vez como niveles de señal RSRP, SNIR y THROUGHPUT, permitiendo

así encontrar problemas que el despliegue de este clúster pudiese presentar y que posteriormente fueron solucionados con la optimización del mismo realizando cambios físicos y lógicos en los *eNodesB* que los causaban.

TDD no aplica ya que se este se asigna cuando el espectro está saturado y en esta canalización se usa un único canal tanto para el UL (*Uplink*) y DL (*Downlink*) ya que se reduce las prestaciones y velocidades en transmisión y recepción de esta porque se utiliza la mitad del canal.

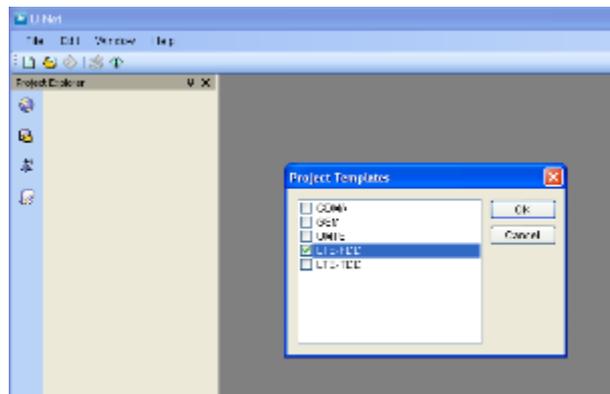


Figura 17 Creación del Proyecto

- D.** Seguido a este paso, se procederá a importar el mapa del Distrito Metropolitano de Quito, para lo cual se da un *click* derecho en Maps eligiendo la opción *Quick Import*, ver Figura 18

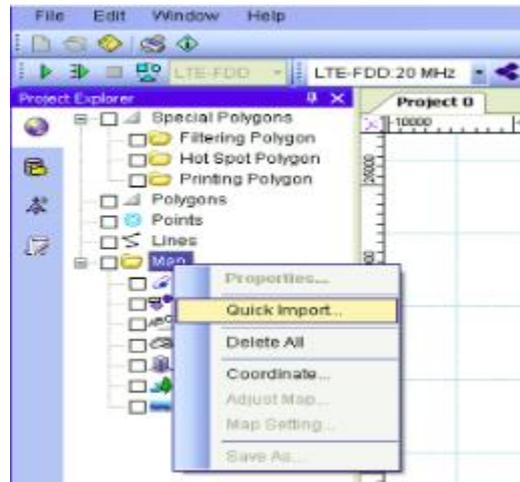


Figura 18 Importando Mapa

En la ventana que aparecerá elegimos la carpeta Quito_Asset, el cual tiene los datos geográficos del Distrito Metropolitano.

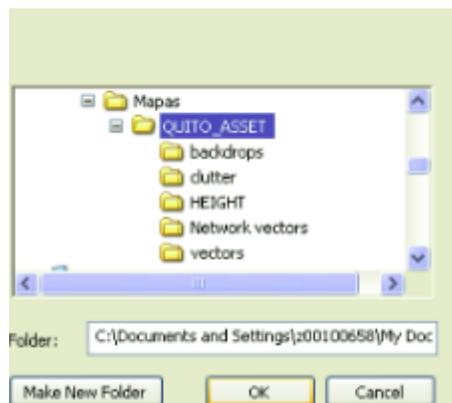


Figura 19 Seleccionando el Mapa

Una vez importado el mapa tendrá el siguiente aspecto, Figura 20

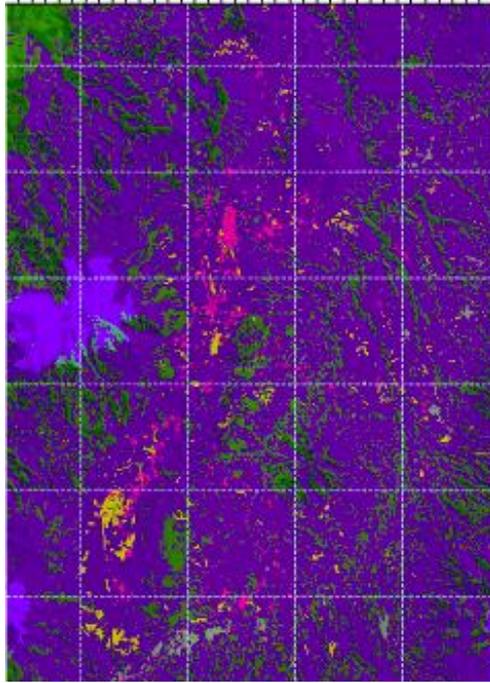


Figura 20 Mapa Importado

- E. El siguiente paso es importar los vectores los cuales se encuentran dentro de la carpeta *Quito Assets*, estos contienen las coordenadas de las calles de cada sector del mapa anteriormente importado. ver Figura 21

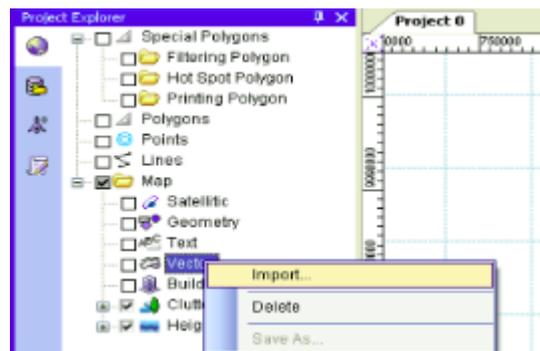


Figura 21 Importando vectores

Una vez importados los vectores, el mapa se observara de la siguiente forma, ver la Figura 22

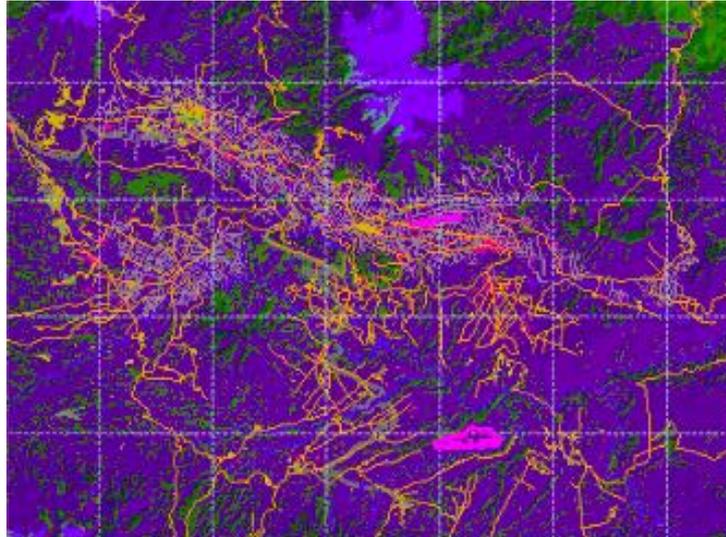


Figura 22 Mapa Cargado Con Vectores.

- F. Posteriormente se debe importar las Alturas (*Heights*) ubicados en la carpeta Quito Assets, estos son las alturas de los terrenos del mapa, ver Figura 23

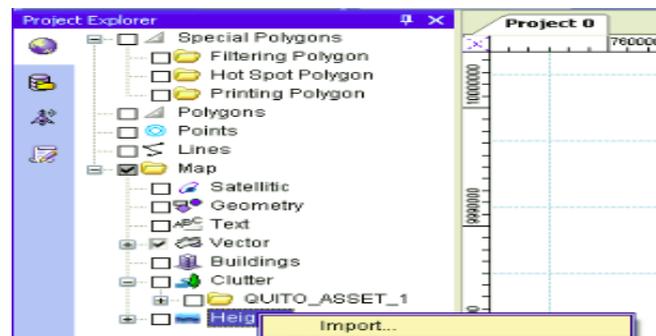


Figura 23 Importando Heights

Una vez importado este parámetro el mapa empezara a tener la forma real de como es el Distrito Metropolitano de Quito, ver Figura 24

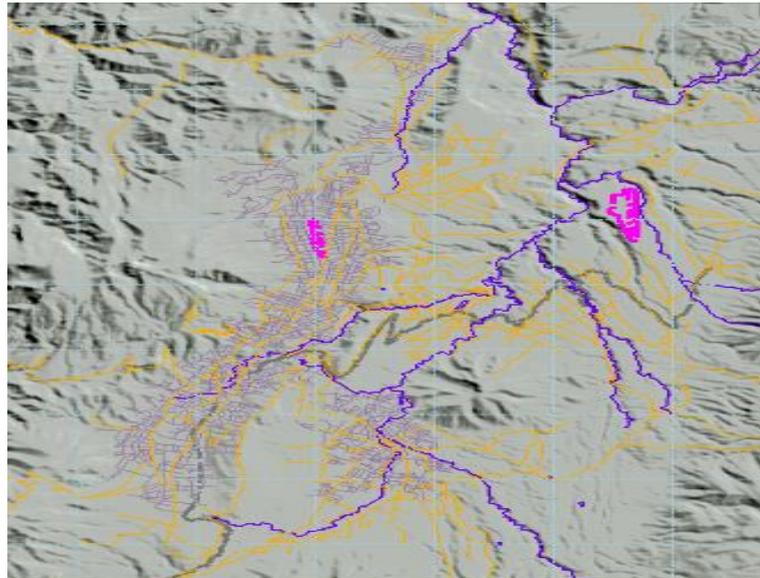


Figura 24 Mapa Distrito Metropolitano de Quito

G. Al realizarse procederemos a elegir el tipo de coordenadas a ser utilizado y el de que estilo serán colocadas, ver Figura 25 y 26.

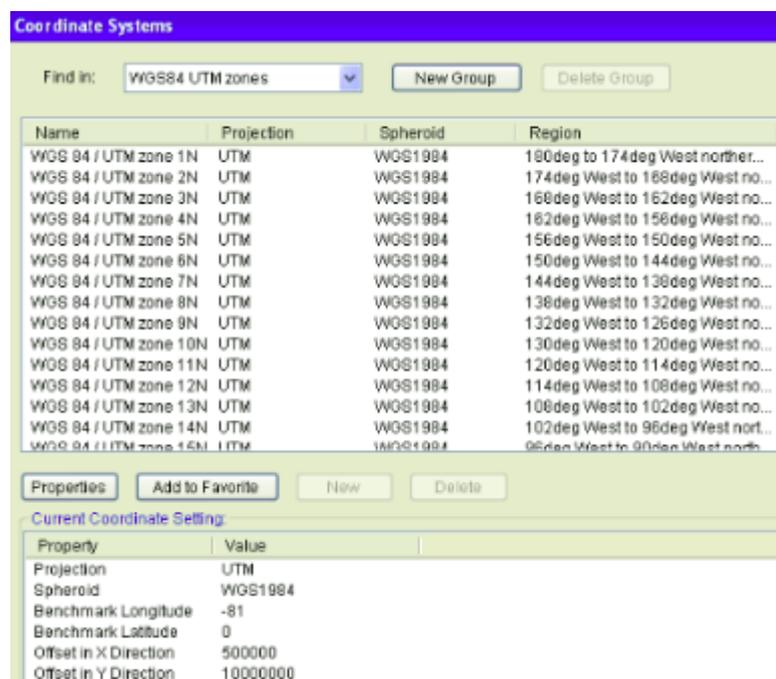


Figura 25 Tipo de Coordenadas

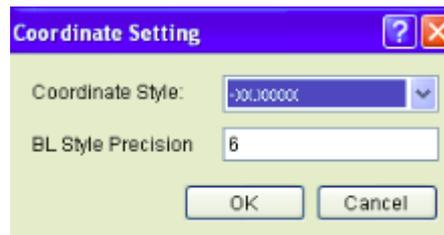


Figura 26 Configurando estilo de Coordenadas

H. Seguido a este paso, nos colocaremos en la pestaña **Data**→**Propagation Models**→**Clutter Related Hata**, aquí procederemos a configurar el modelo de propagación elegido con los parámetros óptimos para s correcta propagación dentro del clutter, ver Figura 27

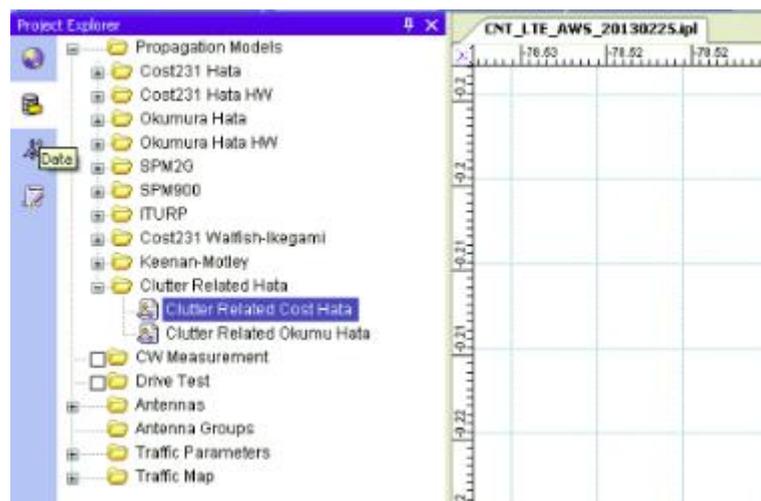


Figura 27 Eligiendo modelo de Propagación

- La Figura 28 y 29 indica los parámetros adecuados para que el modelo de propagación sea real.

Clutter	Propagation Model
Default	Cost231HW Urban
513_OPEN	Cost231HW Rural
522_OPEN IN URBAN	Cost231HW Suburb
532_AIRPORT	Cost231HW Suburb
515_INLAND WATER	Cost231HW Rural
523_FOREST	Cost231HW Rural
524_PARK	Cost231HW Suburb
516_MEAN INDIVIDUAL	Cost231HW Suburb
525_DENSE INDIVIDUAL	Cost231HW Suburb
517_MEAN COLLECTIVE	Cost231HW Urban
518_DENSE COLLECTIVE	Cost231HW Dense urban
521_INDUSTRIAL	Cost231HW Suburb

Figura 28 Configurando Modelo de Propagación

520_VILLAGE	Cost231HW Suburb
519_SKYSCRAPERS	Cost231HW Dense urban
528_SCATTERED URBAN	Cost231HW Suburb

Figura 29 Configurando Modelo de Propagación

- I. Tras la configuración del modelo de propagación es necesario crear y configurar una antena, para lo cual en la pestaña **Data** se da un click derecho en **Antena**→**New**, esto se lo hace así debido a que se colocan los parámetros reales de la antena, ver Figura 30

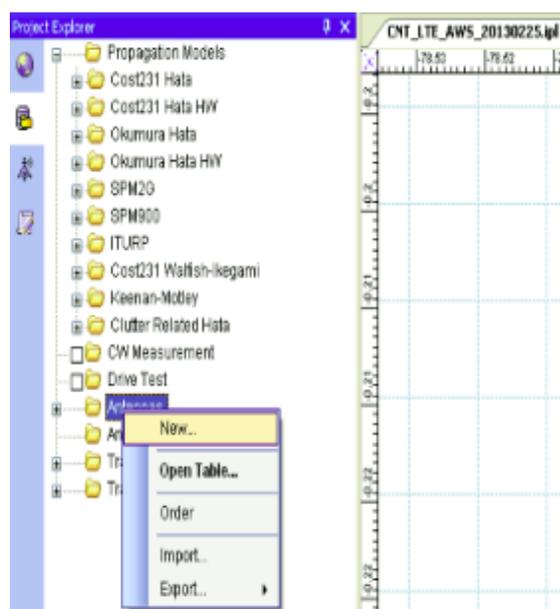


Figura 30 Creando Antena

- Las Figuras detallan los parámetros a ser usados por la antena AWS, los cuales fueron tomados del datasheet facilitados por la empresa proveedora.

General Horizontal Pattern Vertical Pattern Other Properties

Name: AWS ANTENNA

Manufacturer: HUAWEI

Gain(dBi): 17.20

Pattern Electrical Tilt(°): 0
(For information only)

Comments

Figura 31 Configuración General

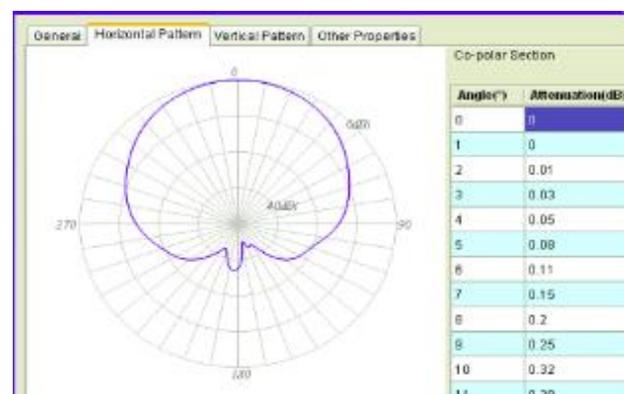


Figura 32 Configuración Lóbulo Horizontal

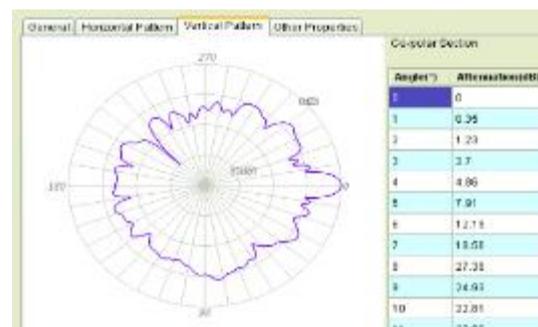


Figura 33 Configuración Lóbulo Vertical

General Horizontal Pattern Vertical Pattern Other Properties

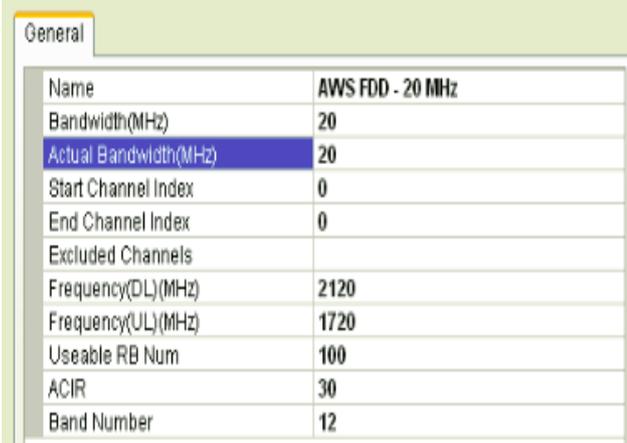
Beamwidth(°): 65.00

Max Frequency(MHz): 2,200.00

Min Frequency(MHz): 1,700.00

Figura 34 Configuración Propiedades

- J.** Como último paso se procede a crear una nueva frecuencia con su ancho de banda respectivo, para lo cual se dirige a la pestaña **Network** click derecho en **Tranceiver**→**Frequency Bands**→**Open Table**.



General	
Name	AWS FDD - 20 MHz
Bandwidth(MHz)	20
Actual Bandwidth(MHz)	20
Start Channel Index	0
End Channel Index	0
Excluded Channels	
Frequency(DL)(MHz)	2120
Frequency(UL)(MHz)	1720
Useable RB Num	100
ACIR	30
Band Number	12

Figura 35 Configurando Ancho de Banda

3.4.1 Configuración de las celdas.

Seguido del procedimiento de la creación del proyecto LTE FDD, se debe realizar la ubicación de los *sites* y *tranceivers*, estos son el lugar donde se colocara cada nodo con sus respectivos sectores a ser cubiertos, el procedimiento de cómo realizar esto se detalla a continuación:

- K.** Una manera de añadir un nuevo *site* con su respectivo *transceiver* es colocarse en la barra de tareas **Add Site and Transceiver**, ver la

Figura 36

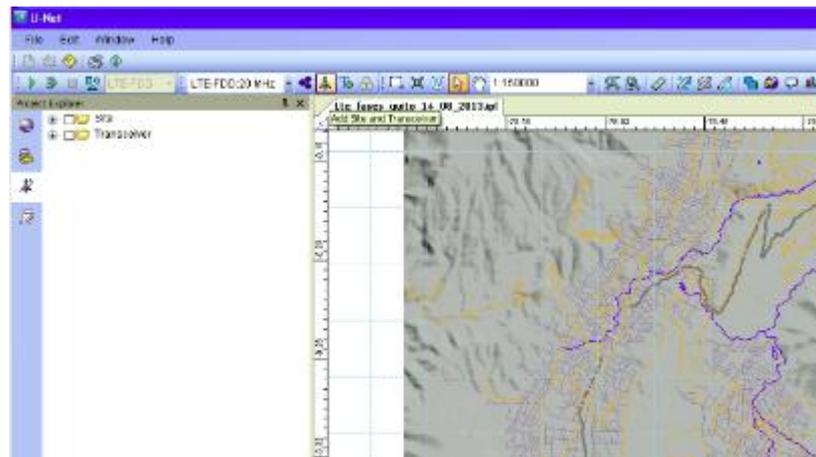


Figura 36 Añadiendo Un Nuevo Site y Transceiver

L. Se procede a ubicar estos *sites* en el mapa, ver la Figura 37

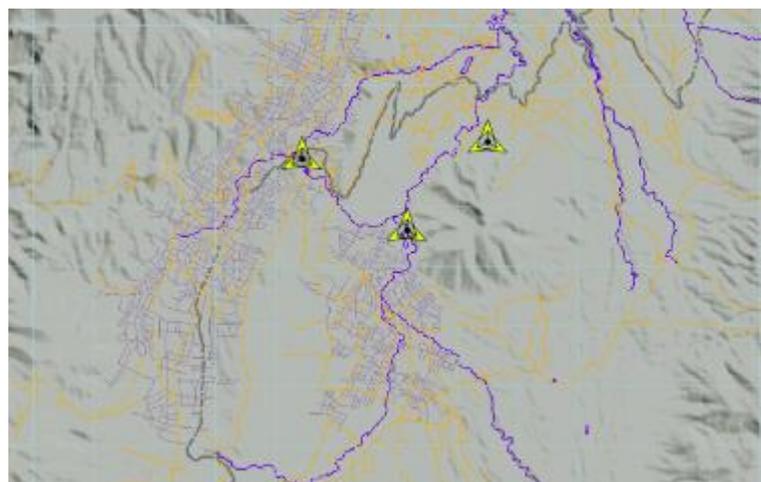


Figura 37 Sites en el Mapa

M. Una vez colocados los *Sites* se procede a hacer doble click sobre el mismo para poder configurar sus **Propiedades**, aquí se procederá a cambiar el nombre del Site, su latitud y longitud, ya que así se tendrá un posicionamiento geográfico más exacto del mismo con su respectivo *Transceiver*, ver la Figura 38

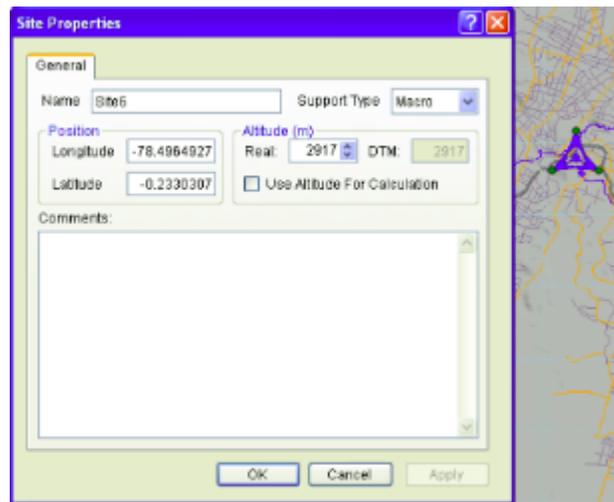


Figura 38 Configurando Propiedades del Site

El procedimiento antes mencionado no es de lo más óptimo, puesto que demanda de mucho más tiempo para poder ubicar cada *Site*, por lo cual se realiza lo siguiente:

Ir a la pestaña **Network**→**Sites**→**Click Derecho**→**New table**, para poder colocar los nombres de los *Sites* y colocar su posicionamiento geográfico y la altura directamente, ver la Figura 39

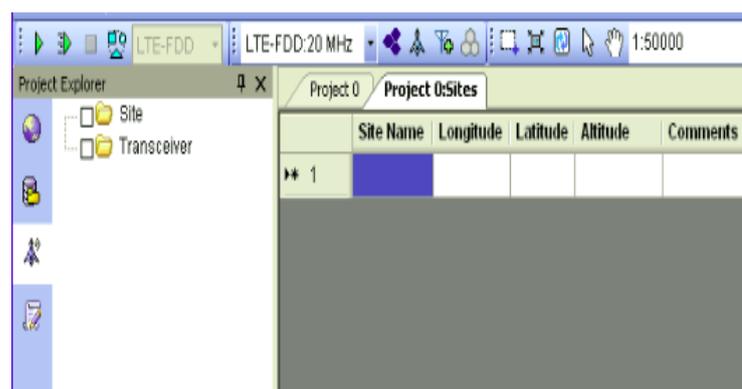


Figura 39 Configurando Sites

N. Posterior a este paso se procede a seguir el mismo procedimiento para los *Transceivers*, en estos se procede a configurar las alturas de las

estructuras en donde van a ser instaladas las antenas, los *tilts*, el *azimuth*, parámetros que permitirán determinar la cobertura del *eNodeB*.

- O. La configuración de los parámetros del *Transceiver* no es lo único que se debe hacer, es necesario asociarlo con su respectiva celda, esto se lo hace debido a que cada sector requiere una celda configurada con una respectiva banda de frecuencia, para abrir esta tabla se debe hacer *click* derecho en **Transceiver**→**Cells**→**Open Table**, ver la Figura 40

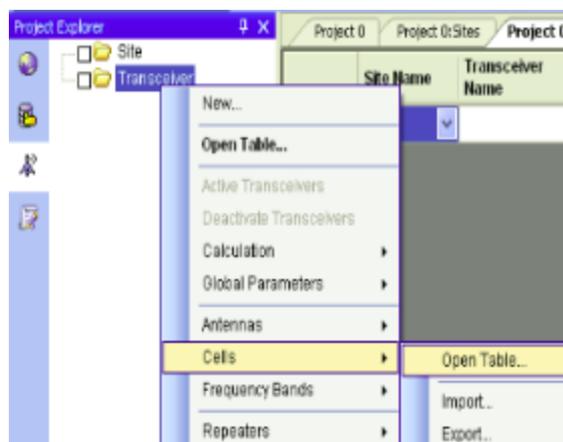


Figura 40 Accediendo a la tabla Cells



Figura 41 Configurando parámetros Cells

3.4.2. Realizar Una Predicción en U-Net.

Las predicciones son la parte fundamental del diseño y el *planning* de RF, puesto que de esta se va a observar si los parámetros configurados en cada *eNodeB* sean lo

más óptimos para que así estos puedan obtener junto con los modelos de propagación y los clutters resultados lo más pegados a la realidad. Por lo tanto en U-Net para que esto suceda y se pueda realizar predicciones con buenos niveles de cobertura se deben seguir los siguientes pasos:

- A. Dirigirse a la pestaña de **Operation** en esta se desplegará los diferentes parámetros que tienen que ser modificados, el primero es hacer *click* derecho en **LTE** → **Automatic Allocation**, ver Figura 42

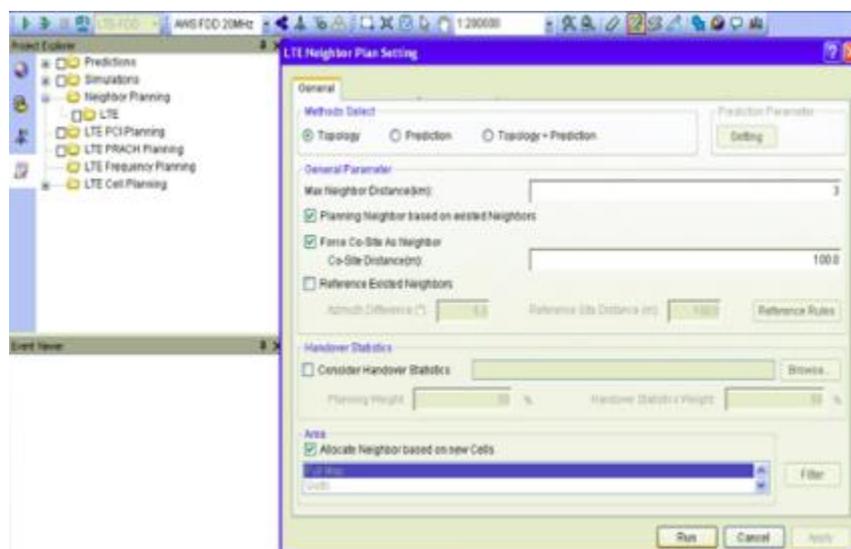


Figura 42 Configurando Neighbors.

Se despliega la ventana de **LTE Neighbor Plan Settings**, es importante saber que esta es una parte fundamental ya que una buena relación entre las celdas vecinas permite al UE (User Equipment) que se encuentra en el borde de las mismas puedan realizar un *handover* a tiempo sin tener pérdida en la calidad de los servicios.

En *Methods Select* procedemos a escoger la opción de **Topology**, esto debido a que en esta opción se procede a realizar cambios en los

parámetros de las antenas y los *sites* de forma manual, es decir el Ingeniero de Planeación de la red es el que va a configurar a la misma para que tenga óptimos resultados con buenos niveles de cobertura en todo el mapa. La opción **Prediction** no es elegida puesto que en esta el software el que va a tener la libertad de elegir los *sites* y parámetros de las antenas en todo el mapa, es decir este va hacer una simulación con parámetros configurados por el mismo software.

B. Posteriormente hacer *click* derecho en **LTE Frequency Planning**→**Automatic Allocation**,

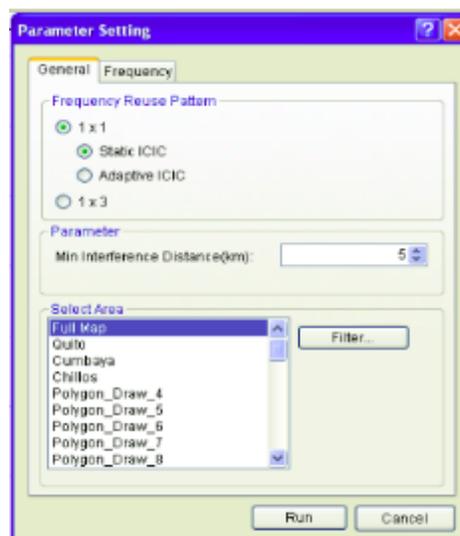


Figura 43 Configurando Parámetros ICIC

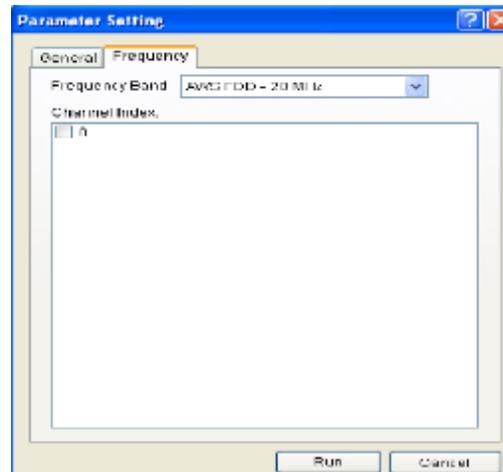


Figura 44 Eligiendo Frecuencia y Canal.

Aquí se configura el tipo de Approach ICIC que los eNodesB van a elegir, en este caso es el **Static ICIC** ya que al ser una red nueva se va a probar el comportamiento de la misma con esta funcionalidad para evitar interferencias inter-cell, y en la pestaña Frequency se va a colocar la frecuencia a ser usada y el canal con el cual trabajar.

- C. Como último paso procedemos a crear la predicción del proyecto como tal, para lo cual se dirige a **Predictions** → **New**.

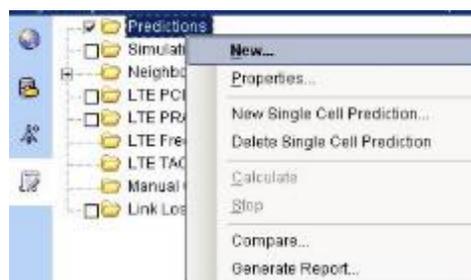


Figura 45 Realizando una Predicción

Aquí se procura a configurar que Grupo y a que polígono se quiere dar una predicción, lo cual es importante ya que se debe de colocar también

la resolución de la misma (menor sea el número mejor resolución) y a qué nivel de potencia se va a realizar la re selección de celdas.

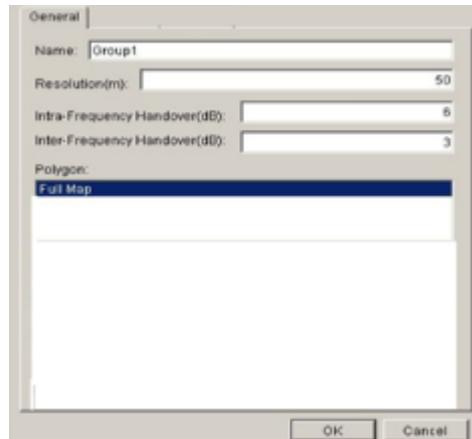


Figura 46 Creando un Grupo de Predicción

Estas configuraciones son necesarias, puesto que de esto se basa el *planning* de RF para diseñar, implementar y optimizar las tecnologías inalámbricas.

3.5 Diseño Preliminar de RF

3.5.1 Link Budget

El Link Budget es el paso de dimensionamiento de una red, por lo cual para LTE se busca calcular el *Maximum Allowed Path Loss* (MAPL) con su respectivo radio de cobertura, para esto se debe considerar que la cobertura efectiva del *eNodeB* depende no sólo del requerimiento de la cobertura, sino también de la potencia de transmisión y sensibilidad de recepción del *eNodeB* y UE (*User Equipment*, Equipo de Usuario).

3.5.1.1 Proceso de Cálculo del Link Budget

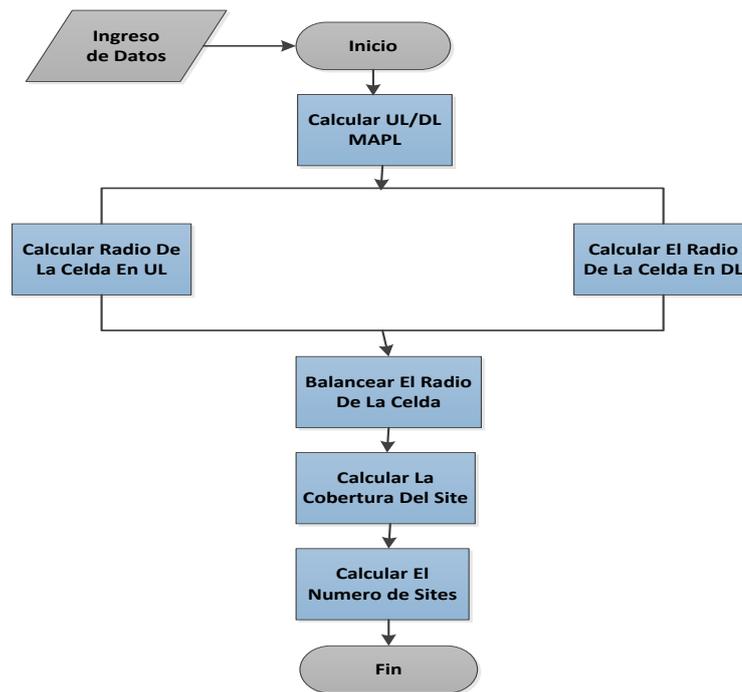


Figura 47 Procedimiento de Link Budget y dimensionamiento de cobertura

Este cálculo de Link Budget es distinto tanto para UL como para DL ya que se debe considerar que la potencia máxima de radiación del UE y el tipo de MIMO soportado por el mismo es menor que para el UL. A continuación, se muestran dos gráficas en donde constan los parámetros involucrados en el *link budget* para cada sentido.

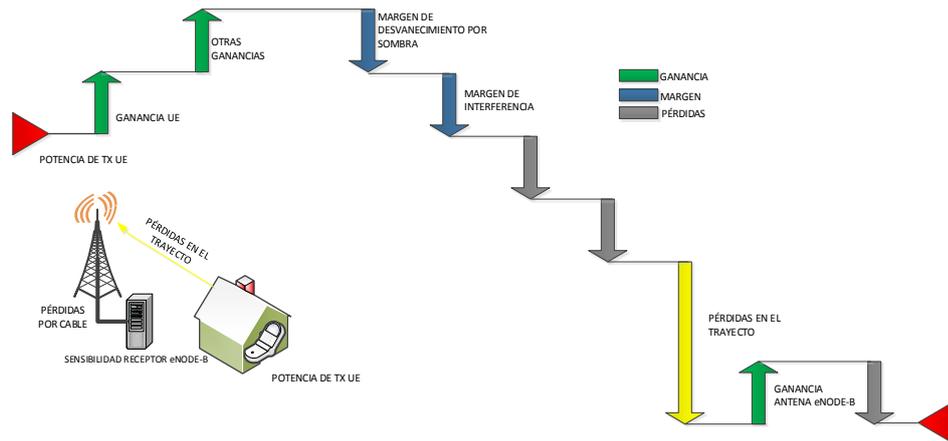


Figura 48 Link Budget en UL

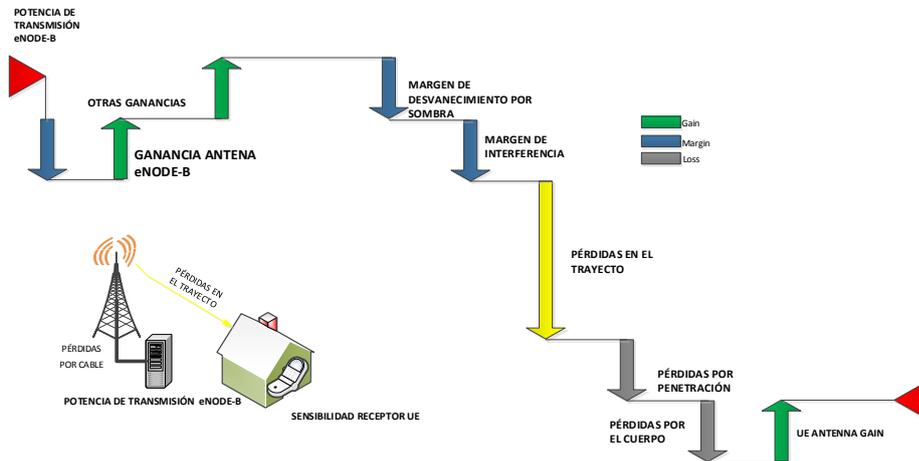


Figura 49 Link Budget en DL

Por otro lado, el cálculo del MAPL, se basa en la configuración del sistema y en el *throughput* al borde de celda exigido en la etapa de diseño de red conforme a la siguiente figura:

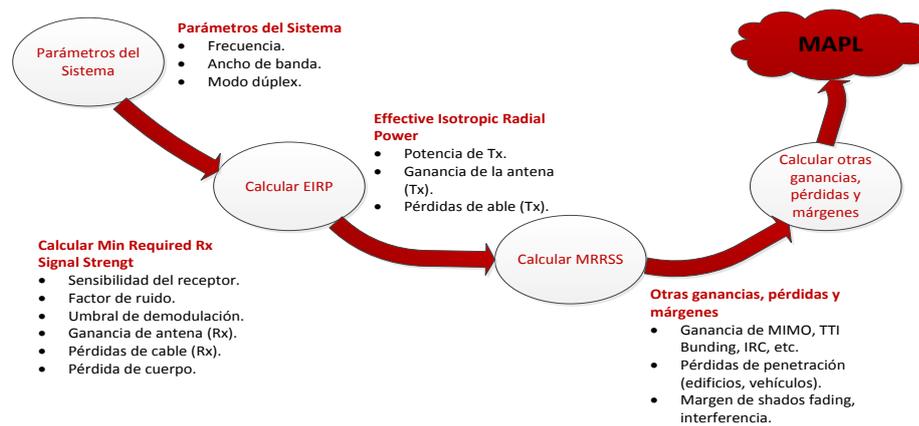


Figura 50 Proceso de Cálculo del MAPL

3.5.1.2. Cálculo del Maximum Allowed Path Loss.

El MAPL no depende únicamente de la tasa de datos en el borde de cobertura sino también de la potencia de Tx y la sensibilidad del Rx tanto del *eNodeB* como del UE. Una vez que el MAPL es conocido, el radio de cobertura puede ser calculado de conforme un modelo de propagación.

3.5.1.3 Cálculo del EIRP (*Equivalent Isotropic Radiated Power*)

LTE usa OFDMA como esquema de modulación la cuál es una tecnología de multiplexación que divide el ancho de banda del sistema en subportadoras ortogonales. El EIRP se entiende como el promedio por la subportadora y se calcula promediando la potencia máxima de Tx entre todas ellas, ya que la potencia del *eNodeB* es compartida por todos los suscriptores.

El protocolo 36.104 del 3GPP, especifica el número de RB para los diferentes anchos de banda y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21 Número de RB por Ancho de Banda

Transmission BW (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Number of Resource Blocks	6	15	25	50	75	100
Number of Subcarriers	72	180	300	600	900	1200

Para el UL, la potencia del UE es usada en los RB asignados en el *scheduling*.

3.5.1.4 Sensibilidad del Receptor

La sensibilidad del receptor está definida como el mínimo nivel de señal que puede ser demodulada por el receptor. En este caso, la sensibilidad depende principalmente de la figura de ruido

- **Potencia de ruido térmico (N_{Th})**

La potencia de ruido térmico es la densidad de ruido generada por el ambiente

- **Figura de ruido (NF)**

Es la cantidad adicional de ruido generada que se genera por el receptor, en LTE la figura de ruido típica es 7d y para los *eNodeB* FDD de Huawei es de 2dB@AWS, esta es dependiente de cada proveedor.

3.1.1.5 SINR

SINR se refiere al *Signal to Interference and Noise Ratio* experimentada por el receptor. Los principales factores que afectan al SINR incluyen: modelo de canal, MCS (*Modulation and Coding Scheme*), número de RB y el esquema de MIMO.

- **Modelo de Canal**

El protocolo 36.101 del 3GPP define tres modelos de canal para LTE: ETU (*Extended Typical Urban*), EVA (*Extended Vehicular A*) y EPA (*Extended Pedestrian A*).

En zona densa urbana y urbana, el canal ETU es utilizado con velocidades de usuario de 3km/h o 50km/h, mientras que para ambientes rurales el canal EVA es usada con velocidades de usuario de 120km/h.

- **MCS**

El Modulation and Coding Scheme, $MCS = \text{Code bits} \times \text{Code rate}$. El MCS adoptado tendrá un amplio impacto en el SINR requerido: modulaciones más eficientes tendrán un requerimiento de SINR mayor. La siguiente tabla, da un ejemplo:

Tabla 22 Ejemplo de MCS

MODULACIÓN	Code bits	code rate
QPSK 1/3	2	0.33
QPSK 1/2	2	0.50
16QAM 1/2	4	0.50
16QAM 3/4	4	0.75
64QAM 1/2	6	0.50
64QAM 2/3	6	0.67

- **Número de RB**

El número de RB (Resource Blocks) disponibles pueden influenciar al SINR, esto quiere decir que a la misma tasa de datos, más RB y menores MCS por lo cual el SINR

se reduce. Por otro lado se tiene que el número de RB está relacionado según el ancho de banda con el que se asigne en el espectro a LTE.

3.5.1.6. Interference Marging.

El margen de interferencia es definido como el margen en el LB debido a la interferencia causada por otros subscriptores y su valor es igual a:

$$IM = \frac{I_{total}}{N_{th} + NF} = \frac{N_{th} + NF + I_{own} + I_{other}}{N_{th} + NF}$$

Ecuación 5 Margen de Interferencia

Para el sistema LTE, OFDMA y SC-FDMA son adoptadas como método de acceso múltiple en DL y UL respectivamente. Así, diferentes subportadoras ortogonales son usadas para diferenciar a los subscriptores que pertenecen a una celda.

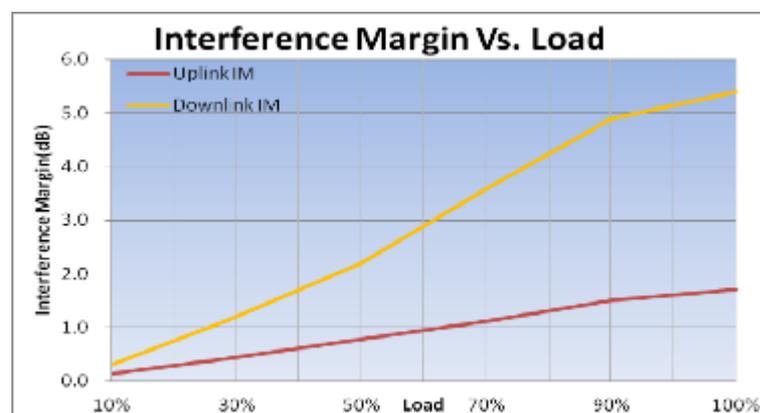


Figura 51 IM vs. Load

3.5.1.7. Body Loss.

Las pérdidas de cuerpo son las generadas en el UL debido a la presencia del cuerpo humano. El valor típico es 3dB para voz. Para servicios de datos, no se consideran

pérdidas de cuerpo debido a que los terminales usualmente guardan distancia del cuerpo.

3.5.1.8. Pérdidas de Penetración.

Cuando se requiere que la cobertura *indoor* sea servida por los *eNodeBs outdoor*, las pérdidas de penetración de las edificaciones deben ser consideradas. Las pérdidas de penetración están relacionadas a factores como el ángulo de incidencia de la señal, el tipo de construcción, la frecuencia de operación entre otros. Es altamente dependiente de la morfología del terreno y el ambiente de propagación. Adicionalmente, en las calles, cobertura dentro de los vehículos debe ser considerada.

3.5.1.9. Shadow Fading Margin (SFM)

El también llamado desvanecimiento por sombra, corresponde a la variación del nivel de señal debido al efecto sombra que causado por lo ambientes físicos como edificios o colinas. El *slow fading margin* es el margen necesario para lograr confiabilidad de cobertura requerida para cierta área dada cierta desviación estándar. Obviamente, mayor confiabilidad requiere un mayor SFM y una mayor desviación estándar también requiere un mayor SFM.

En un sistema LTE, cuando la calidad de la servidora es pobre, el *hardhandover* será activado para garantizar la continuidad del servicio y la movilidad del UE. Por lo tanto, el *hardhandover* puede reducir el requerimiento de SFM y proveer una ganancia. La siguiente gráfica muestra esta relación:



Figura 52 SFM vs. Hard Handover

Tabla 23 Requerimientos CNT EP

Datos Generales	Requerimiento
Banda de operación	AWS
Tecnología	LTE FDD
Potencia de TX	2x40W
Ancho de banda (MHz)	20 +20 MHz
Tipo de terminal	USB – dongle / Tx Pwr: 23dBm
Tipo de Cobertura	Indoor
Configuración de antena	MIMO 2x2
Throughput en borde de celda	2048 kbps DL / 512 kbps UL
Configuración de sitios	S(1,1,1)
Planeación de frecuencia	FSS 1x3x1
Modelo de propagación	Cost231-Hata Huawei

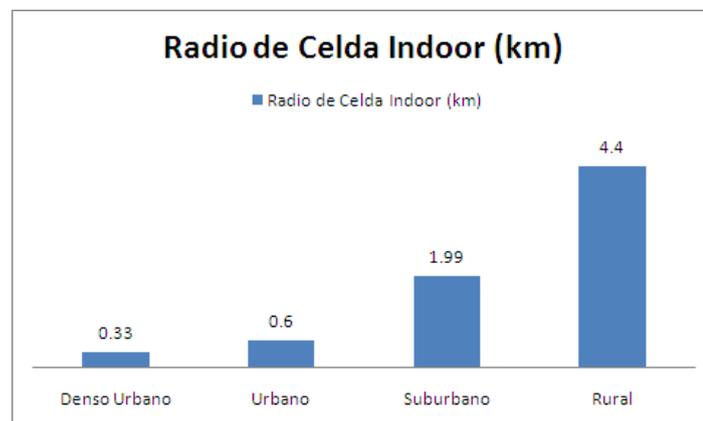


Figura 53 Resultados Link Budget AWS

3.5.1.11. Solución de coordinación de interferencia.

- Inter-Cell Interference Coordination (ICIC)

La reducción de interferencia entre las celdas vecinas es importante ya que permite mejorar el *throughput* en sus bordes de cobertura, para lo cual se ofrece soluciones basadas en ICIC estático y dinámico. En una primera instancia se recomienda la configuración estática, mientras que para cuando la carga se incrementa, la solución recomendada es la dinámica.

A través de esta solución, en *downlink*, a las diferentes celdas se les asigna diferentes bandas de frecuencia para los usuarios de borde de una manera estática, cuando se utiliza *Static ICIC*. Estas bandas de frecuencia pueden ser configuradas por el operador para su optimización.

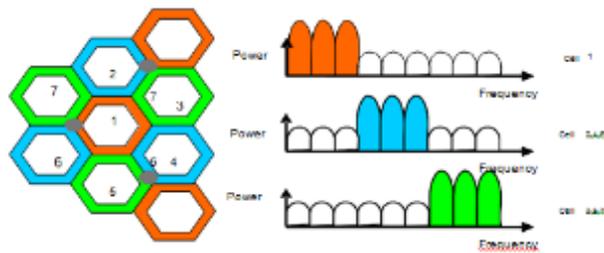


Figura 54 Inter-Cell Interference Coordination (ICIC)

En el *uplink*, el proceso es similar al *downlink*.

Beneficios

- Reduce la interferencia inter-celda entre celdas vecinas.
- Mejora el *throughput* a los usuarios de borde
- Mejora el radio de cobertura

La herramienta de planeación de RF U-NET permite una planificación automatizada de las frecuencias de borde y es la que será utilizada durante las etapas de diseño.

3.5.1.12. Planeación de PCI (*Physical Cell Identity*).

La planeación de PCI es un paso importante dentro de la planificación de RF. El PCI permite identificar a la celda y realiza el sincronismo con la red e nivel de interfaz aire. Asimismo, define la localización de los RSRE (*Reference Signal Resource Elements*) dentro de los RB (*Resource Blocks*).

Los PCI están definidos en un rango de 0 a 503, por lo que su reutilización también debe definirse en la etapa de planeación de detalle de la red. Adicionalmente, debido a que la localización de los RSRE se realiza con respecto al módulo 3 del PCI, los que compartan el resultado de la operación módulo 3, colisionarán en los RS. Por lo tanto, comparado con la planeación de PSC en UMTS, la planeación de PCI reduce un grado más de libertad y es necesaria dentro de la planeación de cobertura debido a que influye directamente en los resultados de SINR. La herramienta de planeación de RF U-NET, permite la planeación automatizada de PCI y será utilizada en las etapas de diseño de red.

3.5.2. Diseño De Cobertura de LTE.

El diseño preliminar de cobertura de RF tiene por objetivo mostrar las zonas de cobertura en base a niveles de señal (RSRP y SINR) dentro de una zona geográfica determinada conforme los requerimientos de cobertura de CNT EP.

Una vez definidas las zonas objetivo, la localización geográfica de los sitios, características de propagación, modelos de propagación, antenas, etc. así como sus configuraciones iniciales (alturas, azimuths), éstas son ingresadas de en la herramienta de predicción y simulación de RF en U-NET, esta herramienta permite la reconfiguración de cada parámetro a nivel lógico y físico y proporcionará el resultado preliminar de cobertura así como los parámetros preliminares de configuración de *eNodeBs*. Estos resultados serán la base para los procesos de validación de sitios y TSS, que influirán el diseño final de RF.

A continuación, se muestra los resultados de cobertura para los 250 sitios escogidos por la CNT EP para su diseño y optimización y así poder apegarse a un diseño lo más real posible en una zona geográfica complicada como lo es el Distrito Metropolitano de Quito.

Estos se dividieron en prioridades para que la implementación de esta Red se haga con un orden establecido cubriendo secuencialmente sectores estratégicos del Distrito Metropolitano y permitir que CNT EP oferte servicios basados en esta tecnología.

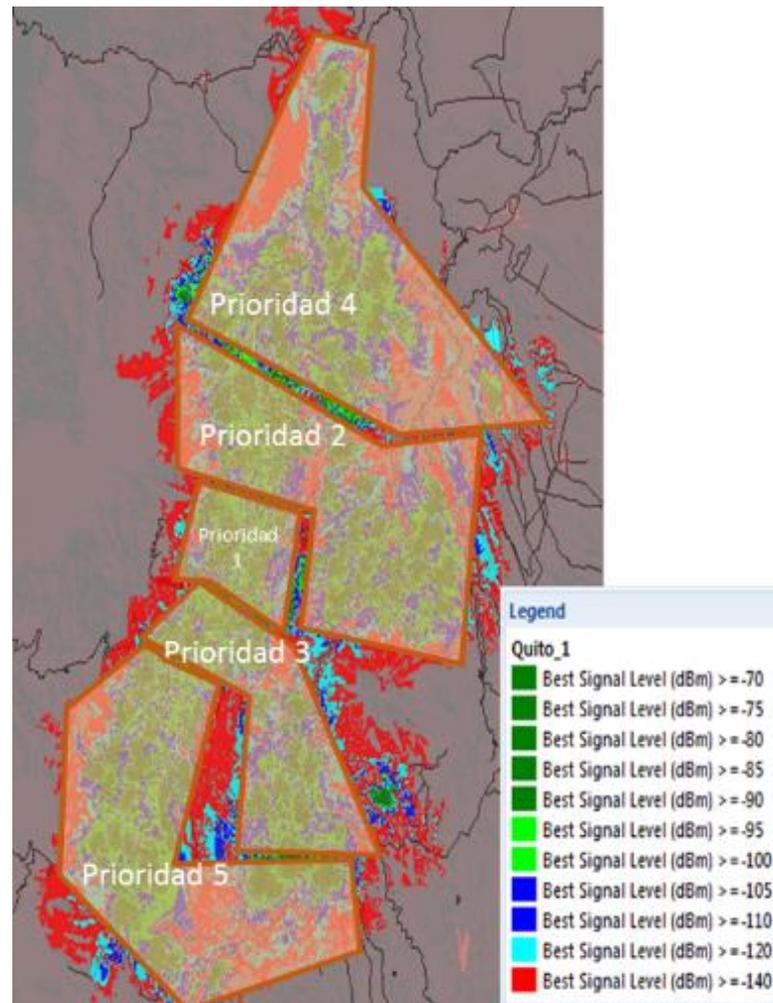


Figura 55 Prioridades para las predicciones

Cada prioridad se verá desglosada en las figuras a continuación, donde la mejor recepción es representada por el color verde con niveles de señal de -70dBm a -100dBm para la mejor recepción, con nivel medio de recepción de color verde claro y azul con niveles de señal entre -95dBm y -110dBm, con nivel bajo de recepción con el color celeste y rojo para los niveles de señales menores a -110dBm.

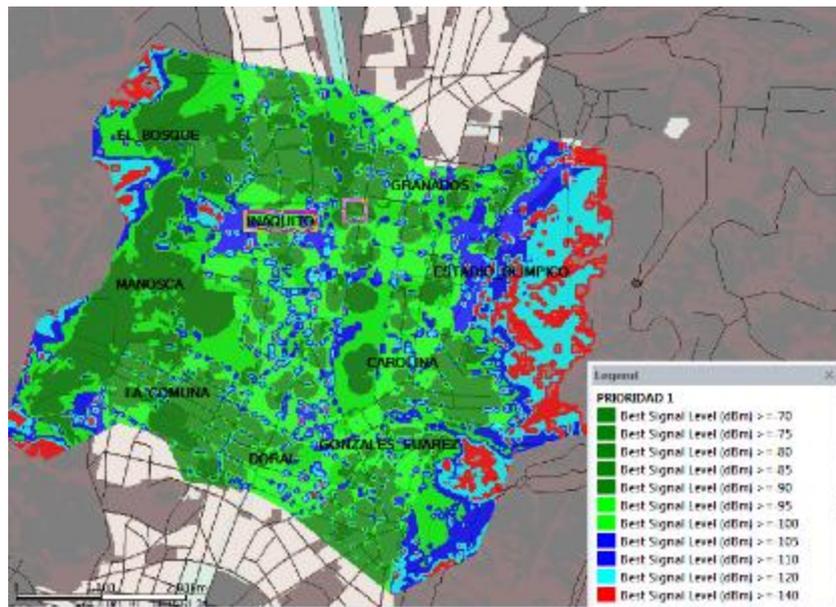


Figura 56 Predicciones Prioridad 1

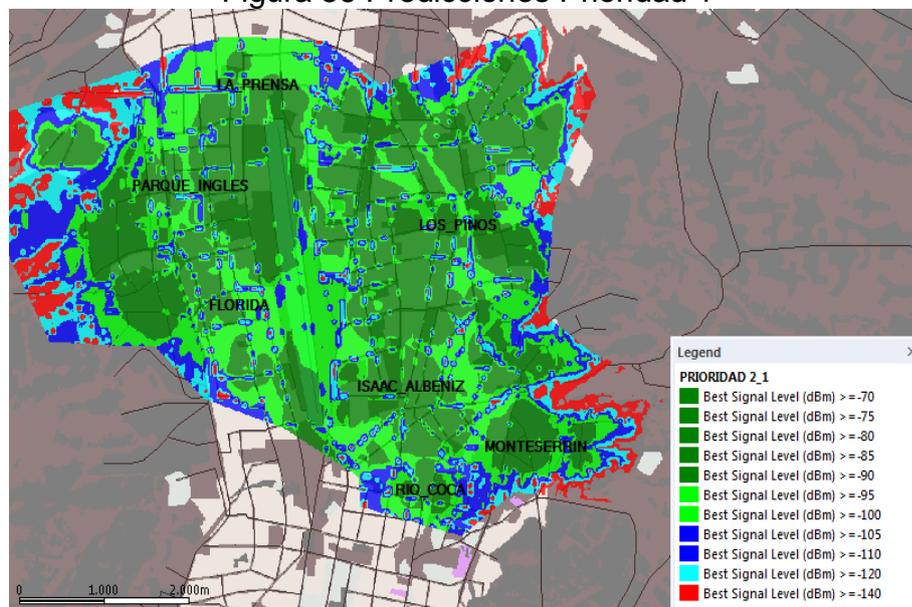


Figura 57 Prioridad 2_1

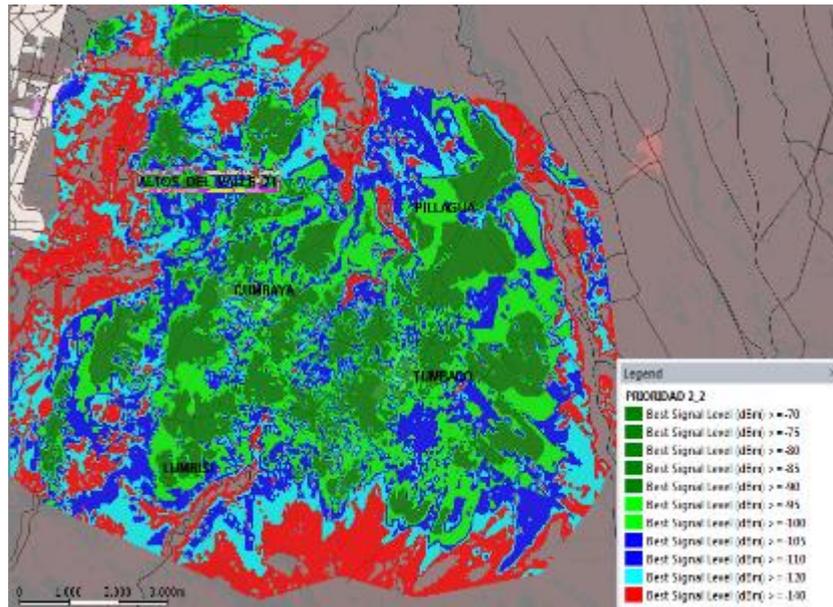


Figura 58 Prioridad 2_2

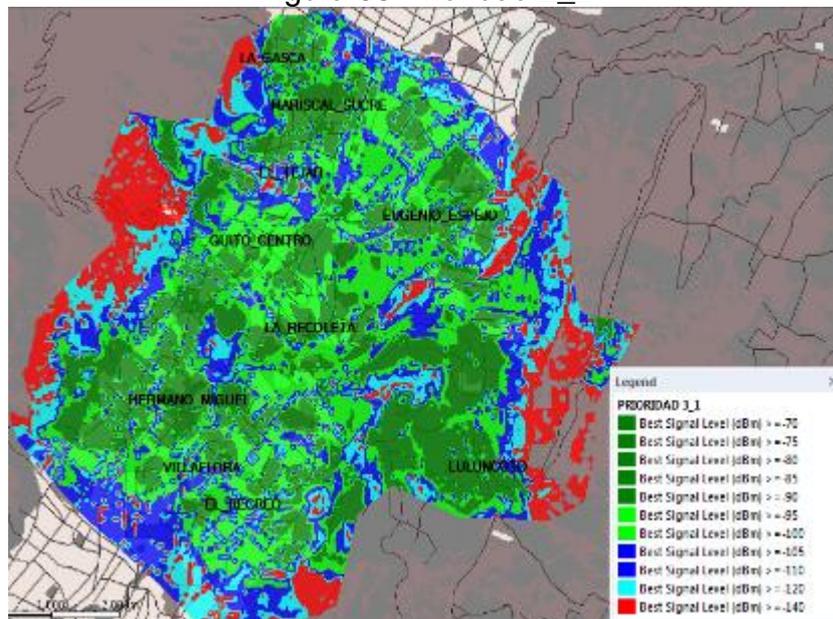


Figura 59 Predicciones Prioridad 3_1

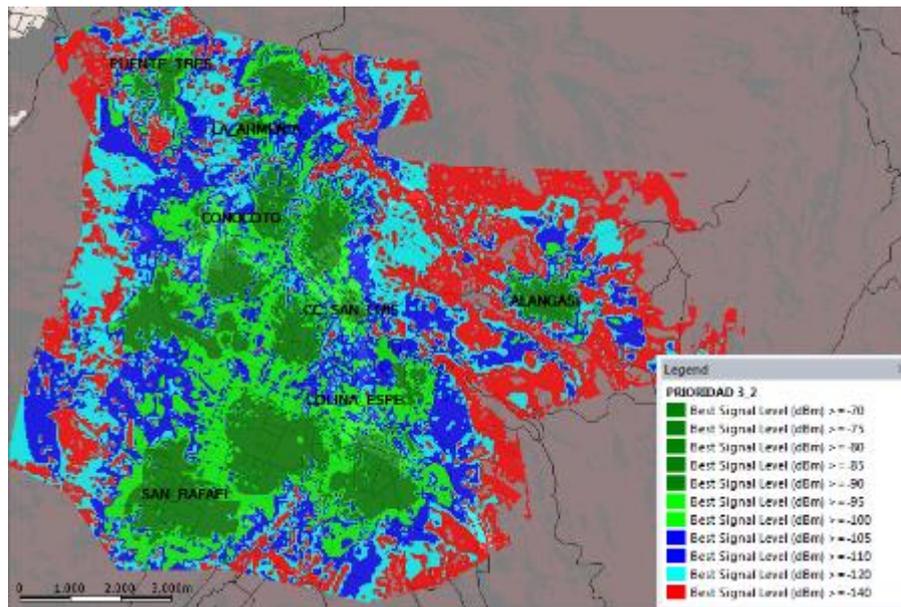


Figura 60 Predicciones Prioridad 3_2

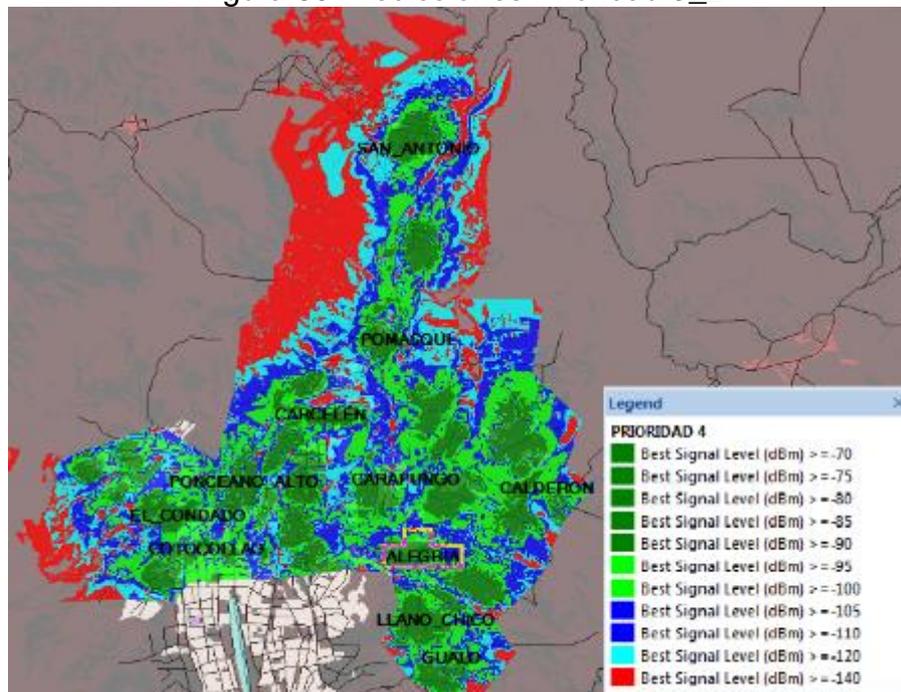


Figura 61 Predicciones Prioridad 4

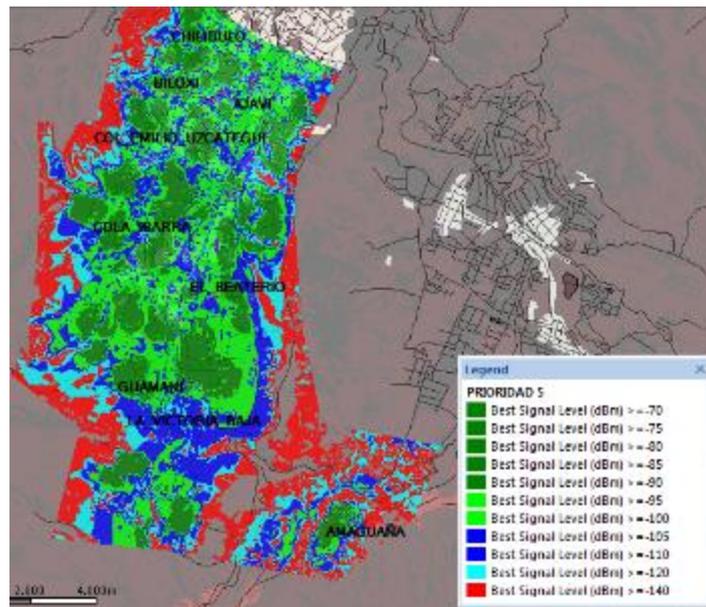


Figura 62 Predicciones Prioridad 5

Estas predicciones ya ilustrada en su totalidad y no por prioridades como se observa en las Figuras 59 y 60 son realizadas en escenarios en los cuales cada celda de los *eNodesB* va a estar casi saturada, es decir van a estar trabajando a un 75% de su capacidad. Este es un ambiente que permitirá determinar el comportamiento de cada una de estas en zonas donde hay mucha concentración de personas, edificios, casas o en sitios donde estén sin obstrucciones y así observar cómo podría saturarse o no la Red, hay que tomar en cuenta las alturas a las cuales se van a colocar cada antena ya que en zonas topográficas del Distrito Metropolitano de Quito se presentan lomas que hacen que los niveles de señal RSCP varíen demasiado por lo cual no es recomendable colocar estructuras altas.

Esto es debido a que la señal puede no llegar de manera óptima a los usuarios por que al encontrarse en un lugar donde no haya obstrucciones hace que esta se sobrepague en sectores que no se deseen, causando interferencia entre celdas.

Los parámetros de azimuths y tilts eléctricos y mecánicos son de vital importancia ya que estos dependió que la cobertura de este diseño sea lo más óptima y estable posible con buenos niveles de señal como se puede observar en cada predicción realizada por Prioridades así también como la de todo el Distrito Metropolitano, en donde se observa que estos van a ser óptimos permitiendo que los usuarios finales puedan tener servicio sin que este sea interrumpido, ya que se garantiza la continuidad de cobertura al realizar los Handovers entre celdas y entre tecnologías.

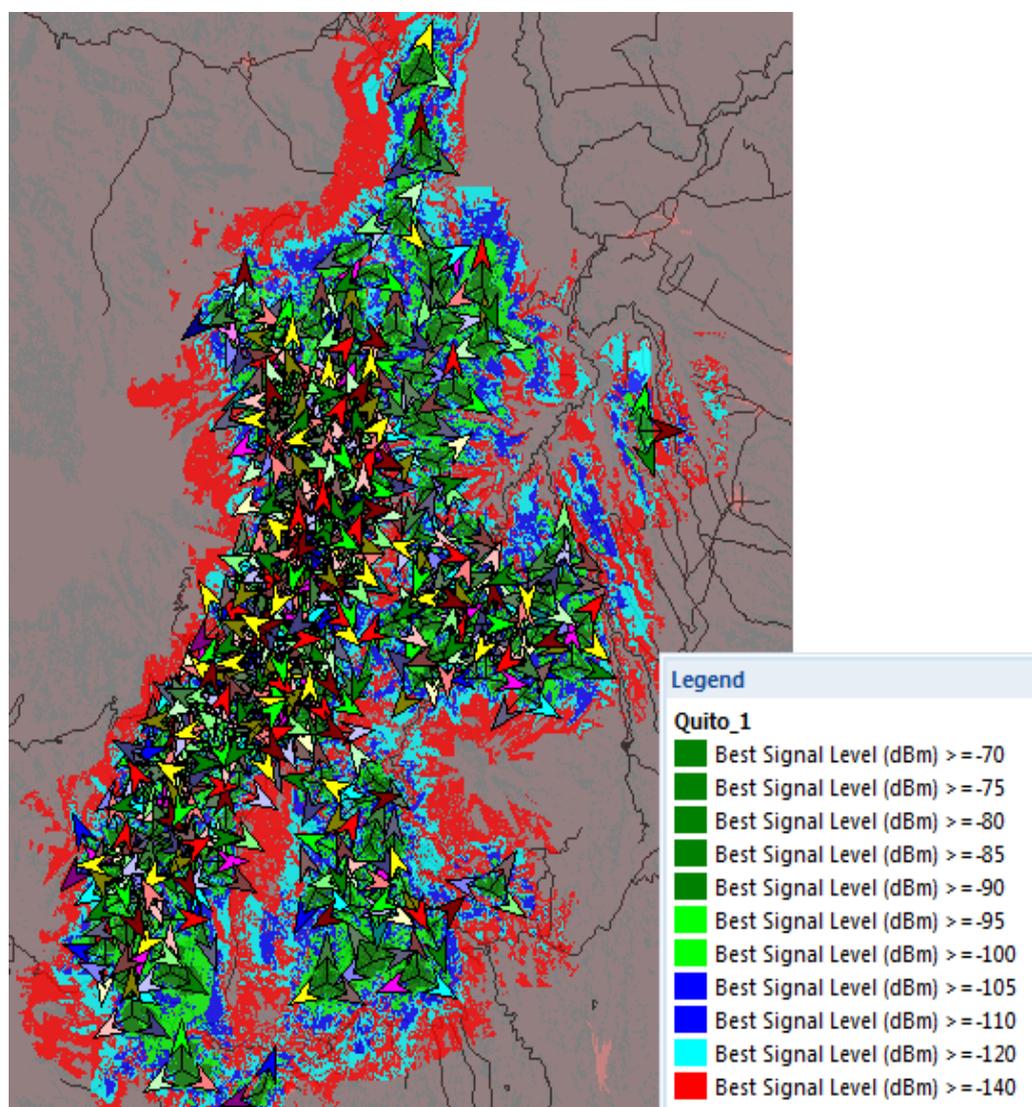


Figura 63 Predicciones Distrito Metropolitano de Quito

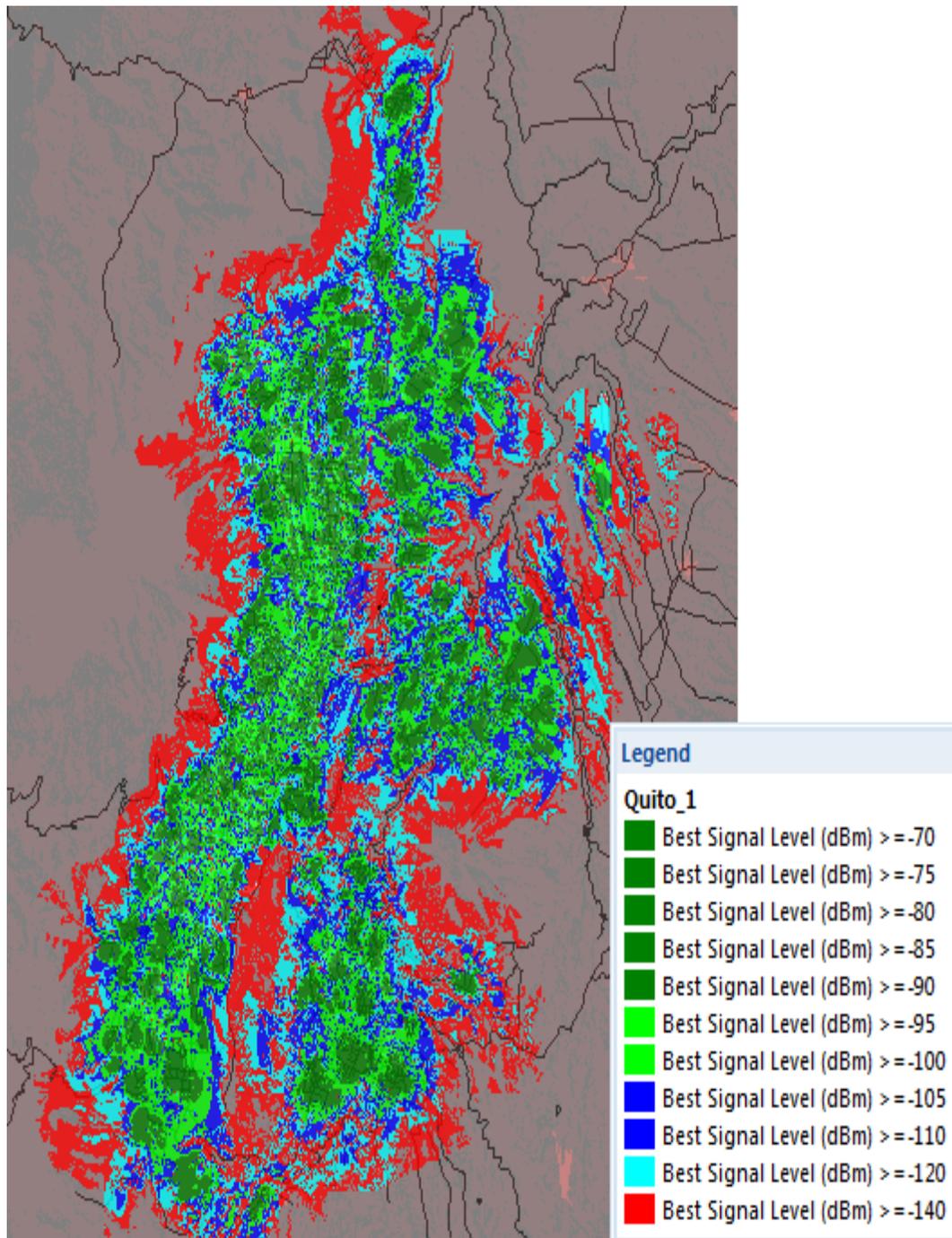


Figura 64 Predicciones Distrito Metropolitano de Quito

Por otra parte si los *eNodesB* son instalados a un nivel muy bajo la propagación de la señal se va ver limitada por estructuras como edificios, casas y también por montañas. El diseño propuesto se presenta alturas máximas y mínimas de estructuras de hasta 30 y 10 metros respectivamente ya que en las predicciones realizadas al

colocar alturas por encima o debajo de las recomendadas las señales perdían calidad y causaban interferencias.

Los nivel de señal RSCP para este diseño son buenos, ya que más del 50% de la población del Distrito Metropolitano De Quito en sus dispositivos tendrán un nivel de -100 dBm y para LTE que estos niveles sean considerados malos y en los cuales ya se pierda por completo la conexión del dispositivo con la Radio Base es -120 dBm que es un porcentaje bajo como se observa en la Figura 65 , es decir que las personas que usen servicios basados en esta tecnología podrán sacarle provecho a la misma.

Estos niveles denotan un diseño pensado en la calidad del servicio y estos se reflejen en una buena experiencia de navegación que es lo que se desea brindar al usuario con *throughputs* en las peores condiciones de 1 Mbps y en las condiciones óptimas de hasta más de 50 Mbps como se muestra en la Figura 66, lo cual demuestra que el diseño planteado y propuesto cumple con los requerimientos de la CNT EP ya que más del 50% de la población del Distrito Metropolitano de Quito tendrá un *throughput* de 10 Mbps en adelante permitiendo así una verdadera experiencia LTE.

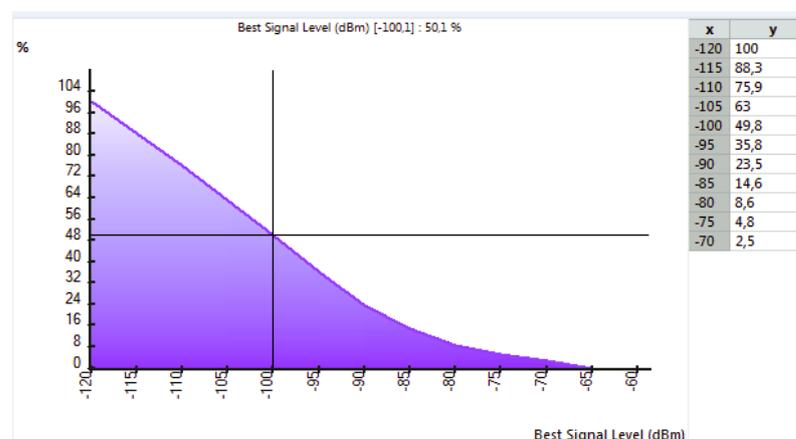


Figura 65 Porcentaje de Cobertura LTE en Distrito Metropolitano de Quito

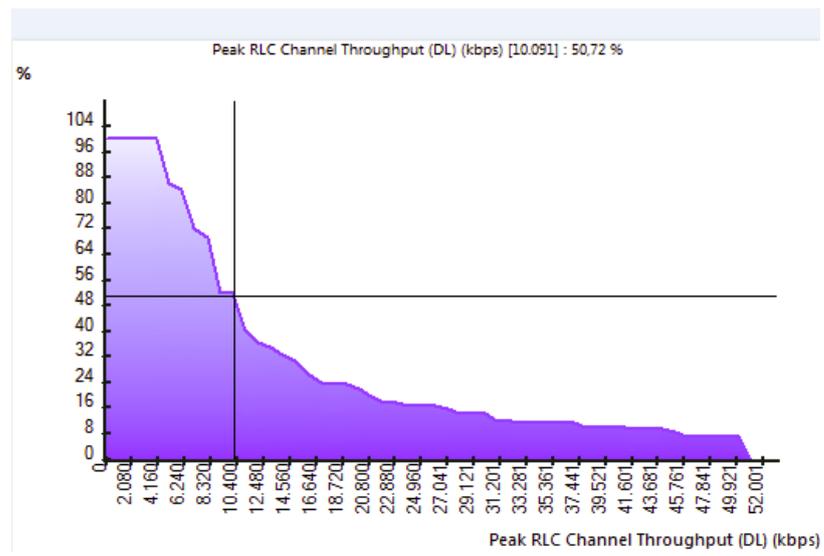


Figura 66 Porcentaje de throughput LTE

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Gracias a la estructura integrada de la tecnología 4G LTE y sus distintos componentes como el EPC, la RAN, IP-RAN se puede obtener una mejora importante en la prestación de servicios de las operadoras móviles, ya que estas van a poder ofertar servicios de BAM (Banda Ancha Móvil) y de datos móviles a mayor velocidad que las redes 3G/UMTS.
- LTE al usar tecnologías de transmisión físicas como la OFDMA en DL y SC-FDMA para UL así también como el uso de técnicas Multi-Antena (MIMO) y distintos tipos de modulación permite que se alcancen velocidades de 100 Mbps en DL y 50 Mbps en UL, dándose esto debido a que LTE hace uso del espectro de una manera más eficiente que UMTS.
- En el polígono definido con un área de 998.15 km² para dar cobertura al Distrito Metropolitano de Quito como parte de este proyecto final de grado se determinó que se requieren 250 radio bases con las cuales se llegó a cubrir con buenos niveles de señal al 50.1% de su superficie con un *throughput* medio de 10 Mbps.

- El modelo de propagación con el cuál se trabajo fue el SPM (Standard Propagation Model) ya que se puede obtener las pérdidas de una manera más real comparado con Okumura-Hata y Cost231-Hata, esto es debido a que usa varios parámetros K específicos para distintas zonas poblacionales, permitiendo así trabajar con valores que ya han sido probados con éxito por Huawei en la implementación de varias redes a nivel mundial y que para el caso de la CNT EP ha sido usado para el despliegue de su red 3G/HSPA+.
- El diseño de la Red LTE partió de la idea de dar cobertura global de la ciudad de manera paulatina en los distintos barrios y sectores del Distrito Metropolitano, es así que se colocó *eNodesB* en lugares estratégicos considerando la topografía de los objetivos de cobertura dados por CNT EP, logando así ubicar 250 de ellos, los cuáles según las predicciones obtenidas por la herramienta UNE-T van a brindar niveles de señal adecuados para que se garanticen que el usuario final pueda experimentar los beneficios de una Red de cuarta generación en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Se llega a la conclusión de que por más que las predicciones sean lo más exactas posibles, las pruebas de campo nos van a mostrar el estado verdadero de una red, las simulaciones permiten plantear las ubicaciones, pero las pruebas en campo permiten optimizar todos los parámetros para así mejorar la cobertura.
- La implementación de los 21 *eNodesB* se realizó sin ningún inconveniente, ya que se rigieron a las guías de instalación propuestas

en este proyecto de grado. Al ser estos prioritarios para la CNT EP fueron realizados en *Sites* de la Red 3G del Distrito Metropolitano de Quito, más específicamente en la zona comercial de IÑAQUITO y sus alrededores.

- Los resultados obtenidos tanto en el software de predicción así también como en los equipos de drive test permitieron determinar que se va a brindar al usuario final una verdadera experiencia LTE ya que los niveles de señal y *throughput* que se obtuvieron son considerados óptimos para que CNT EP pueda dar cobertura y servicio de datos móviles con velocidades superiores a las que actualmente se llega con la Red 3G/HSPA+ al Distrito Metropolitano de Quito
- Los drive test permitieron observar el comportamiento de esta Red LTE con sus 21 *eNodesB* iniciales en un ambiente real, para lo cual se realizaron pruebas en las que se procedió a medir varios parámetros a la vez como niveles de señal RSRP, SNIR y THROUGHPUT, permitiendo así encontrar problemas que el despliegue de este clúster pudiese presentar y que posteriormente fueron solucionados con la optimización del mismo realizando cambios físicos y lógicos en los *eNodesB* que los causaban.

5.2. RECOMENDACIONES

- La topografía del Distrito Metropolitano de Quito al ser muy irregular y al tener varias depresiones así como sitios ubicados en lugares altos hacen que en el *Planning* realizado se tenga que

considerar que cada *eNodeB* pueda sobre propagarse o tenga una propagación limitada, para que esto no suceda y se evite en la mayoría de los sitios ubicados se recomienda modificar parámetros físicos como son los *tilts* y *azimuts*, así también como las potencias de las antenas se logra que las predicciones obtenidas por el software para la mayoría de los *eNodesB* cubran cada uno de las zonas geográficas para los cuales se planificaron.

- Se recomienda levantar la información por sectores con la configuración adecuada del software de predicción para cada uno de ellos, permite que las predicciones se realicen de mejor manera
- La configuración correcta de PCIs y vecindades permiten que la red funcione correctamente, ya que si algún parámetro está mal configurado, no se realizarán *handovers* adecuadamente, se caerán las conexiones y la red estará inestable.
- La correcta configuración de *tilts* tanto eléctricos como mecánicos permitirán controlar la propagación de los sectores, ya que si un sector se sobre propaga puede ocasionar interferencias en otros lugares, por lo cual se debe tomar en cuenta que el *tilt* eléctrico disminuye todos los lóbulos, mientras que el mecánico ocasiona que los lóbulos laterales se expandan.
- Para la Ubicación de las antenas se debe tomar en cuenta el control de la propagación en especial de lóbulos traseros, que pueden ocasionar interferencias con otros sectores, ya que en el *Planing* no

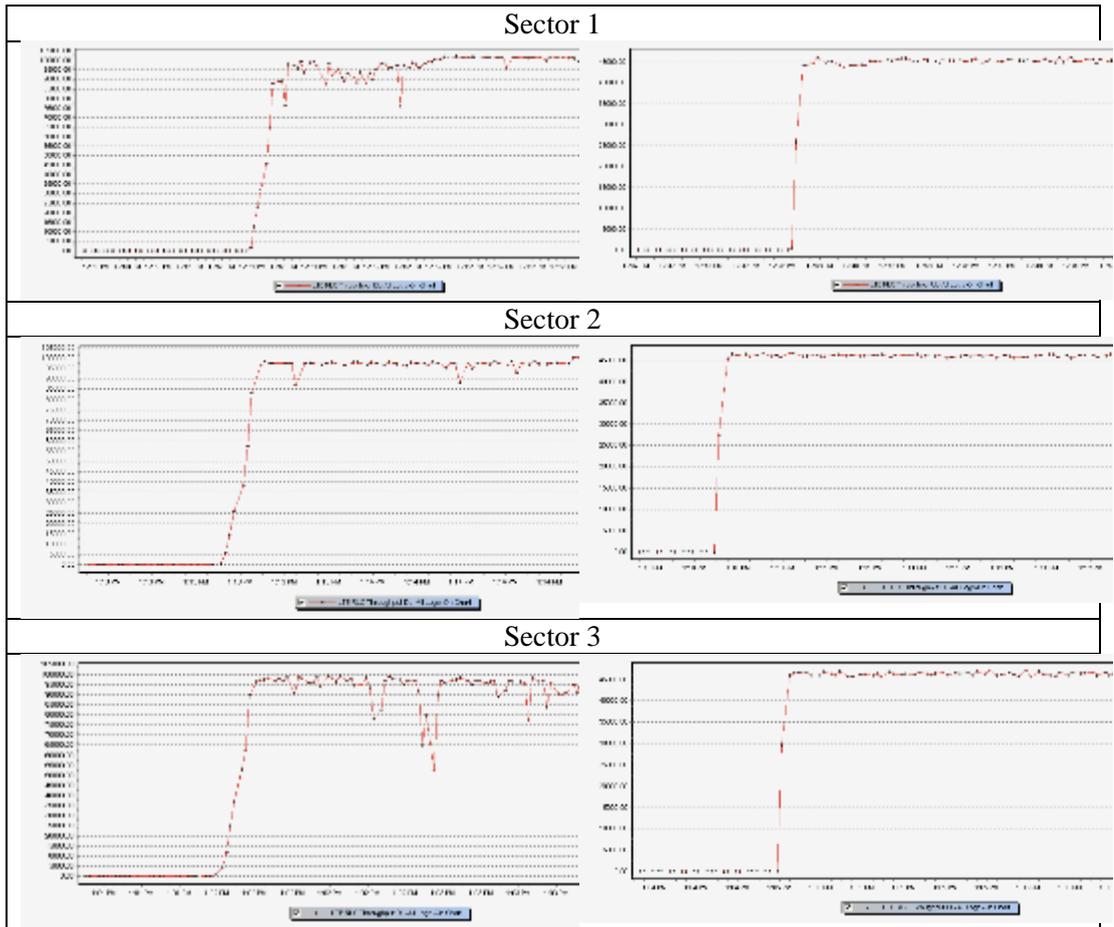
se puede mostrar pero el rato de realizar las pruebas puede ocurrir que el lóbulo trasero de un sector ocasione interferencias.

- La altura de la antena también es un factor muy importante para la cobertura de la señal, mientras más alto se coloque la antena más lejos puede llegar restos de la señal por las diferentes condiciones de propagación en un medio urbano, por lo cual se deben tomar en cuenta los obstáculos y las alturas para su correcto posicionamiento.
- Los sitios de alta concentración de personas tienen particular importancia para las redes de telecomunicaciones, por lo que las pruebas en esos sitios deben ser realizadas estáticamente probando al máximo los nodos más cercanos.
- La optimización de la red es un proceso que debe ser realizado continuamente, ya que las ciudades van evolucionando, creciendo tanto longitudinal como verticalmente por lo que las redes se ven afectadas, por lo tanto deben ser reajustadas a los nuevos cambios.

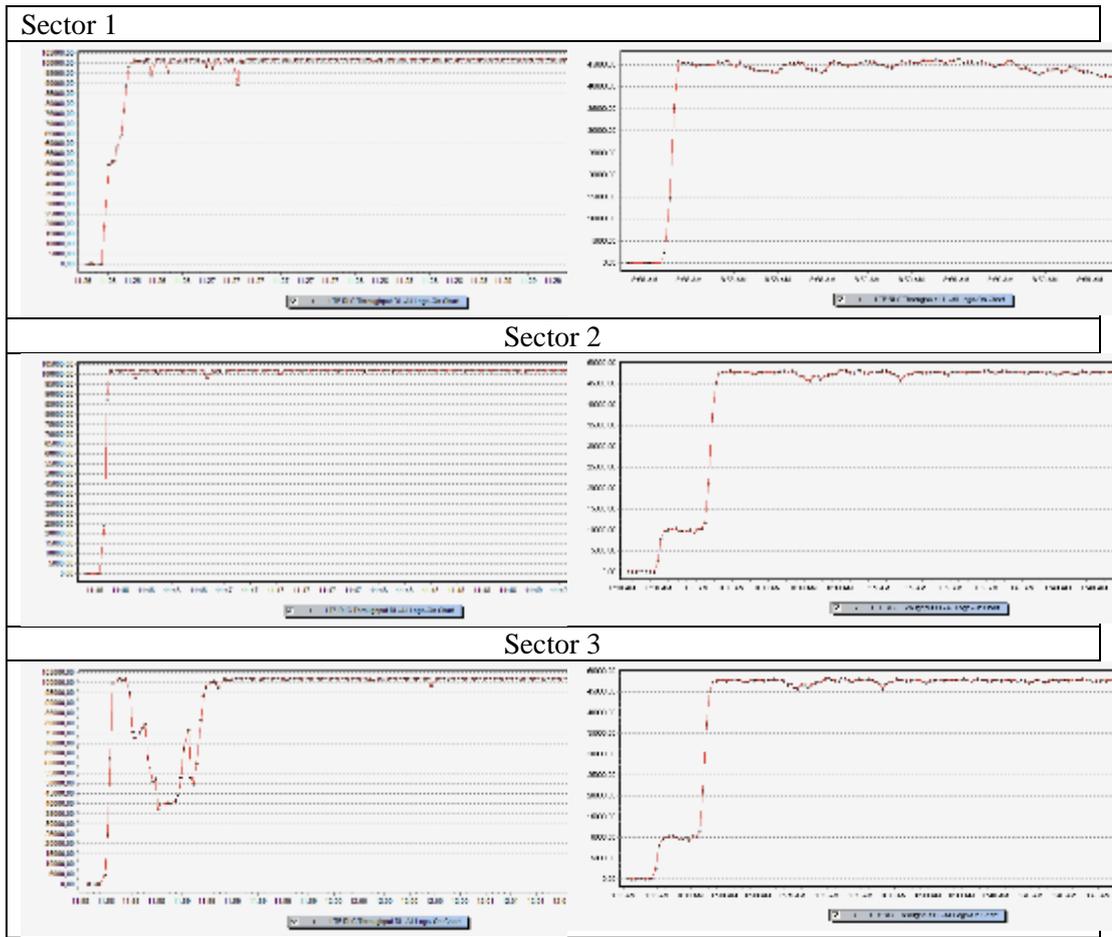
ANEXOS

Anexo 1

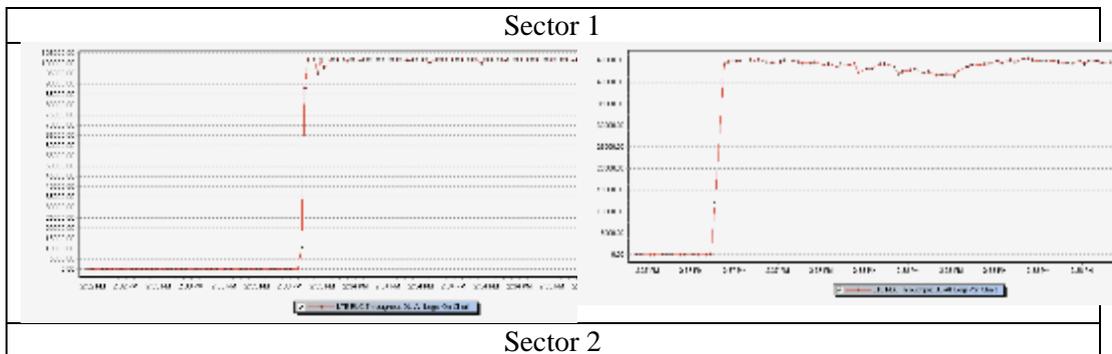
Anexo 1.1 Cinemark

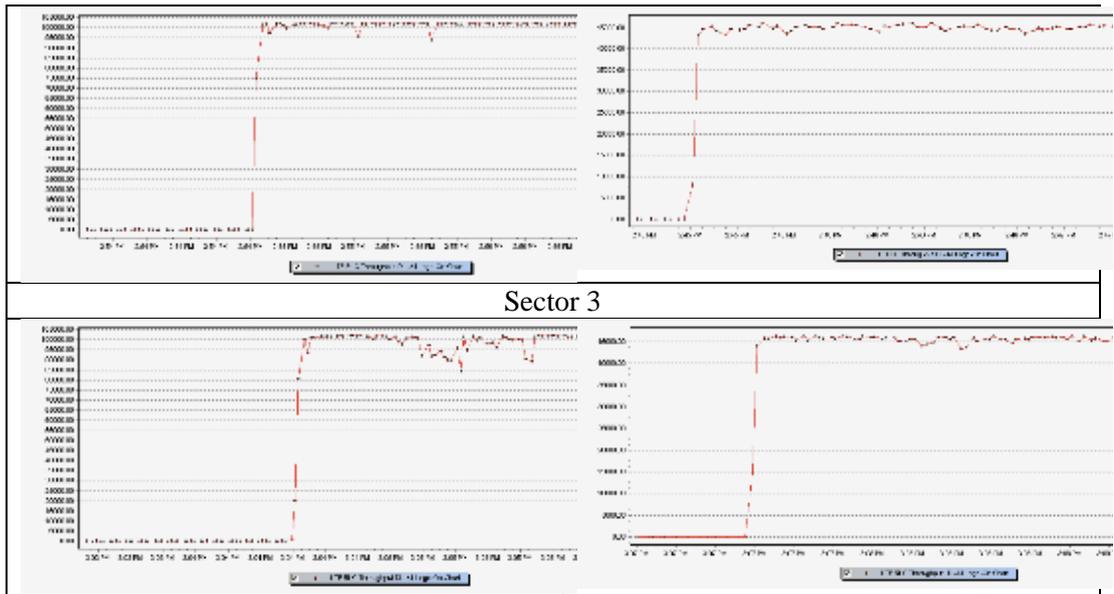


Anexo 1.2 El labrador



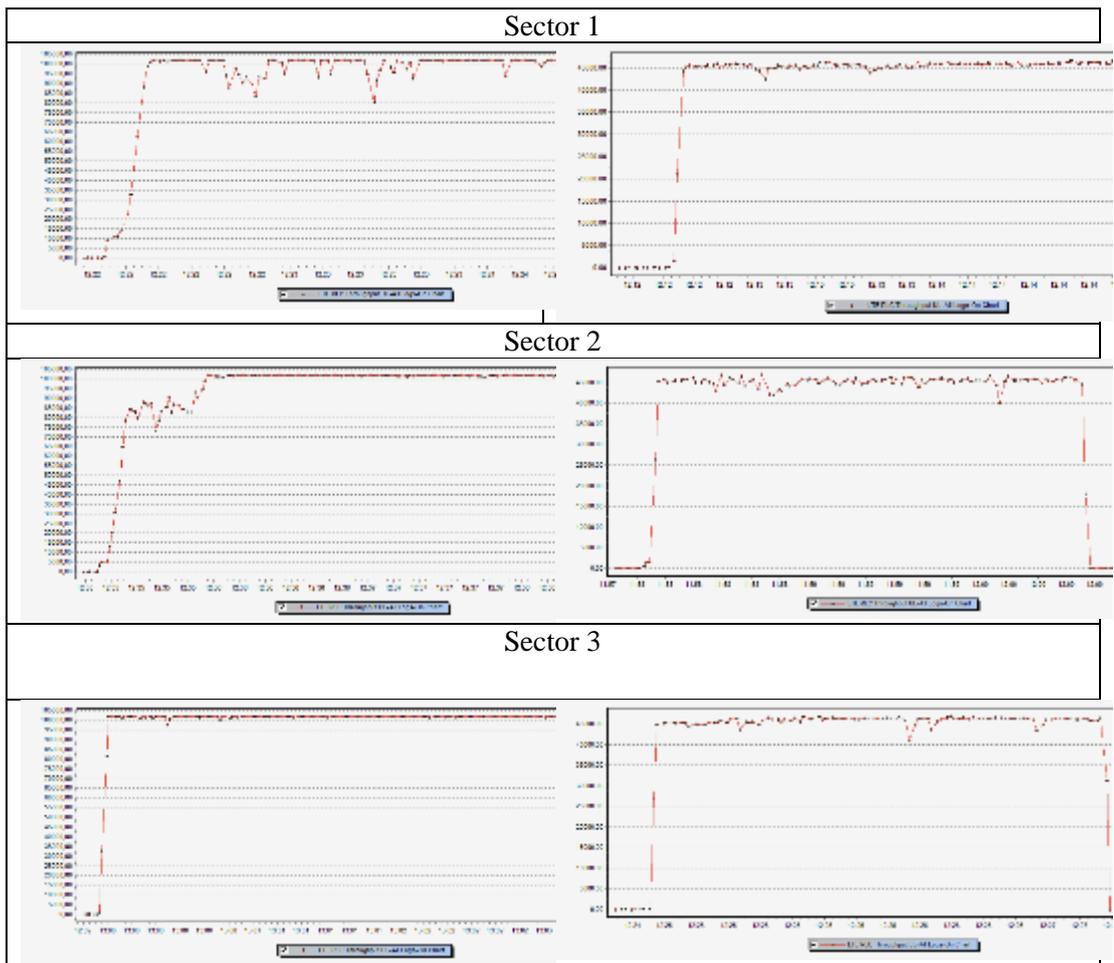
Anexo 1.3 Iñaquito





Sector 3

Anexo 1.4 Isaac Albeniz



Anexo 2

Datasheet Antena Agisson

DX-1710-2200-65-18i-M		AGISSON										
Model: A19451811		By HJAWB										
Electrical Properties												
Frequency range (MHz)	1710 - 2200											
	1710 - 1880			1850 - 1990			1920 - 2170			2170 - 2200		
Polarization	+45°, -45°											
Electrical downtilt (°)	0 - 10, continuously adjustable											
Gain (dBi)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
	17.2	17.6	17.4	17.7	18.0	17.7	18.0	18.1	17.9	18.0	18.2	17.9
Side lobe suppression for first side lobe above main beam (Typ.) (dB)	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
	20	16	18	20	20	18	18	17	16	18	18	16
Horizontal 3dB beam width (°)	67			64			61			60		
Vertical 3dB beam width (°)	7.5			7.0			6.7			6.2		
VSWR	< 1.5											
Isolation between ports (dB)	≥ 30											
Front to back ratio, copolar (dB)	Typ. 30											
Cross polar ratio (dB)	0°	Typ. 22										
	±60°	Typ. 10										
Max. power per Input (W)	300 (at 50°C ambient temperature)											
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -153 (2 x 43 dBm carrier)											
Squint (°)	Avg. 1.2											
Tracking (dB)	Avg. 1.2 (within 10dB HBW)											
Impedance (Ω)	50											
Grounding	DC Ground											

Mechanical Properties	
Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1311 x 155 x 89
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	1697 x 252 x 200
Antenna net weight (kg)	6.2
Bracket weight (kg)	2.6
Packing weight (kg)	11.5
Mechanical downtilt (°)	0 - 12
Mast diameter (mm)	50 - 115
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-55 ... +65
Wind load (N)	Frontal: 315 (at 150 km/h) Lateral: 155 (at 150 km/h) Rear side: 360 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	150
Survival wind speed (km/h)	200
Connector	2 x 7/16 DIN Female
Connector position	Bottom



FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Muñoz Vera, K. (2011). *Análisis de la tecnología Long Term Evolution (LTE) para su posible implementación en el Ecuador*. Quito.
- Orozco Garzón, N. (2011). *Estudio de la factibilidad de la migración del sistema UMTS/HSPA a LTE*. Sangolqui.
- Alonso. (13 de Febrero de 2006). *El formato raster. Fundamentos*. Obtenido de Universidad de Murcia: http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node28_ct.html
- Atoll Overview*. (s.f.). Obtenido de <http://www.forsk.com/atoll/>
- Ayala Abarca, A. (2011). *Diseño de una red de Transporte IP RAN para voz y Datos para Redes de Telefonía Celular de Cuarta Generación en el Ecuador*. Sangolqui.
- Barton, B. (18 de Enero de 2012). *GX interface – sitting between PCRF and PCEF*. Obtenido de LTE AND BEYOND: <http://www.lteandbeyond.com/2012/01/gx-interface-sitting-between-pcrf-and.html>
- Carrera, M. (5 de Julio de 2011). *Link Budget*. Obtenido de Redes de Acceso: <http://redesacesomichelle.blogspot.com/2011/07/link-budget.html>
- COMMSCOPE. (2010). What antenna configuration is best for LTE-Advanced.
- CPRI. (2010). Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification. *Technical Specification CPRI V4.2*.
- ETSI. (2007). UMTS Evolution from 3GPP Release 7 to Release 8 HSPA and SAE/LTE. *3G Americas*.
- ETSI. (Junio de 2009). LTE General [aclet radio service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access. *Technical Specification ETSI 3GPP TS 23.401, 288*.
- ETSI 3GPP. (2007). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) Architecture enhancements for non-3GPP accesses. *Technical Specification ETSI 3GPP TS 23.402 version 11.6.0 Release 11*.

ETSI 3GPP. (2013). Digital cellular Telecommunications System (Phase 2+) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) LTE network architecture. *technical Specification ETSI 3GPP TS 23.002 version 11.5.0 Release 11.*

ETSI 3GPP. (2013). LTE General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access. *Technical Specification TS 23.401 version 11.5.0 Release 11.*

ETSI 3GPP. (2013). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Characteristics of the universal Subscriber Identity Module (USIM). *Technical Specification.*

Evolución de la Tecnología Móvil: 1G, 2G, 3G, 4G. (7 de Mayo de 2011). Obtenido de <http://linkea.do/2011/05/07/evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>

Faulin, J. (Julio de 2005). *Simulación de Monte Carlo con Excel.* Obtenido de Ciencia y Técnica Administrativa: http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte_carlo/monte_carlo.htm

GSA. (2013). *Status of the LTE Ecosystem reports 2011 – 2013.*

Hablando sobre 3G, 2G, GPRS, EDGE y UMTS. (17 de Diciembre de 2007). Obtenido de http://www.tecnologiahechapalabra.com/comunicaciones/movil_inalambrico_satelital/articulo.asp?i=1865

Hayashi, T. (2012). Evolved Packet Core(EPC) Network Equipment for Long Term Evolution (LTE). *FUJITSU Sci. Tech.*

Holma, H., & Toskala, A. (2009). *LTE FOR UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Acces.* West Sussex: Wiley & Son.

Kato, T. (2012). Next-Generation Mobile Network. *FUJITSU Sci. Tech.*

Kitagara, M. (2011). LTE System and Services as Social Platform for Enriching People's Lives. *NTT DOCOMO technical Journal.*

Kiyonagi, H. (2012). Field Trial for LTE Mobile Network System. *FUJITSU Sci. Tech.*

Kumagai, Y. (2012). High-Efficiency Power Amplifier for LTE)/W-CDMA System. *FUJITSU Sci. Tech.*

La Tecnología Movil. (s.f.). Obtenido de <http://www.lacitysocial.com/la-tecnologia-movil-2g-3g-4g/>

Laganler, J. (2009). Mobility Management for All-IP Core Network. *NTT DOCOMO technical Journal*.

Manosalvas Barriga, H., & Santamaría Naranjo, A. (2011). *Estudio, Diseño y Simulación de una red LTE (Long Term Evolution) para la telefonía móvil en los valles de Tumbaco y Los Chillos utilizando software predictivo*. Quito.

Maruo, N. (2012). Development of LTE Baseband LSI and ExpressCard Terminal for Mobile Devices. *FUJITSU Sci. Tech*.

Minami, M. (2009). USIM File Extension and Creation of Conformance Test Specification toward LTE Deployment. *NTT DOCOMO technical Journal*.

Miñarro, A. (Junio de 2009). LTE/SAE una respuesta segura a la evolución de las redes móviles. (C. Y. AEITT, Ed.) *ANTENA de Telecomunicación*(176).

Modelo de Propagación. (s.f.). Obtenido de Catarina udlap:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/soriano_m_jc/capitulo2.pdf

Nakamori, T. (2011). Technology Supporting Core Network (EPC) Accomodating LTE. *NTT DOCOMO technical Journal*.

Nakamort, T. (2011). LTE Mobile Terminal for Expansion into Global Markets. *NTT DOCOMO technical Journal*.

Okubo, N. (2011). Overview of LTE Radio Interface and Radio Network Architecture for High Speed, High Capacity and Low Latency. *NTT DOCOMO technical Journal*.

PCTEL. (2011). Maximizing LTE Performance through MIMO Optimization.

Radio Mobile. (s.f.). *Land Cover*. Obtenido de Radio Mobile:
http://radiomobile.pe1mew.nl/?Geodata:Land_cover

Remote Radio Headd. (s.f.). Obtenido de Fujitsu:
<http://www.fujitsu.com/global/services/telecom/product/rrh.html>

- Shimazu, Y. (2011). TE Base Station Equipments Usable with W-CDMA System. *NTT DOCOMO technical Journal*.
- Suzuki, K. (2011). Core Network (EPC) for LTE. *NTT DOCOMO technical Journal*.
- Tanaka, I. (2009). CS Fallback Function for Combined LTE and 3G Circuit Switched Services. *NTT DOCOMO technical Journal*.
- Tecnologias 2G y 2.5G*. (30 de Marzo de 2011). Obtenido de <http://www.slideshare.net/diego15289/tecnologias-2g-y-25g>
- UMTS*. (s.f.). Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789UMTS.pdf>
- Watanabe, H. (2012). Evolved Node B on LTE System for NTT DOCOMO. *FUJITSU Sci. Tech.*
- Watanabe, K. (2012). Outdoor LTE Infrastructure Equipment (eNodeB). *FUJITSU Sci. Tech.*
- Zugenmaier, A. (2009). Security Technology for SAE/LTE. *NTT DOCOMO technical Journal*.

ACTA DE ENTREGA

El Proyecto de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA LA CNT EP**”, fue entregado en el Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Sangolquí, _____

Felipe Alberto León C.

Lenin Israel Recalde T.

Ing. Paul Bernal

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES