

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES
DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES
DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

**“DISEÑO DE UNA RED 4G (LONG TERM EVOLUTION)
EN EL CLÚSTER 2 DE LA CIUDAD DE QUITO PARA EL
OPERADOR CNT EP.”**

AUTORA: DIANA CAROLINA ALVAREZ PAREDES

DIRECTOR: ING. ROBERTO MARCILLO

IBARRA – ECUADOR

2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	172458989-8
Apellidos y Nombres	Alvarez Paredes Diana Carolina
Dirección	Cotacachi, Bolívay y Eloy Alfaro
E-mail	dian.alvarez1990@gmail.com
Teléfono Fijo	062916236
Teléfono Móvil	0983374318

DATOS DE LA OBRA	
Título	DISEÑO DE UNA RED 4G (LONG TERM EVOLUTION) EN EL CLÚSTER 2 DE LA CIUDAD DE QUITO PARA EL OPERADOR CNT EP.
Autor	Alvarez Paredes Diana Carolina
Fecha	24/07/2014
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Ing. Roberto Marcillo

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Diana Carolina Alvarez Paredes, con cédula de identidad Nro. 1724589898, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Diana Carolina Alvarez Paredes**, con cédula de identidad Nro. 1724589898, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **“DISEÑO DE UNA RED 4G (LONG TERM EVOLUTION) EN EL CLÚSTER 2 DE LA CIUDAD DE QUITO PARA EL OPERADOR CNT EP.”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Firma
Nombre: Diana Carolina Alvarez Paredes
Cédula. 1724589898



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CONSTANCIA

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

En la ciudad de Ibarra, Diciembre de 2014

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Diana Alvarez", is written over a horizontal line.

La Autora:

Diana Carolina Alvarez Paredes
CI.:1724589898



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACIÓN

Yo, Diana Carolina Alvarez Paredes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normativa vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Diana Carolina Alvarez Paredes
CI.:1724589898



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE UNA RED 4G (LONG TERM EVOLUTION) EN EL CLÚSTER 2 DE LA CIUDAD DE QUITO PARA EL OPERADOR CNT EP.”** fue desarrollado en su totalidad por la Srta. Diana Carolina Alvarez Paredes, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Roberto Marcillo", is written over a horizontal line.

Ing. Roberto Marcillo
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Con toda la humildad de mi corazón quiero dedicar este trabajo principalmente a mi amado Dios, por ser mi fuerza y la principal razón de mi existencia. A Él por entregarme su incondicional amor y bondad durante todos los días de mi vida.

A mi mami, que ha sabido guiarme en cada decisión que he tomado en mi vida. A ella por ser la mejor madre del mundo, cuyo amor y reprensión me ha permitido desarrollarme como mejor ser humano.

A mi papi, que con su vida me ha demostrado un gran ejemplo de valentía y superación, enseñándome que sólo Dios nos puede dar las fuerzas para salir adelante.

A mis lindas hermanas: Jany y Dome, por ser mis compañeras de vida, con las cuales he compartido tantos momentos de felicidad.

Diana

AGRADECIMIENTO

Con todo mi corazón quiero expresar mi principal agradecimiento a Dios, por darme el amor, la fe, la paciencia, la fuerza, la capacidad, la sabiduría, los recursos económicos y humanos que han sido necesarios durante toda mi vida estudiantil. Porque todo lo que he conseguido durante mi vida ha sido por su bendita gracia y misericordia, jamás me ha abandonado, siempre he podido ver su mano poderosa ayudándome a salir de cada momento de tristeza y regocijándome en momentos de felicidad.

Gracias mi amado Dios por bendecir mis estudios, ayúdame a ser un instrumento tuyo en mi futura vida profesional, recordando siempre que todo lo que se hace en la vida debe ser pensado como si fuera para ti.

Un gran agradecimiento a mis queridos padres: John y Mery, por su gran amor, cuidados, dedicación, comprensión, paciencia, ellos son un pilar fundamental de mi vida, que junto con mis hermanas hemos sido siempre una familia unida.

Al Ing. David Domínguez por todo su apoyo mostrado desde mis inicios en las prácticas pre-profesionales en Huawei Technologies, y por abrirme las puertas al darme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto.

De corazón mi eterno e indiscutible agradecimiento al Ing. Christian Arévalo que con su cariño y comprensión me ha facilitado la realización de este proyecto. A él porque a pesar de su limitado tiempo siempre buscó la manera de ayudarme y compartir sus valiosos conocimientos conmigo; tal vez las palabras no son suficientes para agradecerle pero su noble acto vivirá por siempre en mi corazón.

A mi director de tesis Ing. Roberto Marcillo, por su acertada asesoría y dirección durante el desarrollo del proyecto, como también al Ing. Jaime Michilena quien me proporcionó sabios consejos.

A la Universidad Técnica del Norte, por acogerme en sus aulas y mediante las guías que han sido mis maestros han permitido formarme profesional y humanamente.

A todos mis amigos y compañeros, pero de manera especial a Anita y Richard, por brindarme su incondicional amistad y por todas las risas y momentos de felicidad que hemos compartido.

A todos y cada uno de ustedes muchísimas gracias, que Dios les bendiga.

Diana.

CONTENIDO

CONTENIDO	X
INDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE TABLAS	XVIII
RESÚMEN.....	XXI
ABSTRACT	XXII
PRESENTACIÓN	XXIII
ANTECEDENTES	XXIV
CAPITULO 1	1
CONTENIDO TEÓRICO DEL PROYECTO	1
1.1 LONG TERM EVOLUTION LTE	1
1.1.1 Breve recuento histórico de LTE.....	1
1.1.2 Definición de LTE.....	4
1.1.3 Principios básicos de la tecnología LTE	4
1.1.3.1 Técnicas de múltiple acceso al medio OFDMA	5
1.1.3.2 Técnica de múltiple acceso al medio SC-FDMA	6
1.1.4 Arquitectura del sistema LTE.....	7
1.1.4.1 Nucleo de red – Evolved Packet Core	8
1.1.4.1.1 Mobility Management Entity (MME)	8
1.1.4.1.2 Serving Gateway (S-GW)	10
1.1.4.1.3 Packet Data Network Gateway (PDN-GW)	11
1.1.4.1.4 Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)	12
1.1.4.1.5 Home Subscription Server (HSS)	13
1.1.4.2 Red de Acceso – EUTRAN	13
1.1.4.3 Equipo de Usuario	15
1.1.5 Arquitectura de Protocolos LTE.....	17
1.1.5.1 Plano de Usuario.....	19
1.1.5.1.1 The Packet Data Convergence Protocol (PDCP)	20
1.1.5.1.2 Radio Link Control (RLC)	20
1.1.5.1.3 Medium Access Control (MAC)	21
1.1.5.1.3.1 Canales Lógicos de la capa MAC	22
1.1.5.1.3.1.1 Canales Lógicos de Tráfico	22
1.1.5.1.3.1.2 Canales Lógicos de Control.....	22
1.1.5.1.3.1.3 Canales Lógicos de Transporte.....	23
1.1.5.1.4 Capa Física	24
1.1.5.1.4.1 Estructura de la Trama tipo 1 (SF1)	25
1.1.5.1.4.2 Estructura de la Trama tipo 2 (SF2)	25

1.1.5.2 Plano de Control -----	27
1.1.5.2.1 Non Access Stratum (NAS) -----	28
1.1.6 Interfaces de red E-UTRAN: S1 -----	28
1.1.6.1 Estructura de Protocolos sobre S1 -----	31
1.1.6.1.1 Plano de Control -----	31
1.1.6.1.2 Plano de Usuario -----	33
1.1.7 Interfaz de red E-UTRAN: X2 -----	33
1.1.7.1 Estructura de protocolos X2 -----	34
1.1.8 Tecnología de Múltiple Antena -----	35
1.1.8.1 MIMO (Multiple Input Multiple Output) -----	36
1.8.1.1.1 Funcionamiento MIMO -----	36
1.1.8.1.2 Modo de Operación MIMO en el downlink LTE -----	38
1.1.8.1.3 Modo de Operación MIMO en el Uplink LTE -----	40
1.1.9 Ventajas LTE -----	41
1.1.10 Servicios LTE -----	42
CAPITULO 2 -----	44
SITUACIÓN ACTUAL RED 3G UMTS/HSPA+ -----	44
2.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA 3G -----	44
2.1.1 Características Principales -----	44
2.1.2 Principales estándares de la tecnología 3G -----	45
2.1.3 Descripción del estado de la red actual del clúster 2 -----	46
2.1.3.1 Delimitación de la zona de cobertura -----	47
2.1.3.2 Determinación de las estaciones base existentes -----	49
2.1.3.3 Arquitectura de red 3G-UMTS/HSPA+ -----	51
2.1.3.4 Banda de frecuencia -----	53
2.1.3.5 Modelo de Propagación -----	54
2.1.3.6 Modelo de Tráfico -----	54
2.1.3.7 Capacidad de Transmisión -----	55
CAPÍTULO 3 -----	57
INGENIERÍA DE PROYECTO -----	57
3.1 PLANEACIÓN DE FRECUENCIAS -----	58
3.1.1 Asignación de la banda de frecuencias para CNT EP. -----	59
3.2 PLANEACIÓN DE COBERTURA -----	60
3.2.1 Modelo de Canal -----	60
3.2.2 Modelo de Propagación -----	62
3.2.2.1 Modelo COST231-Hata Huawei: -----	62
3.2.2.2 Modelo de propagación estándar SPM -----	64
3.3 PRESUPUESTO DEL ENLACE “LINK BUDGET” -----	66
3.3.1 Parámetros Link Budget para enlace Uplink/Downlink -----	66
3.3.2 Parámetros relacionados a la antena -----	69

3.3.3 Resultados Link Budget -----	69
3.4 DEFINICIÓN DE LOS NUEVOS SITIOS LTE FUNDAMENTADOS EN LAS ESTACIONES BASE EXISTENTES EN 3G UMTS/HSPA+. -----	71
3.5 PLANIFICACIÓN DE LA CELDA -----	72
3.5.1 Planeación Cell_ID -----	72
3.5.1.1 Planeación del Nombre de la Celda -----	73
3.5.2 Planeación del nombre del eNodeB -----	73
3.5.2.1. eNodeB ID -----	73
3.5.3 Planeación Tracking Área (Área de seguimiento). -----	74
3.5.3.1 Tracking Area List (TAL) -----	75
3.5.3.2 Identificador del Área de Seguimiento (TAI)-----	75
3.5.3.2.1 PLMN_ID -----	76
3.5.3.2.1.1 Mobile Country Code (MCC) -----	76
3.5.3.2.1.2 Mobile Network Code (MNC)-----	77
3.5.3.2.2 Location Area Code (LAC) -----	77
3.5.3.2.3 Tracking Area Code (TAC) -----	78
3.5.4 Identificador físico de celda (PCI) -----	79
3.5.4.1 PCI Planning -----	80
3.5.5 Physical Random Access Channel (PRACH) -----	80
3.6 PARÁMETROS DE RADIO FRECUENCIA -----	81
CAPÍTULO 4 -----	83
DISEÑO DE LA RED LTE -----	83
4.1 INTRODUCCIÓN SOFTWARE GNEX U-NET -----	83
4.1.1 Interfaz Gráfica U-Net -----	86
4.1.1.1 Barra de Menú -----	87
4.1.1.2 Barra de Herramientas Estándar -----	88
4.1.1.3 Barra de Tareas -----	89
4.1.1.4 Ventana del Explorador-----	90
4.1.1.4.1 Geo -----	91
4.1.1.4.2 Data -----	92
4.1.1.4.3 Network -----	92
4.1.1.4.4 Operation -----	93
4.2 PROCESO DE DISEÑO DE LA RED LTE EN U-NET -----	94
4.2.1 Crear un proyecto en U-NET-----	95
4.2.2 Importar datos geográficos -----	96
4.2.3 Ajustes de parámetros NE. -----	103
4.2.3.1 Creación de Sitios -----	103
4.2.3.2 Creación de Transceivers -----	105
4.2.3.2 Ajustes de Banda de Frecuencia-----	107
4.2.3.3 Creación de celdas-----	108

4.2.4	Gestión de modelos de propagación y bandas de frecuencia -----	109
4.2.4.1	Configuración del modelo de propagación SPM-----	109
4.2.5	Añadir dispositivos de red. -----	111
4.2.6	Ajustes de parámetros de tráfico. -----	115
4.2.6.1	Configuración del tipo de Modulación y Codificación MCS -----	116
4.2.6.2	Configuración del tipo de servicio LTE-FDD-----	119
4.2.6.3	Configuración del tipo de terminales -----	121
4.2.6.4	Configuración de tipos de entorno -----	124
4.2.6.5	Configuración del perfil de usuarios-----	125
4.2.6.6	Configuración de tipos de movilidad. -----	127
4.2.7	Cálculo de pérdida de trayectoria. -----	128
4.2.8	Predicción del rendimiento de la red. -----	129
4.2.8.1	Crear un grupo de predicción e iniciar la predicción. -----	130
4.2.8.2	Visualización del resultado de la predicción de cobertura. -----	135
4.2.9	Optimización de la celda y parámetros de radio frecuencia. -----	141
4.2.9.1	Planificación LTE PCI-----	142
4.2.9.2	Planificación LTE PRACH -----	145
4.2.9.3	Optimización de celdas -----	149
4.3	DISPOSITIVOS DE RED EMPLEADOS EN LA TECNOLOGÍA LTE. -----	162
4.3.1	Introducción DBS 3900 -----	162
4.3.2	Especificaciones de capacidad DBS 3900-----	163
4.3.3	Estructura del sistema Single BTS-----	164
4.3.3.1	BBU3900-----	164
4.3.3.1.1	Estructura Lógica BBU3900 -----	165
4.3.3.1.2	Especificaciones técnicas BBU3900 -----	166
4.3.3.1.3	Tarjetas y puertos de la BBU3900 -----	167
4.3.3.1.3.1	Módulo LMPT (LTE Main Processing and Transmission Unit) ----	167
4.3.3.1.3.2	Módulo LBBP (LTE Baseband Processing Unit). -----	168
4.3.3.1.3.3	Módulo UPEU (Universal Power & Environment Interface Unit). --	169
4.3.3.1.3.4	Módulo FAN -----	170
4.3.3.2	RRU 3908-----	170
4.3.3.2.1	Estructura Lógica RRU 3908 -----	170
4.3.3.2.2	Conexiones RRU 3908-----	171
4.3.3.3	Antena Huawei Agissson A19451811 -----	172
4.3.4	Interconexión de equipos DBS3900 -----	174
CAPÍTULO 5	-----	175
5.1	PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA RED LTE EN U-NET -----	175
5.1.1	Creación del mapa de tráfico. -----	176
5.1.2	Creación del grupo de simulación. -----	179
5.1.3	Visualizar el resultado de la capacidad de simulación. -----	183
5.1.4	Análisis del resultado de la capacidad de simulación. -----	184

CAPÍTULO 6	195
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD A NIVEL DE PROYECTO.	195
6.1 Factibilidad Legal	195
6.1.1 Resoluciones	196
6.1.2 Solicitudes	197
6.1.3 Concesiones	198
6.2 Factibilidad Técnica	199
6.2.1 Solución SINGLE RAN Huawei	199
6.3 Factibilidad Económica	202
6.3.1 Proyección de Usuarios.	202
6.3.2 Estimación de Ingresos	203
CAPÍTULO 7	205
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	205
7.1 CONCLUSIONES	205
7.2 RECOMENDACIONES	207
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de evolución en el tiempo de los estándares 3GPP.	3
Figura 2. Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.	5
Figura 3. Arquitectura LTE.....	8
Figura 4. Procedimiento de autenticación de usuario.	9
Figura 5. Conexiones MME a otros nodos lógicos y funciones principales.	10
Figura 6. Conexiones S-GW a otros nodos lógicos	11
Figura 7. Conexiones P-GW a otros nodos lógicos.....	12
Figura 8. Conexiones PCRF a otros nodos lógicos.....	13
Figura 9. Conexiones eNodeB a otros nodos lógicos.	15
Figura 10. Arquitectura del equipo de usuario.	16
Figura 11. Pilas de protocolos de radio de LTE.	18
Figura 12. Pila de protocolos del plano de usuario.	19
Figura 13. Estructura de trama tipo 1	25
Figura 14. Estructura de la trama tipo 2	26
Figura 15. Stack de protocolos del plano de control	27
Figura 16. Procedimiento de configuración inicial sobre interfaz S1.....	29
Figura 17. Puntos de referencia interfaz S1.....	30

Figura 18. Estructura de protocolos para el plano de control	32
Figura 19. Estructura de protocolos para el plano de usuario	33
Figura 20. Estructura de protocolos de interfaz X2	35
Figura 21. Funcionamiento MIMO	37
Figura 22. MU-MIMO en enlace uplink	40
Figura 23. Ubicación geográfica del clúster 2	48
Figura 24. División celular	49
Figura 25. Ubicación geográfica de las estaciones base bajo tecnología 3G UMTS/HSPA+.	51
Figura 26. Topología de la red 3G-UMTS/HSPA+.	52
Figura 27. Planificación ingeniería de proyecto	57
Figura 28. Bandas de frecuencia definidas para LTE a nivel mundial.	58
Figura 29. Canalización de bandas 700 MHz y AWS 1700/2100 MHz	59
Figura 30. Modelo Cost231-Hata	63
Figura 31. Link Budget en el enlace Downlink	67
Figura 32. Link Budget en el enlaceUplink	67
Figura 33. Convergencia de redes 3G y LTE sobre el clúster 2.	71
Figura 34. Concepto de Tracking Area.	74
Figura 35. Componentes del TAI.	76
Figura 36. Mensaje de Paginación S1AP.	78
Figura 37. Señales de sincronización PCI.	79
Figura 38. Arquitectura Software U-Net.	85
Figura 39. Ventana Principal U-Net.	86
Figura 40. Barra de Tareas U-Net.	89
Figura 41. Ventana del Explorador U-Net.	90
Figura 42. Pestaña GEO U-Net.	91
Figura 43. Pestaña Data U-Net.	92
Figura 44. Pestaña Network U-Net.	92
Figura 45. Pestaña Operation U-Net.	93
Figura 46. Proceso de diseño de red.	94
Figura 47. Seleccionar una plantilla de proyecto.	95
Figura 48. Interfaz gráfica U-Net.	96
Figura 49. Importando datos geográficos.	96
Figura 50. Sistema de coordenadas.	97
Figura 51. Modos de visualización coordenadas.	98
Figura 52. Importar un mapa.	98
Figura 53. Selección del mapa.	99
Figura 54. Configuración de parámetros geográficos.	99
Figura 55. Importación del mapa.	100
Figura 56. Importación de parámetros geográficos.	100
Figura 57. Importación de vectores.	101
Figura 58. Importación de hights.	101
Figura 59. Parámetros de visualización del clutter.	102

Figura 60. Parámetros de visualización del clutter. -----	104
Figura 61. Configuración de los sitios. -----	104
Figura 62. Ubicación de sitios en el mapa. -----	105
Figura 63. Importar transceivers. -----	106
Figura 64. Ubicación transceivers -----	106
Figura 65. Configuración banda de frecuencia. -----	107
Figura 66. Selección banda AWS FDD – 20MHz. -----	108
Figura 67. Importar celdas. -----	108
Figura 68. Parámetros de las celdas. -----	109
Figura 69. Configuración modelo de propagación. -----	110
Figura 70. Configuración modelo de propagación. -----	110
Figura 71. Configuración modelo de propagación. -----	111
Figura 72. Importación de antena. -----	112
Figura 73. Configuración general de antena. -----	112
Figura 74. Configuración lóbulo horizontal -----	113
Figura 75. Configuración lóbulo horizontal -----	114
Figura 76. Configuración antena. -----	115
Figura 77. Configuración de parámetros de tráfico. -----	116
Figura 78. Configuración PUSCH MCS. -----	117
Figura 79. Configuración PDSCH MCS. -----	117
Figura 80. Proceso de selección de Index -----	118
Figura 81. Configuración de Servicios. -----	119
Figura 82. Configuración de parámetros de servicio FTP. -----	120
Figura 83. Configuración de terminales. -----	122
Figura 84. Configuración de terminales. -----	122
Figura 85. Configuración entorno tipo urbano. -----	124
Figura 86. Configuración del tipo de usuario. -----	124
Figura 87. Configuración de perfil de usuario. -----	125
Figura 88. Parámetros del perfil de usuario. -----	126
Figura 89. Configuración de tipos de movilidad. -----	127
Figura 90. Parámetros del tipo de movilidad seleccionado. -----	128
Figura 91. . Cálculo de Path Loss. -----	129
Figura 92. Algoritmo de predicción. -----	130
Figura 93. Crear una Predicción. -----	131
Figura 94. Nuevo Grupo de Predicción. -----	131
Figura 95. Propiedades generales del grupo de predicción. -----	132
Figura 96. Propiedades de Condición del Grupo de Predicción. -----	134
Figura 97. Propiedades avanzadas del grupo de predicción. -----	135
Figura 98. Calculo de la predicción “training” -----	135
Figura 99. Código de colores para cada celda, Best Server. -----	136
Figura 100. Resultados de la predicción: Best Server -----	137
Figura 101. Resultados de la predicción: DL RSRP -----	138
Figura 102. Resultados de la predicción: DL RS SINR -----	139

Figura 103. Resultados de la predicción: DL MAC Peak Throughput. -----	140
Figura 104. Resultados de la predicción: UL MAC Peak Throughput. -----	141
Figura 105. PCI Planning. -----	142
Figura 106. PCI Planning - <i>General</i> . -----	143
Figura 107. PCI Planning – <i>Advanced Parameter</i> -----	143
Figura 108. PCI Planning – <i>Resultados</i> -----	144
Figura 109. LTE PRACH Planning.-----	146
Figura 110. PCI Planning – <i>Parameter</i> -----	146
Figura 111. LTE PRACH Planning – <i>Resultados</i> -----	147
Figura 112. LTE Cell Planning.-----	149
Figura 113. Calculo de Link Loss Matrix.-----	150
Figura 114. Calculando LinkLoss Matrix.-----	151
Figura 115. LTE Cell Planning - New -----	151
Figura 116. LTE Cell Planning - New -----	152
Figura 117. LTE Cell Planning-Advanced -----	153
Figura 118. LTE Cell Planning-Area-----	154
Figura 119. LTE Cell Planning - Calculate -----	155
Figura 120. LTE Cell Planning – Results Cells -----	156
Figura 121. LTE Cell Planning – Coverage KPI. -----	157
Figura 122. LTE Cell Planning – Coverage KPI. -----	158
Figura 123. LTE Cell Planning – Training DL RSRP -----	159
Figura 124. LTE Cell Planning – Training DL RS SINR -----	160
Figura 125. LTE Cell Planning – Training DL MAC Peak Throughput. -----	161
Figura 126. LTE Cell Planning – Training UL MAC Peak Throughput. -----	161
Figura 127. Escenarios típicos de aplicación de la DBS3900 -----	162
Figura 128. Escenario estación base DBS3900. -----	163
Figura 129. Estructura lógica BBU3900. -----	165
Figura 130. Apariencia física BBU3900. -----	166
Figura 131. Configuración típica de la BBU3900 en modo UMTS -----	167
Figura 132. Configuración típica de la BBU3900 en modo LTE. -----	167
Figura 133. Módulo LMPT. -----	168
Figura 134. Módulo LBBP. -----	169
Figura 135. Módulo UPEU. -----	169
Figura 136. Módulo FAN. -----	170
Figura 137. Estructura lógica RRU3908-----	171
Figura 138. RRU3908. -----	172
Figura 139. Antena AGISSON A19451811-----	173
Figura 140. Interconexión DBS3900-----	174
Figura 141. Proceso de simulación de la red. -----	175
Figura 142. Proceso de simulación de la red. -----	177
Figura 143. Seleccionar el tipo de mapa de tráfico. -----	177
Figura 144. Propiedades del mapa de tráfico por cobertura de la celda. -----	178
Figura 145. Propiedades del mapa de tráfico por cobertura de la celda. -----	179

Figura 146. Nuevo grupo de simulación.-----	180
Figura 147. Propiedades del grupo de simulación-General.-----	180
Figura 148. Propiedades del grupo de simulación-Source traffic.-----	181
Figura 149. Propiedades del grupo de simulación-Advanced.-----	182
Figura 150. Calculando simulación.-----	183
Figura 151. Resultados simulación.-----	184
Figura 152. Resultados simulación IoT (UL).-----	185
Figura 153. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios queriendo acceder a la red LTE.-----	186
Figura 154. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios con acceso a la red LTE (1).-----	187
Figura 155. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios con acceso a la red LTE (2).-----	188
Figura 156. Usuarios en estado satisfecho.-----	189
Figura 157. Usuarios en estado ULNoCover-----	190
Figura 158. Usuarios en estado DLNoCover-----	191
Figura 159. Usuarios en estado NoAccess.-----	191
Figura 160. Usuarios en estado Offline.-----	192
Figura 161. Reference Signal Reception.-----	193
Figura 162. Results.-----	193
Figura 163. DBS3900 UMTS a LTE-----	200
Figura 164. Total de abonados móviles en el Ecuador-----	203

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de los equipos de usuario.	17
Tabla 2. Estaciones base bajo tecnología 3G UMTS/HSPA+.....	50
Tabla 3. Bandas de frecuencia para redes GSM.	53
Tabla 4. Bandas de frecuencias 3G usadas en el clúster 2.	54
Tabla 5. Características de capacidad de transmisión de las estaciones base 3G-UMTS/HSPA+.	56
Tabla 6. Bandas de frecuencia definidas para CNT EP.....	60
Tabla 7. Perfiles de retardo para modelos del canal LTE.....	61
Tabla 8. Perfiles de retardo de potencia para el modelo ETU.....	62
Tabla 9. Parámetros de propagación SPM (Urbano).....	65
Tabla 10. Descripción de los parámetros <i>Kn</i> Modelo de propagación estándar.....	65
Tabla 11. Pérdida por penetración para un escenario urbano.....	68
Tabla 12. Características antena Agissson A19451811.	69

Tabla 13. Resultados obtenidos Link Budget en la banda 4-AWS.	70
Tabla 14. Estaciones base bajo tecnología LTE.	72
Tabla 15. Código MMC para CNT EP.	77
Tabla 16. Código MNC para CNT EP.	77
Tabla 17. Principales funciones de U-Net.	84
Tabla 18. Descripción de la Barra de Menú.	87
Tabla 19. Descripción del Sub-menú Archivo.	87
Tabla 20. Descripción del Sub-menú Editar.	88
Tabla 21. Descripción del Sub-menú Ventana.	88
Tabla 22. Descripción Barra de herramientas estándar.	89
Tabla 23. Descripción de la Barra de Tareas U-Net.	89
Tabla 24. Descripción Pestaña GEO.	91
Tabla 25. Descripción Pestaña Data.	92
Tabla 26. Descripción Pestaña Network.	93
Tabla 27. Descripción Pestaña Operation.	93
Tabla 28. Modos de visualización coordenadas.	97
Tabla 29. Parámetros del clutter.	103
Tabla 30. Parámetros para la creación de sitios.	104
Tabla 31. Parámetros de configuración general de antena.	113
Tabla 32. Configuración lóbulo horizontal/vertical.	114
Tabla 33. Configuración lóbulo Other Properties.	115
Tabla 34. Configuración de parámetros MCS.	118
Tabla 35. Descripción de los parámetros de servicio.	120
Tabla 36. Parámetros para la configuración de los tipos de terminal.	123
Tabla 37. Configuración en la pestaña general.	125
Tabla 38. Parámetros para la configuración del perfil de usuario.	126
Tabla 39. Parámetros para la Configuración de los tipos de movilidad.	128
Tabla 40. Parámetros de configuración de un nuevo grupo de predicción.	131
Tabla 41. Parámetros de configuración de la pestaña General.	133
Tabla 42. Parámetros de configuración de la pestaña Condition.	134
Tabla 43. Parámetros de configuración de la pestaña Advanced.	135
Tabla 44. Parámetros de la pestaña General.	143
Tabla 45. Parámetros de la pestaña Advanced Parameter.	144
Tabla 46. Resultados PCI Planning.	145
Tabla 47. LTE Prach Planning.	146
Tabla 48. Parámetros de configuración LTE PRACH Planning.	148
Tabla 49. Parámetros de configuración Calculate LinkLoss Matrix.	150
Tabla 50. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña General.	152
Tabla 51. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña Advanced.	154
Tabla 52. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña Area.	155
Tabla 53. Parámetros de configuración LTE Cell Planning Results, pestaña Cells.	157
Tabla 54. Parámetros de configuración LTE Cell Planning Results, pestaña Coverage KPI.	158
Tabla 55. Especificaciones de capacidad DBS3900.	163

Tabla 56. Especificaciones BBU3900.	166
Tabla 57. Puerto módulo LMPT.	168
Tabla 58. Puerto módulo LBBP	169
Tabla 59. Puerto módulo UPEU.	169
Tabla 60. Propiedades eléctricas antena Agissson A19451811.	173
Tabla 61. Propiedades mecánicas antena Agissson A19451811.	174
Tabla 62. Parámetros de la pestaña Traffic para la creación del mapa de tráfico.	178
Tabla 63. Parámetros de la pestaña General dentro de las propiedades del grupo de simulación.	180
Tabla 64. Parámetros de la pestaña Source Traffic dentro de las propiedades del grupo de simulación.	181
Tabla 65. Parámetros de la pestaña Advance dentro de las propiedades del grupo de simulación.	182
Tabla 66. Clasificación de usuarios según su estado.	188
Tabla 67 . Ingresos previstos para el año 1.....	203

RESÚMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP., motivado por el cambio constante de la tecnología en lo que se refiere al avance de las comunicaciones móviles.

El primer capítulo contiene un estudio teórico de la tecnología LTE, principios de funcionamiento, una breve evolución de los estándares de tecnología móvil, arquitectura de la red LTE, introducción a las antenas inteligentes usadas para este tipo de red y servicios que ofrece LTE.

En el segundo capítulo se realiza un análisis de la situación actual de la red 3G UMTS/HSPA+ del clúster 2, la delimitación de cobertura y ubicación de las estaciones base, modelo de tráfico y propagación así como el nivel de desempeño que la red actual ofrece.

En el tercer capítulo se procede a realizar la ingeniería de proyecto, la cual proporciona un conjunto de directrices y bases técnicas que se emplean en el siguiente capítulo para ejecutar el diseño de la red LTE.

En el cuarto capítulo se realiza una introducción al software de predicción U-Net el cual se utilizará tanto para el diseño como simulación de la red. Además se describe de manera ordenada paso a paso el proceso de diseño, desde la creación de un nuevo proyecto, gestión de modelos de propagación, selección de bandas de frecuencia, configuraciones de parámetros de tráfico y cálculo de pérdidas de trayectoria, con el fin de obtener una predicción lo más cercana a la realidad. Dentro de este capítulo también se describen los equipos que intervienen en la tecnología LTE.

En el capítulo 5 se analiza el comportamiento de la red bajo simulación con el software U-Net, permitiendo visualizar los aspectos más característicos de la red como pérdidas de la señal y niveles de cobertura.

En el capítulo 6 se realiza un análisis de factibilidad del proyecto, sustentando las razones por las cuales el proyecto es factible. Finalmente, en el último capítulo se encuentran las conclusiones y recomendaciones que se han ido obteniendo durante el desarrollo del presente trabajo.

ABSTRACT

This project entails the design of a 4G network (Long Term Evolution) in cluster 2 in Quito city for CNT EP operator, motivated by the constant change of communications mobile technology.

The first chapter contains a theoretical study of LTE technology, operating principles, a brief evolution of mobile technology standards, LTE network architecture, introduction to smart antennas used for this type of network and LTE services.

The second chapter we can find the existing situation of 3G network cluster 2, which entails the definition of coverage and location of the base stations, traffic and propagation models, and the performance level that provides the current network is performed.

The third chapter details the project engineering, which provide a set of guidelines and technical bases used in the next chapter to run the LTE network design.

The fourth chapter shows an introduction of the prediction software U-Net, which is used to design and simulation of the network. Also described so orderly step by step the design process, from the creation of a new project, propagation models management, selection of frequency bands, configurations traffic parameters, path loss calculation, until to obtain a close reality to prediction. Within this chapter the teams involved in LTE are also described.

In the chapter 5 the behavior of the network under simulation is analyzed, which is performed with the same U-Net software, through a series of orderly steps which allow displaying the most characteristic aspects of the network such as loss of signal levels and coverage.

In Chapter 6 a feasibility analysis at the project is done, and explain the reasons why the project is feasible and why it has been decided to implement low Huawei platform support. Finally, in the last chapter we can find the conclusions and recommendations that have been obtained during the development of this work.

PRESENTACIÓN

En la actualidad el mundo de las telecomunicaciones ha evolucionado a pasos gigantescos, varios han sido sus puntos clave de desarrollo, pero no cabe duda que la tecnología celular ha sido la primordial, debido a que existe una gran demanda por parte de los usuarios, los cuales con el pasar del tiempo hoy en día únicamente no se conforman con tener teléfonos celulares para servicios de voz y datos, sino que buscan mejores aplicaciones a mayor velocidad.

LTE nace con el fin de satisfacer las exigencias de los usuarios en cuanto a servicios y aplicaciones de alta velocidad, ya que cada vez los dispositivos móviles son diseñados con mayores capacidades y prestaciones, las mismas que son el principal atractivo para los usuarios, los cuales mediante esta nueva red de alta velocidad podrán disfrutar al máximo de esta nueva experiencia en tecnología móvil.

El presente proyecto se centra en el diseño de la red LTE específicamente en el clúster 2 al sur de la ciudad de Quito, mediante el software de predicción U-Net, el cual dependiendo de las necesidades y condiciones geográficas brinda una diversa gama de opciones para el desarrollo del diseño.

Tomando en cuenta que el clúster 2 es un sitio bajo tecnología 3G/UMTS, los nuevos sitios LTE migrarán a partir de dicha tecnología, de tal manera que se podrá apreciar los diferentes cambios tanto en arquitectura como en funcionamiento y más aún cuando factible resulta la incorporación de esta nueva tecnología bajo una infraestructura ya existente.

ANTECEDENTES

▪ Nombre del Proyecto

“Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP.”

UBICACIÓN:

Ciudad: Quito

Provincia: Pichincha

País: Ecuador

▪ Descripción del Problema

Huawei Technologies es líder en la prestación de soluciones globales en el ámbito de las TIC's (Tecnologías de la Información y la Comunicación), su misión tiene como propósito facilitar la vida a través de la comunicación, reduciendo la brecha digital y ofreciendo oportunidades para utilizar los servicios de banda ancha independientemente de cuál sea la ubicación geográfica. Es así como la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, al ser la empresa pública ecuatoriana que brinda soluciones de telecomunicaciones innovadoras al país, contrata los servicios de Huawei Technologies, con el fin de otorgar los mejores beneficios a los usuarios.

Actualmente la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP.) tienen a su disposición la tecnología HSPA+ (High-Speed Packet Access) o más conocida como 3.9G, ofreciendo servicios convergentes entre la red fija y red móvil, servicios diferenciados de voz, valor agregado e internet de banda ancha móvil, permitiendo alcanzar velocidades de 21Mbps downlink y 5.76 Mbps uplink. Sin embargo, estas prestaciones de servicio que ofrece HSPA+ no son suficientes para usuarios corporativos que día a día utilizan nuevas aplicaciones que requieren de mayor ancho de banda, es por

ello que el pasado diciembre del 2012 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (Conatel) resolvió otorgar al operador estatal (CNT EP.), la autorización para ofrecer servicios 4G con la tecnología LTE (Long Term Evolution) y concederle a la empresa 30 MHz de espectro en la banda de 700 MHz, y 40 MHz de espectro en la banda de 1700 – 2100 MHz para el despliegue de esta tecnología.

Por tal razón se procederá al diseño de los nuevos sitios LTE para el operador CNT EP., entre ellos, el clúster 2 ubicado al sur de la ciudad de Quito. Ya que actualmente gran parte del mercado de clase social media en Ecuador, tiene una buena aceptación sobre la tecnología celular, el uso que se le da a este equipo es para múltiples funciones que necesiten de acceso a Internet, convirtiéndose en una necesidad de los usuarios y creando una amplia demanda de servicios con mayor calidad en cuanto a conectividad y velocidad.

Esta iniciativa ofrecerá el acceso a los beneficios que otorgan las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y cumplirá con los objetivos y metas del Plan Nacional de Banda Ancha y del Buen Vivir al proporcionar soluciones en cuanto a tecnología móvil a la sociedad Ecuatoriana.

▪ **Objetivos**

Objetivo General:

- Diseñar una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP, mediante el uso de Software de predicción propietario de Huawei Technologies, con el fin de beneficiar a los usuarios de comunicaciones móviles del sector e impulsar el uso de las TIC´s (Tecnologías de Información y Comunicación).

Objetivos Específicos:

- Realizar un estudio teórico de la tecnología LTE (Long Term Evolution), principios de funcionamiento, arquitectura de red, antenas inteligentes, así como equipos utilizados en este tipo de red y los servicios que puede ofrecer.
- Analizar el modelo de tráfico que cruza actualmente por el clúster 2 ubicado al sur de la ciudad de Quito.
- Calcular el número de eNode B necesarios, tomando en cuenta los resultados obtenidos del análisis del modelo de tráfico.
- Determinar la ubicación de los eNode B, mediante un análisis de proyección de cobertura sobre el clúster 2.
- Realizar la validación del sitio, a través de la determinación de los parámetros que deben ir configurados en los eNode B.
- Diseñar la red 4G (Long Term Evolution) considerando los parámetros anteriores.
- Analizar la funcionalidad de la red 4G bajo simulación, para ello se utilizará el Software propietario Huawei (GENEX U-NET).
- Realizar un análisis de factibilidad a nivel de proyecto.

▪ **Justificación**

Huawei Technologies CO., LTD., es líder mundial en la prestación de soluciones globales en el ámbito de las TIC's (Tecnologías de la Información y la Comunicación), proporcionando soluciones de vanguardia y específicas para cada cliente con el fin de permitir a los operadores de todo el mundo establecer y mantener una ventaja competitiva en el mundo de las telecomunicaciones.

Con la introducción de la tecnología LTE al Ecuador y gracias al apoyo que brinda Huawei Technologies con su aporte tecnológico, hoy por hoy es posible realizar el diseño de la red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 para la ciudad de Quito.

La tecnología LTE está a punto de convertirse en una parte esencial de la vida cotidiana de las personas, es por tal motivo que éste diseño aportará no solo con servicios multimedia diversificados y velocidades mucho más rápidas que superen las de GSM / UMTS y las redes fijas, sino que también ofrecerá un mejor coste y ventajas competitivas a los operadores y usuarios de telefonía móvil.

El diseño de la red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 para la ciudad de Quito permitirá la migración sin problemas ni inconvenientes de redes actuales como lo es en éste caso de 3G a 4G LTE, respaldada por la SingleBTS multi-banda, la cual se construye con solo tres módulos básicos: RRU, RFU y BBU, los mismos que son utilizados para los sitios LTE.

Finalmente lo primordial de este diseño, es que se estará cumpliendo con uno de los objetivos del Plan Nacional de Buen Vivir a través de la inclusión de ésta nueva tecnología en el Ecuador, la misma que está orientada a satisfacer la gran demanda de servicios para usuarios móviles.

CAPITULO 1

CONTENIDO TEÓRICO DEL PROYECTO

En el presente capítulo se realiza un pequeño estudio de los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto. Se describen los aspectos básicos de la tecnología LTE, su arquitectura de red, principios de funcionamiento y servicios de usuario final.

1.1 LONG TERM EVOLUTION LTE

En la actualidad, al ser cada vez más las personas que hacen uso cotidiano de dispositivos inteligentes, es inevitable no encontrarse con las siglas LTE (Long Term Evolution), ya sea al momento de leer un artículo sobre sistemas de redes celulares o en propagandas comerciales de los operadores de telefonía móvil. Así pues, LTE está llamado a revolucionar el mundo de las telecomunicaciones, debido a las diversas características que lo hacen tan atractivo, entre las principales LTE promete a los consumidores un nuevo nivel de acceso de banda ancha móvil al tiempo que logre garantizar que los operadores de red alcancen una mayor eficiencia operativa y reducción de costes del servicio, ofreciendo altas velocidades de transmisión de datos con una menor latencia de paquetes en comparación con las tecnologías móviles anteriores.

1.1.1 Breve recuento histórico de LTE

LTE en la actualidad se sitúa en la cúspide de la evolución para 3GPP¹, no obstante es importante evaluar el proceso de evolución por el que pasaron las tecnologías móviles a través de varias versiones o releases para llegar a LTE.

¹ 3GPP: 3rd Generation Partnership Project

Release 99: Fue publicado en diciembre de 1999 y contenía los aspectos básicos de WCDMA².

A partir del año 2001 el 3GPP dejó de nombrar los releases por el año de publicación e inició una nueva nomenclatura.

Release 4: Fue terminado en marzo 2001 y contenía la versión de TDD³ y TD-SCDMA⁴ para baja capacidad.

Release 5: Terminó en marzo de 2002 y estaba dedicado a HSDPA⁵.

Release 6: Fue publicado en diciembre de 2004 y hacía referencia a HSUPA⁶.

Release 7: Finalizó en junio de 2007 y presentaba ciertas mejoras tanto en HSDPA como en HSUPA.

Release 8: En la actualidad ha sido terminado, con mejoras en HSDPA/HSUPA, denominándolo HSPA⁷ y también contiene las primeras especificaciones de LTE.

Release 9: Describe a LTE y su desarrollo a la par con el Release 10 que define la tecnología 4G, la cual cumple con las especificaciones de IMT-Advanced⁸ de la ITU⁹.

En la figura 1 se muestra detalladamente la evolución a través del tiempo de los estándares 3GPP.

² **WCDMA:** Wideband Code Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de código de banda ancha).

³ **TDD:** Time Division Multiplexing (Duplexación por división de tiempo).

⁴ **TD-SCDMA:** Time Division Synchronous Code Division Multiple Access (Acceso múltiple por división de código síncrono de división de tiempo).

⁵ **HSDPA:** High Speed Downlink Packet Access (Acceso de paquetes de alta velocidad en enlace descendente).

⁶ **HSUPA:** High Speed Uplink Packet Access (Acceso de paquetes de alta velocidad en enlace ascendente).

⁷ **HSPA:** High Speed Packet Access (Acceso de paquetes de alta velocidad).

⁸ **IMT-Advanced:** International Mobile Telecommunication Advanced (Telecomunicaciones internacionales móviles avanzadas).

⁹ **ITU:** International Telecommunication Union (Unión internacional de telecomunicaciones).

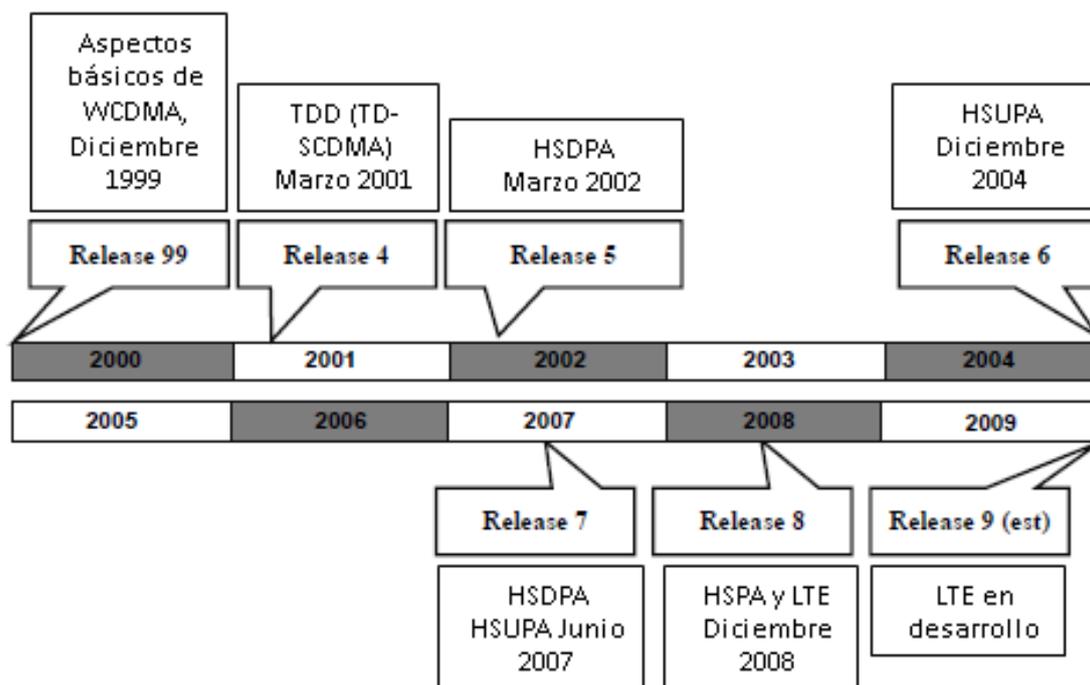


Figura 1. Línea de evolución en el tiempo de los estándares 3GPP.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

La estandarización de LTE no quiere decir que un mayor desarrollo de las anteriores tecnologías de acceso de radio en 3GPP ha cesado, en particular la mejora de UMTS con las nuevas versiones de las especificaciones sigue en 3GPP, estas mejoras compatibles con versiones anteriores permitirán a los operadores de redes que han invertido fuertemente en la tecnología UMTS, generar nuevos ingresos sin dejar de ofrecer el servicio a sus suscriptores actuales usando terminales ya existentes.

Pero lo peculiar es que LTE fue diseñado desde el principio con el objetivo de evolucionar a largo plazo la tecnología de acceso de radio, bajo el supuesto de que todos los servicios serían basados en conmutación de paquetes, en lugar de seguir el modelo de conmutación de circuitos de los sistemas anteriores.

1.1.2 Definición de LTE

La tecnología móvil de cuarta generación tiene su origen inspirado en el usuario abonado, el cual desea obtener el máximo beneficio respecto a las capacidades de la red de acceso y el equipo terminal utilizado.

La 3GPP fue el organismo encargado de la estandarización de éste nuevo sistema, el mismo que lo denominó Long Term Evolution al proceso de transición en el tiempo de los diferentes estándares correspondientes a diversas tecnologías móviles. Es así que 3GPP realizó un análisis de los requisitos clave para el nuevo sistema LTE, con el fin de garantizar la competitividad de esta nueva tecnología en un tiempo de 10 años, de tal forma que los requisitos para LTE se pueden resumir de la siguiente manera:

- Reducción del retardo, tanto en términos de establecimiento de la conexión y latencia de la transmisión.
- Aumento de las tasas de datos móviles de usuario.
- Aumento de la tasa de bits celular de última generación, para la uniformidad de la prestación de servicios.
- Reducción del coste por bit, lo que implica una mayor eficiencia espectral.
- Mayor flexibilidad de uso del espectro en las nuevas como pre-existentes bandas de frecuencia.
- Simplificada arquitectura de red.
- Movilidad sin fisuras, incluso entre diferentes tecnologías de acceso de radio.
- Consumo de energía razonable para el terminal móvil.

1.1.3 Principios básicos de la tecnología LTE

Desde años atrás tanto investigadores como proveedores de servicios de telecomunicaciones, han trabajado en la evolución técnica de las redes móviles, estableciendo parámetros en concreto que haga que cada eslabón en la evolución tenga su propia singularidad, estableciendo diferentes protocolos, arquitecturas de red, formas de

acceso al medio y técnicas de transmisión, todo esto con miras a conseguir una integración más eficiente de los servicios y aplicaciones que pueda ofrecer la red móvil de cuarta generación.

La adopción de un enfoque multiportadora para el acceso múltiple en LTE, fue uno de los parámetros más importantes que se eligieron, posteriormente después de esta propuesta, la elección de los esquemas de acceso múltiple se realizó en diciembre del 2005 por parte de la 3GPP, concluyendo que la técnica de acceso múltiple OFDMA¹⁰ sea seleccionada para el enlace descendente o recepción de datos; mientras que SC-FDMA¹¹ para el enlace ascendente o envío de información. Ambos esquemas trabajan en el dominio de la frecuencia con el fin de aportar flexibilidad al sistema LTE.

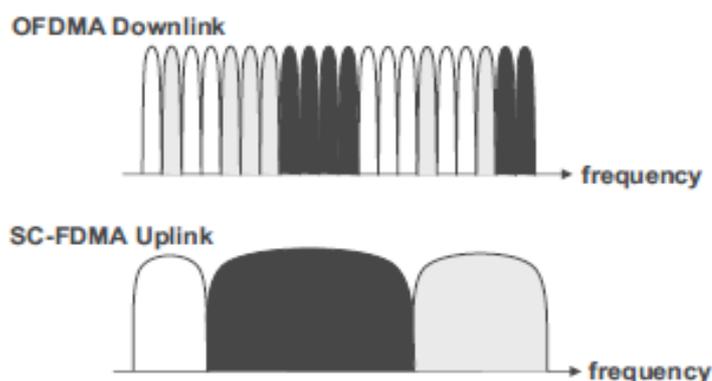


Figura 2. Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.

Fuente: Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.3.1 Técnicas de múltiple acceso al medio OFDMA

La técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA, está basada en la técnica de acceso OFDM¹², con el fin de proporcionar un esquema flexible de múltiple acceso. OFDM divide el ancho de banda disponible para la transmisión de la señal en varias sub-portadoras de banda estrecha, de manera que sean mutuamente ortogonales, con el fin de que cada símbolo que se transmite lo haga de forma paralela y

¹⁰**OFDMA:** Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal).

¹¹**SC-FDMA:** Single Carrier Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de única portadora).

¹²**OFDM:** Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal).

superponiéndose varios símbolos simultáneamente. En OFDMA, dicha subdivisión del ancho de banda disponible es explotada en el intercambio entre las subportadoras, de tal modo que su flexibilidad resultante se la puede aprovechar de varias maneras:

- Los anchos de banda disponibles en el espectro pueden utilizarse sin cambiar los parámetros fundamentales del sistema o diseño de equipos.
- Los recursos de transmisión de ancho de banda variable pueden ser asignados a diferentes usuarios y ser programados libremente en el dominio de la frecuencia.
- Se facilita la reutilización de frecuencias y por ende significará ahorro del ancho de banda.

La motivación principal para la elección de la técnica de acceso OFDMA en LTE para en enlace downlink se fundamenta en los siguientes parámetros:

- Baja complejidad del receptor de banda base.
- Buenas propiedades espectrales y manejo de múltiples anchos de banda, al dividirlos en sub-canales.
- Los sub-canales se pueden asignar a usuarios distintos de ahí el nombre: múltiple acceso.
- Compatibilidad con tecnologías de receptor y de antena avanzados.

1.1.3.2 Técnica de múltiple acceso al medio SC-FDMA

SC-FDMA combina las características de OFDM, es decir divide el ancho de banda de transmisión en múltiples subportadoras paralelas, manteniendo la ortogonalidad entre ellas, pero a diferencia de OFDMA, donde todos los símbolos de datos son modulados independientemente por cada subportadora, en SC-FDMA la señal modulada sobre una

sub-portadora dada es una combinación lineal de todos los símbolos de datos transmitidos en el mismo instante de tiempo.

Es así que en cada período de símbolo todas las subportadoras de transmisión de una señal SC-FDMA llevan un componente de cada símbolo de datos modulado, esto brinda a SC-FDMA su propiedad de una sola portadora fundamental, principio por el cual 3GPP utiliza SC-FDMA para el acceso múltiple en enlace ascendente de LTE.

SC-FDMA ofrece un rendimiento y complejidad similar a OFDM, sin embargo la principal ventaja de SC-FDMA es el bajo PAPR¹³, el cual se define como la relación de potencia pico promedio de la potencia de la señal de transmisión. PAPR se refiere a la eficiencia del amplificador de potencia en el transmisor, de tal manera que un valor bajo de PAPR contribuye a que el receptor en la unidad móvil sea más sencillo y económico. Es así que el bajo PAPR hace que SC-FDMA sea la técnica de modulación preferida para la transmisión de enlace ascendente.

1.1.4 Arquitectura del sistema LTE

LTE ha sido diseñado para soportar únicamente los servicios de conmutación de paquetes, en contraste con el modelo de conmutación de circuitos de los sistemas celulares anteriores. Su objetivo es ofrecer una plataforma basada totalmente en el protocolo IP¹⁴, conectividad sin fisuras entre el equipo de usuario UE¹⁵ y disponibilidad de la red de paquetes de datos PDN¹⁶, sin ningún tipo de interrupción a los usuarios.

La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el equipo de usuario UE y por una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una red de acceso E-UTRAN¹⁷ y una de red de Core o Núcleo EPC¹⁸, las cuales serán detalladamente explicadas a continuación.

En la figura 3, se destaca de color naranja los componentes de la arquitectura LTE.

¹³ **PAPR:** Peak to Average Power Ratio (Relación de Potencia Pico a Promedio).

¹⁴ **IP:** Internet Protocol (Protocolo de Internet).

¹⁵ **UE:** User Equipment (Equipo de Usuario).

¹⁶ **PDN:** Packet Data Network (Red de Paquetes de Datos).

¹⁷ **E-UTRAN:** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS).

¹⁸ **EPC:** Evolved Packet Core (Red de núcleo)

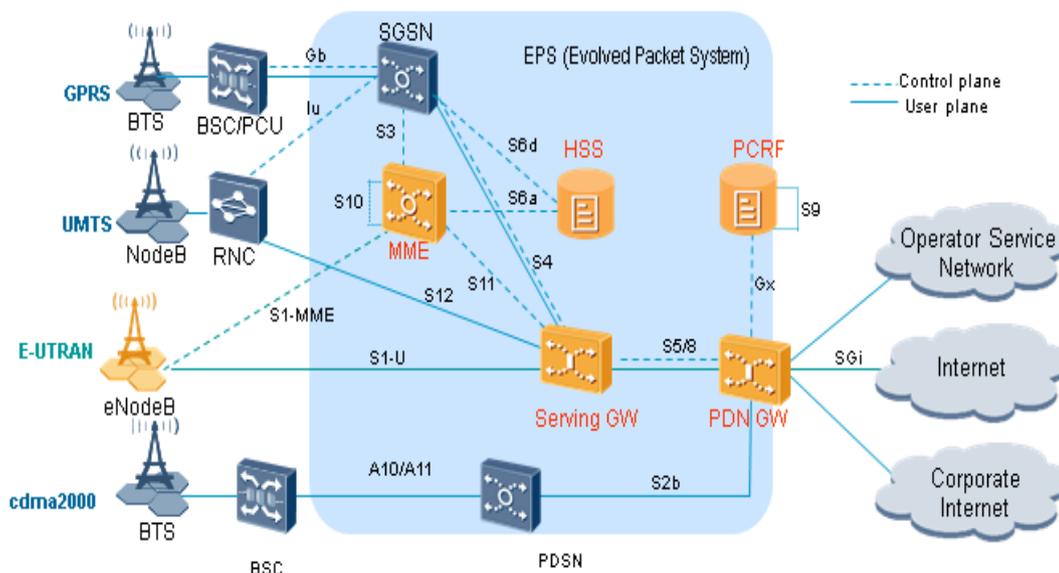


Figura 3. Arquitectura LTE

Fuente: LTE Architecture. Copyright © 2010 Huawei Technologies Co., Ltd.

1.1.4.1 Núcleo de red – Evolved Packet Core

El núcleo de red o red troncal, es la parte del sistema encargado de realizar el control de acceso a la red celular, autenticación de usuarios, gestión de movilidad de usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, así como también control de servicios de usuario final. Sus principales nodos lógicos son:

1.1.4.1.1 Mobility Management Entity (MME)

La entidad de gestión de movilidad de la red LTE, es la encargada de gestionar el acceso de los terminales de usuario a través de la red de E-UTRAN, su funcionamiento se basa en que a cada usuario registrado en la red E-UTRAN se le asigna una entidad MME la misma que cumple las siguientes funciones:

- **Autenticación y seguridad:** Cuando un equipo de usuario se registra a la red por primera vez, MME inicia la autenticación mediante la realización del siguiente proceso:

Conocer la identidad permanente del UE desde la red visitada previamente a través de una solicitud de autenticación al UE, esta función es necesaria para asegurar que el UE es quien dice ser, MME puede repetir la autenticación cuando sea necesario o

periódicamente, de igual manera calculará los equipos de usuario cifrados y claves de protección recibida en el vector de autenticación inicial. Estas funciones se utilizan para proteger la comunicación y evitar la alteración por terceros no autorizados.

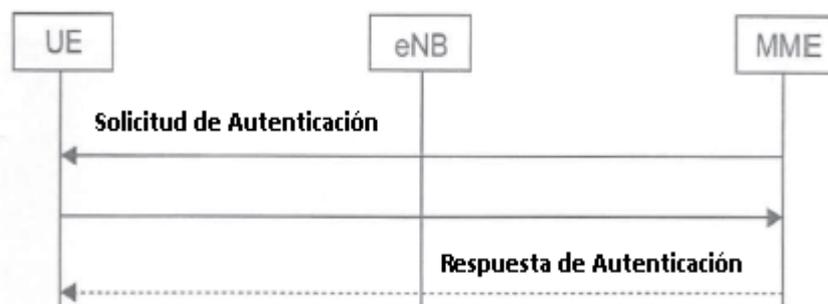


Figura 4. Procedimiento de autenticación de usuario.

Fuente: Adaptado de: Rumney, M. (2010). *LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges*.

Gestión de la movilidad: MME realiza un seguimiento de la ubicación de todos los UE en su área de servicio, cuando un UE hace su primer registro en la red, MME crea una entrada para el UE y señala la ubicación al HSS¹⁹.

Posteriormente MME solicita los recursos adecuados para ser instalados en el eNodeB, así como en el S-GW²⁰, a continuación mantiene el seguimiento de la ubicación del UE, si éste se encuentra dentro del área del eNodeB quiere decir que el UE permanece conectado, por lo tanto está en comunicación activa, en caso de que el UE va al modo inactivo, y el mantenimiento de la ruta de datos ya no es necesaria, entonces MME controla la creación y la liberación de recursos en función de los cambios, así mismo los UE reportarán su ubicación ya sea periódicamente o cuando se mueve a otra área de seguimiento en la cual se encuentre registrado.

En principio MME puede estar conectado a cualquier otro MME en el sistema, pero típicamente la conectividad es limitada a un solo operador de red. La conectividad remota entre MMEs puede ser usado cuando un UE se encuentre en un punto lejano, también

¹⁹ **HSS:** Home Subscription Server (Servidor de suscripción)

²⁰ **S-GW:** Serving Gateway (Servidor de puerta de enlace)

puede ser posible la conexión con varios HSSs, cada MME será configurado para controlar un conjunto de S-GWs y eNodeBs.

MME puede servir a un número de UE al mismo tiempo, mientras que cada UE sólo se conectará a un MME a la vez. La figura 5 muestra las conexiones que MME tiene para los nodos lógicos circundantes, y resume las principales funciones de estas interfaces.

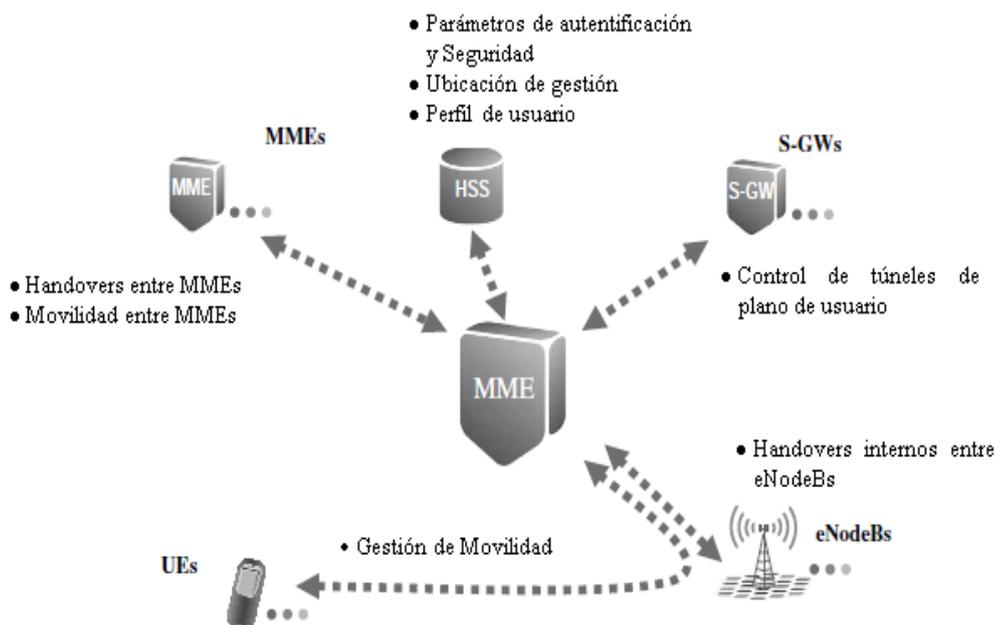


Figura 5. Conexiones MME a otros nodos lógicos y funciones principales.

Fuente: Adaptado de: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.4.1.2 Serving Gateway (S-GW)

El servicio de puerta de enlace S-GW, es el responsable de la organización del tráfico de paquetes en enlace descendente, ya que por su parte el eNodeB es responsable del tráfico de los paquetes en enlace ascendente. Todos los paquetes IP de usuario se transfieren a través de S-GW, que sirve como el punto local de movilidad de los portadores de datos cuando el UE se mueve entre eNodeB; también conserva la información sobre las portadoras cuando el UE está en estado de reposo. S-GW realiza algunas funciones administrativas en la red visitada, como la recopilación de información para la carga (por ejemplo, el volumen de datos enviados o recibidos por parte del usuario).

En la figura 6 se puede observar como MME puede recurrir a S-GW para proporcionar recursos de túneles para el reenvío de datos entre eNodeB origen al eNodeB destino. Los escenarios de movilidad también incluyen cambiar de un S-GW a otro, siendo MME quien controla estos cambios. Además se muestra como S-GW está conectado a otros nodos lógicos, todas las interfaces tienen que ser configuradas con razón de uno a muchos, desde el punto de vista de S-GW.

Un S-GW puede dar servicio sólo a una zona geográfica determinada con un conjunto limitado de eNodeBs, e igualmente puede haber un conjunto limitado de MMEs que controlan esa zona. El S-GW debe ser capaz de conectarse a cualquier P-GW²¹ en toda la red, ya que éste no cambiará durante la movilidad, mientras que S-GW puede ser reubicado cuando se mueve el UE.

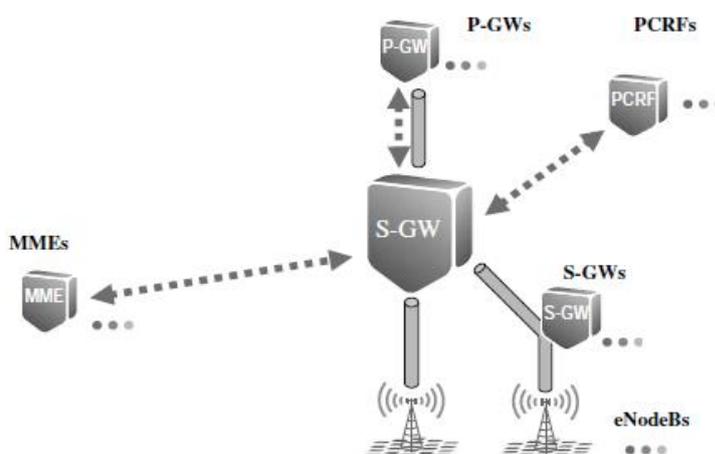


Figura 6. Conexiones S-GW a otros nodos lógicos

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.4.1.3 Packet Data Network Gateway (PDN-GW)

PDN-GW es el router de borde entre el núcleo de red y las redes de paquetes de datos externas; es decir funciona como una pasarela entre una red y otra, al igual que S-GW, PDN-GW se mantiene en las instalaciones del operador en una ubicación centralizada, en la cual cada usuario desde que se registra en la red LTE se le asigna como mínimo un PDN-WG.

²¹ P-GW: Packet Data Network Gateway

Su función principal es la asignación de la dirección IP al UE, el cual la utiliza para comunicarse con otros hosts IP en redes externas, por ejemplo la Internet. La dirección IP se asigna cuando el UE solicita una conexión a la red de datos por paquetes PDN, esta conexión se lleva a cabo siempre y cuando el UE se conecte a la red LTE y puede ocurrir posteriormente cuando se necesita una nueva conectividad PDN. El P-GW entrega la dirección IP al UE mediante el protocolo DHCP²².

La figura 7 muestra las conexiones que P-GW tiene a los nodos lógicos circundantes, se puede observar que cada P-GW puede estar conectado a uno o más de PCRF, S-GW y a la red externa.

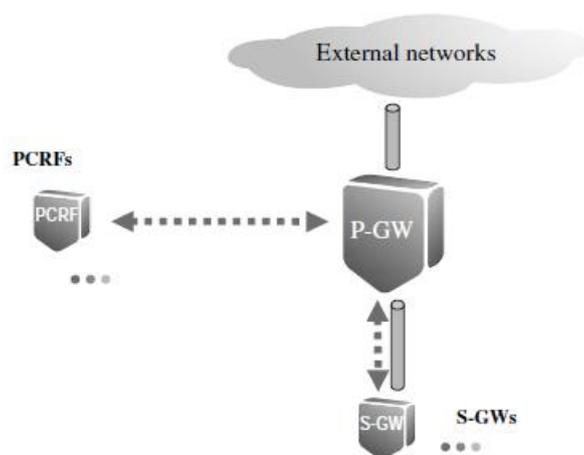


Figura 7. Conexiones P-GW a otros nodos lógicos.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.4.1.4 Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

PCRF es el elemento de red responsable de las políticas y normas de la función de carga, toma decisiones sobre cómo manejar los servicios en términos de calidad de los mismos, y proporciona control de políticas y de carga basado en decisiones de control de flujo de información provenientes del PDN-GW y en su caso también del S-GW.

En la figura 8 se muestra las conexiones entre PCRF y otros nodos, cada PCRF puede estar asociado con uno o más P-GW, S-GW y redes externas.

²² **DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol (Protocolo de Configuración Dinámica de Host).

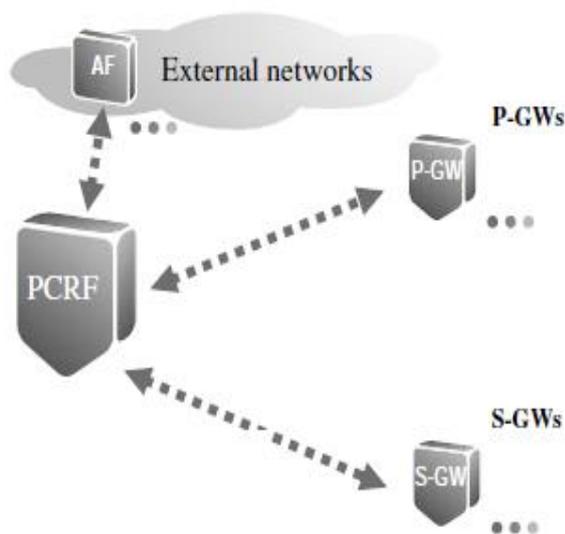


Figura 8. Conexiones PCRF a otros nodos lógicos.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.4.1.5 Home Subscription Server (HSS)

El servidor de abonado HSS es el repositorio de datos de suscripción para todos los usuarios de la red, registra la ubicación del usuario a nivel de nodo de control de la red visitada. Se trata de un servidor de base de datos que se mantiene en el centro de las instalaciones del operador de origen y que puede ser consultado o modificado desde cualquiera de las entidades de control y gestión tales como MME; también almacena la identidad de cada uno de los P-GW que se encuentran activos.

Esencialmente la información almacenada en la HSS que podemos encontrar es: información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado.

1.1.4.2 Red de Acceso – EUTRAN

En LTE la red de acceso es conocida como E-UTRAN, que no es otra cosa que el eNodeB, en pocas palabras la red de acceso está conformada únicamente por el Nodo B, el cual es una estación de radio base que está en control de todas las funciones de radio en la

parte fija del sistema. Comúnmente los eNodeB se distribuyen a lo largo del área de cobertura de la red LTE, manteniéndose cerca de las antenas de radio.

En la arquitectura de red LTE, el eNodeB, trabaja como un puente entre UE y EPC, es decir entre el equipo de usuario y la red de núcleo, con el fin de transmitir los protocolos de radio hacia UE y mantener una conectividad totalmente IP hacia EPC, en este caso el eNode B realiza el cifrado/descifrado de los datos. A continuación se describen las principales operaciones que se realiza en el eNodeB:

- Es el responsable de la Gestión de Recursos de Radio RRM²³, es decir se encarga de controlar el uso de la interfaz de radio, lo que incluye por ejemplo la asignación de recursos en función de las solicitudes, priorización y programación de tráfico de acuerdo a la calidad requerida de servicio, y el monitoreo constante del recursos en uso.
- Tiene un papel importante en la gestión de la movilidad, mediante el análisis de las mediciones de nivel de señal del UE se toma decisiones y se hace el traspaso de UE entre celdas; esto incluye también la señalización de traspaso entre otros eNodeB y MME.
- Cuando un UE se activa bajo la gestión del eNodeB y solicita la conexión a la red, el eNodeB es el principal responsable de encaminar esta solicitud hacia MME.

La Figura 9 muestra las conexiones que el eNodeB tiene con los otros nodos lógicos circundantes, y resume las principales funciones de estas interfaces; estas conexiones pueden ser de uno a varios, o tener una relación de muchos a muchos. El eNodeB puede estar sirviendo a múltiples UE en su área de cobertura.

²³ **RRM:** Radio Resource Management (Gestión de Recursos de Radio).

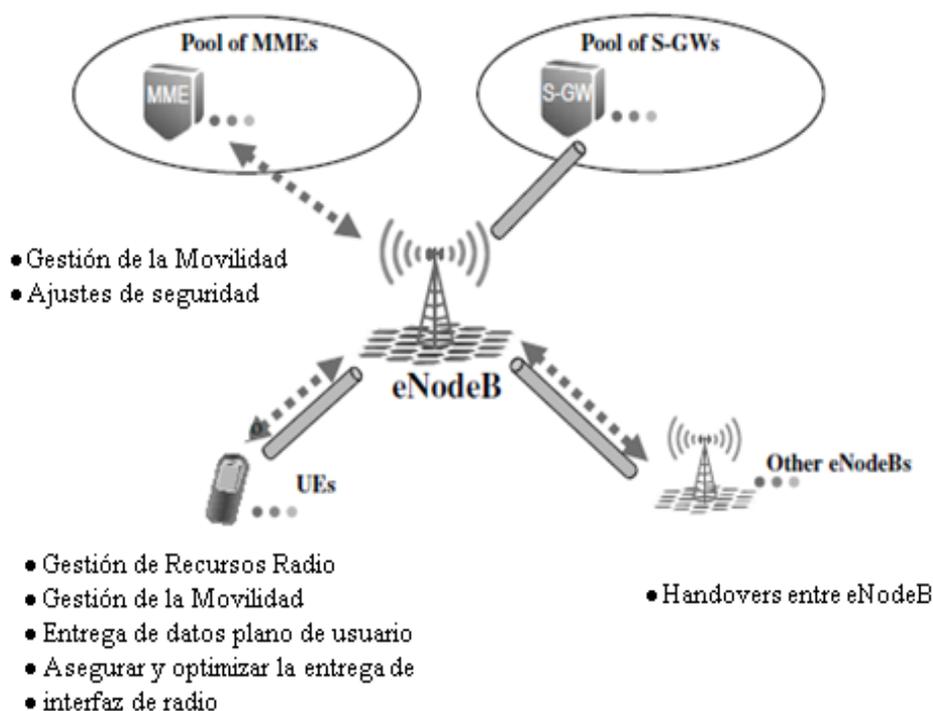


Figura 9. Conexiones eNodeB a otros nodos lógicos.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

1.1.4.3 Equipo de Usuario

El equipo de usuario es el dispositivo final utilizado para establecer la comunicación con la red LTE a través de la interfaz de radio. Típicamente se trata de un dispositivo de mano tal como un teléfono inteligente o una tarjeta de datos. UE está conformado por dos entidades, que son el módulo de identificación del suscriptor universal (SIM²⁴/USIM) el cual se utiliza para identificar y autenticar al usuario, y el equipo móvil como tal.

Funcionalmente UE es una plataforma para aplicaciones de comunicación, que interactúa con la red para el establecimiento, mantenimiento y la eliminación de la comunicación vinculada a las necesidades de los usuarios finales.

En la figura 10, se muestra la arquitectura del equipo de usuario, básicamente consta de dos elementos: UICC y el equipo móvil.

²⁴ **SIM:** Subscriber Identification Module: Módulos encargados de la suscripción de usuarios a redes tipo 3GPP.

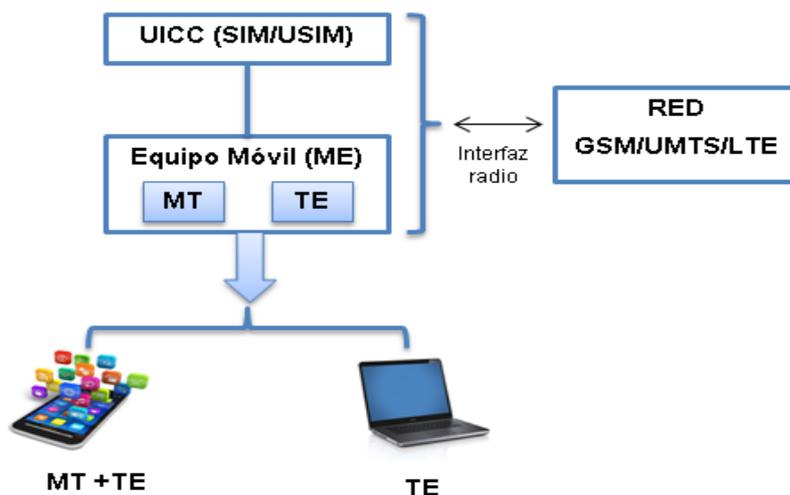


Figura 10. Arquitectura del equipo de usuario.

Fuente: Adaptado de: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

▪ UICC (Universal Integrated Circuit Card)

La UICC no es más que una tarjeta de circuito integrado universal, se trata de una nueva generación de SIM, que autentica al abonado e identifica al operador de telefonía móvil para que conozcan su plan y servicios que ofrece, puede almacenar los contactos y permite un procesamiento de voz segura y fiable, y la conexión de datos multi-media para el correcto despliegue de los servicios móviles. La UICC es la mejor y única plataforma universal de entrega de aplicaciones que funciona con cualquier dispositivo 3G o 4G, permitiendo a los suscriptores que puedan transferir fácilmente su agenda y preferencias de un teléfono a otro.

El diseño de estas tarjetas o chips se realiza de tal forma que sea compatible con los sistemas de telefonía celular anteriores; es así que para LTE el chip utilizado es el USIM, el mismo que es compatible con las redes 3G.

▪ Equipo Móvil (ME)

Es un dispositivo móvil de usuario final, el cual consta de dos entidades: MT²⁵ que es la entidad especializada en las funciones propias de la comunicación o telefonía celular, y TE²⁶ como dispositivo destinado a la interacción con el usuario y que contiene diversas aplicaciones.

²⁵ **MT:** Mobile Termination (Terminación Móvil).

²⁶ **TE:** Terminal Equipment (Equipo Terminal).

▪ Capacidad de UE

El estándar 3GPP Release 8 LTE, define cinco categorías de equipos de usuario en función de sus capacidades y la velocidad de datos máxima. LTE utiliza las categorías de equipos de usuario para definir las especificaciones de rendimiento que tendrán las estaciones base, para ser capaz de comunicarse eficazmente con ellos sabiendo sus niveles de rendimiento.

Estas categorías definen las normas en las que un teléfono en particular u otro equipo funcionarán, además son muy importantes ya que aseguran que el eNodeB pueda comunicarse correctamente con el equipo de usuario, dependiendo de las capacidades que éste posee.

Existen definidas cinco categorías de UE, como se puede ver en la tabla 1, las diferentes categorías tienen una amplia gama de los parámetros en las cuales sobresale el rendimiento soportado.

Tabla 1. Categorías de los equipos de usuario.

Fuente: 3GPP TS 36.306 V8.0.0 (2007-12) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio access capabilities (Release 8).

Categoría equipo de usuario	Máxima capacidad Uplink	Máxima capacidad Downlink	MIMO
1	5 Mbps	10 Mbps	1
2	25 Mbps	51 Mbps	2x2
3	50 Mbps	100 Mbps	2x2
4	50 Mbps	150 Mbps	2x2
5	75 Mbps	300 Mbps	4x4

1.1.5 Arquitectura de Protocolos LTE

La arquitectura de protocolos de la red LTE define una estructura de capas en las cuales se implementa uno o más protocolos comunes. Cada protocolo proporciona un conjunto de reglas para el intercambio de datos entre sistemas.

En la red LTE, se maneja de forma separada el plano de control y plano de usuario, debido a que es una característica importante en la organización de la torre de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE y porque le permiten a la misma dimensionar de

forma autónoma los recursos de transmisión y controlar el sistema de envío de tráfico de los usuarios.

La figura 11 muestra el stack de protocolos de la red LTE, fundamentado en la capa de red L3, capa enlace L2, y capa física L1.

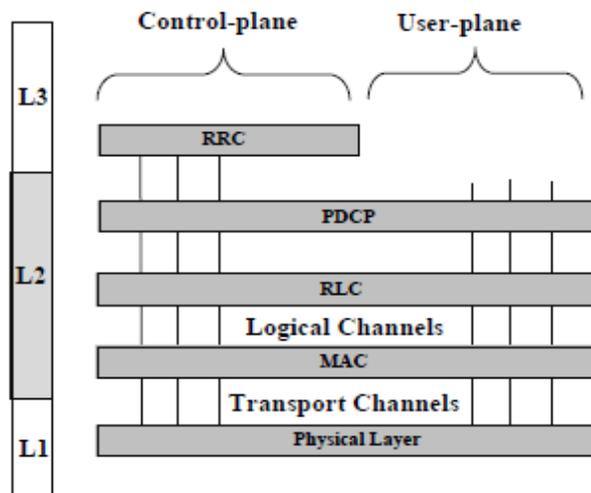


Figura 11. Pilas de protocolos de radio de LTE.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

La arquitectura se divide a la vez en plano de usuario y control, siendo así que el plano de usuario es el responsable de la transferencia de datos de usuario, mientras que el plano de control se encarga de controlar la transferencia de datos, así como las conexiones de los UE con la red de acceso E-UTRAN.

Explicando brevemente el funcionamiento en conjunto de las tres capas, tenemos que la capa tres pertenece al plano de control y es manejada por el protocolo RRC²⁷, el cual realiza funciones de radiodifusión y radio búsqueda.

Por su lado, la capa dos es la capa de enlace, la cual brinda servicios al plano de usuario y al plano de control; la información referente al plano de usuario consiste tanto en tráfico dedicado como en tráfico común hacia múltiples usuarios. Ésta capa está dividida en las subcapas RLC²⁸ y MAC²⁹. La capa RLC asegura que se produzca una transferencia

²⁷ **RRC:** Radio Resource Control (Control de Recursos de Radio).

²⁸ **RLC:** Radio Link Control (Control de Radio Enlace).

fiable de información sobre la MAC, mientras que la capa MAC coordina el acceso a un medio compartido, siendo la capa física la capa final encargada de la transferencia de información sobre el enlace de radio.

1.1.5.1 Plano de Usuario

El eNodeB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1, la cual se divide en dos interfaces: S1-MME para respaldar al plano de control y S1-U como sustento del plano de usuario.

El plano de usuario en la interfaz de red LTE se refiere a la pila de protocolos utilizados para el envío de tráfico de usuario a través de la interfaz S1-U.

La pila de protocolos correspondiente al plano de usuario se muestra de color celeste en la figura 12, y consiste en el protocolo de convergencia de datos por paquetes (PDCP), protocolo de control de radio enlace (RLC), control de acceso al medio (MAC) y capa física.

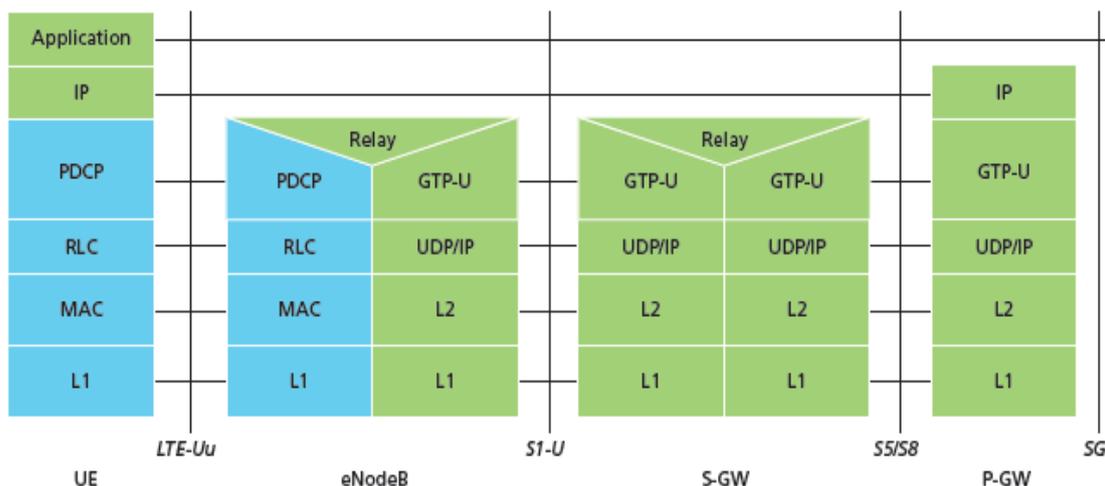


Figura 12. Pila de protocolos del plano de usuario.

Fuente: Alcatel Lucent (2009). *LTE: The LTE Network Architecture a comprehensive tutorial*. Recuperado de: www.alcatel-lucent.com.

²⁹ **MAC:** Medium Access Control (Control de Acceso al Medio).

1.1.5.1.1 The Packet Data Convergence Protocol (PDCP)

El protocolo de convergencia de datos por paquetes, está situado encima de la capa RLC del plano de usuario, proporcionando el servicio de transferencia de datos, de tal manera que todos los datos de usuario viajan a través de la capa PDCP y cada paquete IP de tráfico se envía y recibe a través de este servicio. Las funcionalidades clave del PDCP son:

- Compresión de cabecera y el correspondiente cifrado de los paquetes IP, basado en el uso del protocolo de compresión ROHC³⁰, la compresión del encabezado IP también proporciona otros beneficios importantes, como la reducción de la pérdida de paquetes y la mejora del tiempo de respuesta interactiva. En resumen, la compresión de encabezado IP es el proceso de compresión de cabeceras exceso antes de transmitirlos en un enlace y descomprimirlos a su estado original en la recepción en el otro extremo del enlace eNodeB. Es posible comprimir las cabeceras de protocolo, debido a la redundancia en los campos de cabecera del paquete.
- Protección de la integridad y verificación, garantizando que la información de control venga de la fuente correcta.
- Cifrado y descifrado de los datos tanto en el plano de usuario como en el plano de control.

1.1.5.1.2 Radio Link Control (RLC)

La capa RLC es responsable del envío confiable de paquetes PDCP entre el UE y el eNodeB, para ello soporta funciones adicionales como ARQ³¹, concatenación, segmentación, detección de errores y mecanismos de entrega ordenada de paquetes PDCP.

³⁰ROHC: Robust Header Compression (Compresión de cabecera robusta).

³¹ARQ: Automatic Repeat Request (Petición de respuesta automática). Si los datos recibidos tiene un error son descartados y el remitente solicita una nueva retransmisión de los datos.

La capa RLC está ubicada entre la capa PDCP y la capa MAC, se comunica con la capa PDCP a través de un punto de acceso de servicio SAP³², y con la capa MAC a través de canales lógicos.

Las funciones de la capa RLC son realizadas por las entidades de RLC, las mismas que están configuradas en uno de los tres modos de transmisión de datos que son:

- **Modo Transparente (TM):** Es considerado el más simple debido a que la sub-capas RLC entrega y recibe de forma directa el PDU a la sub-capas MAC en un canal lógico, pero no añade ninguna cabecera a la misma, es decir se limita a realizar la recepción y transmisión de la entidad.
- **Modo no reconocido (UM) de funcionamiento:** Ofrece un servicio de transferencia de datos unidireccional, incluyendo entrega en secuencia de datos, así como detección de duplicados.
- **Modo reconocido (AM) de RLC:** Provee funcionalidades como: modo de mensajería unificada, retransmisión en caso de que el PDU se pierden como resultado de las operaciones en las capas inferiores.

1.1.5.1.3 Medium Access Control (MAC)

La capa MAC o control de acceso al canal de radio, es la sub-capas más baja de la arquitectura de nivel 2 de la pila de protocolo de radio LTE, se encuentra encima de la capa física y debajo de la capa RLC, la conexión a la capa física es a través de canales de transporte, y la conexión a la capa RLC es a través de canales lógicos. Por consiguiente, la capa MAC realiza las siguientes funciones:

- Corrección de errores a través de métodos de retransmisión HARQ³³, para controlar el enlace ascendente y el manejo de retransmisión de capa física del enlace descendente.

³²SAP: Service Acces Point (Punto de acceso de servicio).

³³Hybrid ARQ: Si los datos recibidos tienen un error, entonces el receptor almacena en su memoria intermedia los datos y pide una retransmisión desde el emisor.

- Manejo de prioridades entre los canales lógicos de un UE, por medio de la programación en el eNodeB, la cual es considerada como la funcionalidad principal de la capa MAC.
- Se encarga de la multiplexación y demultiplexación de las unidades de los paquetes MAC y también del relleno en caso de que un PDU no está totalmente cargada con sus datos.

1.1.5.1.3.1 Canales Lógicos de la capa MAC

La capa MAC proporciona sus servicios a la capa RLC a través de canales lógicos, los diferentes canales lógicos se definen para los diversos servicios de transferencia de datos en las direcciones de enlace ascendente y de enlace descendente, se clasifican en canales lógicos de tráfico y control.

1.1.5.1.3.1.1 Canales Lógicos de Tráfico

- **Dedicated Traffic Channel (DTCH):** canal dedicado punto a punto cuya finalidad es transportar información entre el eNodeB y el usuario, en ambas direcciones de enlace ascendente y enlace descendente.
- **Multicast Traffic Channel (MTCH):** canal del enlace punto-multipunto, es decir únicamente transmite información desde la red del eNodeB hacia un grupo de usuarios, cave recalcar que solo existe en el enlace downlink.

1.1.5.1.3.1.2 Canales Lógicos de Control

- **Broadcast Control Channel (BCCH):** es un canal de enlace únicamente descendente, empleado por el eNodeB para transmitir información sobre el sistema a los equipos de usuario que se encuentren dentro de su rango de cobertura.

- **Paging Control Channel (PCCH):** es un canal de enlace únicamente descendente, utilizado por el eNodeB para emitir notificaciones de una llamada entrante o un cambio de la información del sistema hacia los equipos terminales.
- **Common Control Channel (CCCH):** canal utilizado para proporcionar información de control durante el establecimiento de la conexión, es decir entre un UE y el eNodeB, este canal funciona tanto en el enlace ascendente como descendente.
- **Dedicated Control Channel (DCCH):** este canal se utiliza para transmitir la información de control entre la red del eNodeB y un equipo terminal específico, tanto en enlace ascendente y descendente.
- **Multicast Control Channel (MCCH):** canal de enlace descendente que se utiliza para transmitir información de control relacionada con la recepción de los servicios MBMS³⁴, desde la red del eNodeB hacia un grupo de terminales de usuario.

1.1.5.1.3.1.3 Canales Lógicos de Transporte

Son utilizados para describir las características de la transmisión de la información, se clasifican tanto para enlace ascendente como descendente.

Downlik:

- **Broadcast Channel (BCH):** este canal de transporte se encuentra estrechamente relacionado con el canal lógico BCCH, posee un formato fijo y abarca toda el área de cobertura.
- **Downlink Shared Channel (DL-SCH):** este canal se utiliza para transportar mensajes de datos o de control de usuarios, a través del enlace descendente, además las partes

³⁴ **Multicast Broadcast Service:** Es una interfaz punto-multipunto que ofrece servicios de difusión y multidifusión, tanto dentro de una celda como en el núcleo de red, esto garantizará una prestación más eficiente de aplicaciones tales como la televisión móvil, la radiodifusión y alertas de emergencia.

restantes de la información del sistema que no son transportados por el BCH se transportan en este canal.

- **Paging Channel (PCH):** este canal se utiliza para transportar información de paginación a los UE, es decir información referente a las actualizaciones realizadas en el sistema.
- **Multicast Channel (MCH):** canal utilizado para transportar datos de control o de usuario y contenido de servicio de multidifusión para el UE en dirección de enlace descendente.

Uplink:

- **Uplink Shared Channel (UL-SCH):** conocido como el único canal de transporte de enlace ascendente que lleva los datos de tráfico y puede transferir señales de control hacia las capas superiores.
- **Random Access Channel (RACH):** este canal se utiliza para acceder a la red cuando el UE no tiene una sincronización exacta de la temporización de enlace ascendente, o cuando el UE no tiene asignado ningún recurso de transmisión de enlace ascendente.

1.1.5.1.4 Capa Física

La capa física ofrece el servicio de transporte de datos a la subcapa MAC mediante canales de transporte, su funcionamiento se basa en técnicas de acceso múltiple: OFDM para el enlace descendente es decir desde el eNodeB al usuario y SC-FDMA para el enlace ascendente del usuario al eNodeB. En ambos casos la separación entre subportadoras será un valor fijo igual a 15Khz.

1.1.5.1.4.1 Estructura de la Trama tipo 1 (SF1)

La estructura de la trama tipo 1 es compatible con sistemas que utilizan FDD³⁵, tanto en enlace ascendente como descendente.

La Estructura principal de la trama tipo 1 tiene una duración de 10ms, a la vez está compuesta por 20 ranuras de 0.5ms de duración, de tal manera que la unión de dos ranuras crea una subtrama 1ms de duración.

En cada ranura se transmite de 6 a 7 símbolos OFDM y cada uno tiene una duración de 66,7 μ s. Dependiendo si se utiliza 7 símbolos, el CP es denominado prefijo cíclico normal y posee una duración de 5,2 μ s, por su parte si se utiliza 6 símbolos el CP es denominado prefijo cíclico largo, con una duración de 16,67 μ s.

De preferencia cuando las celdas son muy extensas se utiliza 6 símbolos por ranura, debido a que puede llegar a presentar varios retardos de propagación.

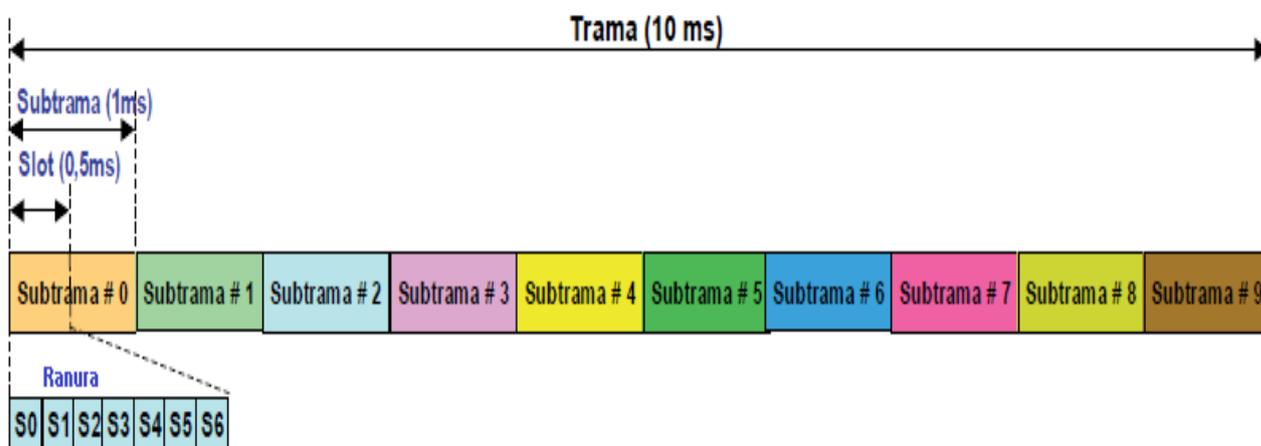


Figura 13. Estructura de trama tipo 1

Fuente: Ramón Agustín, F. B. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Fundación Vodafone España.

1.1.5.1.4.2 Estructura de la Trama tipo 2 (SF2)

La estructura de la trama tipo 2 trabaja en el modo TDD³⁶, su estructura es similar a la trama tipo 1 con la diferencia de que ésta es mucho más viable ya que contiene

³⁵ **FDD:** Frequency Division Dúplex (Duplexación por división de frecuencia).

³⁶ **TDD:** Time Division Dúplex (Duplexación por división de tiempo).

subtramas de transmisión tanto para el enlace downlink como uplink, así como también subtramas especiales cuyo trabajo es contener los símbolos piloto para el enlace ascendente y descendente, con el fin de facilitar la sincronización en el proceso de transmisión de la información entre ambos enlaces; además cuenta con períodos de guarda entre transmisión y recepción por motivo de precautar cualquier fallo que puede sufrir durante la transmisión.

En la figura 14 se puede observar que al igual que la trama SF1, la estructura principal de la trama tipo 2 tiene una duración de 10ms y contiene 10 subtramas de 1ms de duración cada una.

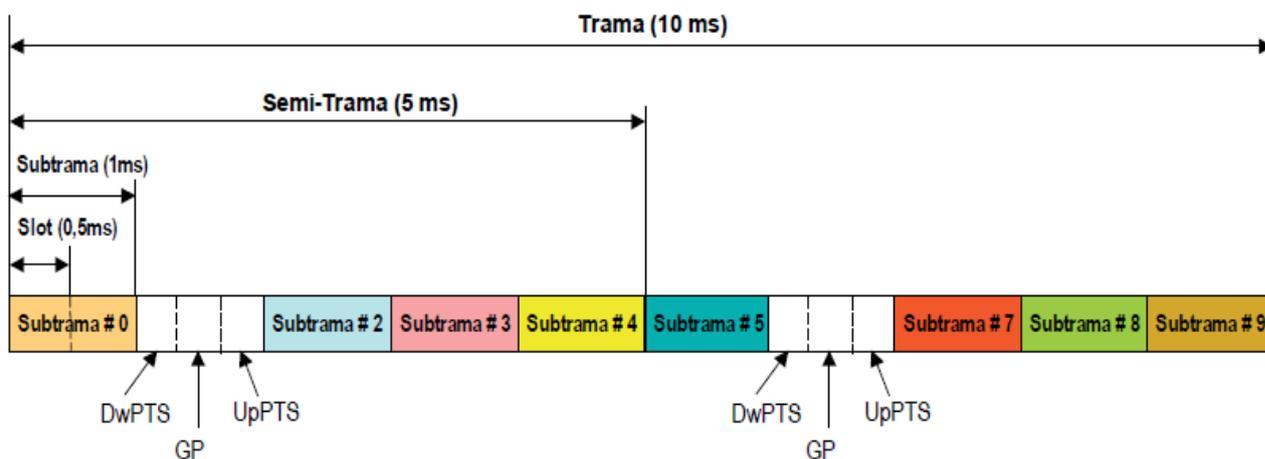


Figura 14. Estructura de la trama tipo 2

Fuente: Ramón Agustín, F. B. (2010). *LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles*. Fundación Vodafone España.

En la estructura de la trama tipo 2 se puede visualizar la existencia de tres nuevos campos que son:

- **DwPTS:** corresponde a la transmisión en el enlace descendente, su longitud mínima es 1 símbolo OFDM, el primer símbolo OFDM se utiliza para ubicar la señal de sincronización primaria ya que el sistema opera en modo TDD y en caso que existiera otros símbolos, serán utilizados para transportar señales de referencia o datos.
- **UpPTS:** corresponde a la transmisión en el enlace ascendente, se utiliza para transmitir un preámbulo corto compuesto por 2 símbolos OFDM. En caso que existiera símbolos restantes pueden transportar señales de referencia o incluso datos.

- **GP:** es el denominado periodo de guarda, su longitud depende de los campos anteriores.

1.1.5.2 Plano de Control

El stack de protocolos del plano de control referente a la arquitectura de red LTE, hace hincapié a los protocolos necesarios para responder ante procedimientos de gestión y operación de la interfaz S1-MME.

De esta manera, mediante la interfaz S1-MME, el eNodeB se comunica con una entidad de red de la red troncal EPC denominada Mobility Management Entity MME, la misma que solo cumple funciones relacionadas con el plano de control.

A diferencia del plano de usuario que solo trabaja con los protocolos de capa 1 y capa 2, el plano de control a más de trabajar con los mismos protocolos de capa 1 y 2 del plano de usuario, integra los protocolos de capa 3 encabezados por el protocolo NAS (Non Access Stratum) y RRC (Radio Resource Control).

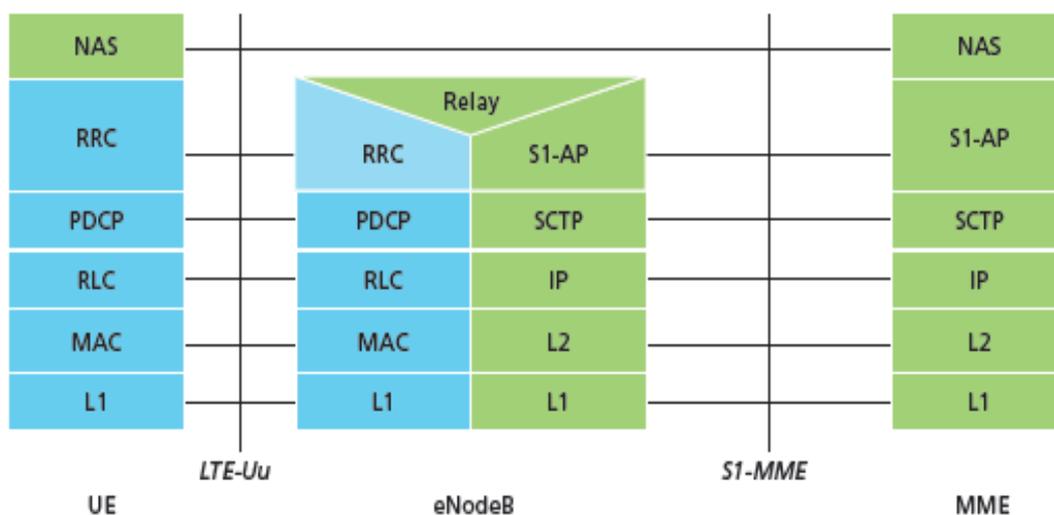


Figura 15. Stack de protocolos del plano de control

Fuente: Alcatel Lucent. (2009). *LTE: The LTE Network Architecture a comprehensive tutorial*. Recuperado de: www.alcate-lucent.com

1.1.5.2.1 Non Access Stratum (NAS)

Es la capa superior del stack de protocolos del plano de control, consiste en un conjunto de protocolos separados que realizan el transporte y señalización directa entre el UE y MME. El contenido de los protocolos de la capa NAS no es visible para el eNodeB, el mismo que no está involucrado en las operaciones pertenecientes a los protocolos NAS, únicamente el eNodeB interviene en transportar los mensajes y proporcionar algunas indicaciones adicionales de capa de transporte. Los protocolos de la capa NAS son:

Radio Resource Control (RRC): El protocolo de control de recursos de radio conocido como de capa 3, es el encargado de realizar el control del uso de recursos de radio, establecimiento de las portadoras de radio y configuración de todas las capas inferiores, mediante la gestión de las conexiones de señalización y de datos entre el UE y el eNodeB.

Las capas inferiores realizan las mismas funciones que para el plano de usuario, ya que se trata de los mismos protocolos de capa 1 y 2: Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC), Medium Access Control (MAC), Physical Layer (PHY).

1.1.6 Interfaces de red E-UTRAN: S1

La creación de una red independiente es uno de los objetivos claves de LTE, de hecho la auto-optimización de la red es de alta prioridad para los operadores de red ya que permite obtener el mejor rendimiento de la red en una manera costo-efectiva, sobre todo en los cambios de entorno de propagación de radio.

Por lo tanto el principio general para la red LTE es que las capas y los planos sean lógicamente independientes entre sí, y esto lo hacen a través de sus interfaces y protocolos.

La interfaz S1 es la encargada de conectar el eNodeB al EPC o red de núcleo, se divide en dos interfaces, una para el plano de control S1-MME y el otro para el plano de usuario S1-U.

La inicialización de la interfaz de plano de control S1-MME comienza con la identificación de los MMEs a la que el eNodeB se debe conectar, es decir un eNodeB debe iniciar una interfaz S1 hacia cada nodo MME del clúster al que pertenece.

Una vez que se ha establecido la conexión entre el eNodeB y la MME, algunos datos de configuración a nivel de aplicaciones básicas para el funcionamiento del sistema se intercambian automáticamente entre ellos, a través de un procedimiento de “S1 SETUP” iniciado por el eNodeB, la función S1 SETUP, permite identificar la zona de seguimiento la cual corresponde al área en la que se enumeran los UE’s.

El mensaje de petición de establecimiento se envía automáticamente a todos los nodos relevantes MME una vez que todas las entidades de la zona de seguimiento que se van a transmitir a través de la interfaz de radio se hayan configurado en todos los eNodeB pertenecientes al clúster.

En seguida que el procedimiento S1 SETUP se ha completado, la interface S1 estará operativa y llevara a cabo un proceso de inicialización a continuación descrito:

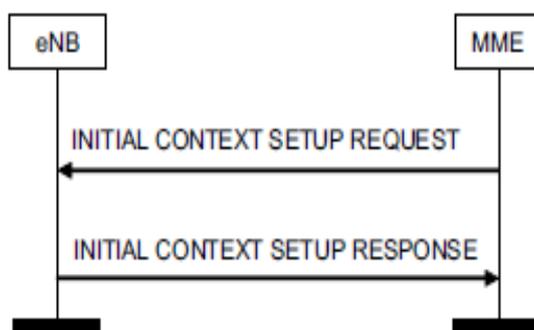


Figura 16. Procedimiento de configuración inicial sobre interfaz S1.

Fuente: Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons LTd.

- Dentro de cada área de cobertura del clúster, un UE se asocia a un MME particular para llevar a cabo todas sus comunicaciones durante su estancia en esta zona.
- Cada vez que un UE se activa, el MME proporciona la información de contexto de éste UE al eNodeB utilizando el mensaje: 'INITIAL CONTEXT SETUP REQUEST',

mostrado en la figura 16, esto permite que el eNodeB a su vez cree un contexto y pueda gestionar el equipo de usuario durante la duración de su actividad en el modo activo.

- Mientras que en sentido contrario, es decir en la transición de regreso a modo inactivo, se envía un mensaje: INITIAL CONTEXT SETUP RESPONSE, desde la MME hacia el eNodeB, la función que realiza este mensaje es borrar el contexto del eNodeB y mantener el contexto MME.

Puntos de referencia de la Interfaz S1

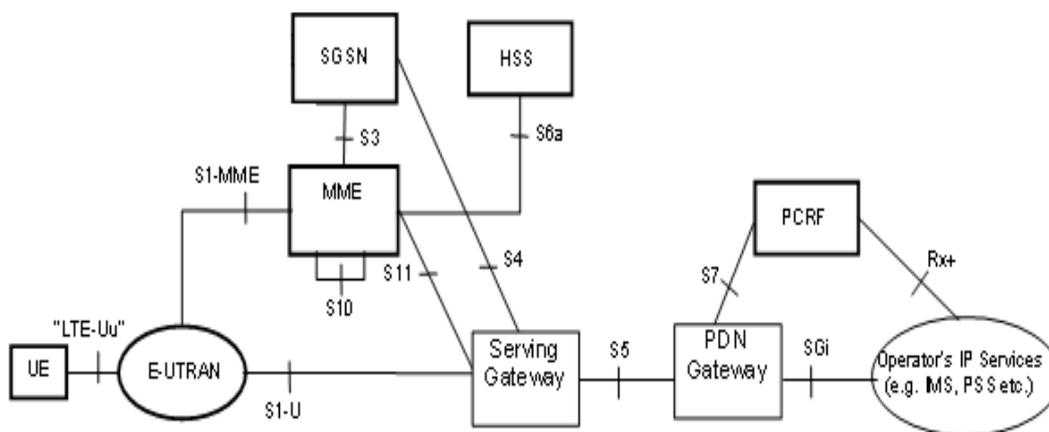


Figura 17. Puntos de referencia interfaz S1.

Fuente: 3GPP TS 23.401. (2011). Recuperado de: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/23401-a40.pdf>

S3: Permite el intercambio de información del usuario y portador de la movilidad de red de acceso 3GPP.

S4: Proporciona el plano de usuario con el control relacionado y soporte de movilidad a través de un nodo de soporte GPRS denominado SGSN.

S5: Proporciona al usuario túnel de gestión entre el S-GW y PDN-GW. Se utiliza para la reubicación de S-GW debido a la movilidad del UE.

S6a: Interfaz que realiza la transferencia de datos de suscripción y autenticación entre MME y HSS para permitir la autorización de acceso de usuario al sistema.

S7: Proporciona transferencia de políticas y normas de carga de PCRF hacia PDN GW.

S10: Punto de referencia entre MMEs, tanto para reubicación como para transferencia de información.

S11: Provee la señalización del plano de control entre el MME y el SGW, es una de las interfaces más importantes dentro de la arquitectura LTE, ya que entre otras cosas, es usada para establecer la conexión IP de los usuarios LTE a través de la interconexión de las estaciones base, además brinda soporte para movilidad cuando los usuarios se mueven entre los diferentes eNodeB.

SGi: Es el punto de referencia entre el PDN GW y la red de datos en paquetes. La red de paquetes de datos puede ser un operador público externo, una red de paquetes de datos privada o una red de paquetes de datos del operador intracomunitario.

Gx: Proporciona transferencia de políticas y normas de carga de PCRF a las políticas de función de ejecución en el PDN GW.

1.1.6.1 Estructura de Protocolos sobre S1

1.1.6.1.1 Plano de Control

Los protocolos utilizados en la interfaz S1 se encuentran separados en dos capas: capa de red de radio (Radio Network Layer, RNL) y capa de red de transporte (Transport Network Layer, TNL). La capa RNL, está constituida por los protocolos específicos de la red de radio acceso; mientras que la capa TNL contiene los protocolos utilizados para el transporte de información entre las diversas entidades de red.

S1-MME: Es la interfaz entre el eNodeB y la entidad MME, es conocida como un punto de referencia para los protocolos del plano de control, los cuales se pueden observar en la figura 18.

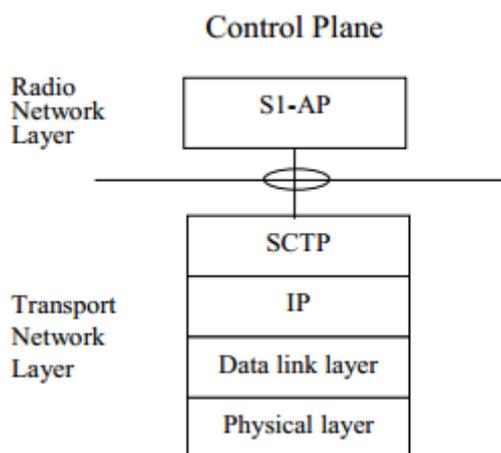


Figura 18. Estructura de protocolos para el plano de control

Fuente: 3GPP ETSI TS 136.410. (2014). Recuperado de http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136400_136499/136410/12.00.00_60/ts_136410v120000p.pdf

- **S1 Application Protocol (S1AP):** El protocolo de aplicación, maneja las conexiones entre la E-UTRAN y EPC, incluyendo la participación en la entrega paquetes. La asignación directa de S1-AP, en la parte superior de SCTP/IP (Stream Control Transmission Protocol), es debido a que la transferencia de mensajes de señalización entre eNodeB y MME se realiza mediante este protocolo.

- **SCTP/IP (Stream Control Transmission Protocol):** El Protocolo de control de flujo de transmisión, es un protocolo de señalización basado en IP, que se utiliza para proporcionar la entrega de mensajes garantizado entre la MME y el eNodeB. El protocolo SCTP es conocido por sus avanzadas características heredadas de TCP, que aseguran la necesaria entrega fiable de los mensajes de señalización. Además permite el uso de características mejoradas, como el soportar Multihoming que permite que en ambos extremos de la conexión se tenga más de una dirección IP, permitiendo reaccionar en forma transparente ante fallos en la red, ya que gracias a esta característica, SCTP detecta automáticamente si una dirección IP es inalcanzable y de serlo así se inicia el envío de datos a una de las otras direcciones IP disponibles en ambos extremos de la conexión, convirtiéndola en una red redundante.

1.1.6.1.2 Plano de Usuario

En la figura 19, se puede observar que la interfaz S1-U es el punto de referencia entre el eNodeB y S-GW para el plano de usuario, donde se encuentran los siguientes protocolos:

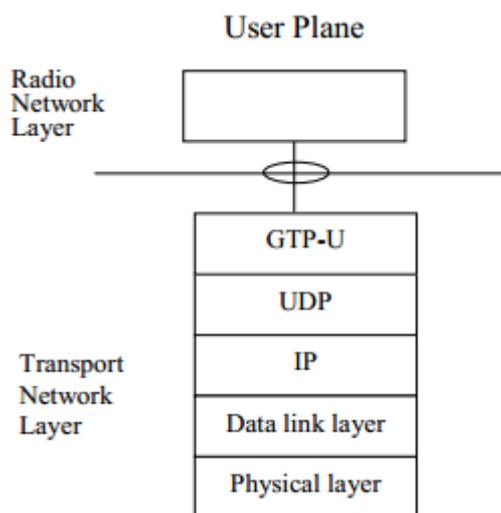


Figura 19. Estructura de protocolos para el plano de usuario

Fuente: 3GPP ETSI TS 136.410. (2014). Recuperado de http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136400_136499/136410/12.00.00_60/ts_136410v120000p.pdf

- **GPRS Tunneling Protocol-User plane (GTP-U):** El protocolo de túnel GPRS del plano de usuario se utiliza para identificar túneles, enviar paquetes IP de usuario final y facilitar la movilidad entre un par dado de túneles GTP-U.
- **UDP/IP:** El protocolo de datagrama de usuario (UDP) y el protocolo IP se utilizan como el estándar básico de transporte. UDP se utiliza en lugar del Protocolo de Control de Transmisión (TCP), ya que en la red LTE, las capas superiores ya prestan servicios de transporte fiable con recuperación de errores y retransmisión de datos.

1.1.7 Interfaz de red E-UTRAN: X2

La interfaz X2 es la encargada de interconectar eNodeBs entre sí, permite coordinar la interferencia entre celdas, proporcionar información sobre el estado de los recursos, la sobrecarga y la situación de tráfico entre diferentes eNodeBs.

Al realizarse la conexión entre eNodeBs, el eNodeB origen utilizará la interfaz X2 para enviar el mensaje de solicitud de traspaso al eNodeB de destino.

Al igual que la interfaz S1, X2 tiene un plano de control y plano de usuario. En el plano de usuario se realiza la transferencia de datos de usuario entre eNodeBs a través del proceso denominado handover, en el cual los paquetes que han sido almacenados en el eNodeB anterior son intercambiados hacia el eNodeB nuevo.

Por otra parte, en el plano de control se realiza el control de la transferencia de paquetes IP que han sido enviados por parte del plano de usuario; además mediante la interfaz X2 del plano de control, los eNodeB pueden transferir información relacionada a la gestión de recursos de radio entre sus celdas vecinas.

1.1.7.1 Estructura de protocolos X2

El stack de protocolos tanto de plano de control como de usuario de la interfaz X2 es igual que los de la interfaz S1, con la diferencia que el protocolo S1-AP es sustituido por el protocolo X2-AP, el uso de la misma estructura de protocolos a través de ambas interfaces proporciona ventajas tales como la simplificación de la operación de reenvío de datos.

La estructura de protocolos de la interfaz X2 consta de dos capas funcionales:

- **Capa de Red de Radio**, define los procedimientos relacionados con la interacción entre eNodeBs. La capa de red de radio consiste en un plano de control de red de radio y un plano de usuario Radio Network.
- **Capa de Red de Transporte**, proporciona servicios para el plano de usuario y el transporte de señalización.

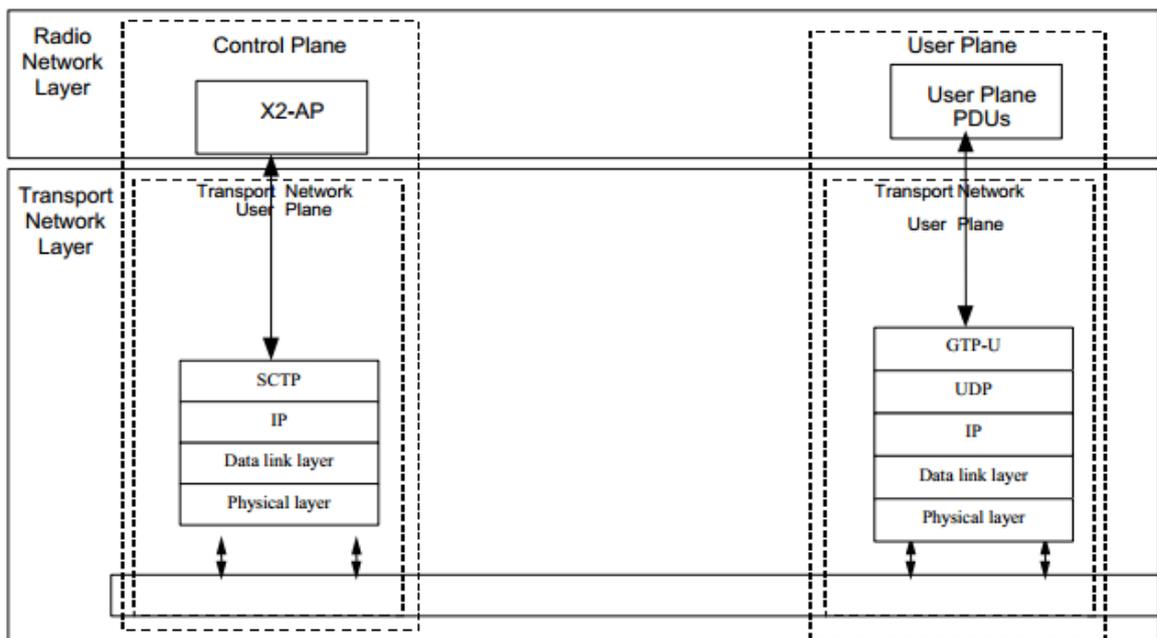


Figura 20. Estructura de protocolos de interfaz X2

Fuente: 3GPP ETSI TS 36.420. (2014). Recuperado de

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136400_136499/136420/12.00.00_60/ts_136420v120000p.pdf.

Las funcionalidades del protocolo X2AP son:

- Gestión de la movilidad a través de la interfaz X2, durante el mensaje de traspaso entre eNodesBs.
- Gestión de la carga, para permitir la coordinación entre celdas proporcionando información sobre el estado de los recursos, la sobrecarga y la situación de tráfico entre diferentes eNodeBs.
- Establecimiento y restablecimiento de la interfaz X2.

1.1.8 Tecnología de Múltiple Antena

A través de la historia y evolución de sistemas de comunicaciones móviles, la transmisión de las señales en medios inalámbricos ha sufrido de diversos problemas que obstaculizan su correcta transmisión, ya sea por factores externos que se interponen en el medio de transmisión o por fenómenos físicos como la difracción, reflexión y principalmente la propagación multitrayectoria, la cual ha sido considerada como la

mayor amenaza, ya que provoca que las señales que se han transmitido lleguen desfasadas y con atenuación, por ende provoca que la velocidad de transmisión se reduzca considerablemente. Ante este fenómeno se desarrolló la técnica basada en múltiples antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output).

1.1.8.1 MIMO (Multiple Input Multiple Output)

La técnica MIMO considerada como una de las principales herramientas de múltiple antena, ha sido desarrollada para utilizar las características del fenómeno de propagación multitrayectoria de un canal inalámbrico. Esto se debe principalmente a que MIMO emplea múltiples antenas tanto en el receptor como transmisor y utiliza el efecto de múltiples trayectos debido a la diversidad de caminos existentes entre las antenas, en lugar de causar interferencias.

Mientras que las comunicaciones inalámbricas tradicionales SISO (Single-Input Single-Output) explotan pre-procesamiento y decodificación de los datos transmitidos y recibidos, respectivamente, el uso de elementos de antena adicionales, ya sea en la estación base (eNodeB) o Equipo de Usuario (UE) (en el enlace descendente y / o enlace ascendente) permite mejorar el rendimiento del enlace en términos de una o más métricas posibles, tales como la tasa de error, velocidad de datos de comunicación, el área de cobertura y la eficiencia espectral; MIMO se ha consagrado como la principal innovación de la tecnología LTE, proporcionando la capacidad de mejorar aún más el rendimiento de datos y eficiencia espectral.

1.8.1.1.1 Funcionamiento MIMO

Básicamente un arreglo de antenas MIMO dispone de un transmisor con N_T antenas transmisoras distribuidas, el transmisor contiene un DSP (Digital Signal Processor) el cual se encarga de codificar el flujo de datos por cada usuario individual con una velocidad X ; por lo tanto N_T subflujos de las antenas tendrán una velocidad X/N_T cada uno.

De manera individual, cada subflujo es modulado y enviado por una antena diferente a través del canal inalámbrico en forma paralela. Todos los subflujos son enviados en la misma frecuencia y al mismo tiempo, es decir se realiza el envío de múltiples señales sincronizadas a la vez y por el mismo canal.

Por otra parte las antenas del receptor M_R se encargan de recibir las señales una por cada antena, de tal manera que el procesador de señales DSP del receptor se encarga de separar, ordenar y combinar las señales con el fin de recuperar la señal original en conjunto con los datos transmitidos inicialmente.

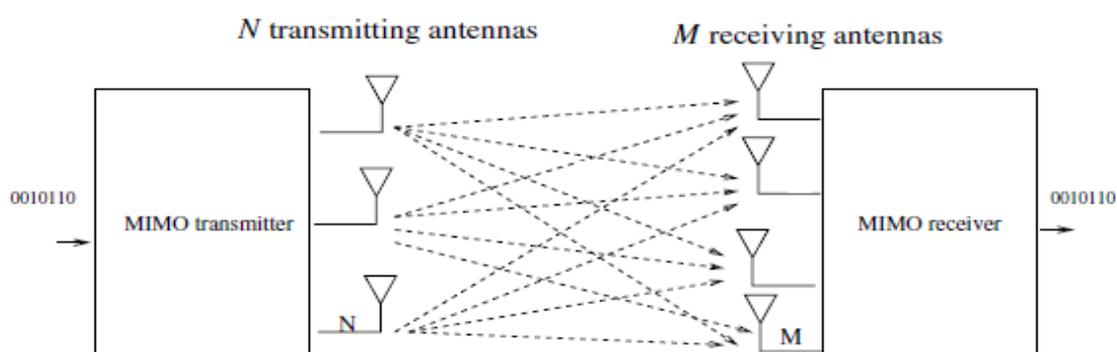


Figura 21. Funcionamiento MIMO

Fuente: Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons Ltd.

Durante la transmisión de las señales, el efecto multitrayectoria permite los siguientes comportamientos:

- Al momento de transmitirse las señales, se crea un canal virtual, por medio del cual se transmite una sola ruta, cada una es tratada por un canal diferente, con el fin de que las señales transmitidas no se solapen.
- Al utilizar una variedad de antenas y sobretodo ubicadas en forma separada, facilitan la creación de los canales virtuales, garantizando que cada señal tenga su propio canal.
- Gracias al beneficio de la diversidad de antenas es posible aumentar el área de cobertura en cuanto a la transmisión.

Con el manejo de MIMO, han surgido términos que se han adoptado especialmente para referirse a las señales y su procesamiento:

- **Codeword (CW):** representa los datos originales de usuario, es decir aquellos que anteriormente no han sido procesados para su transmisión. Dependiendo de las condiciones del canal, está permitido utilizar hasta dos CWs (CW0 y CW1).
- **Layer o Stream:** Layer es sinónimo de flujo, el número de layers dependen del tipo de multiplexación a utilizar, por ejemplo en multiplexación espacial, al menos se usan dos layers, pero en LTE están permitidas hasta cuatro layers, debido a que el número de layers debe ser menor o igual al número de antenas.
- **Precoding:** la precodificación se encarga de modificar los flujos de datos antes de realizar la transmisión.

1.1.8.1.2 Modo de Operación MIMO en el downlink LTE

De acuerdo al arreglo de antenas que se utilicen en el eNodeB, se puede configurar a cada UE en uno de los siguientes siete modos de operación en el downlink LTE:

1) **Transmisión desde una sola antena en el eNodeB:** es el modo más simple de operación sin precodificación por lo que es utilizado en sistemas inalámbricos simples.

2) **Diversidad de transmisión:** modo de operación que representa el envío de un mismo flujo de información por múltiples antenas, recalando que en LTE es permitido el arreglo de dos hasta cuatro antenas; cada flujo de información tiene un tratamiento diferente, es decir se codifica de diferente manera utilizando el denominado SFBC³⁷, el cual se encarga de repetir los símbolos de los datos en cada antena sobre diferentes subportadoras.

³⁷ **SFBC:** Space Frequency Block Codes (Códigos de bloque por espacio de frecuencia).

3) Multiplexación espacial de lazo abierto: modo en el que dos codewords o flujos de información son transmitidos a través de dos hasta cuatro antenas; en este proceso no se produce la retroalimentación explícita del UE, a cambio de ello el UE envía un TRI³⁸, el cual es un indicador de rango que se utiliza para saber el número de capas o flujos de datos a transmitir simultáneamente, sí el reporte del UE hacia el eNodeB de TRI = 1, el eNodeB iniciará el envío de datos en modo de transmisión 2 (diversidad de transmisión); sí el reporte de UE = 2, entonces el eNodeB continuará normalmente con el envío de datos en modo de transmisión 3.

4) Multiplexación espacial de lazo cerrado: modo de transmisión similar al modo 3, es decir dos flujos de información son transmitidos sobre dos o hasta cuatro antenas, su diferencia radica en que el UE realiza una retroalimentación con el uso de PMI³⁹, mecanismo el cual permite que el transmisor precodifique los flujos de datos con el fin de optimizar la transmisión sobre el canal inalámbrico, por ende para el receptor será más fácil separar los flujos para obtener los datos originales.

5) Multi-Usuario MIMO: similar al modo 4 con la diferencia que el flujo de información es enviado a diferentes terminales UE, razón por la cual se comparten los recursos entre múltiples usuarios y a la vez cada uno experimenta una misma velocidad de flujo de datos.

6) Lazo cerrado de grado 1 con pre-codificación: En este modo el flujo de datos o codeword individual es transmitido por una capa espacial única.

7) Puerto de antena único: En este modo un codeword es transmitido sobre una sola capa, pero a más del codeword se añaden señales dedicadas extras y por ende más antenas, esta es la única razón por la que en LTE se podría utilizar más de cuatro antenas.

³⁸ **TRI:** Transmit Rank Indicator (Indicador de rango de transmisión).

³⁹ **PMI:** Precoding Matrix Indicator (Mecanismo precodificador).

1.1.8.1.3 Modo de Operación MIMO en el Uplink LTE

El funcionamiento de la técnica de antena múltiple para el enlace ascendente está definido por:

- Single User MIMO (SU-MIMO) para único UE
 - Multi-User MIMO (MU-MIMO) para múltiples UE
-
- SU-MIMO: Se refiere a que un único usuario puede recibir múltiples flujos de señales, para ello es necesario emplear más de un transmisor, lo que implica aumento de los recursos y por ende del coste. Esta técnica únicamente se utiliza cuando las condiciones del canal son buenas. SU-MIMO se encarga de incrementar la velocidad de datos de un solo usuario, mientras que MU-MIMO incrementa la capacidad de usuario por celda, sin la necesidad de utilizar más de un transmisor, es por ello que actualmente no se lo considera como una prioridad de uso.
 - MU-MIMO: Técnica puede ser implementada utilizando los transmisores pertenecientes a los múltiples equipos de usuario.

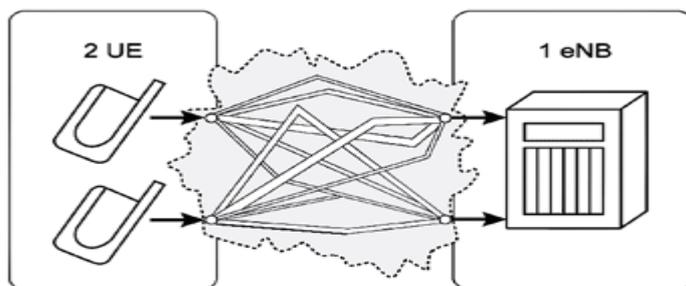


Figura 22. MU-MIMO en enlace uplink

Fuente: Rumney, M. (2010). *LTE and the Evolution to 4G Wireless Design and Measurement Challenges*.

Un equipo de usuario al conectarse a una antena crea un conjunto de recursos virtuales que serán disponibles para una segunda antena al enlazarse con un nuevo equipo de usuario de esta manera no se incrementa el tráfico total de la celda y cada nuevo usuario

que se conecta consumirá los recursos virtuales ya existentes. Es por esta razón que MU-MIMO es la opción más utilizada para implementación de antenas inteligentes.

La llegada de LTE y por ende el crecimiento acelerado de los usuarios en los nuevos sistemas de comunicaciones móviles de última generación ha impulsado que los sistemas de antena múltiple también evolucionen. El valor de los sistemas de múltiple antena ha sido reconocido como un medio para mejorar las comunicaciones, es por ello que últimamente ha sido empleado en tecnologías inalámbricas y celulares con el fin de proveer mejores niveles de eficiencia.

1.1.9 Ventajas LTE

Todas las características antes descritas contribuyen a que se pueda mencionar las ventajas que permite el sistema de comunicaciones LTE.

- Principalmente lo que más ha llamado la atención en comparación con las otras tecnologías móviles es la baja latencia (menor a 10 milisegundos) y alta tasa de velocidad que brinda LTE, siendo como mínimo 100 Mbps en el enlace downlink y 50 Mbps en uplink.
- Compatibilidad con otras tecnologías móviles ya existentes, asegurando la interconexión entre las mismas y extendiendo la actual cobertura debido a que es posible migrar a LTE a partir de tecnologías ya existentes.
- Arquitectura de red basada totalmente en el protocolo IP, por ende todos sus servicios utilizan conmutación de paquetes, permitiendo que el costo de los servicios que ofrecen los operadores móviles sea notablemente reducido.
- Permite que los usuarios de los smartphone compatibles con LTE naveguen en internet a velocidades superiores a las actuales, realicen videoconferencias y videollamadas con alta calidad en imagen y sonido.

1.1.10 Servicios LTE

En la era actual de la economía digital y las redes sociales, los operadores móviles se enfrentan a retos de la industria en constante evolución, el cambio de mercado y las demandas de los clientes son la principal motivación para el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones.

- **Dispositivos móviles:** dado que los dispositivos móviles, tales como teléfonos inteligentes, tablets o cámaras digitales son cada vez más accesibles, los consumidores están comprando más dispositivos en estos últimos días y añaden a ello la capacidad de LTE en mejorar aún más la conexión a internet móvil y enriquecer la experiencia del usuario.
- **Uso de aplicaciones:** el consumo mundial rápido de los teléfonos inteligentes ha cambiado completamente la forma de comunicación y uso de la Internet. Se ha entrado en una nueva fase de diversificar rápidamente el uso de teléfonos inteligentes, y la gente está en busca de aplicaciones en todos los sectores de la sociedad para mejorar su vida cotidiana. La demanda de nuevos servicios móviles podría potencialmente transformar todos los aspectos de la vida de la ciudad. Los usuarios finales creen que los servicios móviles pueden mejorar la satisfacción cuando se trata de actividades tales como ir de compras, comer en restaurantes y actividades de ocio.
- **Vídeo:** el video se reconoce como el servicio de LTE más importante, el rápido desarrollo en vídeo LTE permitirá a los usuarios disfrutar de contenidos de vídeo sin problemas con múltiples pantallas en cualquier lugar y en cualquier momento. Esto permitirá a los usuarios compartir sus momentos a través de los servicios de redes sociales, y la búsqueda de información en formato de vídeo más fácilmente. Es por esta razón que los diseños de los teléfonos inteligentes, tablets móviles y otros dispositivos son en base a una gran pantalla, lo cual ha impulsado en el actual mercado a que las personas tengan la intención de comprar tablets en lugar de computadoras de escritorio, debido a que el contenido de vídeo móvil tiene velocidades de bits más altas.

- **Consumidores:** LTE ofrece un alto rendimiento y se compara favorablemente con la banda ancha fija con la ventaja adicional de proporcionar la movilidad. Esto tiene un impacto significativo en la experiencia del usuario y su satisfacción. Los usuarios pueden ver video en vivo al aire libre con los dispositivos móviles mediante el uso de LTE, y continuar para ver el vídeo cuando están en casa. Actualmente los operadores ya ofrecen IPTV en su red de banda ancha fija y podrán aprovechar su plataforma de IPTV ya existente para entregar el contenido de vídeo de alta calidad a sus suscriptores de LTE a través de servicios unicast y broadcast.

- **Empresa:** Muchos de los usuarios finales prefieren utilizar sus dispositivos para llevar a cabo ambas tareas personales y de negocios, tales como recibir o responder correos electrónicos, leer o editar documentos de la empresa, etc. Reconociendo la tendencia, las empresas están implementando políticas BYOD⁴⁰, sobre la red LTE, ya que desde el móvil se alcanzarán velocidades comparables a las líneas de banda ancha actuales.

- **Casa:** LTE garantiza convergencia fijo-móvil para aplicaciones en tiempo real tales como VoIP, push-to-talk, mensajería mejorada con clips de vídeo, etc. Gracias a esta red de alta velocidad se podrá disfrutar de los juegos en red con mejor definición y mayores propiedades; ver televisión en HD y en 3D es otra posibilidad cierta con LTE.

⁴⁰ **BYOD:** Being your Own Device (Trae tu propio dispositivo).

CAPITULO 2

SITUACIÓN ACTUAL RED 3G UMTS/HSPA+

2.1 INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA 3G

Para el desarrollo de este capítulo es importante conocer aspectos relevantes acerca de la tecnología móvil anterior 3G, ya que de este nivel se partirá para la migración a la siguiente tecnología LTE 4G.

Al igual que toda nueva tecnología, 3G nació con el fin de brindar mejores servicios en cuanto a voz, video y datos a los usuarios de telefonía móvil; los nuevos servicios y especificaciones para 3G contribuyeron a la creación del IMT2000⁴¹, 3GPP y 3GPP2⁴², que son organizaciones que supervisan el proceso de elaboración de estándares y especificaciones técnicas relacionados con 3G.

2.1.1 Características Principales

Permite ofrecer telefonía de alta calidad, video llamada, sonido de alta fidelidad, servicios interactivos, acceso a internet móvil, etc. Pero con cobertura limitada dependiendo de las circunstancias en las que se encuentre el usuario las velocidades de transmisión varían tal como se muestra a continuación:

Hasta 10 km/h (usuarios sin movilidad) = 2Mbps.

Sobre 100 km/h (limitada movilidad) = 384Kbps

A partir de 500 km/h (rápida movilidad) = 144 Kbps

⁴¹ **Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000:** Estándar global para la tercera generación de redes de comunicaciones, formó dos grupos para la normalización de redes terrenales: 3GPP y 3GPP2.

⁴² **3rd Generation Partnership Project 2:** Encargado de la evolución hacia redes CDMA 2000.

- Conmutación basada mayormente en paquetes, por ende las comunicaciones son menos costosas.
- Las redes 3G ofrecen mayor grado de seguridad en comparación con las anteriores tecnologías 2G, al permitir al UE autenticar la red a la que se está conectando.
- Compatibilidad con sistemas de segunda generación y capacidad de soporte de handovers para aumento de cobertura y balance de carga.
- Integración de diferentes servicios en una sola conexión.

2.1.2 Principales estándares de la tecnología 3G

A medida que las necesidades de los usuarios fueron creciendo, las tecnologías 3G habilitaron mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad de la red y más servicios de red avanzados, es así que el IMT-2000 propuso la creación de diversidad de sistemas basados en diferentes tecnologías, pero los principales estándares que destacaron como parte de las mejoras para 3G fueron UMTS y HSPA+.

➤ UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

El sistema universal de telecomunicaciones móviles ofrece una interfaz de radio denominada UTRAN⁴³, la misma que está basada en la tecnología CDMA⁴⁴, lo cual le ha permitido aumentar considerablemente la velocidad de transferencia de datos de hasta 14 Mbps en sus mejores condiciones y velocidades promedio de 220 a 320 Kbps cuando el usuario se encuentra en movimiento.

Esta capacidad de transmisión unida al soporte del protocolo IP capacita a UMTS para la prestación de servicios multimedia interactivos: servicios como la videoconferencia, las descargas musicales o de vídeo, los nuevos videojuegos, etc.

⁴³ **UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System (Sistema universal de telecomunicaciones móviles).

⁴⁴ **CDMA:** Code Division Multiple Access (Multiplexación por división de código).

- **HSPA+ (High Speed Packet Access Plus)**

HSPA+ es una mejora de la tecnología 3G para la transmisión de datos, superior a los anteriores estándares que también surgieron para dar soporte a ésta tecnología. HSPA+ es una evolución de HSPA, se encuentra estandarizado por 3GPP en el reléase 7, es compatible con las actuales redes UMTS. Actualmente en Ecuador la mayor parte de cobertura celular es en base a ésta tecnología.

Algunas de las características clave de HSPA+ son las siguientes:

- HSPA + es una simple actualización de las redes HSPA, con mejores prestaciones que UMTS.
- Aumenta significativamente la capacidad de HSPA, así como reduce la latencia inferior a 50 milisegundos (ms).
- La primera fase de HSPA+ con 64 QAM⁴⁵ en su despliegue comercial ha proporcionado tasas de rendimiento en enlace descendente con un máximo de 21 Mbps, y 5,76 Mbps uplink.
- HSPA+ es compatible con los servicios de voz y datos en la misma portadora y en todo el espectro radioeléctrico disponible y ofrece estos servicios de manera simultánea a los usuarios.

2.1.3 Descripción del estado de la red actual del clúster 2

Primeramente se va a empezar definiendo el término clúster, que es la agrupación de varias celdas entre las que se reparten la totalidad de recursos de radio y las frecuencias que se encuentran disponibles en la red celular, lo que permite que ningún canal pueda ser reusado dentro del clúster.

⁴⁵ **64QAM:** La modulación 64QAM involucra la variación simultánea de la amplitud y fase de la portadora, cada 6 bits de entrada, proporciona 64 estados de modulación únicos.

El clúster 2 es un sitio 3G existente, con características propias de ésta tecnología, de manera que a continuación se irán describiendo los aspectos más sobresalientes del estado actual de la red.

2.1.3.1 Delimitación de la zona de cobertura

Como aspecto fundamental en el desarrollo del diseño de la red LTE 4G, es muy importante conocer la ubicación geográfica del clúster 2. Para ello mediante la tecnología GPS, se ha logrado determinar las coordenadas geográficas de las zonas que conforman el clúster 2.

En la figura 23 se puede observar la localización geográfica del clúster 2 en el sur de la ciudad de Quito, el cual está conformado por 7 parroquias: Solanda, San Bartolo, La Ecuatoriana, Chillogallo, La Mena, Quitumbe y La Argelia

Para la delimitación de la zona de cobertura, se consideró lo siguiente: al norte con latitud $0^{\circ}14'0.53''S$ y longitud $78^{\circ}31'59.88''O$ limita con las parroquias Chilibullo, Magdalena y Chimbacalle, al sur con latitud $0^{\circ}20'0.47''S$ y longitud $78^{\circ}32'60.00''O$ las parroquias Guamaní y Turubamba, al este con latitud $0^{\circ}18'0.17''S$ y longitud $78^{\circ}28'59.88''O$ con la parroquia Conocoto, y al oeste con la parroquia Lloa, la cual es la más extensa del distrito metropolitano de Quito.

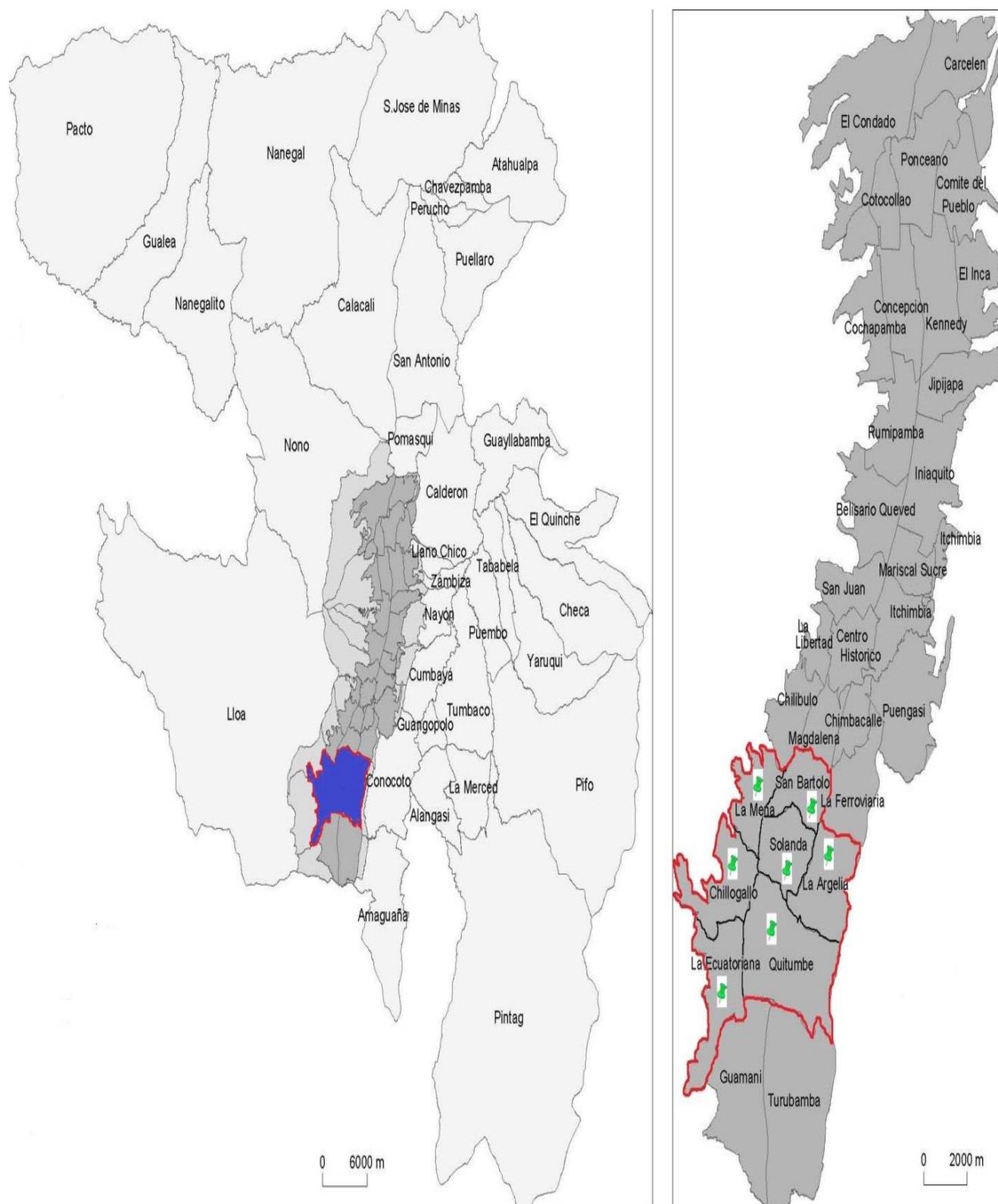


Figura 23. Ubicación geográfica del clúster 2

Fuente: Parroquias del distrito metropolitano de Quito. (2013) Adaptado de:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Mapa_de_Parroquias_de_Quito.jpg

2.1.3.2 Determinación de las estaciones base existentes

La ciudad de Quito, al encontrarse en el valle Interandino, presenta un relieve irregular debido a que atraviesa la cordillera de los Andes. Es por tal razón que las estaciones base pertenecientes a la tecnología 3G, han sido ubicadas de acuerdo a estudios topográficos con el fin de proveer los servicios sin complicaciones.

Como se mencionó anteriormente, al tratarse de un clúster las celdas se encuentran agrupadas en racimos de 3 por cada estación base, en donde cada celda representa un sector y cuenta con un equipo de radio para brindar cobertura al mismo.

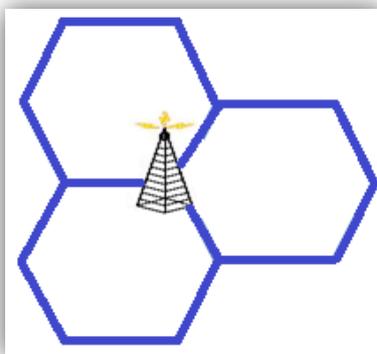


Figura 24. División celular

Fuente: Sandra Ocaña (2009). *Funcionamiento de la telefonía celular. Celdas*. Adaptado de: <http://www.mailxmail.com/curso-telefonía-celular-movil-funcionamiento-generaciones/funcionamiento-telefonía-celular-celdas>.

El principal sustento de la división en celdas es la propiedad de la re-utilización de frecuencias dentro del área de cobertura, razón por la cual miles de usuarios pueden utilizar sus dispositivos móviles al mismo tiempo.

A continuación, en la tabla 2, se detalla la ubicación actual de las estaciones base para la cobertura 3G del clúster 2, se cuenta con un total de 16 estaciones base distribuidas a lo largo de las 7 parroquias que conforman el clúster 2.

Tabla 2. Estaciones base bajo tecnología 3G UMTS/HSPA+.**Fuente:** Base de datos Huawei – CNT E.P.

Estación Base	Sectores	Provincia	Parroquia	Latitud	Longitud
AJAVIU19	AJAVI1	Pichincha	Solanda	0°18'0.23"S	78°28'59.88"O
	AJAVI2				
	AJAVI3				
BILOXIU19	BILOXI1	Pichincha	San Bartolo	0°15'35.17"S	78°32'35.34"O
	BILOXI2				
	BILOXI3				
CDLA_IBARRAU19	CDLA_IBARRA1	Pichincha	La Ecuatoriana	0°17'52.63"S	78°33'57.28"O
	CDLA_IBARRA2				
	CDLA_IBARRA3				
CHILLOGALLOU19	CHILLOGALLO1	Pichincha	Chillogallo	0°17'14.46"S	78°33'40.28"O
	CHILLOGALLO2				
	CHILLOGALLO3				
COL_CONS_PROVINCIALU19	COL_CONS_PROVINCIAL1	Pichincha	San Bartolo	0°15'43.49"S	78°31'57.43"O
	COL_CONS_PROVINCIAL2				
	COL_CONS_PROVINCIAL3				
COL_EMILIO_UZCATEGUIU19	COL_EMILIO_UZCATEGUI1	Pichincha	La Mena	0°16'24.45"S	78°33'16.31"O
	COL_EMILIO_UZCATEGUI2				
	COL_EMILIO_UZCATEGUI3				
ORIENTALU19	ORIENTAL1	Pichincha	Quitumbe	0°18'4.18"S	78°32'2.83"O
	ORIENTAL2				
	ORIENTAL3				
PLYWOODU19	PLYWOOD1	Pichincha	Quitumbe	0°17'44.19"S	78°32'39.37"O
	PLYWOOD2				
	PLYWOOD3				
PUENTE_GUAJALOU19	PUENTE_GUAJALO1	Pichincha	La Argelia	0°17'16.08"S	78°32'7.26"O
	PUENTE_GUAJALO2				
	PUENTE_GUAJALO3				
SALVADOR_ALLENDEU19	SALVADOR_ALLENDE1	Pichincha	Quitumbe	0°18'29.59"S	78°32'31.96"O
	SALVADOR_ALLENDE2				
	SALVADOR_ALLENDE3				
SAN_BARTOLOU19	SAN_BARTOLO1	Pichincha	Solanda	0°16'30.07"S	78°31'59.63"O
	SAN_BARTOLO1				
	SAN_BARTOLO1				
SANTA_RITAU19	SANTA_RITA1	Pichincha	La Mena	0°15'46.80"S	78°33'4.10"O
	SANTA_RITA2				
	SANTA_RITA3				
SOLANDAU19	SOLANDA1	Pichincha	Solanda	0°16'5.56"S	78°32'47.44"O
	SOLANDA2				
	SOLANDA3				
TARQUI(P1)U19	TARQUI(P1)1	Pichincha	La Mena	0°15'26.82"S	78°33'7.85"O
	TARQUI(P1)2				
	TARQUI(P1)3				
TERMINAL_QUITUMBEU19	TERMINAL_QUITUMBE1	Pichincha	Quitumbe	0°17'48.19"S	78°33'19.44"O
	TERMINAL_QUITUMBE2				
	TERMINAL_QUITUMBE3				
TURUBAMBAU19	TURUBAMBA1	Pichincha	Solanda	0°16'51.85"S	78°32'45.92"O
	TURUBAMBA2				
	TURUBAMBA3				

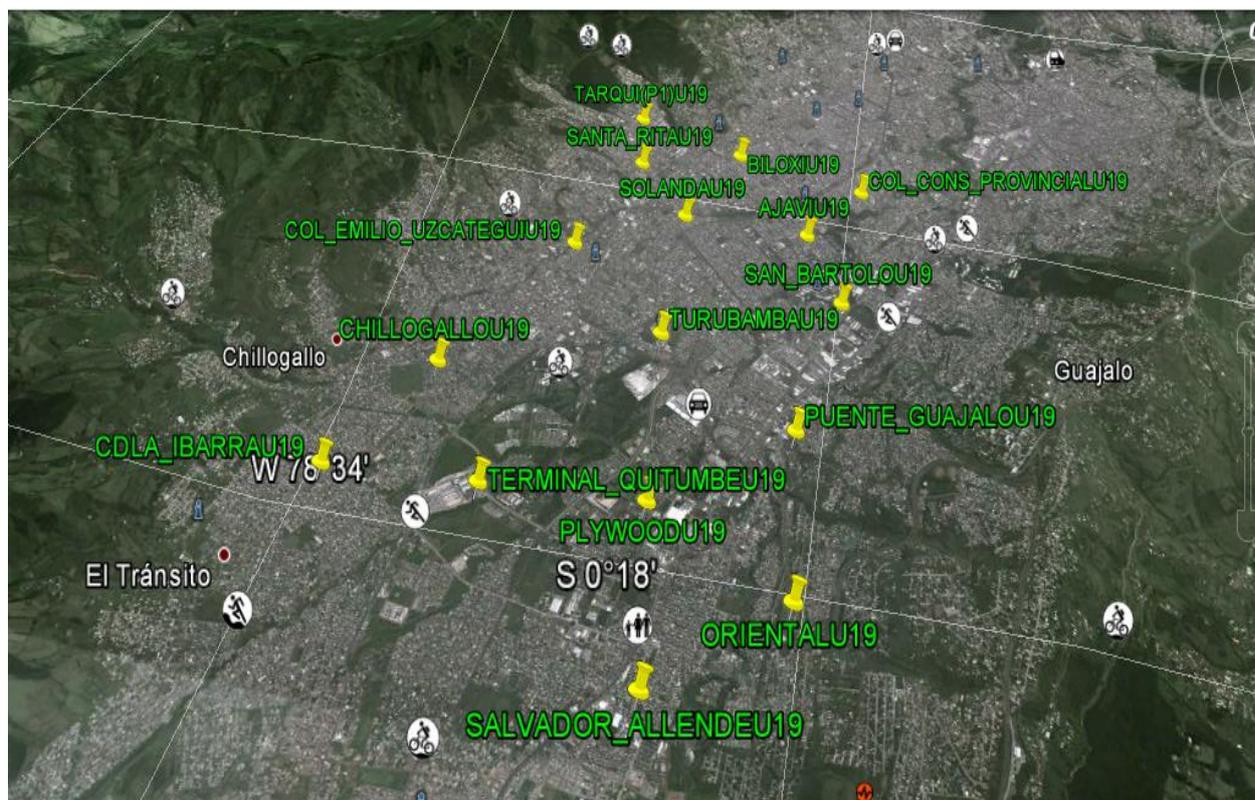


Figura 25. Ubicación geográfica de las estaciones base bajo tecnología 3G UMTS/HSPA+.
Fuente: Mapas Digitales de Google Earth, editado por: Diana Alvarez.

2.1.3.3 Arquitectura de red 3G-UMTS/HSPA+

El clúster 2 brinda servicios de comunicaciones móviles 3G, bajo el sistema UMTS, posteriormente en el desarrollo del capítulo 3 se muestra cómo se realiza la migración de tecnologías 3G-UMTS a 4G-LTE, ya que solamente las zonas de mayor demanda de servicio serán las que migren a LTE, manteniendo el servicio 3G-UMTS a los demás usuarios. Al tratarse de una red de nueva generación, la red 3G-UMTS está conformada por un equipo de usuario, la red de acceso y la red de core o núcleo.

- **Equipo de usuario:** Dispositivo móvil cuya función es establecer la comunicación con la estación base en lugares donde exista cobertura.
- **Red de acceso de radio (UTRAN):** Permite establecer la conexión entre los equipos de usuario y el núcleo de red, UTRAN está constituida por un controlador de radio RNC⁴⁶, el cual se encarga del manejo de la información del sistema, control de tráfico en los

⁴⁶ **RNC:** Radio Network Control (Controlador de la red de radio).

canales comunes, control de admisión a los usuarios móviles. Como elemento clave dentro de la red de acceso se encuentra el eNodeB, responsable de la transmisión y recepción de radio entre el equipo de usuario y una o varias celdas UMTS que brindan cobertura en forma sectorizada. Cada nodo se conecta a su respectiva RNC mediante la interfaz Iub⁴⁷, y una vez establecida la conexión, la RNC se encarga de controlar a uno o varios eNodeB. En el caso de la red 3G-UMTS del clúster 2, se tiene una sola RNC que controla las 16 estaciones base, denominada RNCUIO1.

- **Red de Núcleo (Core Network):** La red central está formada por dos elementos base: MSC⁴⁸ y SGSN⁴⁹. Por su parte MSC se encarga de los procesos basados en conmutación de circuitos, de la coordinación en la organización de llamadas, colección de datos para el centro de facturación; por otra parte tenemos al SGNS que realiza las funciones basadas en conmutación de paquetes, contiene la información de suscripción de usuarios, la información de ubicación y el área en la que el móvil está registrado.

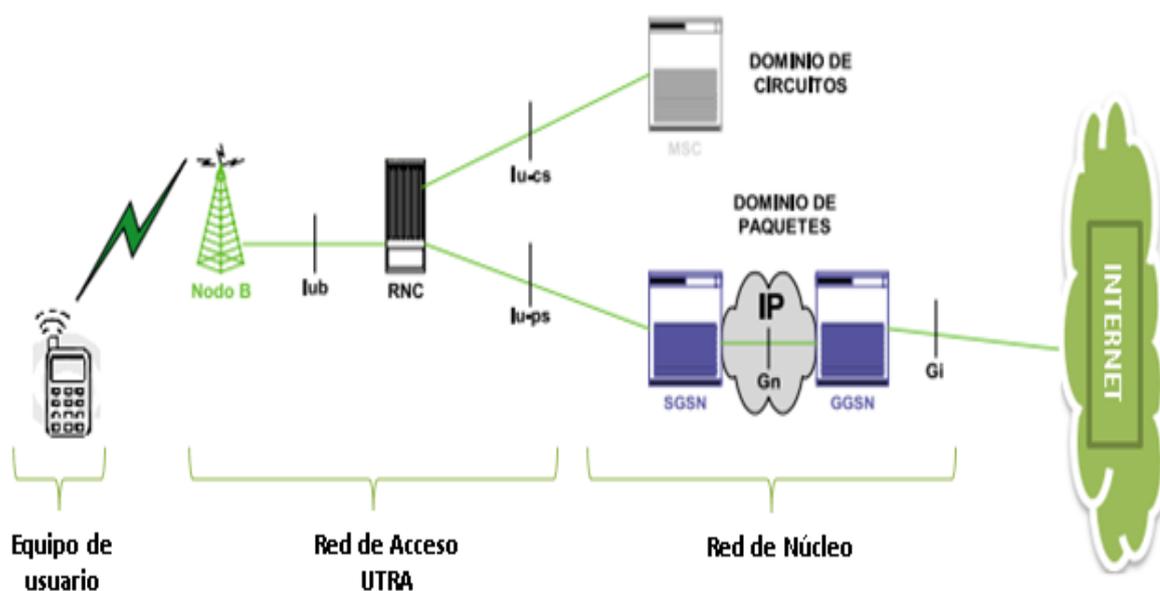


Figura 26. Topología de la red 3G-UMTS/HSPA+.

Fuente: Arquitectura UMTS. Adaptado de:

http://www.cossio.net/alumnos/curso_2011_2012/iker/tercera_eva/umts.html.

⁴⁷ **Iub:** Interfaz que provee conexión entre en eNodeB y la RNC.

⁴⁸ **MSC:** Mobile Switching Service (Servicio de conmutación móvil).

⁴⁹ **SGSN:** Serving GPRS Support Node (Nodo de soporte GPRS).

2.1.3.4 Banda de frecuencia

El rango de espectro para los sistemas 3G fue atribuido en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92), celebrada en Málaga España en marzo de 1992, determinando las siguientes bandas de frecuencia GSM:

Tabla 3. Bandas de frecuencia para redes GSM.

Fuente: Frecuencias Redes GSM. Modificado de: http://wiki.bandaancho.st/Frecuencias_telefono%20ADa_m%20B3vil.

Banda	Frecuencia	
	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
1900	1850.0–1910.0	1930.0–1990.0
1800	1710.2–1784.8	1805.2–1879.8
900	870.4–876.0	915.4–921.0
900	876.0–914.8	921.0–959.8
900	880.0–914.8	925.0–959.8
850	824.0–849.0	869.0–894.0

De tal manera que para Ecuador y la mayoría de países de América del Sur, se ha escogido la banda GSM- 1900 MHz. El rango de frecuencia indica la cantidad de MHz con la que los teléfonos móviles envían y reciben datos entre sí a través de una estación base.

Los rangos de frecuencia se dividen en dos bandas: la frecuencia downlink que corresponde a la frecuencia más alta, utilizada para descargar datos en el dispositivo móvil; y la frecuencia uplink que es de menor valor y utilizada por el móvil para el envío de datos a la estación base.

Tomando en consideración la información de la tabla 3, el clúster 2 posee los siguientes datos en cuanto a bandas de frecuencias:

Tabla 4. Bandas de frecuencias 3G usadas en el clúster 2.

Fuente: Frecuencias Redes GSM. Modificado de:
http://wiki.bandaancho.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil.

Banda	Frecuencia DL (MHz)	Frecuencia UL (MHz)
1900 MHz	1982.2	1902.2

2.1.3.5 Modelo de Propagación

El sector del clúster 2 al sur de Quito se caracteriza por ser una zona con varias edificaciones, espacios abiertos, vías urbanas, etc. Es por tal razón que todas las estaciones base son tipo outdoor, de tal manera que fue diseñado basado en un modelo de propagación tipo Urbano, donde se observa:

- Zonas de urbanizaciones, patrón de calles regular y visible, donde predominan casas individuales, conjuntos habitacionales, coliseos, edificaciones, etc.
- Altura media de edificios por debajo de 20 metros.
- Tráfico medio y uniforme, sobresaliendo con mayor afluencia de tráfico las zonas en las parroquias de Solanda y Quitumbe.

En zonas urbanas, el entorno de propagación de las señales electromagnéticas se ve alterado debido a los efectos de reflexión y difracción producidos por los edificios y demás obstáculos propios de estos escenarios, a través del modelo de propagación urbano, se puede eliminar los efectos ocasionados por el incremento de la atenuación de las señales en comparación con los registrados en zonas no urbanas.

2.1.3.6 Modelo de Tráfico

El modelo de tráfico es utilizado para representar la demanda de los usuarios de redes modernas de telecomunicaciones, así como el análisis de desempeño de la red y consecuentemente el control de la misma.

La teoría de tráfico se basa fundamentalmente en la aplicación de modelos matemáticos para explicar la relación que existe entre la capacidad de una red de comunicaciones, la demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar.

La red UMTS del clúster 2, experimenta una relación de tráfico descrita en el modelo de Erlang B, el cual calcula la probabilidad P_B de que una llamada en su primer intento sea bloqueada, cuando hay N canales en el que los usuarios imponen una intensidad de tráfico A , definida como el producto de la tasa de llegada de llamadas por la duración promedio de cada llamada.

$$P_B = \frac{A^N}{N! \sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Ecuación 1.

Se maneja éste modelo de tráfico basado en los siguientes parámetros:

- La cantidad de usuarios es muy grande
- Las llamadas llegan en forma aleatoria.
- Las llamadas se atienden según el orden de llegada
- Las llamadas bloqueadas se pierden, no hay lista de espera.

En las actuales redes de comunicación, es importante encontrar una relación entre el tráfico y el desempeño, similar al modelo descrito en la ecuación (1), con la cual se puede determinar el tipo de garantía de servicio que puede ofrecer.

2.1.3.7 Capacidad de Transmisión

La capacidad máxima de transmisión de acuerdo al estándar UMTS es de 2 Mbps, pero con la inclusión de técnicas de múltiple antena se ha permitido aumentar la capacidad hasta 30 Mbps.

No obstante, dentro del clúster 2, se encuentra sitios tipo Overlay, los cuales forman una red virtual de nodos enlazados lógicamente, están contruidos sobre redes subyacentes y tiene como finalidad implementar servicios de red que no estén disponibles en dichas redes, manejan un concepto de superposición de redes, es por tal razón que brindan mayores capacidades de transmisión de hasta 100 Mbps, en este caso el clúster 2 cuenta con 4 sitios Overlay, los cuales no serán tomados en cuenta como sitios LTE.

Tabla 5. Características de capacidad de transmisión de las estaciones base 3G-UMTS/HSPA+.

Fuente: Base de datos Huawei-CNT E.P.

Estación base	Medio de transmisión	Capacidad de transmisión	Estado
AJAVIU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
BILOXIU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
CDLA_IBARRAU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
CHILLOGALLOU19	Fibra óptica	100 Mbps	Overlay
COL_CONS_PROVINCIALU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
COL_EMILIO_UZCATEGUIU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
ORIENTALU19	Fibra óptica	100 Mbps	Overlay
PLYWOODU19	MW	30 Mbps	Nuevo sitio
PUENTE_GUAJALOU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
SALVADOR_ALLENDEU19	MW	30 Mbps	Nuevo sitio
SAN_BARTOLOU19	Fibra óptica	100 Mbps	Overlay
SANTA_RITAU19	Fibra óptica	100 Mbps	Overlay
SOLANDAU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
TARQUI(P1)U19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
TERMINAL_QUITUMBEU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio
TURUBAMBAU19	Fibra óptica	30 Mbps	Nuevo sitio

CAPÍTULO 3

INGENIERÍA DE PROYECTO

La Ingeniería de proyecto es un conjunto de procedimientos que se emplean para ejecutar el diseño de un determinado proyecto, su propósito es proporcionar las directrices y bases técnicas las cuales serán el pilar principal para llevar a cabo el diseño de la red en el siguiente capítulo.

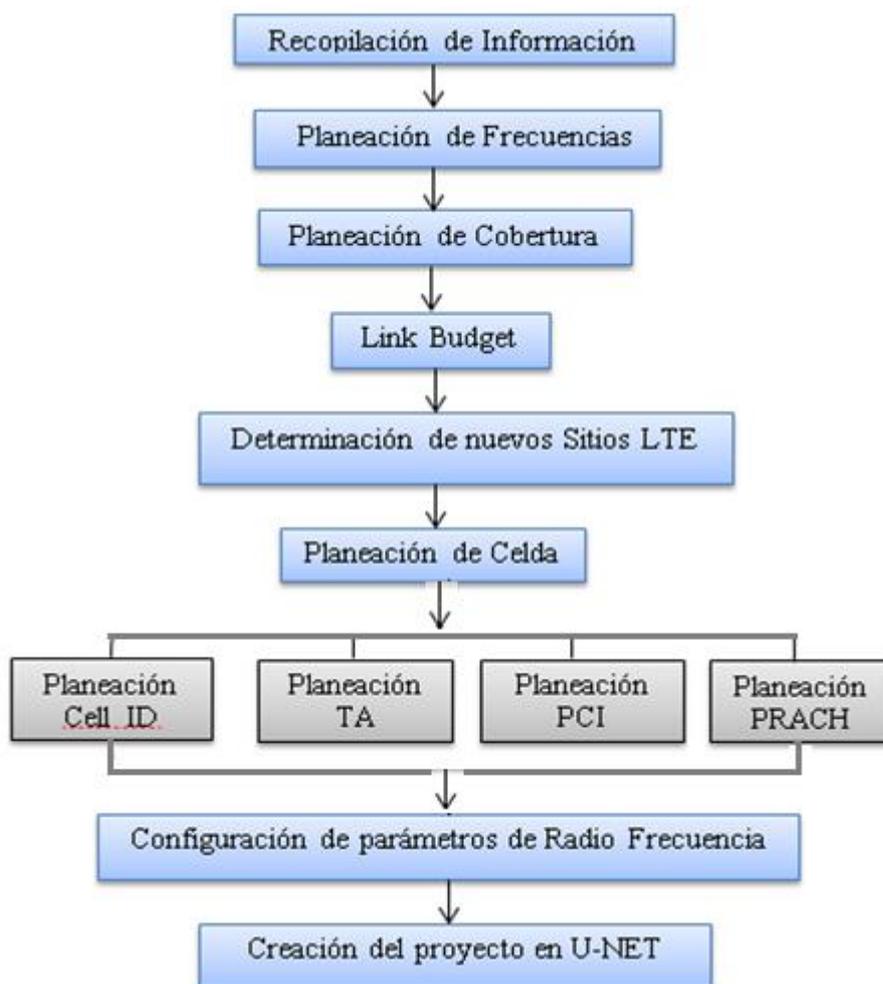


Figura 27. Planificación ingeniería de proyecto
Fuente: Liu Jinghai, Cheng Tangbai, Yang Bo. (2011) *LTE Planning Process*.

3.1 PLANEACIÓN DE FRECUENCIAS

De acuerdo a las especificaciones descritas en el proyecto 3GPP (TS36.104-860 tabla 5.5-1 bandas de frecuencia E-UTRA) se muestra claramente definido a LTE como un sistema que puede funcionar en diversas bandas de frecuencias con el fin de adaptarse a diferentes operadores en el mundo.

Las bandas LTE comerciales más populares son las de 2,6 GHz (banda 7), AWS (banda 4) y 700 MHz (banda 12), mientras que el impulso se está construyendo también para 1800MHz (banda 3), así como el espectro de Seguridad Pública (Banda 14).

De acuerdo con 3GPP TS 36.104 V9.4.0 (2010-06), la banda 6 ya no es aplicable, mientras que la banda 15 y la banda 16 están clasificadas como reservadas. La figura 28 muestra el rango de frecuencia real que ha sido asignado para el despliegue de LTE a nivel mundial.

E-UTRA Band	Uplink (UL) BS receive UE transmit	Downlink (DL) BS transmit UE receive	Duplex Mode
	$F_{UL\ low} - F_{UL\ high}$	$F_{DL\ low} - F_{DL\ high}$	
1	1920 MHz - 1980 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz - 1910 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz - 1785 MHz	1805 MHz - 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz - 1755 MHz	2110 MHz - 2155 MHz	FDD
5	824 MHz - 849 MHz	869 MHz - 894MHz	FDD
6	830 MHz - 840 MHz	875 MHz - 885 MHz	FDD
7	2500 MHz - 2570 MHz	2620 MHz - 2690 MHz	FDD
8	880 MHz - 915 MHz	925 MHz - 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz - 1784.9 MHz	1844.9 MHz - 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz - 1770 MHz	2110 MHz - 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz - 1452.9 MHz	1475.9 MHz - 1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz - 716 MHz	728 MHz - 746 MHz	FDD
13	777 MHz - 787 MHz	746 MHz - 756 MHz	FDD
14	788 MHz - 798 MHz	758 MHz - 768 MHz	FDD
...			
17	704 MHz - 716 MHz	734 MHz - 746 MHz	FDD

Figura 28. Bandas de frecuencia definidas para LTE a nivel mundial.

Fuente: 3GPP TS 36.104 V8.3.0 (2008-09) Technical Specification 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).

3.1.1 Asignación de la banda de frecuencias para CNT EP.

Según la resolución TEL-084-29-CONATEL-2012, mediante oficio SNT-2012-1537 de 07 de diciembre de 2012, el señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones remitió para conocimiento y resolución de los señores miembros del CONATEL el informe Técnico-Jurídico elaborado por las Direcciones Generales de Gestión del Espectro Radioeléctrico y Jurídica de la SENATEL, en el cual se presentan las siguientes disposiciones:

Artículo tres: Adoptar la siguiente canalización para las bandas de 700 MHz, AWS 1700/2100 MHz:

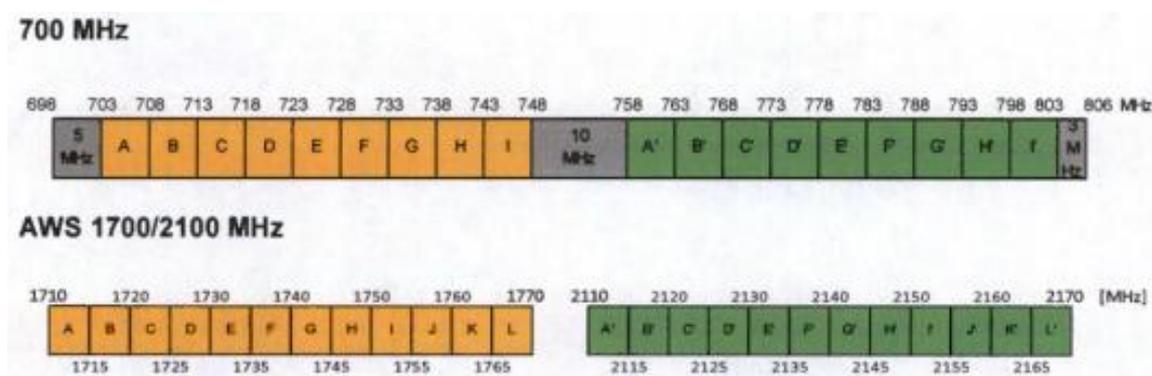


Figura 29. Canalización de bandas 700 MHz y AWS 1700/2100 MHz

Fuente: Resolución TEL-084-29-CONATEL-2012. Recuperado de:

http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

Artículo cuatro: Autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda de 700 MHz los bloques G – G', H – H' e I – I' correspondiente a los rangos 733 – 748 MHz (uplink) y 788 – 803 MHz (downlink) a nivel nacional.

Artículo cinco: Asignar y autorizar a la empresa pública CNT E.P. en la banda AWS 1700/2100 MHz los bloques A – A', B – B', C – C' y D – D' correspondiente a los rangos 1710 – 1730 MHz (uplink) y 2110 -2130 MHz (downlink) a nivel nacional.

Para llevar a cabo el diseño de la red LTE oficialmente se ha autorizado y asignado la banda AWS-4 por sus características comerciales, teniendo finalmente la mayor

capacidad de ancho de banda tanto para uplink como downlink como se puede ver en la tabla 6.

Tabla 6. Bandas de frecuencia definidas para CNT EP.

Fuente: Banda de frecuencia AWS-CNT EP. Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

Banda	Frecuencia uplink	Frecuencia downlink	Ancho de banda
4-AWS	1710-1730 MHz	2110-2130 MHz	20+20 MHz

3.2 PLANEACIÓN DE COBERTURA

Los operadores de servicios de telecomunicaciones se centran justamente en la calidad del servicio que ofrecen, y la cobertura es una parte importante de la calidad del servicio de un sistema. El objetivo de la planificación de redes de radio es equilibrar la cobertura, la capacidad, la calidad y el costo por lo que ninguno de ellos puede considerarse de forma aislada.

Hay varios factores que deben ser considerados durante la planificación de cobertura del sistema LTE, la configuración de estos parámetros afectarán el radio de cobertura y la cantidad de estaciones base que se emplearán.

3.2.1 Modelo de Canal

Cuando una señal inalámbrica se desplaza desde un transmisor a un receptor se deduce múltiples caminos, la señal puede viajar directamente después de la línea de vista entre el transmisor y el receptor, puede rebotar en el suelo y llegar al receptor o puede ser reflejada por varios edificios en el camino hacia el receptor. Cuando estas copias de la misma señal llegan al receptor con retraso y atenuadas en base a la longitud de la trayectoria que han seguido y varios otros factores, se debe determinar un modelo de canal.

La evaluación de las técnicas de LTE exige modelos de canal con mayor ancho de banda en comparación con los modelos de UMTS, para reflejar el hecho de que las

características de la respuesta de frecuencia del canal de radio están conectadas a la resolución de retardo del receptor.

Los modelos de canal utilizados para LTE se definen en el 3GPP TS 36.101, estos modelos también son conocidos como perfil de retardo, que incluye el número de fases de retardo, el retardo y la atenuación. Los perfiles de retardo incluyen condiciones de trayectoria múltiple y velocidades de movimiento del terminal en el canal y son los siguientes:

EPA⁵⁰: Definido para peatones, posee 7 componentes de trayectos múltiples, capacidad de ancho de banda de 5MHz, éste modelo de canal peatonal puede representar 3km/hora por UE.

EVA⁵¹: Modelo típico para usuarios en movilidad vehicular con 20MHz de ancho de banda y representa una velocidad por usuario desde 30Km/hora y superior a 120Km/hora.

ETU⁵²: Es considerado como el modelo para ambientes urbanos y suburbanos. Tanto EVA como EPA tienen cada uno 9 componentes multitrayecto.

Un perfil de retardo incluye el número de fases de retardo, el retardo y la atenuación. El perfil de retardo se define además por una difusión eficaz de retardo (rms) como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Perfiles de retardo para modelos del canal LTE.

Fuente: Modelo de canal LTE, Recuperado de

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.03.00_60/ts_136101v100300p.pdf

Categoría	Número de componentes	Modelo de Canal	Siglas	r.m.s Retardo de propagación (ns)
Bajo retardo de propagación	7	Extended Pedestrian A	EPA	43
Medio retardo de propagación	9	Extended Vehicular A	EVA	357
Alto retardo de propagación	7	Extended Typical Urban	ETU	991

⁵⁰ **EPA:** Extended Pedestrian A, modelo que se emplea para peatones, en un entorno urbano con tamaños de celdas bastante pequeñas

⁵¹ **EVA:** Extended Vehicular A, modelo empleado para entorno vehicular

⁵² **ETU:** Extended Typical Urban, modelo típico para ambientes urbanos.

Dentro de lo que se refiere al diseño de la red LTE para el clúster 2, se utilizará el modelo de canal ETU-3 a una velocidad de 3Km/h, en la tabla 8 se describe el perfil de retardo de potencia para el modelo de canal ETU, en el cual se consideran valores como el retardo y la potencia relativa.

Tabla 8. Perfiles de retardo de potencia para el modelo ETU.
Fuente: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.03.00_60/ts_136101v100300p.pdf

Número de fase	Retardo [ns]	Potencia relativa [dB]
1	0	-1.0
2	50	-1.0
3	120	-1.0
4	200	0.0
5	230	0.0
6	500	0.0
7	1600	-3.0
8	2300	-5.0
9	5000	-7.0

3.2.2 Modelo de Propagación

El modelo de propagación de radio juega un papel clave dentro del diseño de la red LTE, y en un ambiente outdoor los accidentes geográficos y obstáculos en el camino de propagación tales como edificios y árboles deben ser considerados.

Las señales se desvanecen a diferentes velocidades en diferentes entornos, el desvanecimiento de las señales es mayor en el espacio libre cuando las ondas de radio se propagan en áreas abiertas / áreas suburbanas. Dentro del presente proyecto, se han elegido dos modelos con el fin de determinar el comportamiento de la red bajo los siguientes modelos:

3.2.2.1 Modelo COST231-Hata Huawei:

El modelo COST231-Hata es utilizado como modelo de propagación en macroceldas cuya área de cobertura va de 1 a 20 Km, para la utilización de este modelo, se debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Banda de frecuencia: 1500 MHz a 2000 MHz.
- Altura de la estación base: 30 metros a 200 metros, la estación base debe ser más alto que los edificios circundantes.
- Altura de la antena del terminal: 1 metro a 10 metros.
- Distancia entre el transmisor y el receptor: 1 km a 20 km.

El modelo COST231-Hata Huawei se describe por la siguiente fórmula:

$$\text{Cost231} - \text{Hata Huawei} = Lu - a(H_m)$$

$$Lu = 46.3 + 33.9 * \lg(f) - 13.82 * \lg(H_b) + (44.9 - 6.55 * \lg(H_b)) * \lg(d)$$

$$a(H_m) = (1.1 * \lg(f) - 0.7) * H_m - (1.56 * \lg(f) - 0.8)$$

Ecuación 2

Donde:

- f indica la frecuencia de trabajo del sistema, la unidad está en MHz.
- H_b indica la altura de la antena de la estación base, la unidad es m.
- H_m indica la altura de la antena del terminal, la unidad es m.
- d indica la distancia entre el terminal y la estación base, la unidad es km.
- $a(H_m)$ indica la función de ganancia del terminal, esta función está relacionada con la altura de la antena, la frecuencia de trabajo del terminal y el tipo de ambiente.

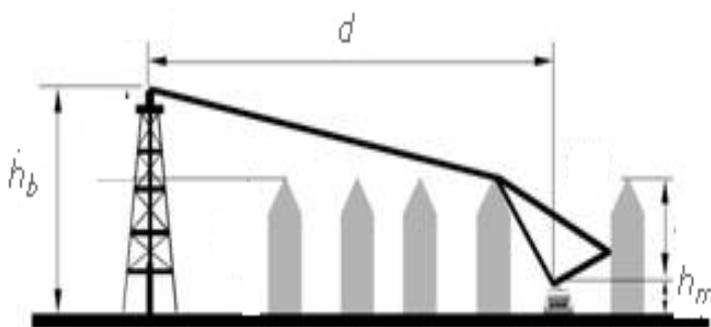


Figura 30. Modelo Cost231-Hata

Fuente: Cost231- Hata Huawei. Adaptado de: <https://www.xirio-online.com/help/es/cost231.html>.

3.2.2.2 Modelo de propagación estándar SPM

El modelo de propagación estándar es un modelo especialmente usado dentro del rango de frecuencias entre 150MHz ~ 3500MHz, para distancias de 1Km a 20 km, y es muy adecuado para tecnologías como GSM900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX y LTE, se basa en la siguiente fórmula:

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 \lg(d) + K_3 \lg(H_{T_{xeff}}) + K_4 \text{Diffraction } nLoss + K_5 \lg(d) \lg(H_{T_{xeff}}) + K_6 H_{Ref} + K_{clutter} f(clutter)$$

Ecuación 3.

Donde:

- K_1 : Constante offset (dB)
- K_2 : Factor multiplicador para $\lg(d)$
- d : Distancia entre el receptor y el transmisor (m)
- K_3 : Factor multiplicador para $\lg(H_{T_{xeff}})$
- $H_{T_{xeff}}$: Altura efectiva de la antena transmisora (m)
- K_4 : Factor multiplicador para cálculos de difracciones, K_4 debe ser un número positivo
- **Diffraction nLoss**: Pérdidas por difracción a través de un trayecto obstruido (dB)
- K_5 : Factor multiplicador para $\lg(d) \lg(H_{T_{xeff}}) + K_6$
- K_6 : Factor multiplicador para H_{Ref}
- H_{Ref} : Altura de la antena móvil (m)
- $K_{clutter}$: Factor multiplicador para $f(clutter)$
- $f(clutter)$: Promedio de las pérdidas ponderadas debido a clutter.

La precisión del modelo SPM se basa generalmente en torno a la modificación de factores K_n , los cuales se obtienen del test de campo más conocido como *model tuning*⁵³, que fue realizado para la red 3G-UMTS/HSPA+ de CNT E.P. en la banda de 1900MHz con el fin de comprobar la exactitud del modelo de propagación seleccionado, según este procedimiento se han obtenido los siguientes datos que son mostrados en la tabla 9:

Tabla 9. Parámetros de propagación SPM (Urbano).

Fuente: Model tuning realizado para la red 3G-UMTS/HSPA+, base de datos Huawei-CNT EP.

K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
18.7	44.9	5.83	1	-6.55	0	1

En la tabla 10 se describen cada uno de los parámetros K_n .

Tabla 10. Descripción de los parámetros K_n Modelo de propagación estándar.

Fuente: Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

Parámetro K_n	Descripción
K_1	
K_2	Indica el estado de K_1 y K_2 en la línea de vista.
K_3	Indica un coeficiente relacionado con la altura efectiva del transmisor.
K_4	Indica un coeficiente relacionado con la pérdida de difracción.
K_5	Indica un coeficiente relacionado con la distancia de propagación y la altura efectiva del transmisor.
K_6	Indica un coeficiente relacionado a la altura del receptor.
$K_{clutter}$	Indica un coeficiente relacionado con la pérdida clutter.

⁵³ **Model Tuning:** Proceso que sirve para calibrar los parámetros de los modelos de propagación y mejorar los indicadores de rendimiento (KPI).

Basado en el model tuning realizado anteriormente para la red 3G-UMTS/HSPA+, se eligió a SPM como modelo de propagación para la planificación final de los sitios LTE, ya que cumple con la solicitud de CNT EP, la cual implica utilizar el mismo modelo de propagación de la red 3G-UMTS/HSPA+ bajo la banda AWS, con el fin de utilizar frecuencias similares.

3.3 PRESUPUESTO DEL ENLACE “LINK BUDGET”

El link budget es una forma de calificar el rendimiento de la transmisión, se resume como la contabilidad de todas las ganancias y pérdidas ocurridas a través del medio de transmisión, indica el desempeño que el nuevo sistema de radio LTE llevará a cabo cuando se implemente sobre las estaciones bases existentes diseñadas bajo tecnología UMTS/HSPA+. El propósito del link budget en la planificación de redes LTE es:

- Utilización de factores tales como la pérdida de penetración en edificios, pérdida de alimentación, ganancia de la antena, y el margen de interferencia de radio para el cálculo de todas las ganancias y pérdidas que afectarán la cobertura celular final.
- Obtener una estimación de pérdida máxima permitida, basada en la potencia de transmisión máxima del terminal y del eNodeB.

3.3.1 Parámetros Link Budget para enlace Uplink/Downlink

A continuación en la figura 31 y 32 respectivamente, se muestran los parámetros involucrados para cada sentido de transmisión.

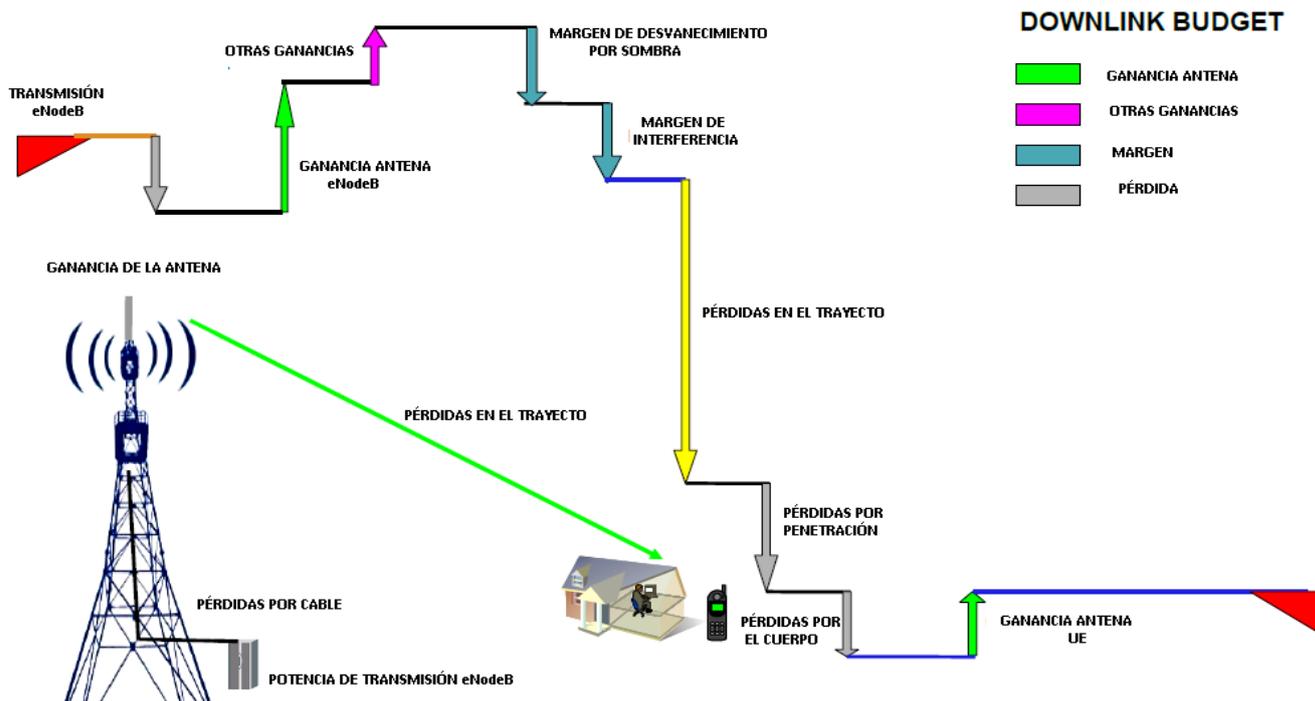


Figura 31. Link Budget en el enlace Downlink

Fuente: Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

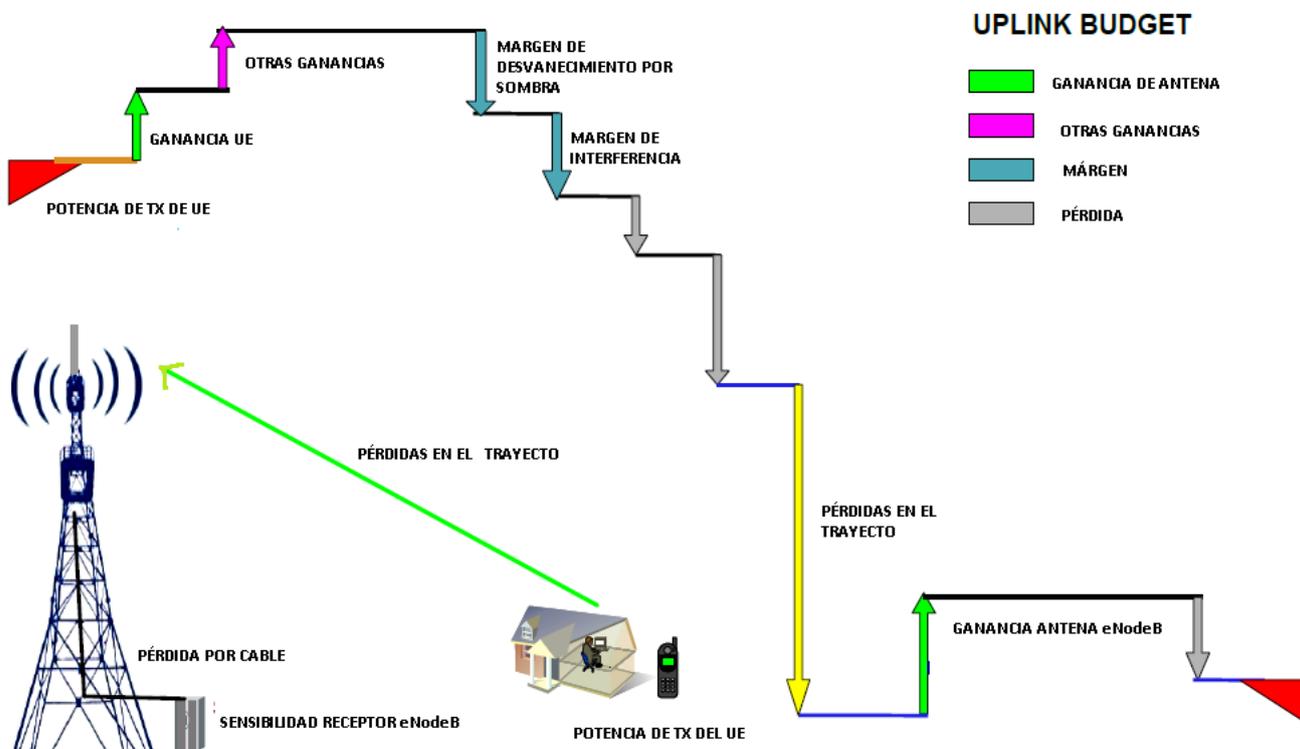


Figura 32. Link Budget en el enlaceUplink

Fuente: Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

El análisis del Link Budget es distinto tanto para el enlace uplink y downlink, debido a que se debe considerar que la potencia máxima de radiación del UE y la ganancia de las antenas son menores para el enlace UL. El Link Budget downlink LTE tiene ciertas similitudes con HSPA+ y la pérdida máxima del trayecto es similar; mientras que en el enlace uplink el margen de interferencia es menor en LTE. En ambos enlaces se puede mostrar las siguientes pérdidas:

- Desvanecimiento por sombra: Según la recomendación UIT-R P.681-6, el desvanecimiento por sombra se refiere a la variación del nivel de señal debido al efecto de sombra causado por edificios o fenómenos físicos.
- Margen de interferencia: Indica el límite de interferencia en que puede trabajar el sistema con una tasa de error aceptable.

Pérdidas en el trayecto:

- Pérdida por penetración: Indica el desvanecimiento de las señales desde un terminal (indoor) hacia una estación base, debido a la obstrucción causada por los edificios. Para que mantener la comunicación normal, la señal debe ser lo suficientemente fuerte. En el cálculo del link budget, los valores de pérdida de penetración dependen del escenario de cobertura, para el caso de este proyecto se trata de un escenario tipo Urbano, cuyas características se describen a continuación en la tabla 11.

Tabla 11. Pérdida por penetración para un escenario urbano.

Fuente: Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

Escenario	Descripción	Pérdida por penetración
Urbano	En este escenario, la altura media de los edificios es de aproximadamente 20 m, estas zonas contienen un cierta cantidad de espacios abiertos y zonas verdes.	15 – 18 dB

- **Pérdida por el cuerpo:** Estas pérdidas son producidas en el enlace uplink, debido a la presencia del cuerpo humano, por lo general presenta una pérdida de 3dB para voz,

mientras que para las demás aplicaciones no se consideran pérdidas ya que se guarda cierta distancia con el cuerpo.

- **Pérdida por cable:** Indica la pérdida de señal causada por diversos dispositivos que se encuentran en el camino de la antena para el receptor.

3.3.2 Parámetros relacionados a la antena

Ganancia de la antena: Indica la relación de la densidad de potencia de las señales generadas por la antena real y la unidad de radiación ideal cuando la potencia de entrada es idéntica. La ganancia de la antena cuantifica el grado en el cual una antena transmite la potencia de entrada. Para aumentar la ganancia se debe reducir la anchura del lóbulo de la radiación en el plano vertical y mantener el rendimiento de radiación omnidireccional en el plano horizontal: la ganancia de las antenas será de 18 dBi, ya que las estaciones base se encuentran distribuidas en zonas urbanas densamente pobladas.

Tabla 12. Características antena Agissson A19451811.

Fuente: Lin Guangpu, Dong Fei, Ying Weimin, He Gang and Tan Zhu. (2011) *Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide*.

Frecuencia	1920-2170 MHz
Polarización	45°, -45°
Ganancia	18dBi
Ancho lóbulo horizontal 3dB	61
Ancho lóbulo vertical 3dB	6.7

3.3.3 Resultados Link Budget

En la tabla 13 se muestran los resultados del Link Budget, pero dentro del desarrollo del siguiente capítulo, se definirán los valores de los requerimientos finales de la red, ya que el resultado del link Budget puede variar dependiendo de los diferentes parámetros de entrada.

Tabla 13. Resultados obtenidos Link Budget en la banda 4-AWS.
Fuente: Model Tunning CNT E.P. base de datos Huawei – CNT EP.

LTE LINK BUDGET	UPLINK	DOWNLINK
Escenario		Urbano
Tecnología		LTE FDD
Tipo de Ambiente		Tipo Indoor
Ancho de banda (MHz)		20.0
Modelo de Canal		ETU-3
Esquema MIMO	1x2	2X2
MCS	QPSK	QPSK
TRANSMISIÓN		
Max Tx total (dBm)	23.00	46.00
Ganancia de la antena (dB)	0	18
Pérdida del cable (dB)	0	0.5
Pérdida del cuerpo (dB)	0	0
RECEPCIÓN		
SINR (dB)	-2.39	-3.42
Ruido (dB)	2.30	7.00
Sensibilidad del receptor (dB)	-132.33	-128.66
Ganancia de la antena (dB)	18	0
Pérdida del cable (dB)	0.50	0.00
Pérdida del cuerpo (dB)	0.00	0.00
Carga target	75.00%	100.00%
Márgen de interferencia (dB)	1.22	3.41
Potencia de recepción de la señal mínima (dBm)	-148.61	-125.25
PÉRDIDAS EN EL TRAYECTO Y RADIO DE CELDA		
Pérdida de penetración (dB)	15	16
Desvanecimiento por sombra (dB)	9.40	9.40
Probabilidad del área de cobertura	95.00%	95.00%
Modelo de Propagación		SPM
ENodeB/UE Altura de la antena (m)	25	1.5
Frecuencia (MHz)	1720	2120
Radio de la celda (Km)	0.60	0.69
Radio de la celda balanceado (Km)		0.60

Los resultados obtenidos en la tabla 13 son básicamente los requerimientos solicitados por el operador CNT EP para el diseño de la red LTE-4G, de tal manera que el proceso de diseño se basará en ésta información.

3.4 DEFINICIÓN DE LOS NUEVOS SITIOS LTE FUNDAMENTADOS EN LAS ESTACIONES BASE EXISTENTES EN 3G UMTS/HSPA+.

De acuerdo al listado de las estaciones bases existentes en la red 3G-UMTS/HSPA+ mostradas anteriormente en la tabla 2, se ha procedido a determinar los nuevos sitios bajo la tecnología LTE, el concepto que se utilizó para la selección es brindar cobertura LTE al sector sur de Quito, manteniendo a la vez una convergencia entre la red 3G-UMTS/HSPA+ y LTE.

El principal requerimiento por parte de CNT EP. para el diseño de su red LTE 4G fue que de los 16 sitios existentes bajo tecnología 3G, 8 de ellos indistintamente migren a LTE. De tal manera que como se puede observar en la figura 33, las estaciones base LTE-4G han sido distribuidas uniformemente a lo largo del clúster 2 especialmente en la zona norte y central, las cuales abarcan la mayor parte del tipo de entorno urbano considerado para el clúster 2.



Figura 33. Convergencia de redes 3G y LTE sobre el clúster 2.
Fuente: Mapas Digitales de Google Earth, editado por: Diana Alvarez.

Tabla 14. Estaciones base bajo tecnología LTE.**Fuente:** Base de datos Huawei – CNT E.P.

Estación Base	Sectores	Provincia	Parroquia	Latitud	Longitud
PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_1	Pichincha	Solanda	0°18'0.23"S	78°28'59.88"O
	PI_UIO_AJAVI_2				
	PI_UIO_AJAVI_3				
PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_1	Pichincha	San Bartolo	0°15'35.17"S	78°32'35.34"O
	PI_UIO_BILOXI_2				
	PI_UIO_BILOXI_3				
PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_1	Pichincha	La Ecuatoriana	0°17'52.63"S	78°33'57.28"O
	PI_UIO_CDLA_IBARRA_2				
	PI_UIO_CDLA_IBARRA_3				
PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL21	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_1	Pichincha	San Bartolo	0°15'43.49"S	78°31'57.43"O
	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_2				
	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_3				
PI_UIO_COL_EMILIO_UZCATEGUIL21	PI_UIO_COL_EMILIO_UZCAT EGUL_1	Pichincha	La Mena	0°16'24.45"S	78°33'16.31"O
	PI_UIO_COL_EMILIO_UZCAT EGUL_2				
	PI_UIO_COL_EMILIO_UZCAT EGUL_3				
PI_UIO_PLYWOODL21	PI_UIO_PLYWOOD_1	Pichincha	Quitumbe	0°17'44.19"S	78°32'39.37"O
	PI_UIO_PLYWOOD_2				
	PI_UIO_PLYWOOD_3				
PI_UIO_PUENTE_GUAJALOL21	PI_UIO_PUENTE_GUAJALO_1	Pichincha	La Argelia	0°17'16.08"S	78°32'7.26"O
	PI_UIO_PUENTE_GUAJALO_2				
	PI_UIO_PUENTE_GUAJALO_3				
PI_UIO_SOLANDAL21	PI_UIO_SOLANDA_1	Pichincha	Solanda	0°16'5.56"S	78°32'47.44"O
	PI_UIO_SOLANDA_2				
	PI_UIO_SOLANDA_3				

3.5 PLANIFICACIÓN DE LA CELDA

El sistema de comunicación móvil LTE está formado por varias celdas, las cuales constituyen la unidad básica de cobertura en que se divide un sistema celular, cada red celular necesita una planificación de celdas con el fin de asegurar la cobertura y evitar la interferencia. El proceso de planificación de las celdas se compone de los siguientes parámetros descritos a continuación.

3.5.1 Planeación Cell_ID

El Cell_ID es el identificador de una celda perteneciente a un eNodeB, para los nuevos sitios LTE se ha definido un valor de Cell_ID de 1 a 3, dependiendo del número de sectores que contenga cada estación base.

3.5.1.1 Planeación del Nombre de la Celda

La nomenclatura de la celda se define de la siguiente manera:

Provincia_Ciudad_Nombre_CellID

3.5.2 Planeación del nombre del eNodeB

Se define la siguiente nomenclatura:

Provincia_Ciudad_Nombre+L2I

Donde:

- **Provincia y Ciudad:** Se refiere a la región en donde pertenece el eNodeB.
- **Nombre:** Corresponde al sector al cual pertenece el eNodeB
- **L:** Se refiere a la tecnología en cual se va a trabajar, en este caso LTE.
- **2I:** Hace referencia a la banda de frecuencia en la que se va a operar, 2120 MHz.

3.5.2.1. eNodeB ID

Es utilizado para identificar un eNodeB de forma única dentro de una Red Móvil Terrestre Pública (PLMN). El eNodeB-ID consta de 20 bits, es decir ocupa un rango de 0 a 1048575.

En la práctica, los clientes pueden proporcionar reglas de numeración para las diferentes áreas y ciudades. Si los clientes no tienen requisitos adicionales, el único principio de la planificación eNodeB-ID es confirmar que es único en toda la red.

Por tal razón para el presente diseño, se tomará el valor de eNodeB correspondiente a los sitios 3G, añadido un 4 al inicio. El rango de ID's para la red UMTS/HSPA+ es de 4000 a 4999, de tal manera que al anteponer un 4 en los nuevos sitios LTE, el nuevo rango será de 44000 a 44999.

3.5.3 Planeación Tracking Área (Área de seguimiento).

Con el fin de determinar la ubicación del equipo de usuario móvil, el área de cobertura de la red LTE se divide en varias áreas de seguimiento TA, la cual es un grupo de celdas contiguas donde el usuario puede moverse libremente sin actualizar el MME.

El área de seguimiento está estrechamente ligada a la paginación, la misma que es utilizada para informar a los UE de que ha habido un cambio en la información del sistema, y a la vez todas estas actividades están controladas bajo la gestión del MME.

El tamaño de la zona de seguimiento puede ser optimizado en la planificación de la red, una amplia área de seguimiento es de beneficio para evitar la actualización de la misma; por otro lado, un área de seguimiento pequeño contribuye a reducir la carga de señalización de las llamadas por paquetes entrantes. El concepto de zona de seguimiento se ilustra en la figura 34.

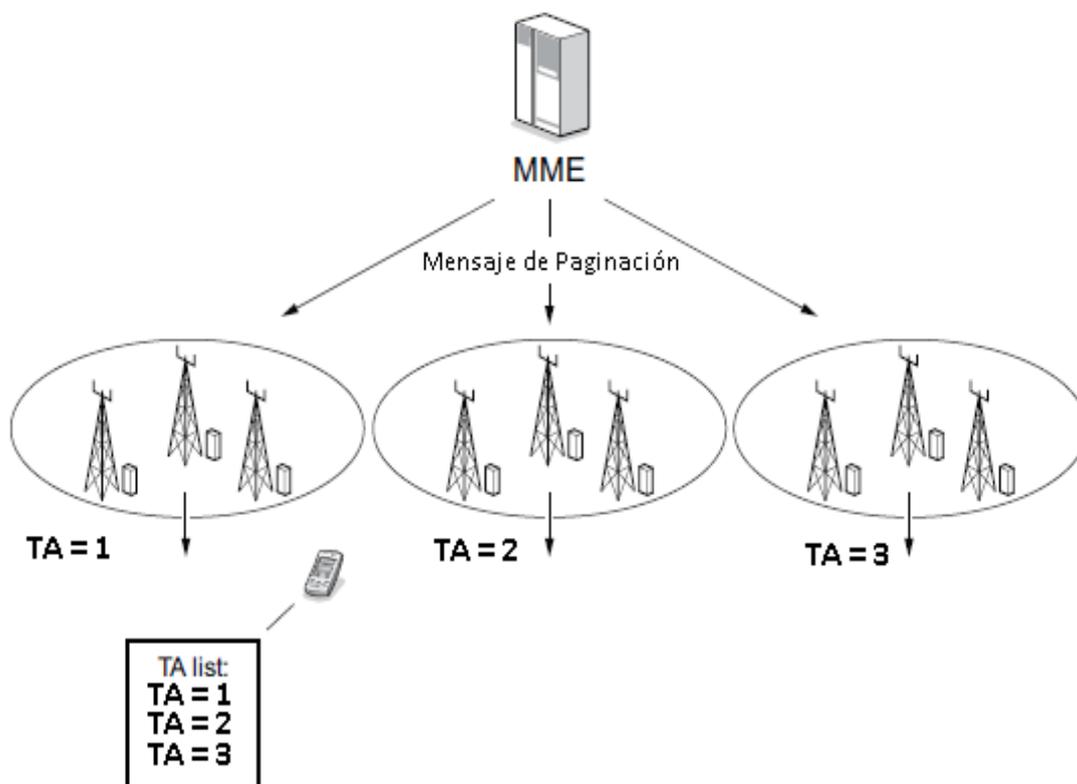


Figura 34. Concepto de Tracking Area.

Fuente: Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

Un UE puede tener asignado múltiples áreas de seguimiento, con el fin de evitar actualizaciones de área de seguimiento innecesarias en las fronteras de cada celda, por ejemplo cuando un UE se mueve constantemente de una celda a otra en áreas de seguimiento diferentes.

También se puede asignar dos áreas de seguimiento para diferentes tecnologías, por ejemplo un área de seguimiento LTE y otra UTRAN (UMTS/HSPA+), con el fin de evitar la señalización cuando se interactúa entre los dos sistemas.

La actualización del área de seguimiento se produce cuando un UE se ha trasladado a una celda que pertenece a un área de seguimiento diferente, y se establece una conexión breve entre eNodeB y UE con el fin de conocer la nueva ubicación del equipo dentro de la zona de seguimiento, este proceso lo gestiona el MME.

3.5.3.1 Tracking Area List (TAL)

La lista del área de seguimiento (TAL) es un sistema introducido en 3GPP Release 8, TAL es un nuevo concepto en sistemas LTE, que agrupa varias TA en una lista, lo que permite configuraciones más flexibles, esperando reducir la sobrecarga general de señalización, este parámetro se configura únicamente en el núcleo de red.

La lista del área de seguimiento (TAL) identifica las áreas de seguimiento que el UE puede entrar sin llevar a cabo un procedimiento de actualización, en este esquema, en lugar de asignar una TA para cada UE, un UE pertenece a una lista TAL.

El rango de TAL que se utilizará en la red LTE del clúster 2 es: 2000-2099.

3.5.3.2 Identificador del Área de Seguimiento (TAI⁵⁴)

El identificador de área de seguimiento (TAI) es utilizado para identificar una específica área de seguimiento de manera única en la red. El TAI se construye a partir del PLMN-ID⁵⁵ y TAC⁵⁶.

⁵⁴ **TAI:** Tracking Area Identify (Identificador de área de seguimiento).

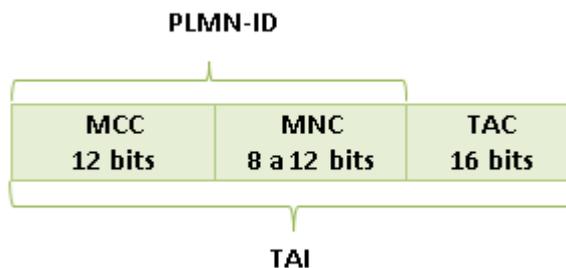


Figura 35. Componentes del TAI.

Fuente: *Identificadores LTE*. (2011) Adaptado de:

<http://www.nmcgroups.com/files/download/NMC.LTE%20Identifiers.v1.0.pdf>

Por su parte varios TAI se encuentran contenidos en una TAL, los TAI son asignados en dicha lista por el MME hacia un UE, bajo este concepto un UE puede entrar en las celdas incluidas en la lista sin realizar una actualización al MME.

3.5.3.2.1 PLMN_ID

La red móvil terrestre pública se refiere a una red dirigida por un operador que brinda servicios de telecomunicaciones, para el presente diseño, la red LTE será gestionada por el operador “Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.”, cada operador que presta servicios de telefonía tiene su propio PLMN_ID.

El identificador de la red móvil terrestre pública está conformado por dos entidades que son:

$$PLMN_ID = MCC + MNC.$$

3.5.3.2.1.1 Mobile Country Code (MCC)

El MCC es el identificador único del país en el que se encuentra el operador de telefonía móvil, este código cuenta con 3 dígitos, y es asignado por la UIT-T en la recomendación E.212, la cual presenta un listado de los códigos móviles para todos los países mostrados en la tabla 15.

⁵⁵ **PLMN-ID:** Public Land Mobile Network Identifier (Identificador de red móvil terrestre pública).

⁵⁶ **TAC:** Tracking Area Code (Código de área de seguimiento).

Tabla 15. Código MMC para CNT EP.

Fuente: Mobile Network Codes (MNC) for the international identification plan for public networks and subscriptions (According to Recommendation ITU-T E.212 (05/2008)).

País	Operador	MMC
Ecuador	Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP)	740

3.5.3.2.1.2 Mobile Network Code (MNC)

El MNC es un código utilizado para identificar la red del operador de telefonía móvil, al igual que el MCC fue definido en la recomendación E.212 de la UIT-T.

Tanto MCC como MNC forman parte del International Mobile Subscriber Identity (IMSI), el cual permite identificar un dispositivo de telefonía móvil de manera única a nivel internacional.

Tabla 16. Código MNC para CNT EP.

Fuente: Mobile Network Codes (MNC) for the international identification plan for public networks and subscriptions (According to Recommendation ITU-T E.212 (05/2008)).

País	Operador	MNC
Ecuador	Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP)	02

3.5.3.2.2 Location Area Code (LAC)

El área de servicio de una red de radio celular se divide generalmente en áreas de localización, que se componen de una o varias celdas. A cada área de localización se le asigna un número único dentro de la red denominado “código de área de localización”, este código se transmite a cada eNodeB y se utiliza como referencia única para la ubicación de un abonado móvil.

Cabe recalcar que el parámetro LAC solo se configura en redes 2G/3G, pero sirve de referencia para la planificación de la red LTE con el parámetro TAC que se explicará a continuación, el rango de LAC utilizado en la red UMTS/HSPA+ del clúster 2 es: 40200-40298.

3.5.3.2.3 Tracking Area Code (TAC)

TAC se define como un grupo de celdas a las que se transmite una señal de paginación, es usado para indicar al eNodeB a cual área de seguimiento pertenece, este código es único y es asignado por el operador a cada uno de los TA. El TAC se codifica en un dígito de 16 bits.

TAC está estrechamente relacionado con la paginación, que es un proceso mediante el cual el MME informa al UE acerca de un cambio de información en el sistema, esto lo hace a través del envío de un mensaje de paginación S1AP, el cual es enviado por un MME hacia cada eNodeB con celdas pertenecientes al área de seguimiento en el que el UE ha sido registrado. Este principio se lo puede ver en la figura 36.

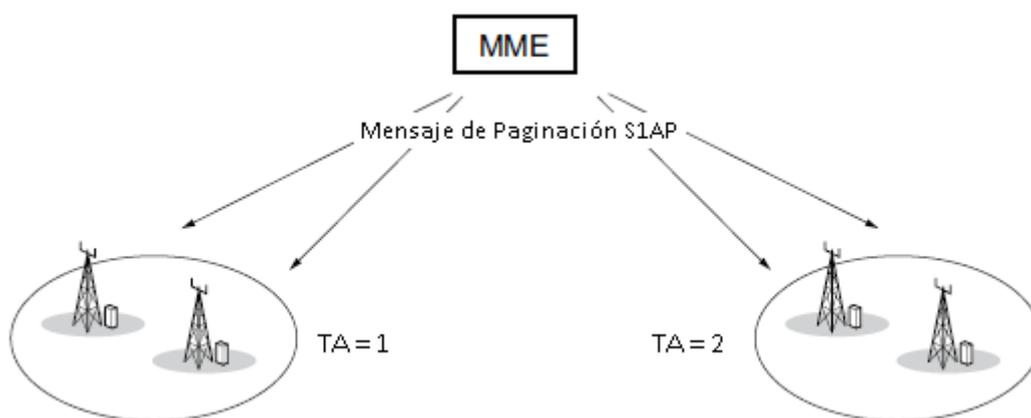


Figura 36. Mensaje de Paginación S1AP.

Fuente: Greg Harman. (2011) *LTE Paging Process NT&C Radio and GSDC*.

El mensaje de paginación es enviado mediante el canal lógico PCCH a través del enlace downlink; este canal se utiliza para comunicarse con un UE cuando la red no conoce la celda en la que se encuentra.

El TAC es un parámetro que se configura tanto en el núcleo de red (EPC) y en la red de acceso (E-UTRAN), TAC en LTE es similar al código de área local (LAC) de las redes 2G/3G, por lo tanto el rango de TAC que se utilizará en la red LTE del clúster 2 es: 20200-20299

3.5.4 Identificador físico de celda (PCI)

En el sistema LTE, el identificador físico de celda (PCI) se utiliza para diferenciar las señales de radio de diferentes celdas. PCI puede ser reutilizado cada 15 Km en toda la red, pero debe ser único en el área de cobertura para garantizar que el UE pueda distinguir diferentes celdas. El PCI es una combinación de dos señales de sincronización: señales de sincronización primarias PCI-ID (PSS⁵⁷), y las señales de sincronización secundarias PCI-Grupo (SSS⁵⁸).

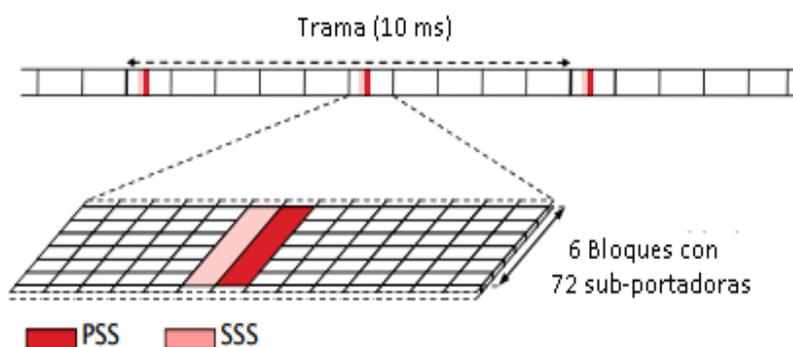


Figura 37. Señales de sincronización PCI.

Fuente: Harish Vadada. (2011) *LTE PCI Planning*, Adaptado de www.telecom-cloud.net.

PSS está presente en el símbolo OFDM número 6, asignado en 72 sub-portadoras en el medio de la banda. PSS es un número de secuencia 3, es decir (0, 1 y 2).

Por otro lado SSS está presente en el símbolo OFDM número 5, y también se asigna en 72 sub-portadoras en el centro de la banda como se muestra en la figura 45. El SSS es un número de secuencia 168, es decir (0 a 167).

El rango de PCI disponible es de 0 a 503, de los cuales cada celda tendrá su propio PCI con el fin de que el UE no se confunda al momento de conectarse a una celda.

⁵⁷ **PSS:** Primary Synchronisation Signal (Señal de sincronización primaria).

⁵⁸ **SSS:** Secondary Synchronisation Signal (Señal de sincronización secundaria).

3.5.4.1 PCI Planning

- Para las consideraciones de diseño de la red LTE del clúster 2 se tienen los siguientes datos: Rango PCI: 0 a 503.
- En caso de que se tenga una cantidad de celdas que excedan el número de PCI, este tendrá que reutilizar cada 15Km, la clave es que las dos celdas que comparten un PCI no pueden estar geográficamente cerca o de lo contrario presentarán interferencia entre sí.
- Al usar el software U-NET para el diseño de la red, interviene un parámetro denominado TIER, el cual maneja el concepto que dado un cierto número de eNodeB se puede utilizar un solo PCI, en este caso el valor del TIER será 4.
- En el dominio de la frecuencia, cada celda tiene un desplazamiento diferente determinado por el tipo de módulo, existen dos tipos, módulo 6 el cual es usado para una sola antena, y módulo 3 que se utiliza para arreglos de múltiple antena (MIMO).
- Para el presente diseño se empleará el módulo 3 de PCI, que se denota como PCI_{mod3} , y consiste en dividir las celdas para 3: celda#1 tiene $PCI_{mod3} = 0$, celda#2 tiene $PCI_{mod3} = 1$, celda#3 tiene $PCI_{mod3} = 2$.
- Con esta asignación de PCI en el módulo 3, la señal de referencia (RS) de diferentes celdas no se superpone en términos de frecuencia; a la vez se debe evitar que las celdas con el mismo PCI_{mod3} se ubiquen geográficamente cerca, con el fin de evitar interferencia.

3.5.5 Physical Random Access Channel (PRACH)

El canal de acceso físico aleatorio PRACH en LTE, inicia cuando un UE transmite un preámbulo al eNodeB, este preámbulo se denomina preámbulo de acceso aleatorio, el cual se generan a partir de secuencias de Zadoff-Chu.

Existen 64 secuencias de preámbulo Zadoff-Chu disponibles en cada celda, estas 64 secuencias se generan mediante el proceso denominado “logical root sequence index”, en caso de que se generen menos de 64 secuencias de preámbulo, los restantes se crearán de la siguiente “root Zadoff-Chu sequence index”. Las secuencias de preámbulo se generan a través de los cambios cíclicos (NCS, CyclicShifts) de secuencias de ZC.

Como se verá a continuación, para la configuración de este parámetro se utilizará el software U-Net en el modo de LTE FDD, el número de índices de secuencia de ZC es 838, y 16 tipos de valores NCS están disponibles, U-Net configura los índices de secuencia ZC y los valores de NCS para múltiples celdas de acuerdo a sus propiedades (como el radio y velocidad de la celda) con el fin de asegurar que las secuencias de preámbulos generados de celda adyacentes sean diferentes.

Por lo tanto, se reduce la interferencia causada por el uso de la misma secuencia de preámbulo entre las células adyacentes.

3.6 PARÁMETROS DE RADIO FRECUENCIA

Los parámetros de radio frecuencia son aquellos que intervienen en el proceso de asignación de frecuencias, ubicación y características de la transmisión del sistema de comunicaciones inalámbricas, tienen dos objetivos primordiales: cobertura y capacidad. La cobertura ya que dependiendo de la zona geográfico intervendrán parámetros que sirven para medir la intensidad de la señal dentro de dicha zona, y capacidad se refiere las configuraciones de antenas para brindar el mejor servicio al usuario.

Los principales parámetros que deben ser configurados son: parámetros de antena: azimuth y downtilt, RSRP, SINR.

Azimuth: El valor del azimut indica el punto exacto en el que se debe fijar la antena en el plano horizontal. Este ángulo se mide desde el norte geográfico en sentido de las manecillas del reloj, su valor varía entre 0 y 360°. La medición del ángulo se lo puede realizar por medio de una brújula lensática.

Downtilt: Representa el ángulo de inclinación hacia abajo de la antena en relación con el eje en el que fue instalada. Tiene como objetivo limitar la cobertura, existen dos tipos de tilt: tilt eléctrico y tilt mecánico.

El tilt eléctrico se obtiene de la modificación de la fase de señal de cada elemento de la antena, puede ser un valor fijo o variable, el ajuste se lo puede hacer manual o remotamente a través de un accesorio (perno con marcas), su aplicación produce que el área de cobertura sufra una reducción uniforme en la ganancia. Por otra parte el tilt mecánico indica la inclinación de la antena mediante accesorios propios de la misma sin cambiar la fase de la señal de entrada, su aplicación reduce el área de cobertura en dirección central, pero el área de cobertura en las direcciones laterales son mayores.

RSRP: Al igual que en cualquier otra tecnología celular, la cobertura es siempre un indicador de probabilidad de obtener un buen nivel de servicio, ya sea en forma de rendimiento o prestación de servicios. La señal de referencia de la potencia recibida (RSRP) es una medida común que puede proporcionar el nivel de calidad de la cobertura. Aunque la interferencia entre celdas no se reflejará por nivel RSRP, todavía es un fuerte indicador de nivel de rendimiento, siempre y cuando la red de radio inicial fue diseñada correctamente. El valor de RSRP varía de acuerdo a la posición, de esta manera el valor de RSRP cerca a la celda es -85 dBm, en medio de la celda es: -95dBm y en el borde de la celda es -105 dBm. El valor de RSRP mínimo por UE es: -120 dBm.

SINR: La relación de interferencia señal a ruido se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que transmite y la potencia del ruido que afecta a la señal con el fin de medir la calidad de las conexiones inalámbricas.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA RED LTE

En este capítulo se describe el proceso de diseño de una red LTE con la ayuda del software U-NET, en el cual intervienen los parámetros descritos en el capítulo 3.

CNT E.P. desplegará la red LTE sobre su red existente 3G (UMTS-HSPA+) y con el fin de utilizar de una manera eficiente la infraestructura existente, se utilizó la solución SINGLE RAM UMTS-LTE⁵⁹.

4.1 INTRODUCCIÓN SOFTWARE GNEX U-NET

U-NET es un software de planeación orientado a la planificación y diseño de redes de nueva generación, proporciona funciones integrales de planificación de la red, una arquitectura de software flexible, un sistema de información geográfica avanzada (SIG), recursos de datos enriquecidos, e interfaces de usuario fáciles de usar.

Características del software:

Las siguientes características permiten a los ingenieros de planificación de redes mejorar la eficiencia en el trabajo de manera significativa.

- **Tecnología de simulación de planificación avanzada LTE:** El U-Net soporta la planificación de vecindades entre celdas, la planeación de frecuencias, el identificador físico de celda (PCI), canales códigos y física de acceso aleatorio (PRACH). Además, proporciona la optimización profesional de la red LTE mediante la incorporación de tecnologías avanzadas.

⁵⁹ **Single RAM UMTS-LTE:** Solución que permite la implementación de una red orientada al futuro y la evolución transparente hacia una red LTE a partir de la red 3G.

- **Algoritmos de planificación avanzadas:** El U-Net ayuda a los usuarios a realizar con flexibilidad la co-planificación de redes GSM, UMTS y LTE-FDD, haciendo un uso apropiado de los recursos existentes del sitio.
- **Tecnología de simulación semi-dinámica avanzada:** Al proporcionar la predicción de red de alta precisión, el U-Net ayuda a estimar con precisión las necesidades de la red y proporcionar una solución de bajo costo, lo que reduce de manera efectiva el costo general de despliegue de red.
- **Función de planificación de red de gran alcance y fácil de usar:** El U-Net proporciona algoritmos y modelos matemáticos fáciles para la simulación del comportamiento de la red, además de ajustes de los parámetros de planificación. Esto mejora la eficiencia en el trabajo de manera efectiva mediante la reducción de los requisitos técnicos de la optimización de la red y asegura la calidad de la planificación de red.

Escenario de aplicación

U-Net es aplicable en despliegue, optimización y expansión de la red. Durante el despliegue de red U-Net ayuda a planificar correctamente los parámetros de ingeniería, datos de celdas vecinas, y los datos de frecuencia de la red; proporcionando así orientación para la implantación real del proyecto.

Durante la optimización y ampliación de la red, U-Net ayuda a optimizar los parámetros de la red y verificar los resultados mediante la comparación del rendimiento de la red antes y después de la optimización.

En la tabla 17 se describen las principales funciones proporcionadas por U-Net.

Tabla 17. Principales funciones de U-Net.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Función	Descripción
Despliegue del sitio	Después de especificar el área de despliegue de un sitio, el sitio puede ser rápidamente desarrollado en una plantilla de un mapa previamente cargado. U-Net soporta la importación de datos de los mapas en capas y la importación rápida de los datos de los mapas. Además, U-Net obtiene automáticamente la información de la proyección.

Calibración del modelo de propagación	El modelo de propagación se puede ajustar manualmente o automáticamente en la base de los datos. El U-Net muestra el modelo en el sistema de información geográfica avanzada (SIG) para analizar el error en el cálculo basado en el modelo.
Planificación de parámetros de red	U-Net ayuda en la configuración de los parámetros primordiales de red, como aquellos relacionados con las celdas vecinas, la frecuencia, PCI, PRACH, y TA's.
Predicciones	U-Net inicia la predicción después de importar el mapa y la configuración de datos de la red, modelo de servicio y modelo de propagación. Mediante el análisis del resultado de la predicción, se evalúa el desempeño de la red.
Capacidad de simulación	Después de que los parámetros de tráfico se configuran y el mapa de tráfico se ha establecido de acuerdo con la planificación, el U-Net realiza el cálculo de simulación basado en el mapa del tráfico. En la simulación de la capacidad, U-Net analiza el rendimiento de la celda y el usuario. Además, se analiza la cobertura de los canales comunes y canales de tráfico sobre la base de la carga de red específico proporcionado en los resultados del cálculo de simulación.

Estructura del Sistema U-Net

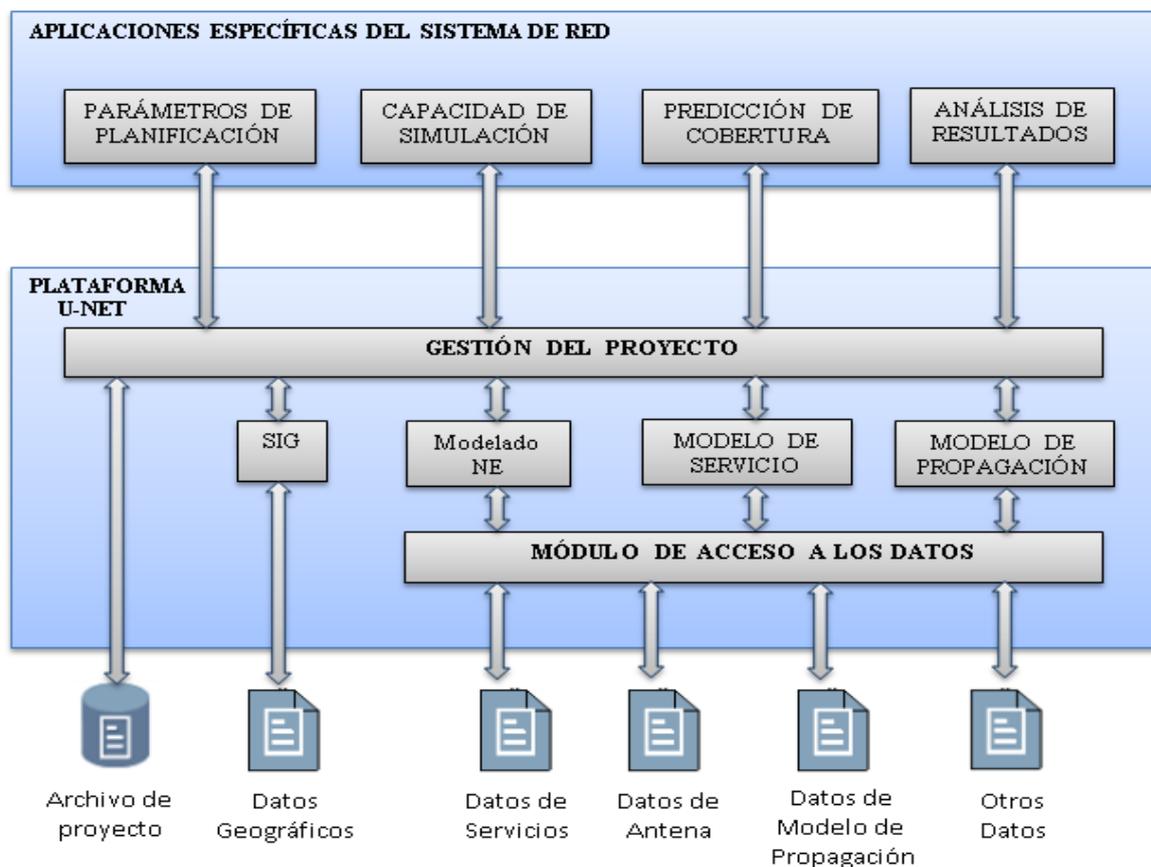


Figura 38. Arquitectura Software U-Net.
Fuente: Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00.

Se divide básicamente en las aplicaciones del sistema que son las que proveen de funciones de planificación de parámetros, simulación, predicción y análisis de resultados. Por otra parte se encuentra la plataforma U-Net, la cual proporciona la gestión de todos los datos que ingresan al sistema, además de ofrecer funciones como el sistema de información geográfica (SIG), modelos de servicio, modelos de propagación, de esta manera U-Net gestiona todas sus funciones en base a esta plataforma.

4.1.1 Interfaz Gráfica U-Net

La interfaz gráfica describe la ventana principal del U-Net, incluyendo la barra de menús, barra de herramientas, barra de tareas, ventana de explorador, interfaces gráficas de usuario de operación, y las entradas a las operaciones relacionadas con el U-Net cuando se selecciona el sistema de red de LTE-FDD.

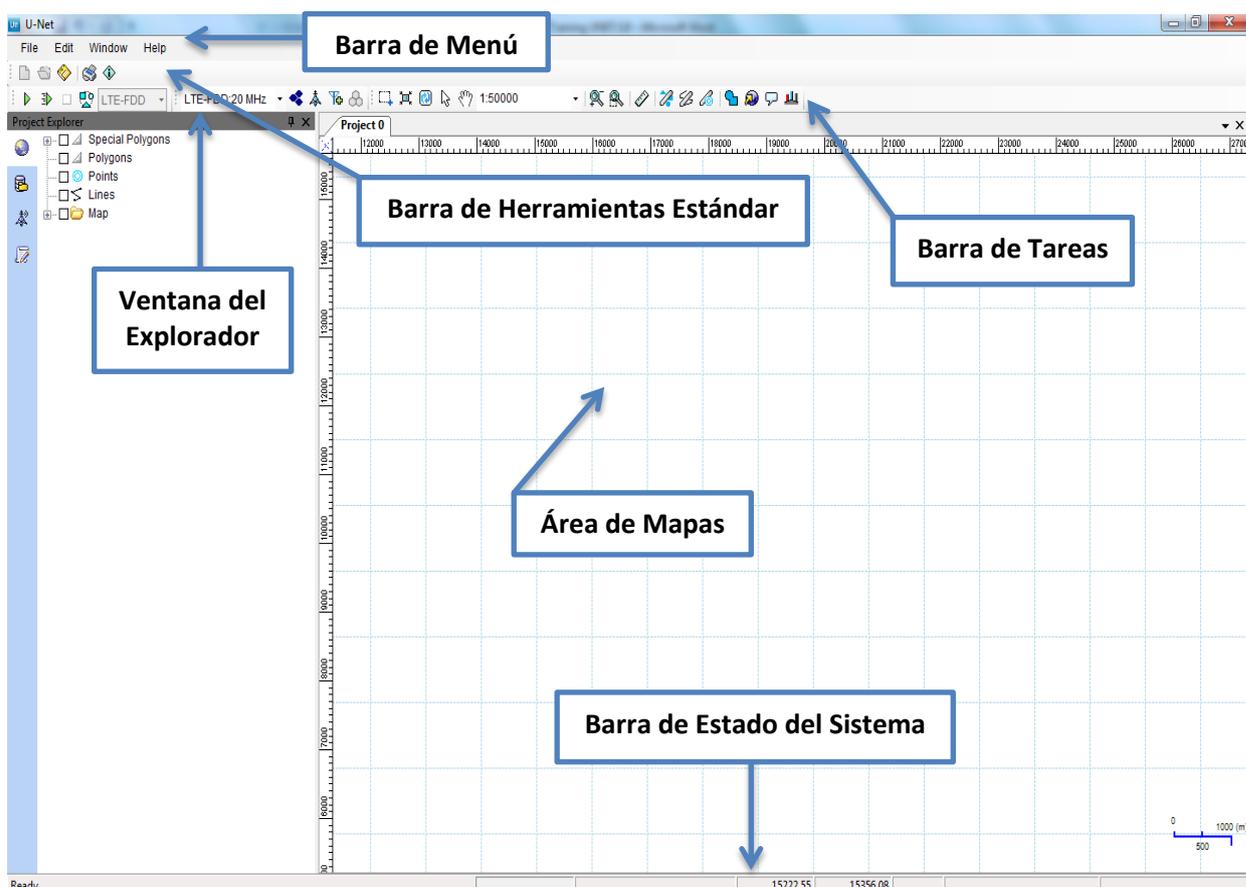


Figura 39. Ventana Principal U-Net.
Fuente: Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00

4.1.1.1 Barra de Menú

Proporciona el menú principal del sistema, el cual se organiza en función de las principales operaciones que se realizan en el diseño de red. La tabla 18 muestra los elementos de la barra de menús con cada una de sus aplicaciones.

Tabla 18. Descripción de la Barra de Menú.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Menú Principal	Descripción
Archivo	Proporciona las directrices para las operaciones relacionadas con la gestión de proyectos y la impresión de los mismos.
Editar	Provee las herramientas para ver el análisis de las interfaces gráficas de usuario
Ventana	Permite visualizar las operaciones más comunes relacionadas con los mapas.
Ayuda	Proporciona información de ayuda acerca de U-Net y términos de licencias.

Tabla 19. Descripción del Sub-menú Archivo.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento del Menú	Descripción
Nuevo	Crear un proyecto
Abrir	Abrir un proyecto anterior
Cerrar	Cerrar el proyecto
Guardar	Guardar el proyecto actual
Guardar como	Guardar el proyecto con otro nombre
Configuración de la impresión	Definir de las propiedades de impresión.
Vista preliminar	Vista previa de la tarea a imprimir
Imprimir	Realizar la impresión
Importar a Excel	Importar los datos a Excel
Exportar	Exportar datos desde otro programa
Generar plantilla	Crear una plantilla de acuerdo a parámetros de ingeniería de proyecto.
Archivos recientes	Muestra el listado de los proyectos que se han abierto en las últimas horas.
Salir	Salir de U-Net

Tabla 20. Descripción del Sub-menú Editar.**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento	Descripción
Deshacer	Deshacer una acción.
Uso de recursos	Visualizar el uso de recursos
Mostrar cuadrícula	Mostrar las líneas de cuadrícula
Buscar	Buscar parámetros NEs

Tabla 21. Descripción del Sub-menú Ventana.**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento	Descripción
Información del proyecto	Crear un proyecto
Barra de herramientas	Abrir un proyecto anterior
Barra de estado	Cerrar el proyecto
Evento	Guardar el proyecto actual
Leyenda	Guardar el proyecto con otro nombre
Curva de simulación	Definir de las propiedades de impresión.
Herramienta de análisis de puntos	Vista previa de la tarea a imprimir

4.1.1.2 Barra de Herramientas Estándar

La barra de herramientas estándar integra elementos para realizar la operación relacionada con el proyecto correspondiente de forma rápida. La tabla 22 muestra los elementos que integran este menú.

Tabla 22. Descripción Barra de herramientas estándar
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Icono	Descripción
	Crear un proyecto
	Abrir un proyecto
	Guardar un proyecto
	Tareas de impresión
	Ver información de software U-Net

4.1.1.3 Barra de Tareas

La barra de herramientas estándar sirve para realizar rápidamente las operaciones relacionadas con el mapa y el análisis de punto.



Figura 40. Barra de Tareas U-Net.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00 User Guide, 2012-12-25.

Tabla 23. Descripción de la Barra de Tareas U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Icono	Descripción
	Calcular la pérdida de trayectoria.
	Forzar el cálculo de pérdida de trayectoria.
	Detener el cálculo de pérdida de trayectoria.
	Iniciar el análisis de puntos.
LTE-FDD:20 MHz ▾	Seleccionar la plantilla referente a la tecnología a usar.
	Crear estaciones base en lotes.
	Crear una estación base.
	Crear un repetidor
	Mostrar hexágonos que indican la cobertura de las celdas.
	Seleccionar un área rectangular.
	Centrar el mapa.

	Actualizar el mapa.
	Seleccionar un elemento.
	Mover un elemento.
1:200000 	Seleccionar la escala.
	Acercar o alejar en el área del mapa.
	Ampliar un área específica.
	Medir la distancia.
	Dibujar un polígono.
	Dibujar una línea.
	Dibujar un punto.
	Combinar formas de polígonos.
	Exportar un mapa a Google Earth.
	Ver resultados detallados, por ejemplo al realizar una predicción de cobertura.
	Dibujar una línea para análisis de clutter.

4.1.1.4 Ventana del Explorador

La ventana del explorador se encuentra en la parte inferior izquierda de la ventana principal. La ventana del explorador tiene cuatro pestañas fundamentales: GEO, datos, redes y funcionamiento.

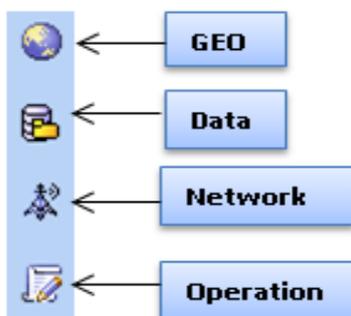


Figura 41. Ventana del Explorador U-Net.
Fuente: Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00.

4.1.1.4.1 Geo

La pestaña Geo contiene herramientas geométricas basadas en mapas y polígonos. En la figura 42 se puede observar el contenido detallado de esta pestaña.

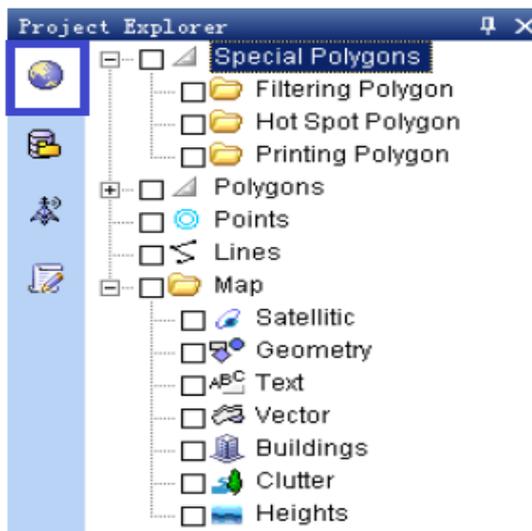


Figura 42. Pestaña GEO U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 24 se puede observar la descripción de los elementos de la pestaña GEO.

Tabla 24. Descripción Pestaña GEO.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento de Navegación	Descripción
Polígonos especiales	Operaciones relacionadas a polígonos especiales.
Polígonos	Operaciones relacionadas a polígonos.
Puntos	Operaciones relacionadas a establecer puntos.
Líneas	Operaciones relacionadas al trazo de líneas.
Mapas	Operaciones relacionadas con elementos de mapas.

4.1.1.4.2 Data

La pestaña Data contiene herramientas preliminares para el diseño de red.

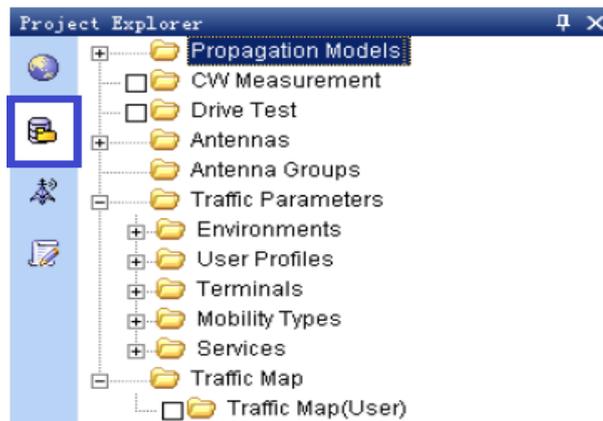


Figura 43. Pestaña Data U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 25. Descripción Pestaña Data.

Nota. Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento de Navegación	Descripción
Modelos de Propagación	Operaciones relacionadas a los modelos de propagación.
Mediciones de Onda Continua	Operaciones relacionadas a las mediciones de onda continua CW.
Drive Test	Operaciones relacionadas a datos de prueba.
Antenas	Operaciones relacionadas a la selección y configuración de antenas.
Grupo de Antenas	Operaciones relacionadas a agrupaciones de antenas.
Parámetros de tráfico	Operaciones relacionadas a parámetros de tráfico.
Mapa de tráfico	Operaciones relacionadas con los mapas de tráfico.

4.1.1.4.3 Network

La pestaña Network contiene parámetros relacionados al sitio y transceiver.

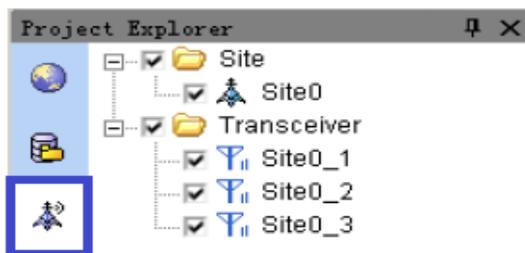


Figura 44. Pestaña Network U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 26 se detalla los elementos que contienen esta pestaña.

Tabla 26. Descripción Pestaña Network.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento de Navegación	Descripción
Sitio	Operaciones relacionadas a los Sitios.
Transceiver	Operaciones relacionadas a los transeptores.

4.1.1.4.4 Operation

La pestaña Operation contiene herramientas relacionadas a la simulación, predicción y optimización de la red.

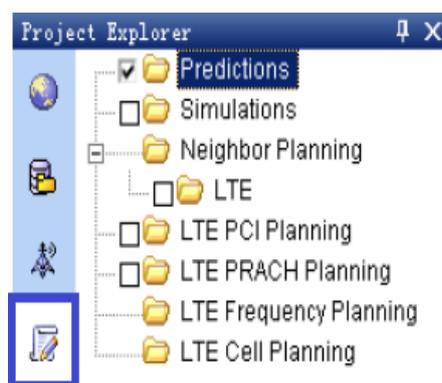


Figura 45. Pestaña Operation U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 27 se detalla los elementos que contienen esta pestaña.

Tabla 27. Descripción Pestaña Operation.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Elemento de Navegación	Descripción
Predicciones	Operaciones relacionadas a las predicciones.
Simulaciones	Operaciones relacionadas con la capacidad de simulación.
Planeación de vecindades	Operaciones relacionadas con las vecindades de celdas.
Planificación LTE PCI	Operaciones relacionadas con el PCI.
Planificación LTE PRACH	Operaciones relacionadas con la configuración del PRACH.
Planificación de frecuencias LTE	Operaciones relacionadas con la planificación de frecuencias.
Planificación TAC	Operaciones relacionadas con la configuración del TAC.
Planificación de celdas	Operaciones relacionadas a la planificación general de celdas.

4.2 PROCESO DE DISEÑO DE LA RED LTE EN U-NET

En la figura 46 se muestra el flujograma para la planificación de la red LTE mediante el uso del software U-NET.

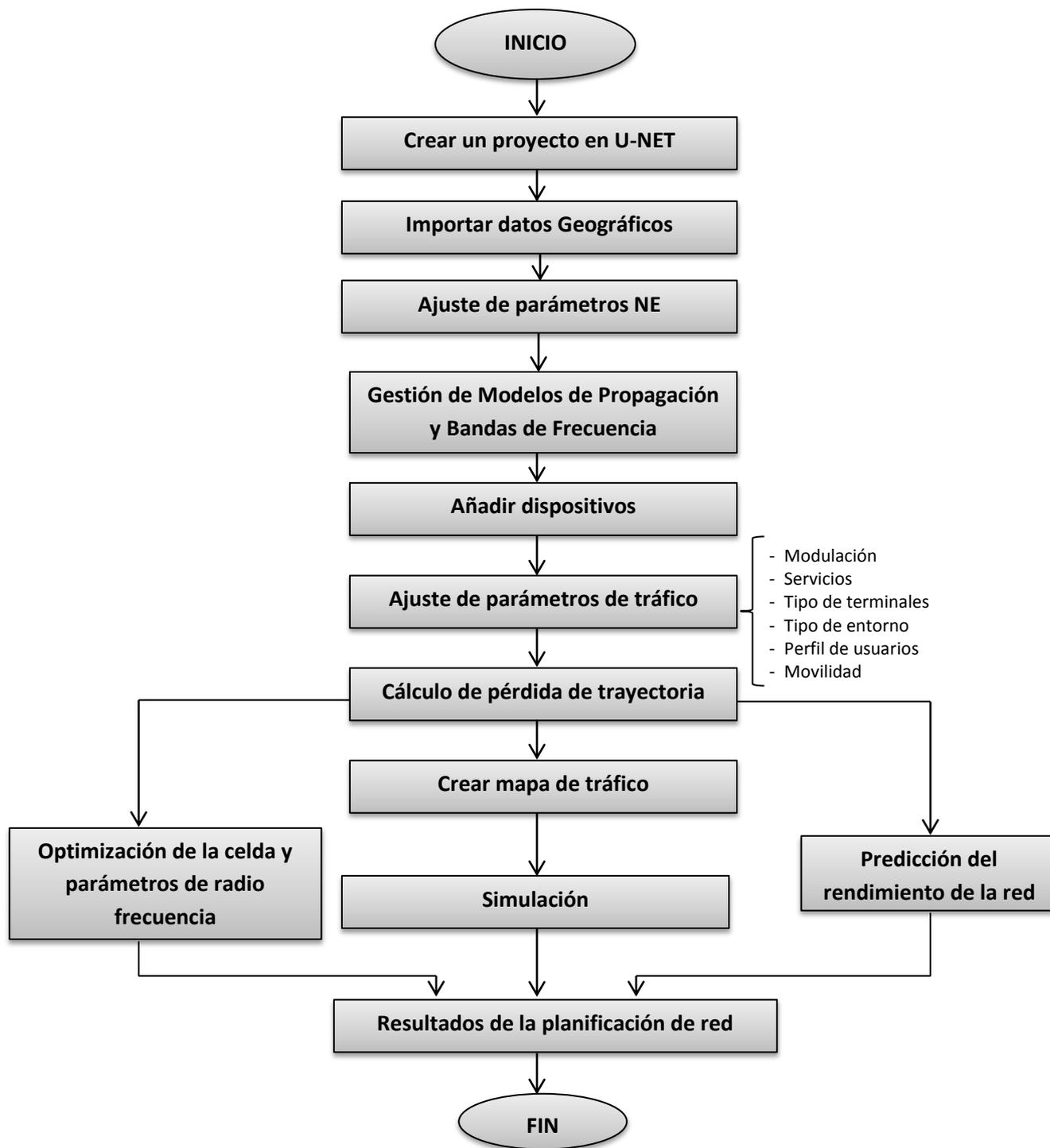


Figura 46. Proceso de diseño de red.
Fuente: Huawei Technologies Co., Ltda.

4.2.1 Crear un proyecto en U-NET

Para crear un proyecto en U-Net se deben seguir una serie de pasos ordenados para su correcto funcionamiento, los mismos que son descritos a continuación.

1. Para la creación de un proyecto nos dirigimos a **File**→**New** →**LTE-FDD**

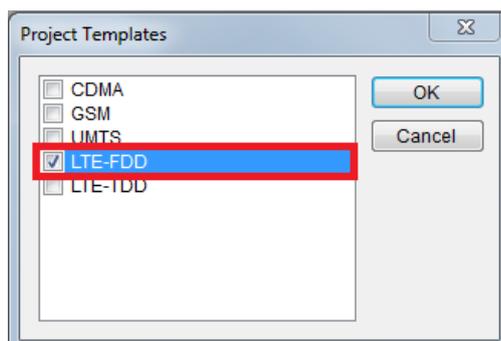


Figura 47. Seleccionar una plantilla de proyecto.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Como se puede observar en la figura 47 se despliega una lista de plantillas correspondientes a diferentes tecnologías de acuerdo a los requerimientos del diseño.

Para el caso del presente diseño se eligió la opción LTE-FDD, debido a que como se mencionó anteriormente, el Conatel asignó la banda frecuencias antes descritas, basado en que la nueva tecnología trabaje bajo FDD ya que es más flexible por el hecho de dividir la banda de frecuencia asignada en dos canales discretos uno para UL y otro para DL, de modo que ambos enlaces pueden trabajar simultáneamente dentro de una misma celda.

Por el contrario TDD se utiliza cuando el espectro se encuentra saturado, razón por la cual utiliza un único canal para UL y DL a la vez, reduciendo la capacidad y velocidad de transmisión.

Una vez que seleccionamos la plantilla FDD, se muestra en la figura 48 la interfaz en la cual trabajaremos.

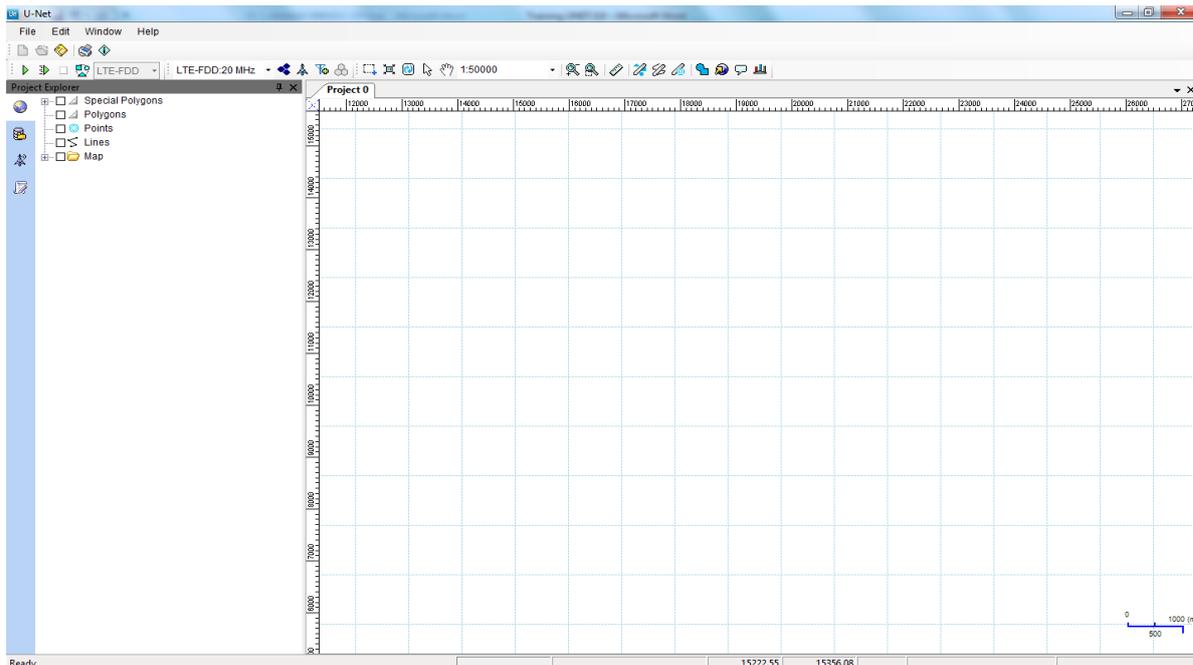


Figura 48. Interfaz gráfica U-Net.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.2 Importar datos geográficos

El segundo paso después de la creación de un nuevo proyecto es importar los datos geográficos, en este caso el mapa correspondiente a la ciudad de Quito.

Se puede importar datos geográficos en varios formatos vectoriales o de cuadrícula y a la vez establecer el sistema de coordenadas, también se puede añadir puntos, líneas o polígonos para crear objetos vectoriales.

Anteriormente se debe definir el sistema de coordenadas en el cual se va a trabajar, para lo cual click en la pestaña **GEO** → **Map** → **Coordinate**.

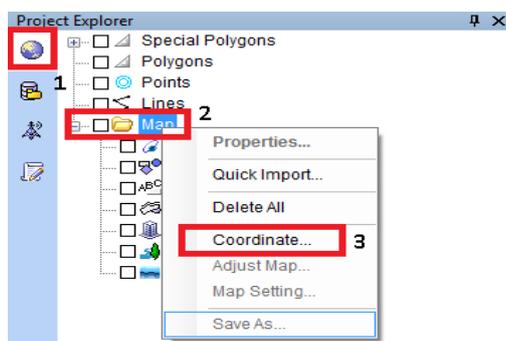


Figura 49. Importando datos geográficos.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

De acuerdo al sistema de coordenadas geográficas mundial WGS84⁶⁰ el cual permite localizar cualquier punto de la Tierra, el Ecuador se encuentra ubicado en la zona 17, por lo tanto para el sistema de coordenadas se seleccionará esta zona.

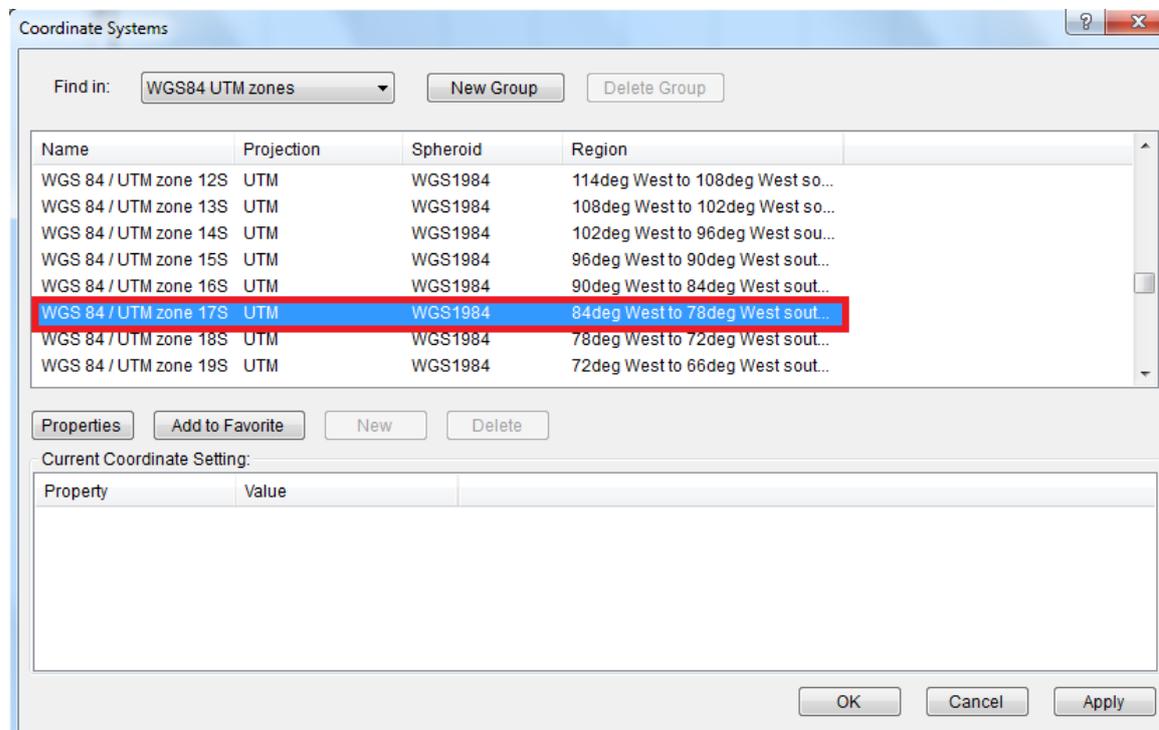


Figura 50. Sistema de coordenadas.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

U-Net soporta cuatro modos de ver las coordenadas, se puede seleccionar el modo de visualización adecuado de coordenadas según se requiera, en la tabla 28 se muestra la información de los cuatro modos de visualización de coordenadas.

Tabla 28. Modos de visualización coordenadas.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Modo de visualización	Significado
xy reference frame	Indica el modo de visualización de las coordenadas geodésicas.
xxdxxmxx.xxsS	Indica el modo de visualización de coordenadas longitud / latitud en el formato xx (grados).xx (minutos).xx (segundos).
xx.xxxxxS	Indica el modo de visualización de coordenadas de longitud / latitud.
-xx.xxxxx	Indica el modo de visualización de coordenadas de longitud / latitud en negativo / positivo.

⁶⁰ World Geodetic System 84: Sistema Geodésico Mundial fundado en 1984.

En la figura 51 se puede observar en la interfaz de U-Net la selección del modo de visualización de coordenadas.

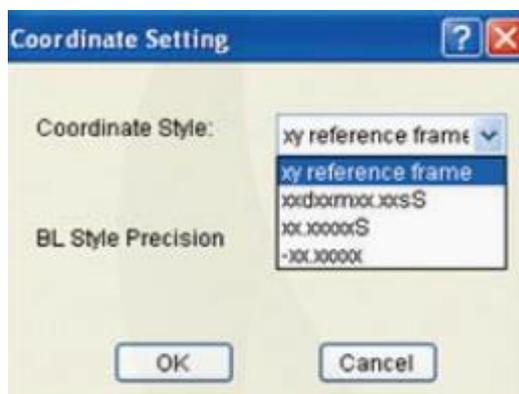


Figura 51. Modos de visualización coordenadas.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Una vez que se haya seleccionado el sistema de coordenadas, los pasos para importar los datos geográficos son los siguientes:

1. Dentro de la ventana del explorador, click en la pestaña **Geo**.
2. De la lista de elementos de navegación que se despliega, click en **Map**.
3. Seleccionar la opción **Quick Import**.

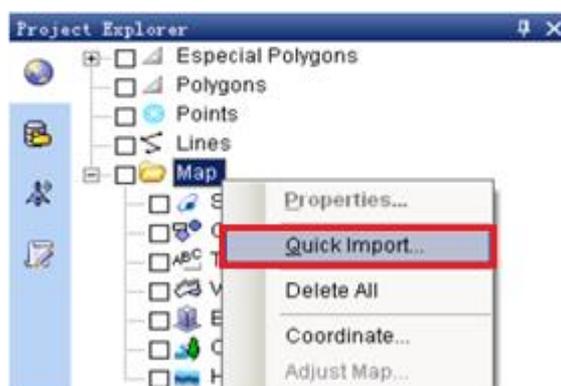


Figura 52. Importar un mapa.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. En el cuadro de dialogo que aparece, seleccionar la carpeta en donde se encuentra la información geográfica del sitio.

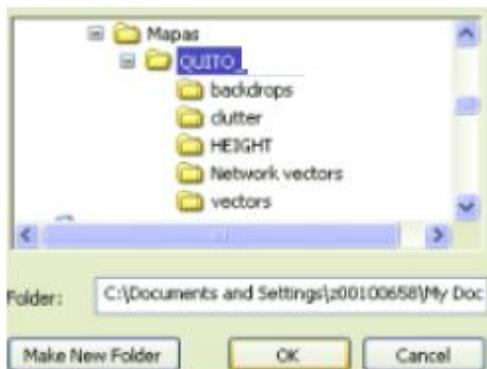


Figura 53. Selección del mapa.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

5. Una vez seleccionado el mapa, click en **Ok** y aparecerá el cuadro de dialogo el cual contiene información acerca del mapa seleccionado.

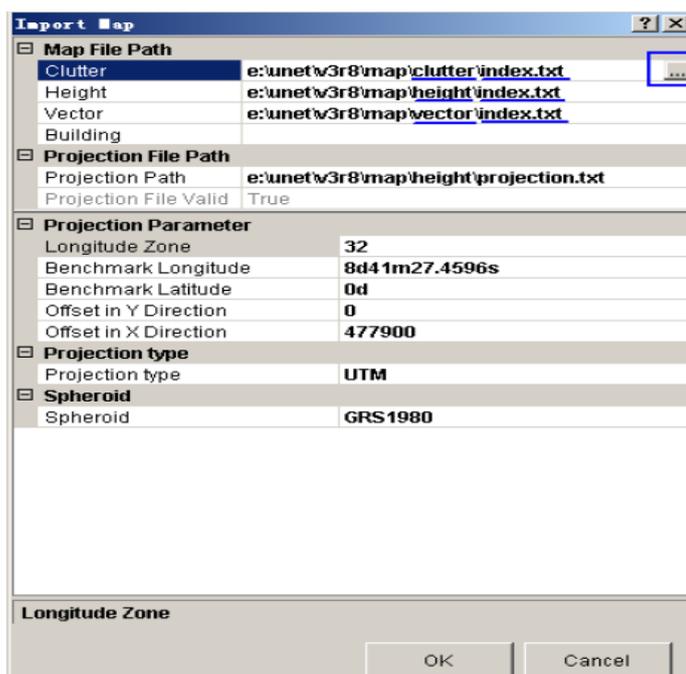


Figura 54. Configuración de parámetros geográficos.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

6. Luego de confirmar los datos geográficos del mapa a importar, click en **Ok** e inmediatamente se visualizará el mapa del clúster.

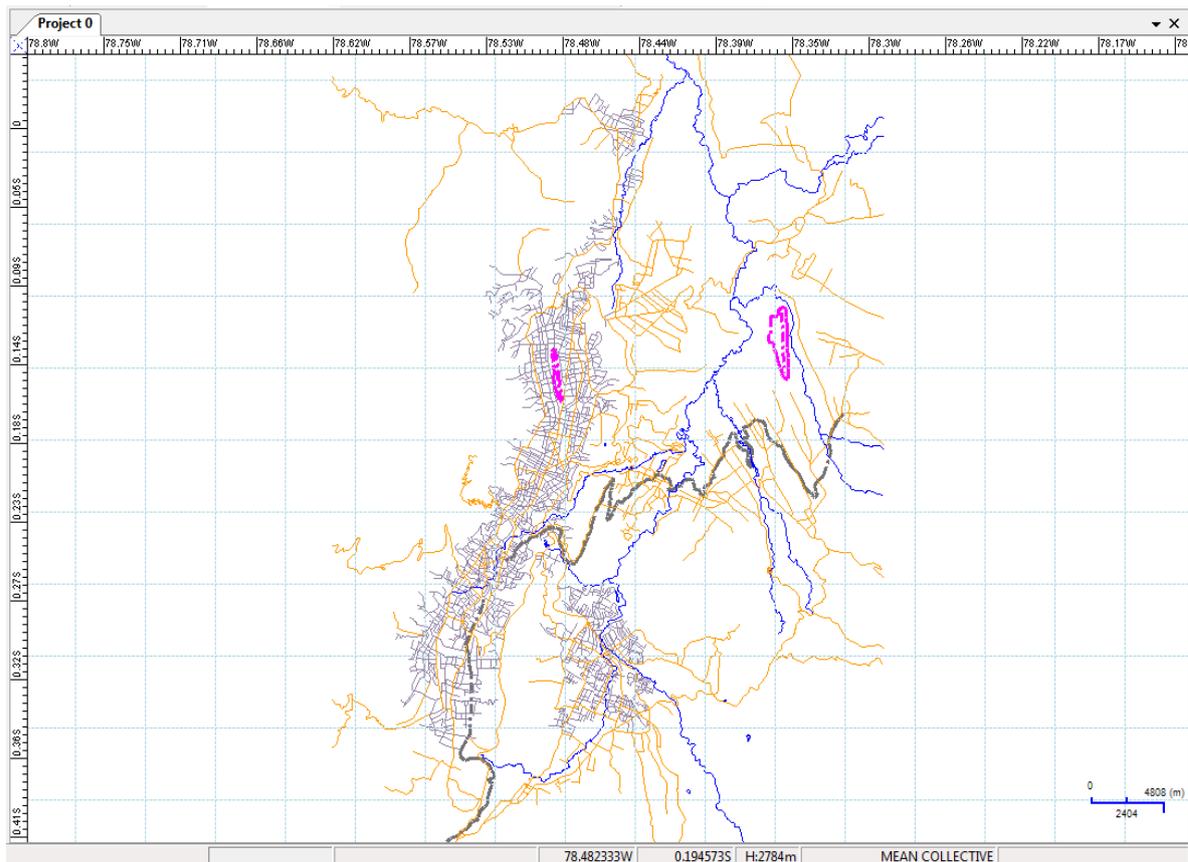


Figura 55. Importación del mapa.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

7. Para una mejor visualización, U-Net permite cargar parámetros como vector, clutter y heights, que intervienen en la importación manual y rápida de los datos geográficos.

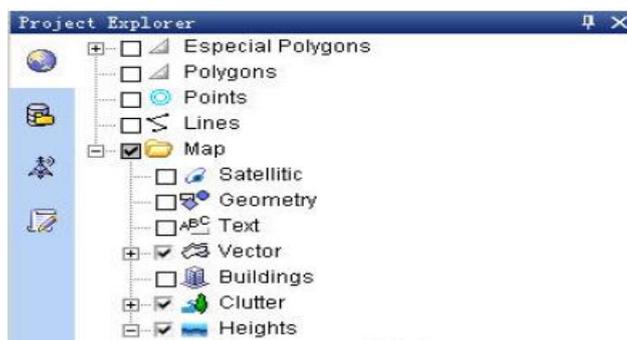


Figura 56. Importación de parámetros geográficos.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

- **Vector:** Los vectores contienen las coordenadas correspondientes a las calles, avenidas, ubicación de ríos y lagos dentro del mapa anteriormente cargado. En la figura 57 se puede observar el mapa con la señalización de las calles.

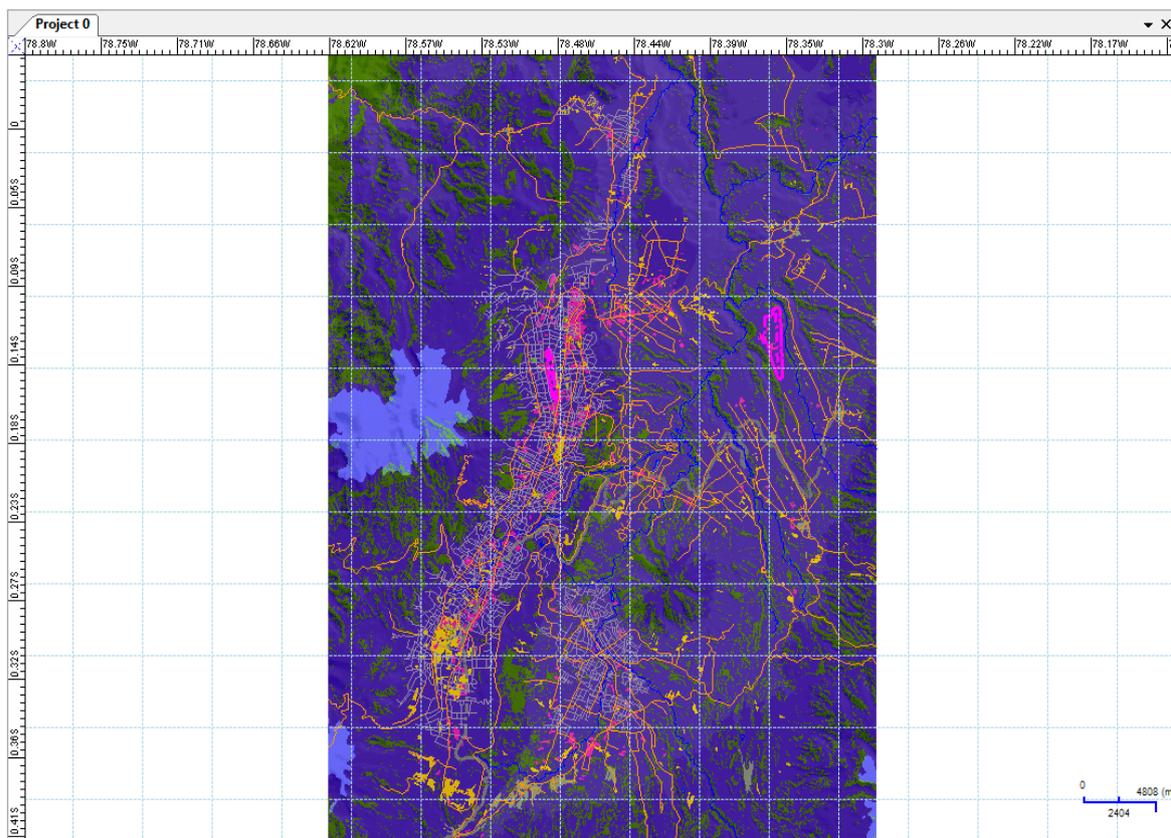


Figura 57. Importación de vectores.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

- **Hights:** Permite importar el dato de las alturas de los edificios existentes dentro del mapa que se cargó anteriormente.

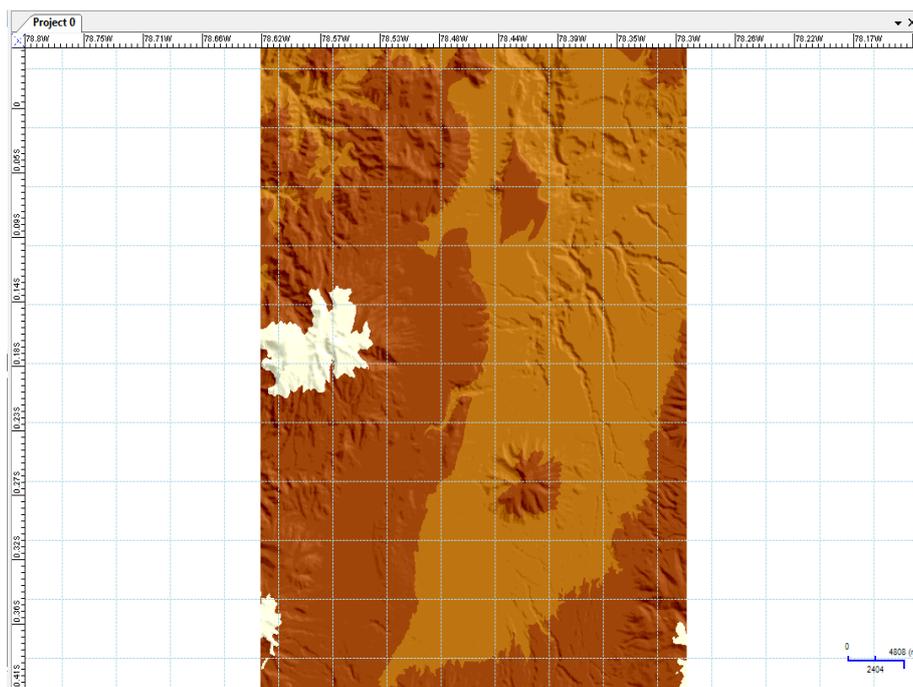


Figura 58. Importación de hights.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

- Clutter:** Se conoce como clutter a los aspectos morfológicos referentes al área de diseño, una clase de clutter describe la morfología propia del terreno del clúster 2, asignándole un nombre propio a cada tipo de terreno o relieve; para cada uno de estos aspectos morfológicos se tienen valores de pérdida de penetración, factor de multiplexación espacial, factor de desvanecimiento de sombra, ya que los parámetros del clutter tienen características naturales que afectan la propagación de radiofrecuencia. No obstante toda esta información es de mucha importancia para el diseño preliminar de la red, ya que de acuerdo a las características topográficas de la zona del clúster 2 y sabiendo ya los fenómenos que la pueden amenazar, se tomarán las medidas correctas para que la red no se vea afectada por estos elementos.

Clutter Parameters Display						
Actual Value		Default Value				
Code	Name	Clutter Height	Spatial Multiplex Factor	Penetration Loss	Model Standard Deviation	Shadow Corr
0	water	0	1	0	7	0.5
1	open	0	1	0	7	0.5
2	residential	0	1	0	7	0.5
3	meanurban	0	1	0	7	0.5
4	denseurban	0	1	0	7	0.5
5	buildings	0	1	0	7	0.5
6	village	0	1	0	7	0.5
7	industrial	0	1	0	7	0.5
8	openinurban	0	1	0	7	0.5
9	forest	0	1	0	7	0.5
10	parks	0	1	0	7	0.5
11	denseurbanhigh	0	1	0	7	0.5
12	blockbuildings	0	1	0	7	0.5
13	denseblockbuildi	0	1	0	7	0.5
14	rural	0	1	0	7	0.5
15	mixedsuburban	0	1	0	7	0.5
16	swamp	0	1	0	7	0.5

Figura 59. Parámetros de visualización del clutter.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 29 se puede observar los parámetros que contiene cada clutter, los cuales describen el impacto que tienen los elementos de radiofrecuencia con respecto al tipo de ambiente o suelo, el cual puede ser urbano, rural, residencial, ríos, bosques, parques, etc.

Tabla 29. Parámetros del clutter.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Code	Indica el código de la clase de clutter.
Name	Indica la clase del clutter.
Hight	Indica la altura promedio del clutter con relación al suelo (m).
Spatial Multiplex Factor	La multiplexación espacial es la emisión a través de múltiples antenas de flujos diferentes de señales codificadas individualmente. El valor por default es 1.
Penetration Loss	La pérdida de penetración indica el desvanecimiento de las señales de radio desde un terminal a una estación base debido a la obstrucción por un edificio. El valor por default es 0 y su unidad es dB.
Model Standard Deviation	El modelo de desviación estándar se utiliza para calcular el margen de desvanecimiento de sombra y para calcular los elementos de predicción. El rango de valores es de 4 a 10 dB, pero por default está configurado en 7dB.
Shadow Corr	Indica el factor de desvanecimiento de sombra. Su valor por default es 0.5.

4.2.3 Ajustes de parámetros NE.

Los parámetros NE se refiere básicamente a la creación de sites y tranceivers, los cuales representan el lugar en donde se ubicara cada nodo con sus respectivos parámetros. A continuación se detalla el proceso de creación con la ayuda del software U-Net.

4.2.3.1 Creación de Sitios

En esta sección se describe cómo crear y añadir propiedades a un clúster o conjunto de estaciones base, para ello se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Network**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Site** → **Import**.

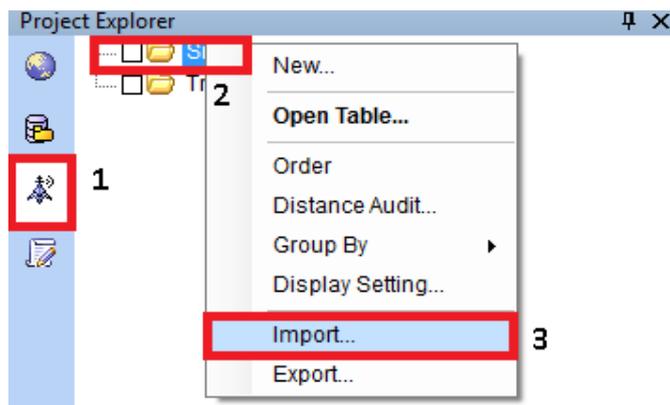


Figura 60. Parámetros de visualización del clutter.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

3. A continuación se despliega los sitios pertenecientes al clúster 2 con cada uno de sus parámetros propios los cuales son descritos en la tabla 30.

Data Import

Configuration File: Save Load

1st. Data Row: Field Separator: Update Records

Field Mapping:

Source	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
Destination	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
2	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_1	-78.53653	-0.26829
3	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_2	-78.53653	-0.26829
4	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_3	-78.53653	-0.26829
5	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_1	-78.54315	-0.25977
6	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_2	-78.54315	-0.25977
7	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_3	-78.54315	-0.25977
8	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_1	-78.56591	-0.29766
9	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_2	-78.56591	-0.29766
10	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_3	-78.56591	-0.29766
11	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL21	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_1	-78.53262	-0.26208

Figura 61. Configuración de los sitios.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 30. Parámetros para la creación de sitios.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Site Name	Indica el nombre perteneciente al sitio.
Transceiver Name	Como aún no se han creado los transceiver, muestra los sectores de cada sitio.

Longitude	Coordenada longitudinal.
Latitude	Coordenada latitudinal.
Altitude	Indica la altitud

En la figura 62 se puede observar la ubicación de los sitios creados sobre el clúster 2.

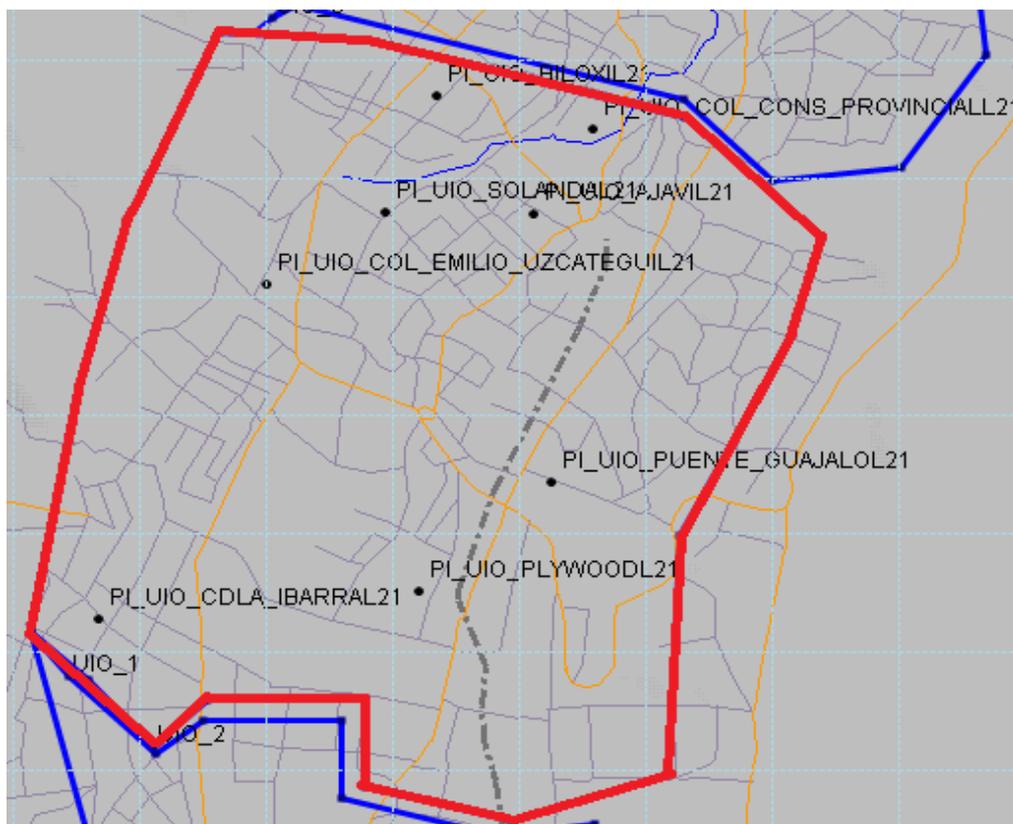


Figura 62. Ubicación de sitios en el mapa.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.3.2 Creación de Transceivers

En esta sección se describe cómo crear un transceiver, el cual contiene información acerca del *tilt*, *azimuth*, parámetros de cobertura y la altura de las estructuras que soportarán las antenas. U-Net combina el transceiver con las celdas, es así que antes de establecer una celda, debe configurar los parámetros del transceiver, debido a que cada sector necesita estar configurado en una celda.

Para la creación del transceiver se requiere primeramente la creación del sitio como ya lo hicimos anteriormente, a continuación se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Network**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Transceiver**→**Import**.

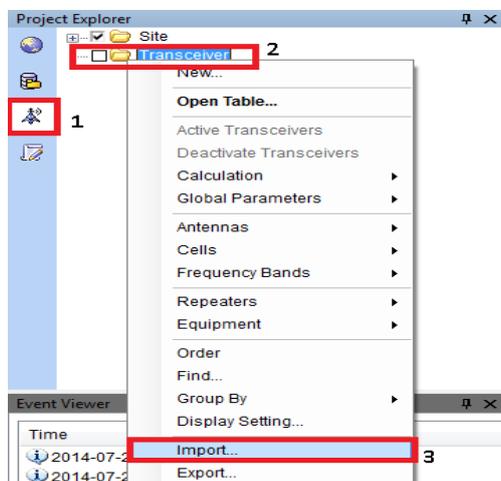


Figura 63. Importar transceivers.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 64, se puede observar la ubicación de los sites y transceivers después de ser creados. El nuevo icono correspondiente a la simbolización del transceiver simboliza el número de sectores que cubrirá cada sitio.

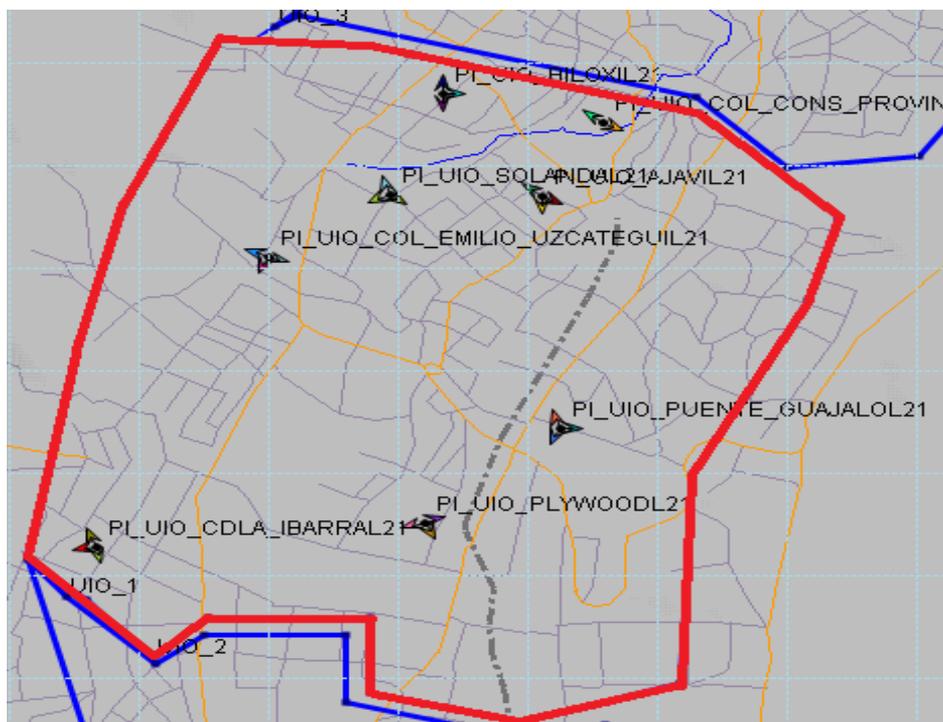


Figura 64. Ubicación transceivers
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.3.2 Ajustes de Banda de Frecuencia

Una vez que se han creado los sitios y transceivers se debe realizar los ajustes de banda frecuencia. U-Net ofrece múltiples bandas predefinidas, las cuales pueden ser modificadas en sus propiedades. En caso de que las bandas predefinidas no pueden satisfacer las necesidades del diseño, se puede definir nuevas bandas con su respectivo ancho de banda.

Para crear una nueva banda de frecuencia se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Network**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Transceiver**.
3. Click derecho y seleccionar **Frecuency Bands** → **Open Table**.

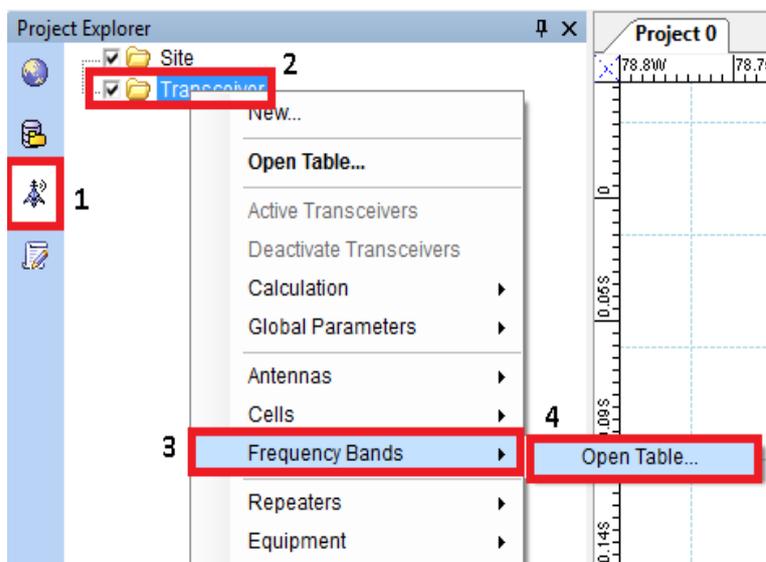


Figura 65. Configuración banda de frecuencia.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación seleccionamos la banda de frecuencia AWS FDD – 20 MHz, la cual cumple con las especificaciones y requerimientos del diseño, que fueron detallados anteriormente en la planeación de frecuencias dentro de la ingeniería de proyecto.

Band Number	Name	Bandwidth(MHz)	Actual Bandwidth(MHz)	Start Channel Index	End Channel Index	Excluded Channels	Frequency(DL)(MHz)
1	2110 FDD - 1.4 MHz	1.4	1.4	0	41		2110
2	2110 FDD - 10 MHz	10	10	0	5		2110
3	2110 FDD - 15 MHz	15	15	0	3		2110
4	2110 FDD - 20 MHz	20	20	0	2		2110
5	2110 FDD - 3 MHz	3	3	0	19		2110
6	2110 FDD - 5 MHz	5	5	0	11		2110
7	2600 FDD -20 MHz	20	20	0	0		2620
8	925 FDD - 1.4 MHz	1.4	1.4	0	24		925
9	925 FDD - 10 MHz	10	10	0	2		925
10	925 FDD - 3 MHz	3	3	0	10		925
11	925 FDD - 5 MHz	5	5	0	6		925
12	AWS - 20 MHz	20	20	0	0		2120

Figura 66. Selección banda AWS FDD – 20MHz.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.3.3 Creación de celdas

En esta sección se describe cómo configurar los parámetros de celda LTE-FDD inmediatamente después de que los transceivers se haya configurado, U-Net asigna de forma automática una celda al transceptor y después de ajustar los parámetros del transceiver, se puede establecer los parámetros de celda.

Los pasos para la configuración de las celdas son los siguientes:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Network**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Transceiver** → **Cells** → **Import**.

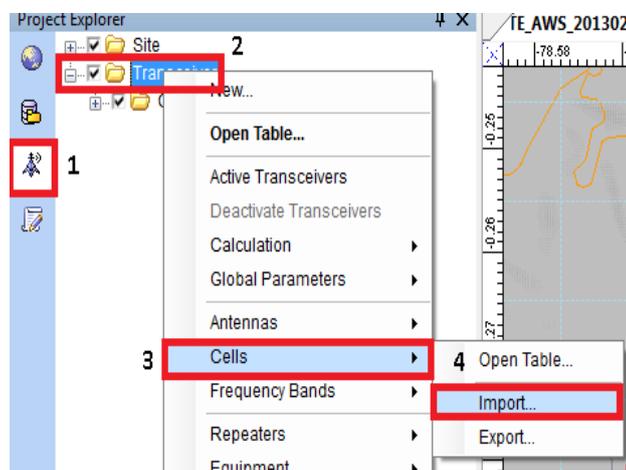


Figura 67. Importar celdas.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

3. A continuación en la figura 68 se muestran las celdas que se asociarán a cada sector.

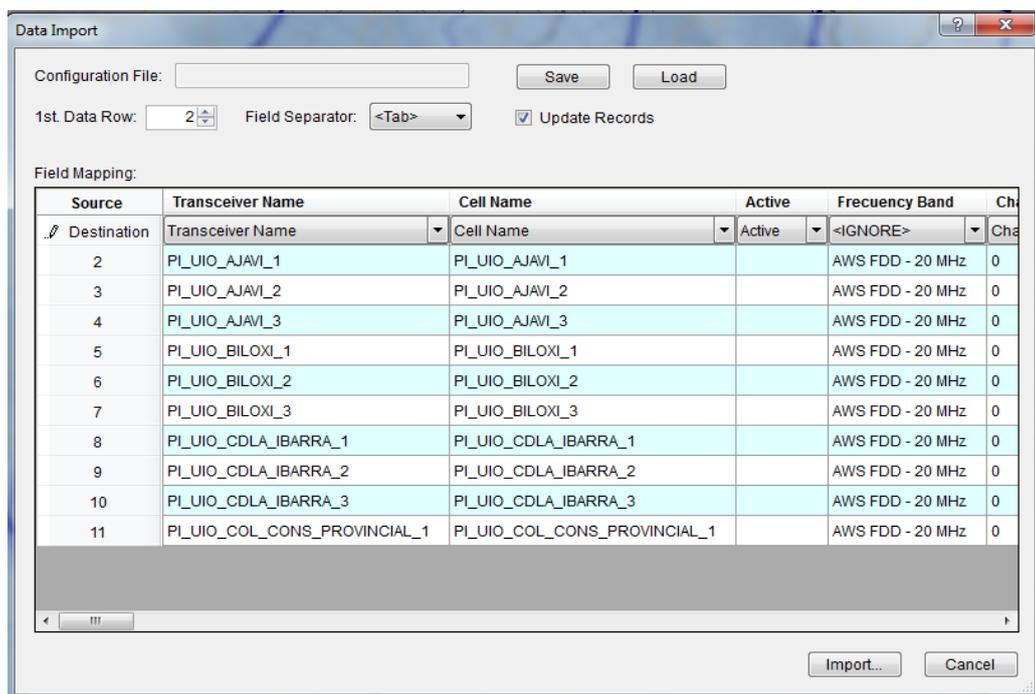


Figura 68. Parámetros de las celdas.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.4 Gestión de modelos de propagación y bandas de frecuencia

U-Net permite calcular la pérdida del trayecto entre un transmisor y un receptor basado en un modelo de propagación. Anteriormente en el capítulo 3 se detalló la explicación del por qué se eligió al modelo de propagación estándar SPM como modelo de propagación para el presente diseño.

4.2.4.1 Configuración del modelo de propagación SPM

U-Net permite modificar directamente las propiedades del modelo de propagación, para ello seguimos los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Propagation Models** → **SPM Suburban**.

3. Una vez seleccionado el modelo, click derecho en **Properties**.

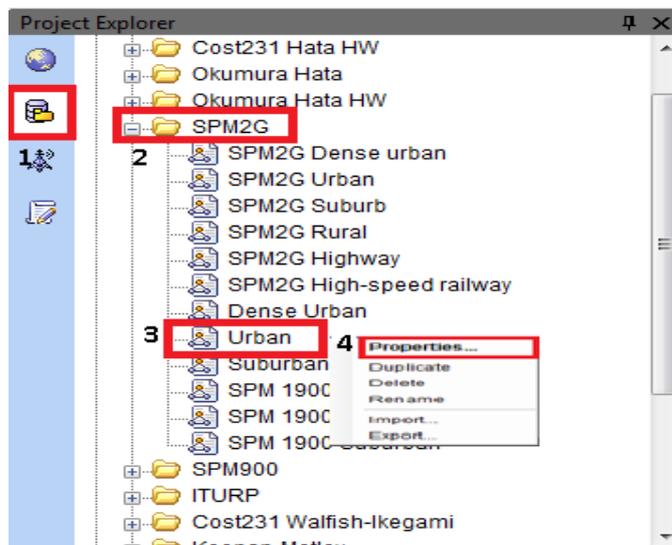


Figura 69. Configuración modelo de propagación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4. A continuación se despliegan los parámetros referentes al modelo de propagación seleccionado, en este caso el SPM 1900 Urban.

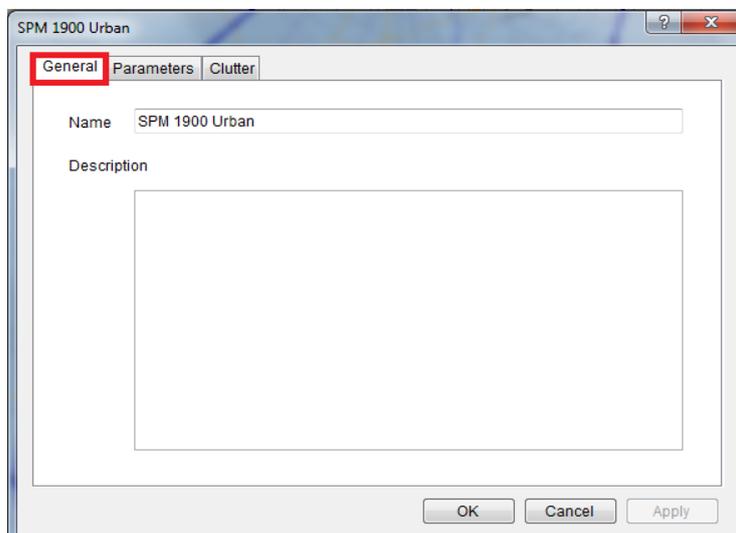


Figura 70. Configuración modelo de propagación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 70 se puede observar los parámetros de la pestaña General, en los que es posible modificar el nombre y la descripción del modelo de propagación que se está utilizando.

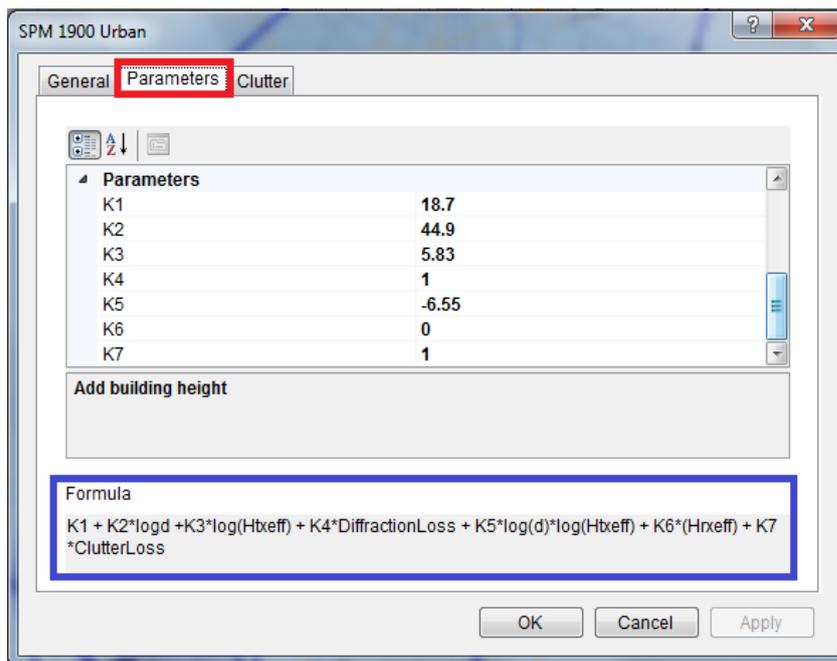


Figura 71. Configuración modelo de propagación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 71 se tiene la pestaña **Parameters**, en la cual se establece la fórmula correspondiente al modelo de propagación seleccionado con sus respectivos parámetros K.

4.2.5 Añadir dispositivos de red.

U-Net permite la opción de importar equipos como antenas, posibilitando la opción de establecer manualmente el valor de cada parámetro en el archivo de antena.

Los pasos para importar y configurar una antena son los siguientes:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación seleccionar **Antennas**.
3. Click derecho y seleccionar la opción **New**.



Figura 72. Importación de antena.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación dentro de la pestaña **General**, se procede a llenar los parámetros básicos configurados en la antena como la información propia otorgada por el fabricante.

Para consideraciones del presente diseño se ha utilizado la antena Huawei Agisson A19451811, debido a que es un tipo de antena que funciona en diferentes bandas de frecuencia tanto para 3G y LTE, de manera que son las mismas antenas que se encuentran instaladas en el sistema radiante perteneciente a las estaciones base bajo tecnología 3G-UMTS/HSPA+, para mayor información consultar en anexo A.

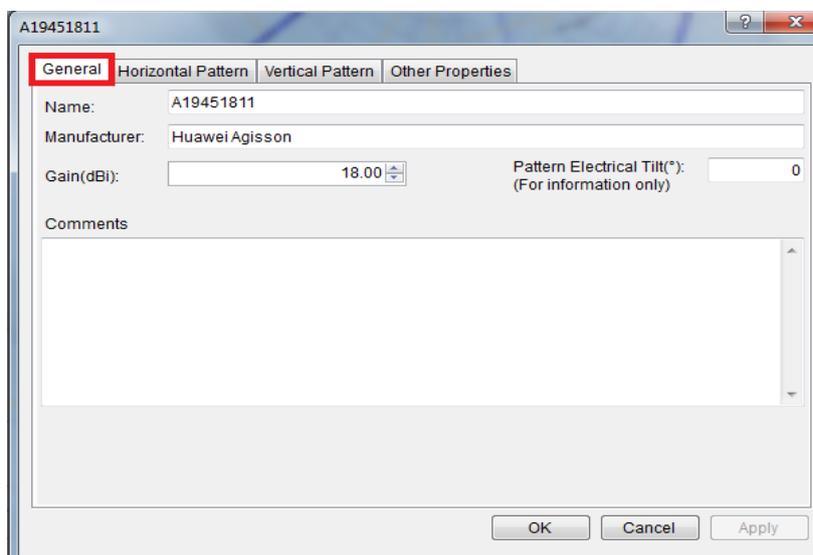


Figura 73. Configuración general de antena.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

En la tabla 31 se puede observar la descripción de cada parámetro de configuración general de la antena.

Tabla 31. Parámetros de configuración general de antena.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Name	Se refiere al nombre de la antena que se elegirá, en este caso es: A19451811
Manufacture	Indica el fabricante de la antena: Huawei Agisson.
Gain	Indica la ganancia de la antena [dBi], el valor para este modelo es 18 dBi.
Pattern Electrical Tilt	Indica la inclinación mecánica (tilt) de la antena.

5. A continuación se tienen la pestaña **Horizontal Pattern** que permite importar los datos de la antena seleccionada en 3D de acuerdo a la información del datasheet, permitiendo una mejor visualización del lóbulo horizontal. El ancho del haz en 3dB según el datasheet de la antena Agisson Huawei A19451811 es de 61°.

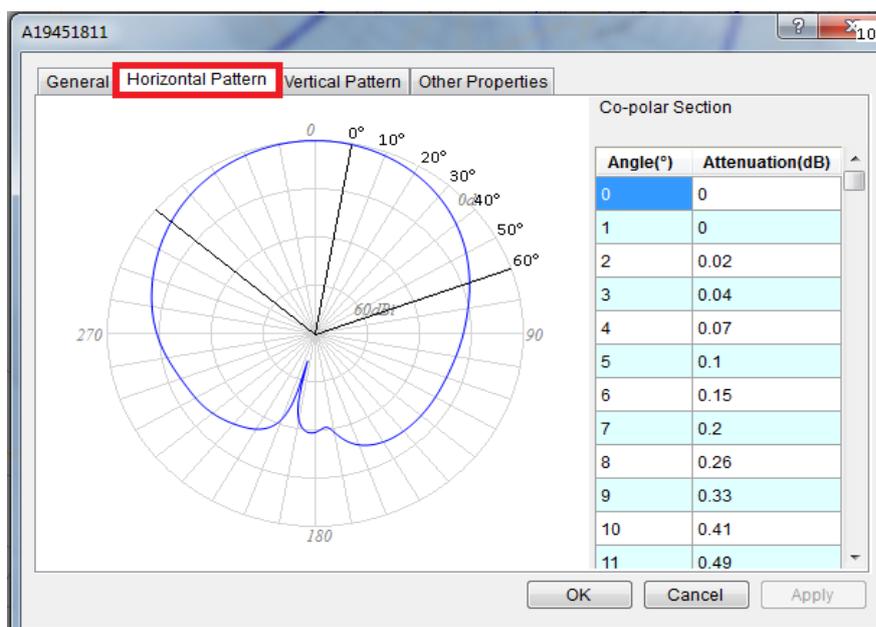


Figura 74. Configuración lóbulo horizontal
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

6. A continuación se tienen la pestaña **Vertical Pattern** que permite importar los datos de la antena seleccionada en 3D de acuerdo a la información del fabricante, permitiendo una mejor visualización del lóbulo vertical. El ancho del haz en 3dB según el datasheet de la antena Agisson Huawei A19451811 es de 6.7°.

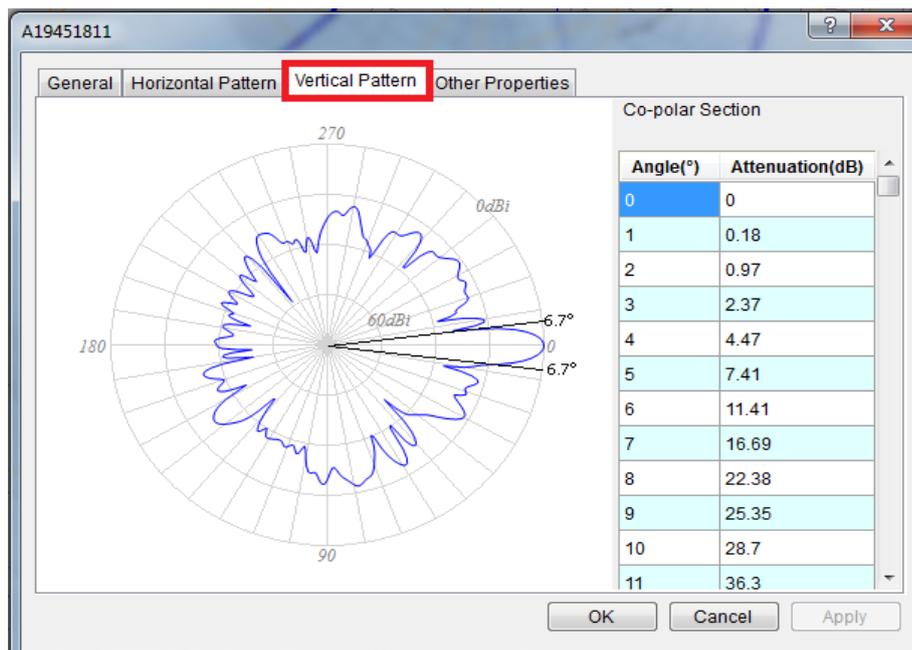


Figura 75. Configuración lóbulo horizontal
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 32 se describen los parámetros que se configuran en el lóbulo horizontal/vertical.

Tabla 32. Configuración lóbulo horizontal/vertical.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Horizontal Pattern	Indica el patrón de radiación horizontal
Angle	Indica el ángulo de la antena. Rango de valores: 0° a 359°.
Attenuation (dB)	Indica el valor de la atenuación del ángulo horizontal/vertical de transmisión, la unidad es dB, para 3dB el ancho del haz horizontal es: 61° y el haz vertical de: 6.7°.

- Finalmente se configura la opción **Other Properties**, en el cual se definen tres parámetros para los datos de la antena: ancho del haz, frecuencia máxima y frecuencia mínima como se muestra en la figura 76.

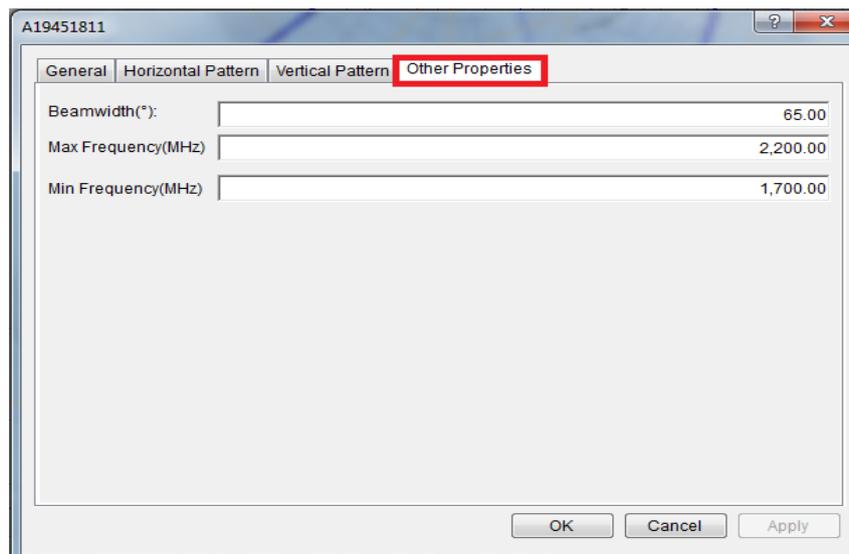


Figura 76. Configuración antena.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

En la tabla 33 se describen los parámetros que se configuran como propiedades adicionales.

Tabla 33. Configuración lóbulo Other Properties.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Beamwidth	Indica la anchura del haz de la antena. El rango de valores es de 0° a 360° y su unidad es en grados, el valor aproximado se lo ubica de acuerdo al ángulo de haz horizontal, para el presente caso 65°.
Max Frecuency	Indica la frecuencia máxima de la antena. El rango que se ubica es de acuerdo a la frecuencia downlink, en este caso: 2200 MHz.
Min Frecuency	Indica la frecuencia mínima de una antena. El rango que se ubica es de acuerdo a la frecuencia uplink, en este caso: 1700 MHz. El valor de frecuencia mínima debe ser menor que o igual al valor de la frecuencia máxima.

4.2.6 Ajustes de parámetros de tráfico.

Los parámetros de tráfico se refieren a los elementos relacionados con el tipo de usuario, la modulación a emplear, la movilidad de terminal, de servicio, el medio ambiente y los dispositivos de recepción. Son los datos básicos correspondientes a la distribución de usuarios. U-Net tiene la capacidad de obtener el promedio de carga de la red basado en el cálculo de simulación de la distribución detallada de usuario.

4.2.6.1 Configuración del tipo de Modulación y Codificación MCS

En esta sección se describe cómo configurar el tipo de modulación y codificación (MCS⁶¹) a utilizar. U-Net permite la opción de utilizar un tipo de modulación existente en el software.

Los posibles esquemas de modulación para el enlace descendente son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM, y para el uplink: QPSK y 16-QAM, y 64-QAM dependiendo de la capacidad del terminal móvil, vale la pena recalcar que en LTE son considerados estos 3 tipos de modulación, seleccionando de forma aleatoria el modelo más adecuado.

A continuación se describen los pasos que se debe seguir para realizar los ajustes de modulación y codificación:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **Services** → **LTE-FDD**.

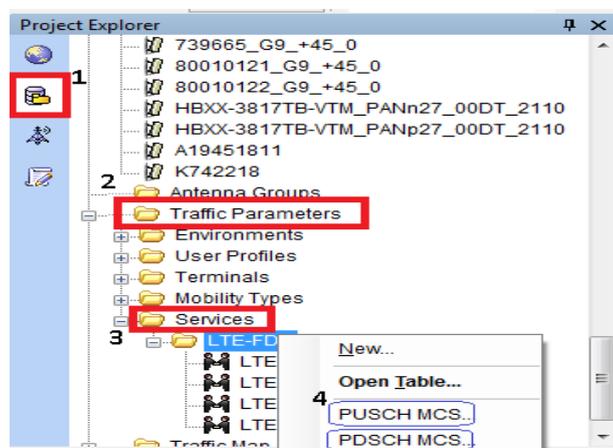


Figura 77. Configuración de parámetros de tráfico.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. Click derecho y seleccionar **PUSCH⁶² MCS** y **PDSCH⁶³ MCS** para mostrar las tablas MCS tanto para uplink como downlink como se observa en la figura 78 y 79 respectivamente.

⁶¹ **MCS**: Modulation and coding scheme, es un índice de (0... 31), se utiliza por la estación base para indicar al terminal el esquema de modulación y de codificación a utilizar para recibir o transmitir un cierto bloque de transporte. Cada índice MCS es sinónimo de un cierto orden y el transporte de modulación de índice del tamaño del bloque.

JT_LTE_AWS_20130225_SPM_UNET.i		CN...:Uplink LTE-FDD MCS Table			
Index	Highest modulation	Modulation	Coding Rate	Bearer	
4	QPSK	2	0.2	0.4	
5	QPSK	2	0.245	0.49	
6	QPSK	2	0.305	0.61	
7	QPSK	2	0.36	0.72	
8	QPSK	2	0.425	0.85	
9	QPSK	2	0.485	0.97	
10	QPSK	2	0.545	1.09	
11	QPSK	2	0.61	1.22	
12	16QAM	4	0.305	1.22	
13	16QAM	4	0.35	1.4	
14	16QAM	4	0.395	1.58	
15	16QAM	4	0.445	1.78	
16	16QAM	4	0.4975	1.99	
17	16QAM	4	0.5325	2.13	
18	16QAM	4	0.565	2.26	
19	16QAM	4	0.6275	2.51	
20	16QAM	4	0.6875	2.75	
21	16QAM	4	0.7475	2.99	
22	64QAM	6	0.4983333	2.99	
23	64QAM	6	0.5383334	3.23	
24	64QAM	6	0.5816666	3.49	
25	64QAM	6	0.6233333	3.74	
26	64QAM	6	0.6633334	3.98	

Figura 78. Configuración PUSCH MCS.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

JT_LTE_AWS_20130225_SPM_UNET.i		CNT...:Uplink LTE-FDD MCS Table		...:Downlink LTE-FDD MCS Table	
Index	Highest modulation	Modulation	Coding Rate	Bearer	
1	QPSK	2	0.115	0.23	
2	QPSK	2	0.155	0.31	
3	QPSK	2	0.19	0.38	
4	QPSK	2	0.245	0.49	
5	QPSK	2	0.3	0.6	
6	QPSK	2	0.37	0.74	
7	QPSK	2	0.44	0.88	
8	QPSK	2	0.515	1.03	
9	QPSK	2	0.59	1.18	
10	QPSK	2	0.665	1.33	
11	16QAM	4	0.3325	1.33	
12	16QAM	4	0.37	1.48	
13	16QAM	4	0.425	1.7	
14	16QAM	4	0.4775	1.91	
15	16QAM	4	0.54	2.16	
16	16QAM	4	0.6025	2.41	
17	16QAM	4	0.6425	2.57	
18	64QAM	6	0.4283333	2.57	
19	64QAM	6	0.455	2.73	
20	64QAM	6	0.505	3.03	
21	64QAM	6	0.5533333	3.32	
22	64QAM	6	0.6016667	3.61	
23	64QAM	6	0.65	3.9	
24	64QAM	6	0.7016667	4.21	
25	64QAM	6	0.7533333	4.52	
26	64QAM	6	0.8033333	4.82	

Figura 79. Configuración PDSCH MCS.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

⁶² **PUSCH:** Physical Uplink Shared Channel, el canal físico compartido para uplink lleva los datos del canal de enlace ascendente compartido y la información de control. La cadena de procesamiento para la PUSCH incluye codificación, asignación de modulación, la pre-codificación, elemento de mapeo de recursos y la técnica de acceso al medio SC-FDMA.

⁶³ **PDSCH:** Physical Downlink Shared Channel, se encarga de transportar los datos del canal de enlace descendente compartido e información de control.

En función del Index, el eNodeB decide el MCS que debe utilizar con el fin de poder decodificar la información del canal descendente con la calidad requerida. El UE en estado conectado, envía al eNodeB el valor del Index por el canal de control ascendente PUSCH, según el Index recibido el eNodeB selecciona la modulación y la tasa de código que utilizará para sus transmisiones y enseguida lo notifica al UE por el canal de control descendente PDSCH.



Figura 80. Proceso de selección de Index

Fuente: Editado por Diana Alvarez basado en proceso de selección de Index para tipo de modulación

En la tabla 34 se describen los parámetros MCS.

Tabla 34. Configuración de parámetros MCS.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Index	Indica el índice de un MCS
Highest Modulation	Indica el esquema de modulación, LTE configura los siguientes esquemas y los selecciona de forma dinámica según las capacidades del UE. <ul style="list-style-type: none"> - QPSK - 16QAM - 64QAM
Modulation Order	Indica el exponente de modulación: <ul style="list-style-type: none"> - QPSK: 2 - 16QAM: 4 - 64QAM: 6
Codig Rate	Indica la velocidad de codificación. El rango de valores es de 0 a 2.
Bearer Efficiency (bits/RE)	Indica la eficiencia de la portadora. Eficiencia de la portadora= Velocidad de codificación * Exponente de modulación.

4.2.6.2 Configuración del tipo de servicio LTE-FDD

U-Net permite la configuración de servicios de voz y datos, adicional a esto se puede modificar los parámetros de los tipos de servicios existentes.

Para una red LTE-FDD, U-Net ofrece cuatro tipos de servicios por defecto: LTE FTP, LTE Video Conferencing, LTE VoIP y LTE Web Browsing, pero para el caso del presente diseño se analizará el servicio LTE FTP.

El procedimiento para la configuración de servicios en LTE es el siguiente:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **Services** → **LTE-FDD** → **LTE FTP**.

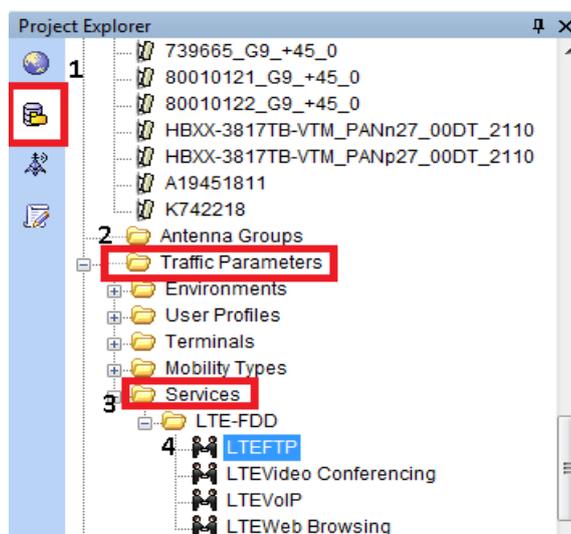


Figura 81. Configuración de Servicios.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. A continuación se despliega la ventana con los parámetros generales del servicio a configurar.

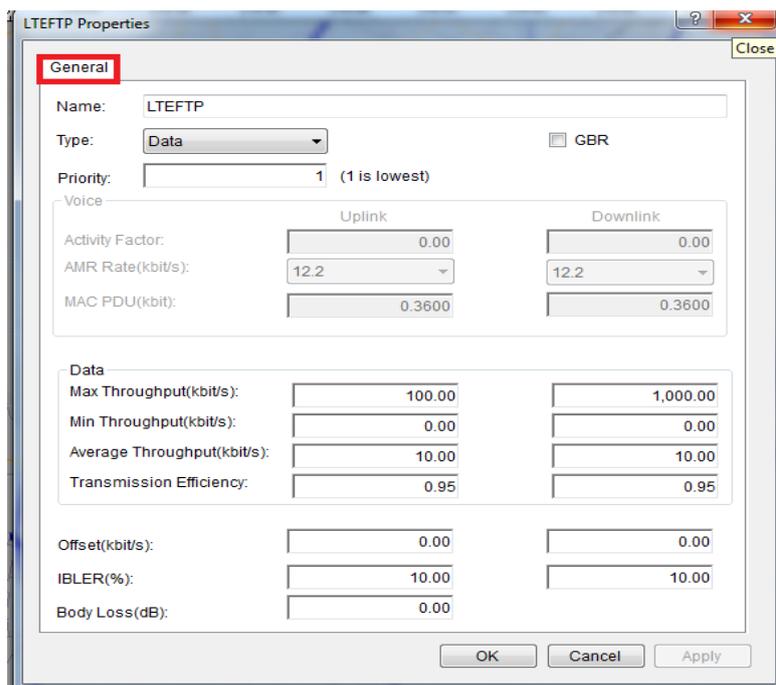


Figura 82. Configuración de parámetros de servicio FTP.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Al seleccionar el tipo de servicio LTEFTP se tiene que es un servicio de datos, cuya prioridad se ha seleccionado 1 como la más baja, debido a que los servicios como voz y video conferencia serán los que tengan mayor prioridad, de igual manera se ha configurado un rendimiento máximo tanto para uplink como downlink de 100 a 1000 Kbits/s, manteniendo un promedio de 10 Kbits/s que viene a ser el valor en el que se puede asegurar la correcta prestación del servicio. Como se puede ver en la figura 82, al ser un servicio de datos, los parámetros pertenecientes exclusivamente a servicios de voz se encuentran deshabilitados.

En la tabla 35 se detalla cada uno de los parámetros configurados referentes al servicio LTE FTP.

Tabla 35. Descripción de los parámetros de servicio.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Name	Nombre del tipo de servicio, en este caso FTP.
Type	Indica el tipo de servicio, ya sea de voz o datos.
GBR	Indica la velocidad de bits mínima garantizada tanto para UL como DL, es un parámetro que sólo se configura en servicios de voz.

Priority	Indica la prioridad del servicio actual, es utilizado para ajustar la prioridad del servicio de los abonados durante la simulación de capacidad. 1 indica la prioridad más baja.
Activity Factor	Indica el factor de activación de enlace UL y DL, este parámetro es necesario sólo para los servicios de voz. Tanto para el enlace UL y DL, el factor de activación tiene un rango de valores de 0 a 1.
AMR Rate(kbit/s)	Indica la velocidad de los servicios de voz, el rango de valores va de: 4.75, 5.15, 5.9, 6.7, 7.4, 7.95, 10.2, a 12.2.
Max Throughput (kbit/s)	Indica el máximo rendimiento de enlace ascendente o descendente por servicio
Min Throughput (kbit/s)	Indica el mínimo rendimiento de enlace ascendente o descendente por servicio
Average Throughput (kbit/s)	Indica el rendimiento medio solicitado por el servicio, tanto para UL como DL.
Transmission Efficiency	Indica la velocidad de transmisión de enlace ascendente / enlace descendente. Tasa de transmisión de UL y DL tiene un rango de valores de 0,01 a 1, para este caso se ha configurado con una eficiencia de 0.95.
Offset(kbit/s)	Este parámetro se utiliza para calcular el rendimiento de la capa de aplicación. Indica la sobrecarga de enlace ascendente / enlace descendente fija, que es la longitud añadida a un paquete encapsulado durante la transmisión en la capa MAC o RLC. Tanto para UL como DL, la sobrecarga de enlace ascendente fijo tiene un rango de 0 a 232, siendo 0 un valor óptimo.
IBLER (%)	Tasa de error de bloque, indica la cantidad de bloques de datos erróneos recibidos durante la transmisión, para este caso se ha considerado que en el peor de los casos se reciba el 10%. El rango de valores varía de 0 a 100.
Body Loss(dB)	Indica la pérdida de cuerpo, que es generalmente de 3 dB para los servicios de voz y no se considera para los servicios de datos, por lo tanto es 0.

4.2.6.3 Configuración del tipo de terminales

Para configurar el tipo de terminal se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **Terminals** → **Properties**.

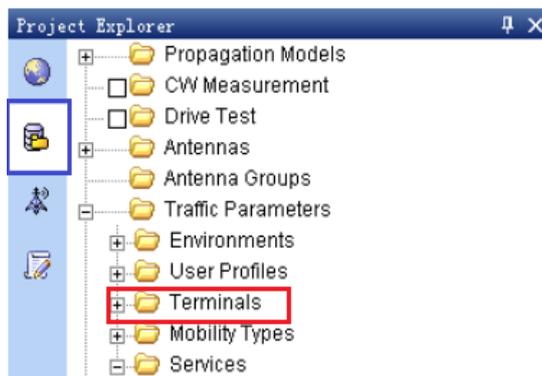


Figura 83. Configuración de terminales.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

3. Se procede a configurar los parámetros según el tipo de terminal con sus características.

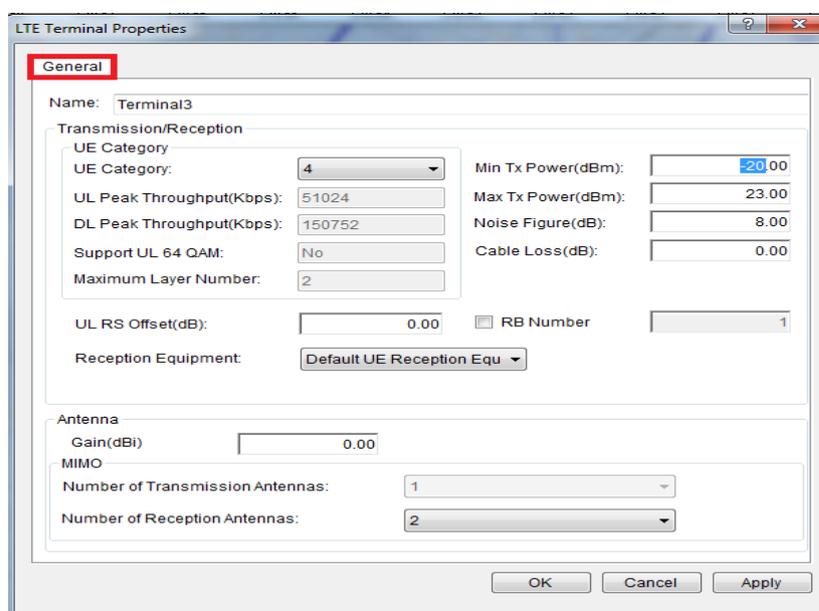


Figura 84. Configuración de terminales.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Dentro de las configuraciones del tipo de terminales móviles para la red LTE se configuró como parámetro principal la categoría del equipo de usuario, ya que como se mencionó anteriormente dependiendo de la categoría que se utilice se tiene diferentes capacidades de transmisión tanto en uplink como en downlink, de esta manera se seleccionó la categoría 4 que presenta 150 Mbps para downlink y 50 Mbps para downlink, con el fin de explotar al máximo la capacidad de los smartphones de los usuarios.

A más de configurar la categoría de los equipos de usuario, se ha configurado la mínima potencia de transmisión del equipo móvil, en este caso considerando que es un

equipo categoría 4 se asignó que trabaje con -20dBm como mínima potencia de transmisión y 23 dBm como máxima, con un margen de ruido de 8 dB.

Al tratarse de un smartphone de categoría 4, se utilizará un arreglo de antenas MIMO 1x2, es decir 1 antena para transmitir que viene a ser la antena propia del equipo móvil, y 2 antenas receptoras que en este caso se refiere a las antenas pertenecientes a los sectores del eNodeB. En la tabla 36 se muestra la descripción de cada uno de los parámetros de tipo de terminal.

Tabla 36. Parámetros para la configuración de los tipos de terminal.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Indica el nombre del tipo de terminal.
UE Category	Indica la categoría de un terminal. Los terminales se clasifican en cinco categorías que van de 1 a 5, para este caso se ha configurado en categoría 4 el cual soporta 50Mbps en uplink y 150Mbps en downlink.
UL Peak Throughput(Kbps)	Indica el rendimiento de pico en la dirección de enlace ascendente aproximadamente de: 51Mbps.
DL Peak Throughput(Kbps)	Indica el rendimiento de pico en la dirección de enlace descendente, aproximadamente de: 150Mbps.
Support UL 64 QAM	Indica que la modulación 64 QAM no se utiliza en el enlace uplink, ya que ofrece tasas altas, pero requiere un canal radio con elevada SINR (Signal to Interference and Noise Ratio).
Maximum Layer Number	Indica el número máximo de capas.
Min Tx Power(dBm)	Indica la potencia de transmisión mínima de un terminal móvil, en este caso es de -20 dBm.
Max Tx Power(dBm)	Indica la potencia de transmisión máxima de un terminal, en este caso es de 23 dBm.
Noise Figure(dB)	Indica el factor de ruido de un terminal : 8dB
Cable Loss(dB)	Indica la pérdida que se genera por cable feeder: 0dB.
UL RS Offset(dB)	Indica la señal de referencia (RS) de desplazamiento en la dirección de enlace ascendente.
RB Number	Indica el número de bloques de recursos (RBS).
Reception Equipment	Indica el tipo de receptor por defecto para un terminal.
Gain(dBi)	Indica la ganancia de la antena: 0dB.
Number of Transmission Antenna Ports	Indica el número de antenas en el transmisor para un terminal.
Number of Reception Antenna Ports	Indica el número de antenas en el receptor para un terminal.

4.2.6.4 Configuración de tipos de entorno

En esta sección se describe cómo configurar los tipos de entorno, U-Net permite modificar los parámetros de tipos de entornos existentes, como usuario, el tipo de movilidad, y la densidad de usuarios.

Para configurar el tipo de entorno se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **Environments** → **Urban**.

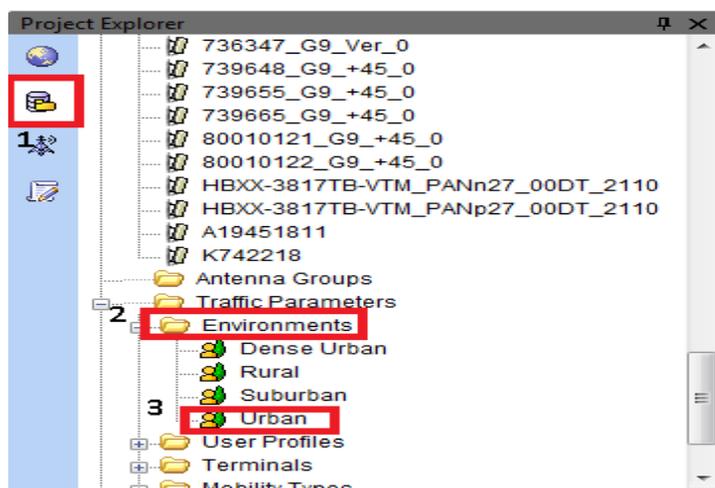


Figura 85. Configuración entorno tipo urbano.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

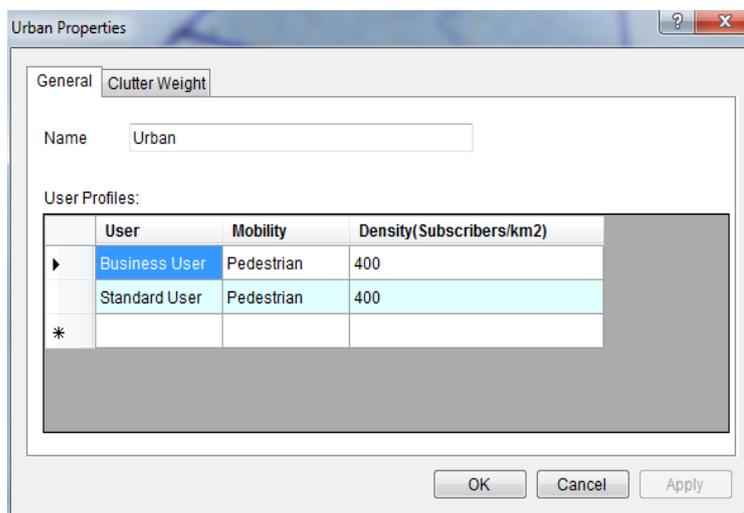


Figura 86. Configuración del tipo de usuario.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Al seleccionar un entorno tipo urbano, se tiene dos tipos de usuarios tipo estándar y de negocios, ambos considerados con movilidad pedestre y aproximadamente 400 usuarios suscritos por Km2.

En la tabla 37 y 38 se describen las características del entorno urbano.

Tabla 37. Configuración en la pestaña general.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Indica el nombre del tipo de ambiente, en este caso urbano.
User	Indica el tipo de usuario: estándar y usuario de negocios.
Mobility	Indica el tipo de movilidad en Km/h, en este caso pedestre
Density (Suscribers/Km2)	Indica la densidad de usuarios (número de usuarios en cada kilómetro cuadrado), aproximadamente 400 usuarios.

4.2.6.5 Configuración del perfil de usuarios

Para configurar el tipo de perfil de usuarios se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **User Profiles** → **Properties**.



Figura 87. Configuración de perfil de usuario.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. A continuación se muestra la configuración referente a las propiedades del perfil de usuario.

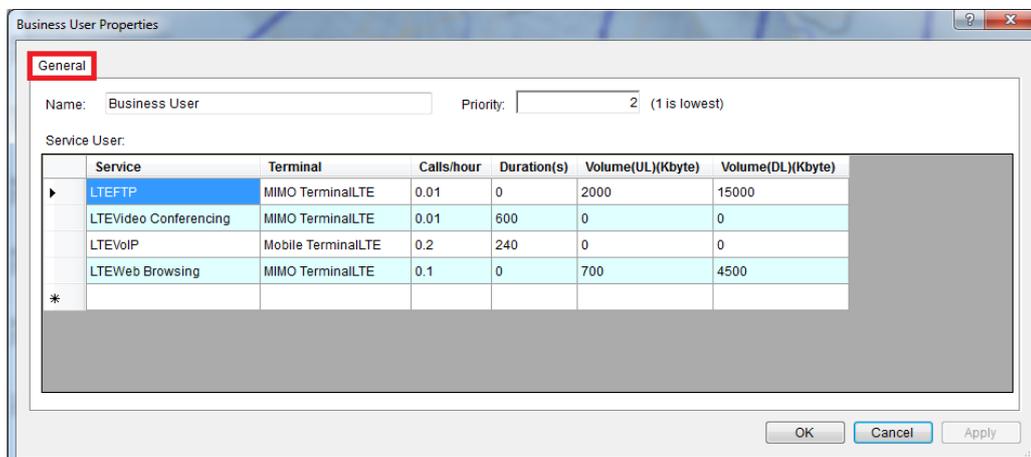


Figura 88. Parámetros del perfil de usuario.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 88 se ha configurado un usuario con un perfil de negocios, al ser un usuario con mayores requerimientos y exigencias se le ha asignado una prioridad un poco más alta 2, y se han configurado los 4 servicios por defecto que vienen en U-Net para LTE, según la prioridad asignada, la densidad de tráfico de cada servicio contiene las solicitudes de servicio por hora, duración de llamadas y volumen de datos de enlace ascendente y descendente para los servicios de datos. Cada perfil de usuario varía según el tipo de operadora, en este caso han sido considerados para CNT EP.

En la tabla 38 se describen los parámetros configurados en el perfil de usuario.

Tabla 38. Parámetros para la configuración del perfil de usuario.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Indica el nombre del perfil de usuario: Business User o Standard User.
Service	Indica el tipo de servicio, en este caso los servicios que se han configurado.
Terminal	Indica el tipo de terminal a utilizar, terminal MIMO o Mobile.
Calls/hour	Indica el número de llamadas por hora.
Duration	Indica la duración de las llamadas en segundos.
UL Volume (Kbytes)	Indica el volumen de datos de enlace ascendente.
DL Volume (Kbytes)	Indica el volumen de datos de enlace descendente.

4.2.6.6 Configuración de tipos de movilidad.

En esta sección se describe cómo configurar los tipos de movilidad de los terminales, U-Net proporciona seis tipos de movilidad por defecto: 30 km/h, 50 km/h, 60 km/h, 90 km/h, para usuarios fijos, y peatones.

Para el presente diseño se ha seleccionado una movilidad de 30Km/h debido a que previamente se seleccionó un tipo de entorno urbano y los usuario son de tipo pedestre, es decir se ha considerado que máximo transiten a una velocidad de 30Km/h dentro de la zona del clúster 2.

Obviamente se puede seleccionar otros tipos de movilidad mayores, pero éstos serían óptimos en tipos de entornos diferentes como un denso-urbano en los cuales los usuarios se encuentren en constante movimiento y a mayores velocidades, para ello sería necesario también cambiar la configuración del perfil de usuario.

Para la configuración de los tipos de movilidad se siguen los siguientes pasos:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Data**.
2. En el elemento de navegación, seleccionar **Traffic Parameters** → **Mobility Types** → **Properties**.

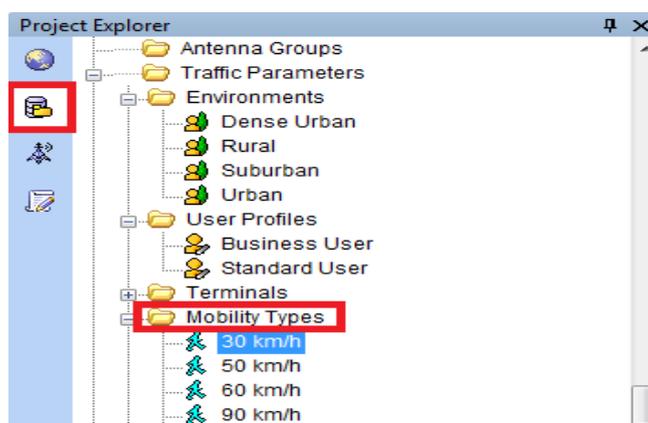


Figura 89. Configuración de tipos de movilidad.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. A continuación se despliega el cuadro de diálogo con los parámetros a configurar.

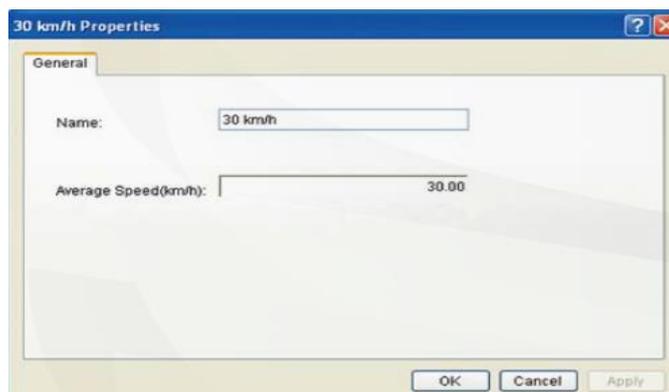


Figura 90. Parámetros del tipo de movilidad seleccionado.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la tabla 39 se describen las características de los parámetros configurados.

Tabla 39. Parámetros para la Configuración de los tipos de movilidad.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Indica el nombre del tipo de movilidad.
Average Speed (km/h)	Indica la velocidad de la movilidad del usuario.

4.2.7 Cálculo de pérdida de trayectoria.

La pérdida de trayectoria se refiere a la pérdida de fuerza de las señales transmitidas desde un transmisor extremo hacia un receptor final, es importante el cálculo de la pérdida de trayectoria, ya que es un requisito necesario para la simulación. U-Net calcula automáticamente la pérdida de trayectoria y genera un archivo de pérdida para cada celda.

Los pre-requisitos para realizar el cálculo de pérdidas son:

- Las estaciones base (sitios y celdas) están disponibles.
- Modelos de propagación ya deben estar asignados a las celdas.

Al calcular la pérdida de trayectoria por primera vez, es decir, si no hay ningún archivo de matriz de pérdida de trayectoria disponible, U-Net calcula la matriz de pérdida de trayecto de cada celda. Después, comprueba la validez de los resultados de cálculo y los actualiza

A continuación se describen los pasos para realizar este procedimiento:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Network**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Transceiver**→ **Calculation**→ **Calculate Path Loss Matrices**.

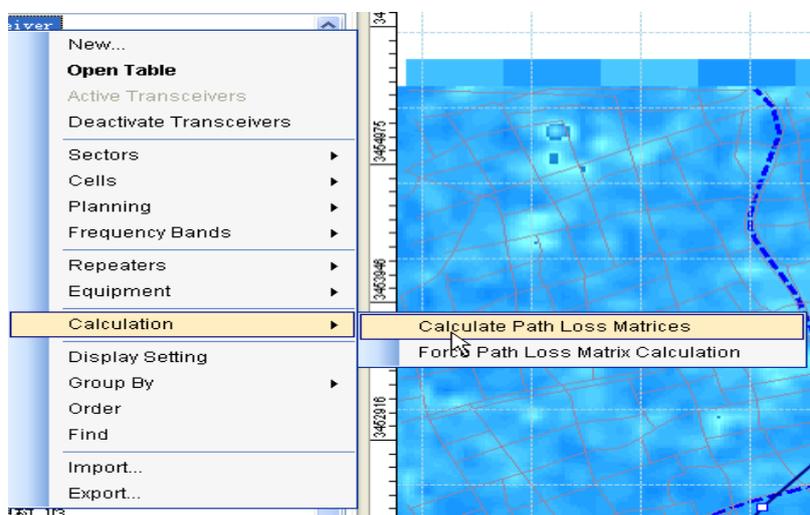


Figura 91. . Cálculo de Path Loss.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. Una vez que se ha realizado el cálculo, los resultados permiten realizar las predicciones de cobertura y rendimiento de la red.

4.2.8 Predicción del rendimiento de la red.

U-Net permite estimar el rendimiento de la red, tales como la cobertura celular y la calidad del canal, a través de un algoritmo de predicción descrito en la figura 92.



Figura 92. Algoritmo de predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.8.1 Crear un grupo de predicción e iniciar la predicción.

U-Net realiza el cálculo de la predicción por grupos, los pre-requisitos para formar un grupo de predicción son:

- Crear el proyecto en U-Net.
- Cargar los datos geográficos.
- Crear el área de cálculo, esto se lo hace con la ayuda de la herramienta polígono una vez que se hayan creado todos los sites y transceivers.

Los pasos para la configuración del grupo de predicciones son los siguientes:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccionar **Predictions** → **New**.

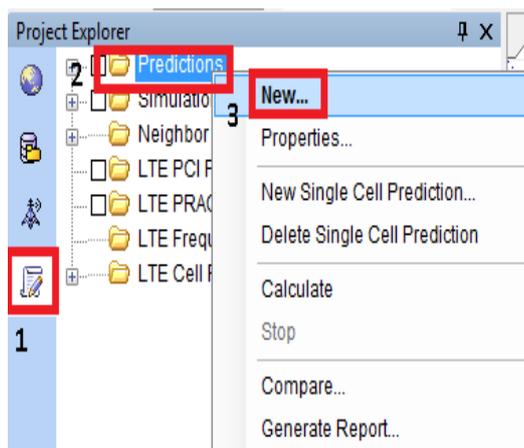


Figura 93. Crear una Predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

3. A continuación se despliega la ventana **New Prediction Group**, en la cual se han seleccionado los parámetros que determinarán la predicción de cobertura, los mismos que se encuentran descritos en la tabla 40.

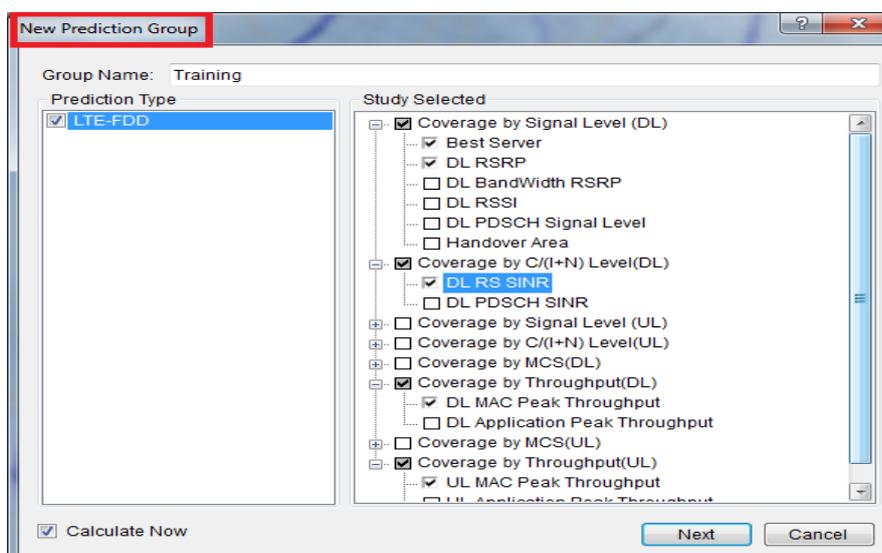


Figura 94. Nuevo Grupo de Predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 40. Parámetros de configuración de un nuevo grupo de predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Categoría	Item	Descripción
Group Name	Nombre de un grupo de predicción, este parámetro identifica de forma exclusiva un grupo de predicción, en este caso lo llamamos "training".	
Prediction Type	Indica el tipo de predicción, en este caso es de tipo LTE FDD.	

Study Selected	Indica el caso de predicción que se desee realizar de acuerdo a la necesidad de la red	
Coverage by Signal Level (DL)	Best Server	Mejor rendimiento para celdas con alto RSRP y que reciben señales de enlace descendente.
	DL RSRP	RSRP mide la intensidad de señal de referencia la cual es una señal que sólo existe en capa PHY, el propósito de esta señal de referencia es entregar la potencia de enlace descendente en un determinado punto.
Coverage by C/(I+N) Level (DL)	DL RS SINR	Indica la relación de señal a interferencia más ruido (SINR) de la señal de referencia de enlace descendente que un UE recibe. Este item refleja la calidad de la señal de referencia de enlace descendente.
Coverage by Throughput (DL)	DL MAC Peak Throughput	Máximo rendimiento en el enlace descendente de la capa MAC.
Coverage by Throughput (UL)	UL MAC Peak Throughput	Pico de rendimiento de enlace ascendente en la capa MAC.
Calculate Now	Realiza el cálculo inmediato de cada uno de los indicadores seleccionados.	

4. Una vez que se ha seleccionado los parámetros de configuración de un nuevo grupo de predicción, click en **Next**, y enseguida se muestra una pequeña ventana denominada: **Group Properties**, en la cual se configuran parámetros generales, de condición y avanzados.

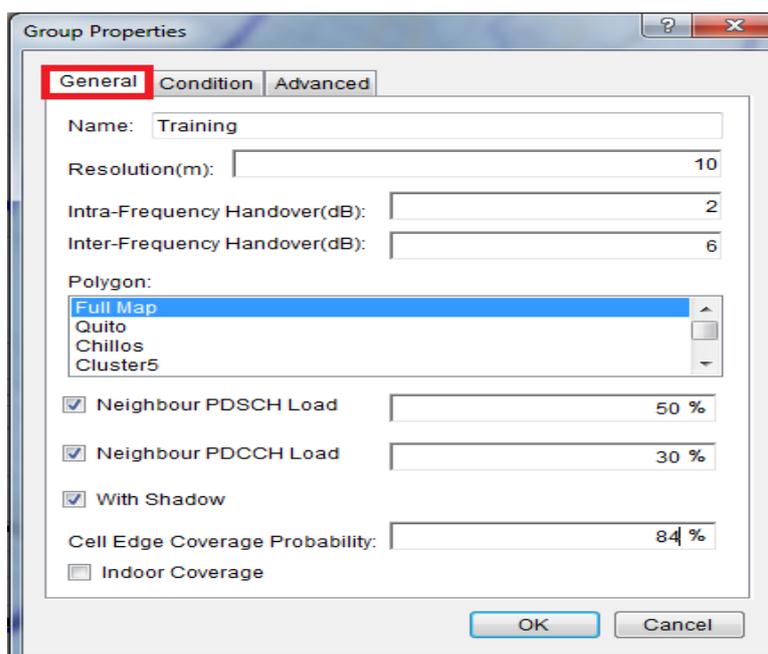


Figura 95. Propiedades generales del grupo de predicción.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 41. Parámetros de configuración de la pestaña General.**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Nombre de un grupo de predicción, en este caso “training”
Resolution (m)	Precisión de la predicción, se ha considerado 10m en relación al radio de cobertura de la celda.
Intra-Frequency Handover(dB)	Un handover intra-frecuencia es cuando el UE permanece en el mismo canal de la red LTE y simplemente se mueve a otra celda con una potencia de 2dB ya que se encuentra dentro de la misma frecuencia.
Inter-Frequency Handover(dB)	Una handover entre frecuencias es cuando el UE se mueve a un canal diferente de la red LTE con una frecuencia portadora diferente a una potencia más alta, en este caso de 6Db.
Polygon	Área de cálculo para la predicción, todo el mapa.
Neighbour PDSCH Load	Se toma en cuenta el 50% de la carga de tráfico del canal en enlace DL con el fin de equilibrar la carga.
Neighbour PDCCH Load	Se toma en cuenta el 30% de la carga de control del canal PDCCH, de tal manera que se distribuye el 80% de la carga total en ambos canales, dando más prioridad al canal de carga de tráfico.
With Shadow	Indica si el desvanecimiento de sombra se considera en el cálculo.
Cell Edge Coverage Probability	Indica la probabilidad de cobertura de borde de la celda, es decir, la probabilidad de que la intensidad de la señal de recepción es más fuerte que el umbral especificado en el borde de una celda, en los sistemas de telefonía móvil antes de realizar la optimización únicamente se trabaja con valores alrededor de 80% a 85%, de tal manera que se realizará la predicción en base al 84% del borde total de la celda.
Indoor Coverage	Se selecciona únicamente si se toma en cuenta la pérdida de penetración.

5. A continuación se procede a configurar los parámetros de la pestaña Condition, en donde se establecen condiciones que determinarán la predicción.

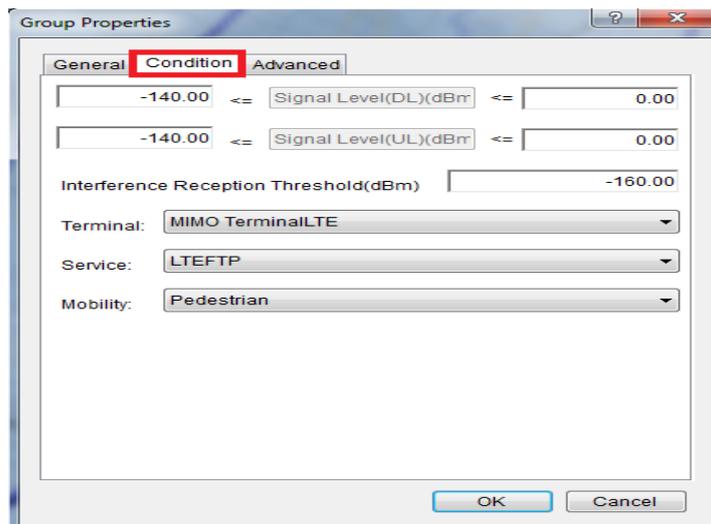


Figura 96. Propiedades de Condición del Grupo de Predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 42. Parámetros de configuración de la pestaña Condition.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Signal Level(DL)(dBm)	Se le asigna un rango de umbral de la señal de referencia en enlace descendente, cuanto más se acerque el valor a 0dBm, más fuerte es la señal, razón como mínimo valor de umbral se le ha asignado -140 dBm.
Signal Level(UL)(dBm)	Se le asigna un rango de umbral de la señal de referencia en enlace ascendente, cuanto más se acerque el valor a 0dBm, más fuerte es la señal, de igual manera se le ha asignado un valor mínimo de -140dBm
Interferer Reception Threshold(dBm)	Asignación de valor máximo permitido del umbral de interferencia, en este caso solo se aceptará hasta un rango de -160 dBm, siendo el peor valor -180dBm.
Terminal	Indica el tipo de terminal, un terminal MIMO
Service	Indica el tipo de servicio, LTEFTP
Mobility	Indica el tipo de movilidad, pedestre.

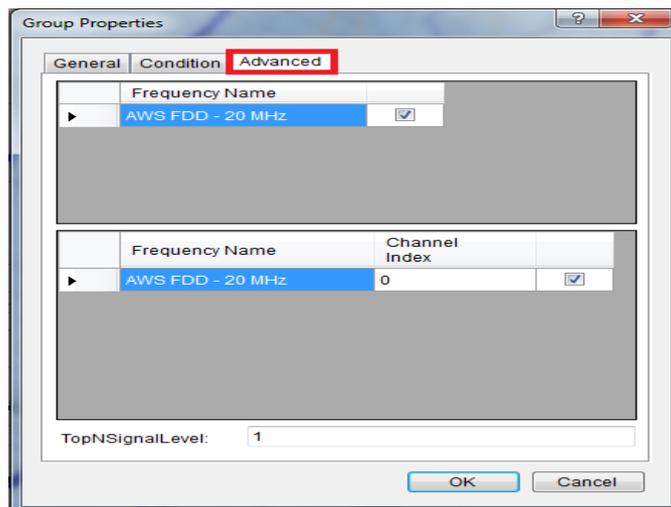


Figura 97. Propiedades avanzadas del grupo de predicción.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 43. Parámetros de configuración de la pestaña Advanced.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Frequency Name	Indica el nombre de la banda de frecuencia en la que se está trabajando.
Channel Index	Indica el índice de canal correspondiente a la banda de frecuencia.

6. Finalmente luego que se hayan completado todos los parámetros de predicción, click en **OK**.

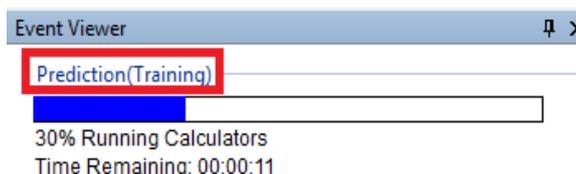


Figura 98. Calculo de la predicción “training”
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.8.2 Visualización del resultado de la predicción de cobertura.

U-Net tiene la capacidad de permitir visualizar los resultados obtenidos de la predicción a través de la visualización de cada uno de los indicadores que se seleccionaron en el proceso de creación de un grupo de predicción.

Para la visualización de los resultados de la predicción se siguen los siguientes pasos:

1. Establecer las propiedades de información de la leyenda y la visualización de la predicción.

- En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
- En la ventana de navegación, seleccione **Predictions**.
- En el nombre de la predicción “training”, seleccionar el parámetro del cual se desea visualizar su resultado.

De tal manera que se tuvieron los siguientes resultados de la predicción de cobertura en la banda de frecuencia de 2120 MHz, con un ancho de banda de 20MHz, y servicios FTP download.

Best Server: En la figura 100 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción Best Server, el cual es un indicador del nivel de cobertura entre las celdas que reciben señales de enlace downlink; de tal manera que a cada celda se le ha asignado un color distinto con el fin de representar que todas están recibiendo señales en enlace descendente

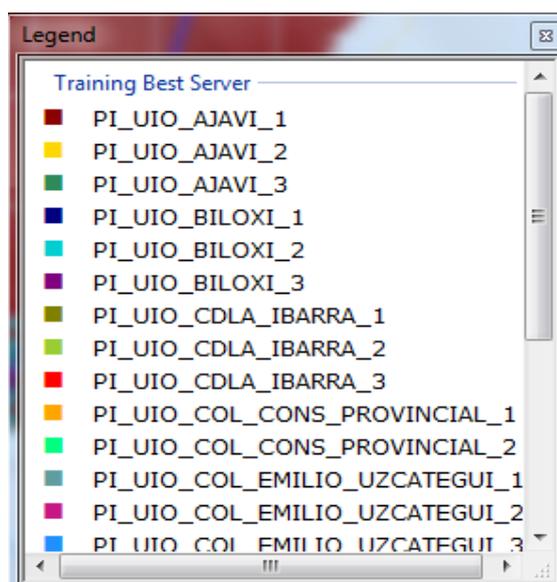


Figura 99. Código de colores para cada celda, Best Server.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

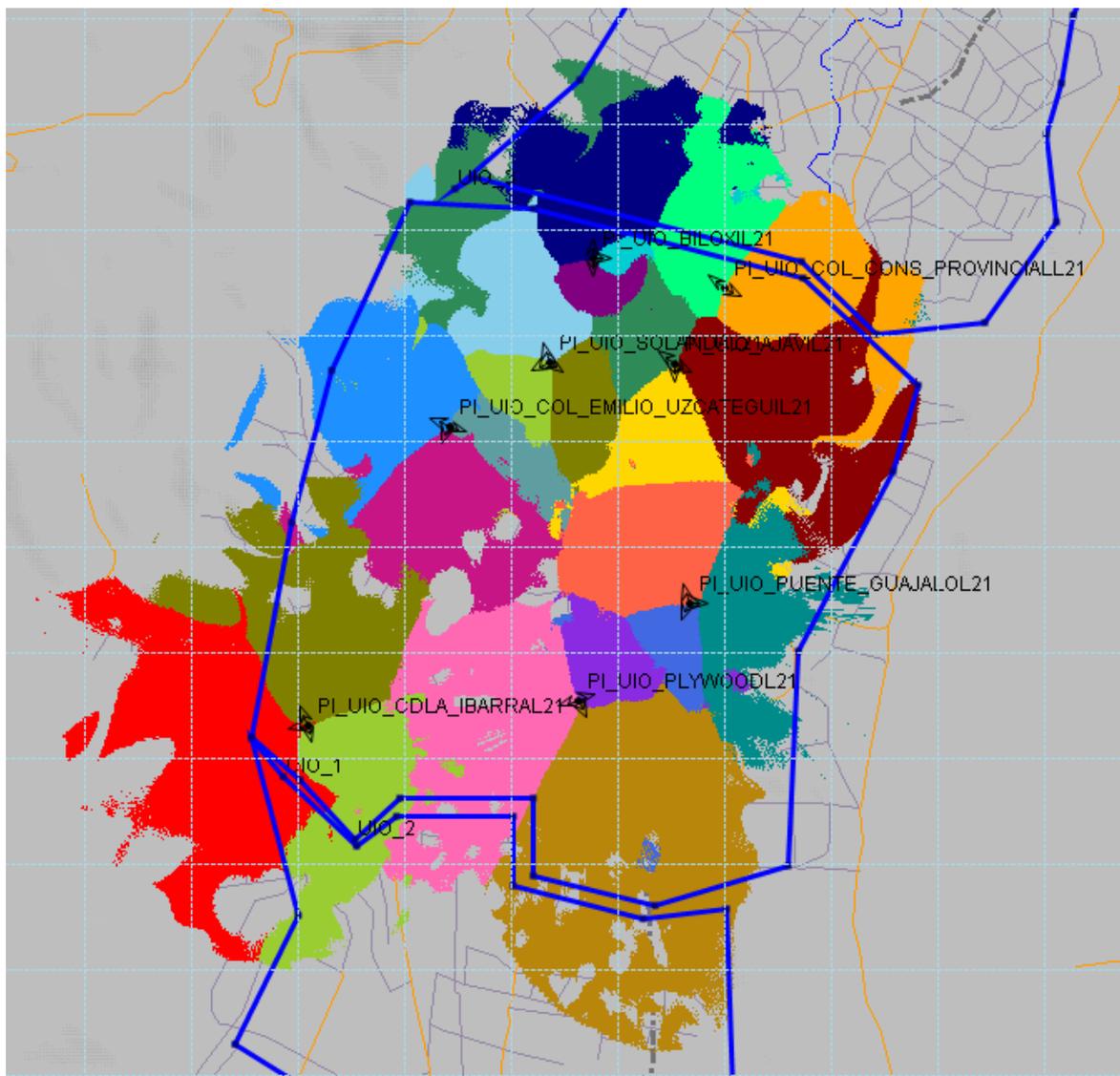


Figura 100. Resultados de la predicción: Best Server
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

DL RSRP: En la figura 101 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción DL RSRP, el cual es un indicador principal del análisis de cobertura, ya que se lo conoce como la potencia de referencia de la señal recibida, que se determina en una celda, a este indicador también se lo considera como el promedio lineal de las contribuciones de energía [W] por parte de los elementos que llevan información específica en la señal de referencia. Además el RSRP es considerado como uno de los parámetros de predicción más importantes ya que es medido por el UE para llevar a cabo la selección de las celdas con mejores niveles de potencia.

Según los resultados obtenidos se puede verificar la huella de cobertura obtenida mediante los niveles de recepción promedio de la señal de referencia de los usuarios, de esta manera según la leyenda se tiene una escala de las mejores condiciones hasta las peores, siendo un RSRP mayor o igual a 0 el máximo valor y un RSRP menor a -120 dBm el peor, valor el cuál no se podría garantizar cobertura.

A continuación de las tonalidades en rojo, se tiene las mediciones tradicionales en las que se puede garantizar la cobertura, es decir a partir de los -90dBm hasta los -110 dBm, de tal manera que nuestros resultados son satisfactorios ya que los 8 sitios pertenecientes al clúster 2 se encuentran dentro del rango de garantía de cobertura, vale la pena recalcar que aunque en zonas limitadas también se puede observar que llega a cumplir con los estándares más altos de cobertura como es el caso del sitio COL_EMILIO_UZCATEGUI, PUENTE_GUAJALO y PLYWOOD.

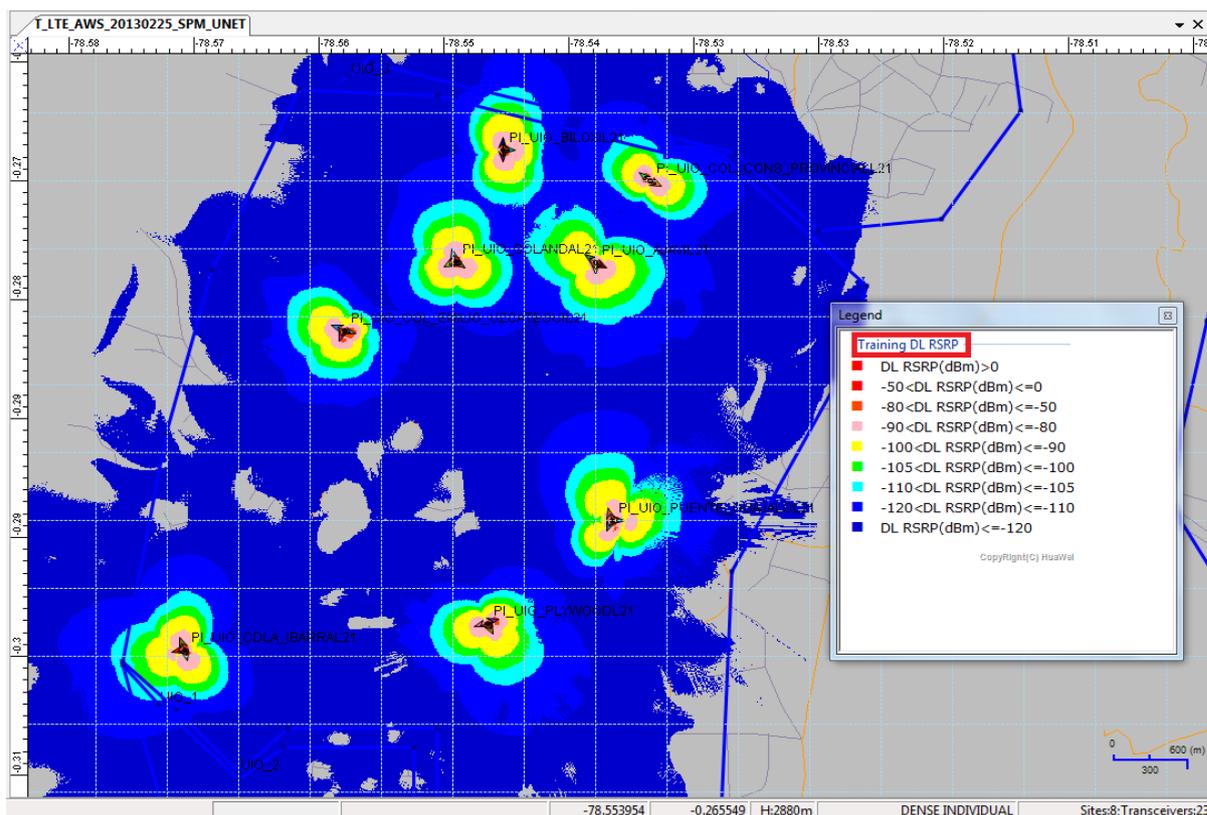


Figura 101. Resultados de la predicción: DL RSRP
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

DL RS SINR: En la figura 102 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción de la relación señal a ruido e interferencia de la señal de referencia en enlace downlink DL RS SINR, el cual muestra la relación Señal/Ruido a través de los niveles de

calidad de la señal, dicha relación permite tener una estimación de los límites superiores teóricos sobre la capacidad del canal así como la tasa de transferencia de información.

De tal manera que mientras más alto sea el valor existirá menor interferencia y viceversa; según la leyenda de los resultados de predicción tenemos que de color rojo se encuentran las señales con mayor intensidad entre 25dB y 60dB, es decir los sitios COL_CONS_PROVINCIAL y PUENTE_GUAJALO cumplen con el máximo parámetro de cero interferencia. Por otra parte cabe recalcar que todos los valores mayores o iguales a cero pueden garantizar que no haya presencia de interferencia dentro de la cobertura de la celda, es así como se puede apreciar que en todas las celdas no se presenta interferencia, teniendo de color rosado las señales con intensidad de entre 15dB y 20 dB, de color amarillo las señales con niveles entre 10 dB y 15dB, las señales de color verde con intensidad de 5dB y 10dB, de color turquesa las señales entre 0 dB y 5dB que serían el rango hasta el cual se puede garantizar que no se produzca interferencia, finalmente en las tonalidades de azul oscuro se tiene a las señales más bajas con valores menores a -5dB.

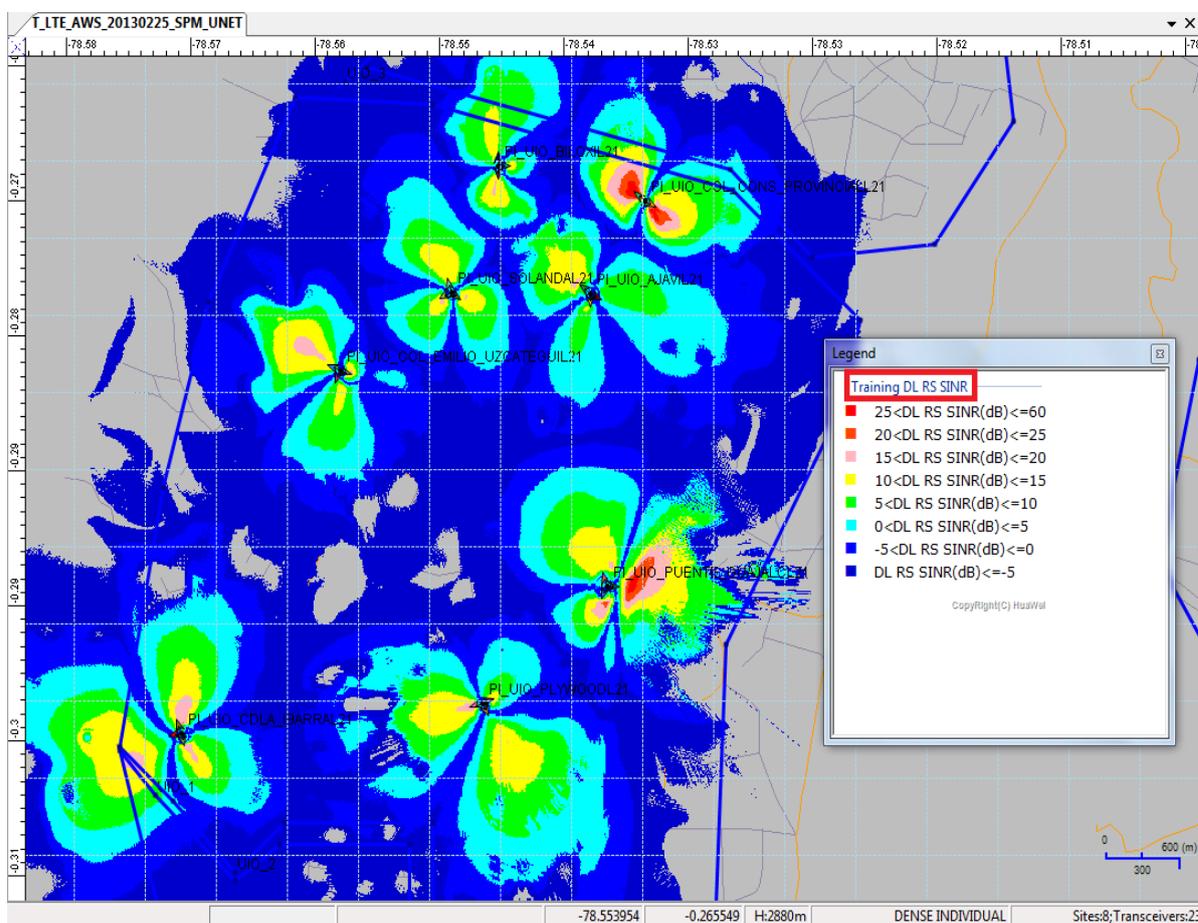


Figura 102. Resultados de la predicción: DL RS SINR

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

DL MAC Peak Throughput: En la figura 103 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción de rendimiento en enlace downlink, en el cual se puede apreciar la velocidad de transmisión que posee cada celda, idealmente según el estándar y la categoría de equipo terminal que se configuró anteriormente, se debería tener 100Mbps en el enlace downlink y es así, ya que mientras más alto sea este valor, mejor será la conexión a internet y rendimiento de los servicios de aplicaciones a altas velocidades; de tonalidad rojo/rosa se muestran las señales con mayor intensidad de velocidad de transmisión que va desde 100Mbps a 40 Mbps, las señales amarillas con velocidades de transmisión de 30 Mbps y 20 Mbps, con velocidades de transmisión más bajas debido a que a mayor distancia de la estación la velocidad se reduce se encuentra las señales de color turquesa y verde con velocidades de 5.6 Mbps a 10Mbps.

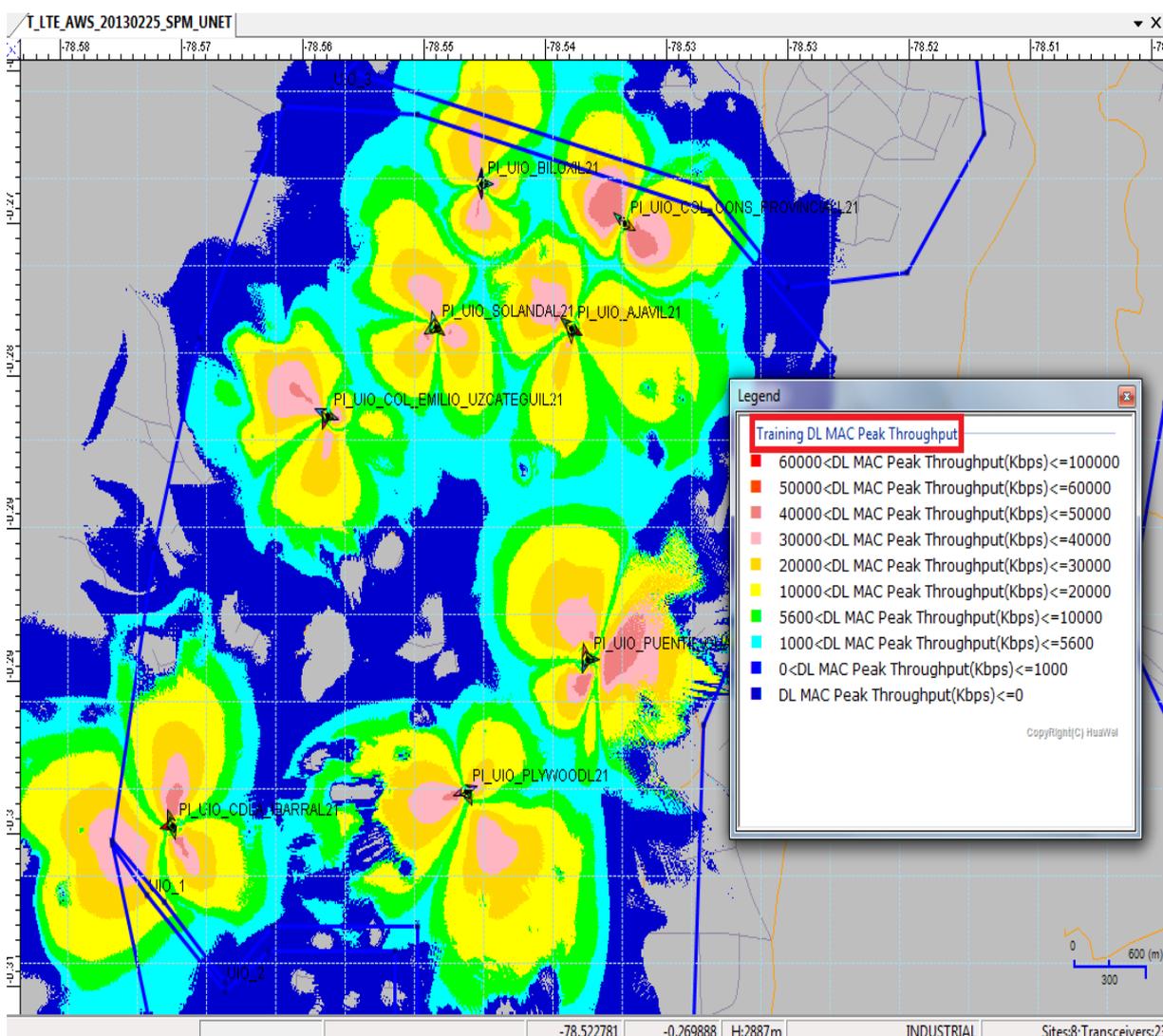


Figura 103. Resultados de la predicción: DL MAC Peak Throughput.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

UL MAC Peak Throughput: En la figura 104 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción de rendimiento en enlace uplink, en el cual se puede apreciar la velocidad de transmisión que posee cada celda, mientras más alto sea este valor mejor será la subida de archivos y servicios con aplicaciones a altas velocidades; las señales con mayor intensidad y por ende velocidad de transmisión son de color rojo con 100 Mbps, seguido de 24 Mbps hasta 6 Mbps en tonalidad verde y turquesa; con velocidades de transmisión más bajas debido a que a mayor distancia de la estación la velocidad se reduce se encuentra las señales en totalidad azul oscuro con 0.5 Mbps.

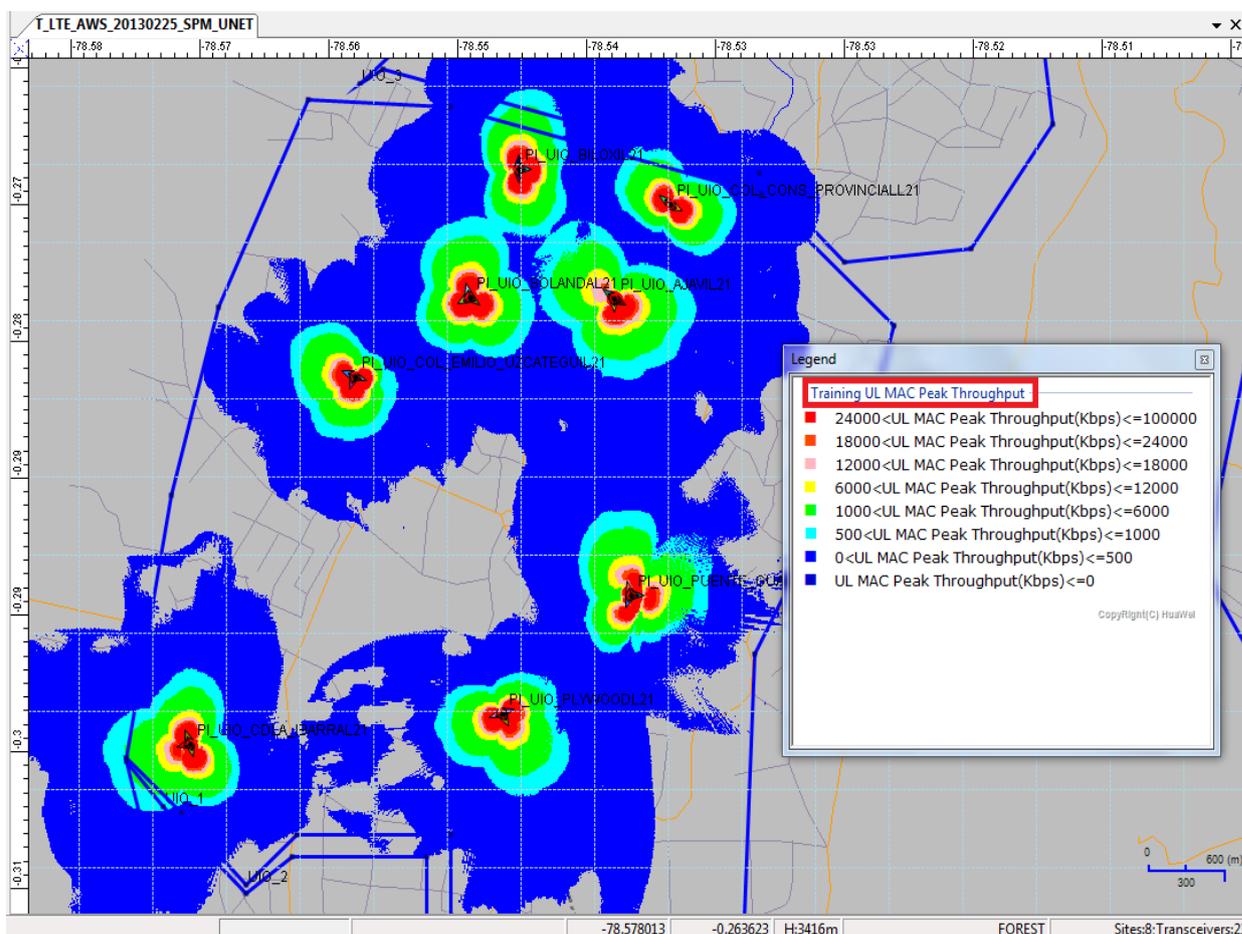


Figura 104. Resultados de la predicción: UL MAC Peak Throughput.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.2.9 Optimización de la celda y parámetros de radio frecuencia.

Una vez que se ha diseñado y realizado las predicciones la red LTE, el siguiente proceso es configurar los parámetros de optimización de la celda con el fin de mejorar los

resultados obtenidos en las predicciones; los mismos que fueron analizados anteriormente en el capítulo 3.

4.2.9.1 Planificación LTE PCI

Los identificadores de celdas físicas (PCI) de una red LTE son limitados, por lo tanto, la reutilización de los PCI es inevitable en la creación de redes LTE. Para reducir la interferencia de enlace descendente de las celdas dentro de la frecuencia se debe asignar una identificador PCI adecuado a cada celda. U-Net, puede habilitar el sistema para planificar automáticamente los PCI para cada celda.

Como requisito para llevar a cabo este proceso es tener previamente creados los sitios, los pasos son los siguientes:

1. En la ventana del explorador, clic en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **LTE PCI Planning**.
3. En el menú contextual escoger **Automatic Allocation**.

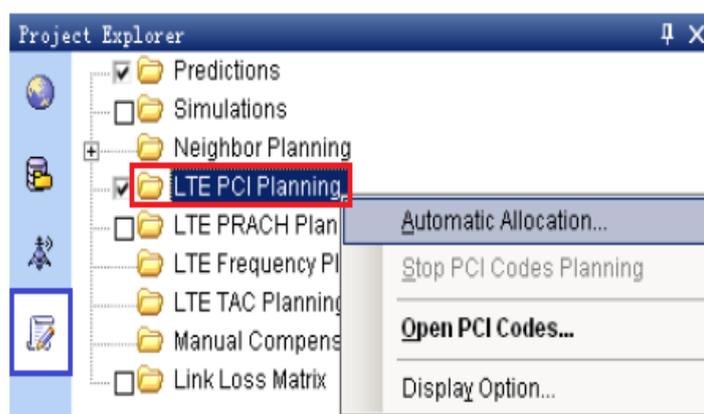


Figura 105. PCI Planning.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. En el cuadro de diálogo **LTE PCI Planning**, se establecen los siguientes parámetros mostrados en la tabla 44 y 45.

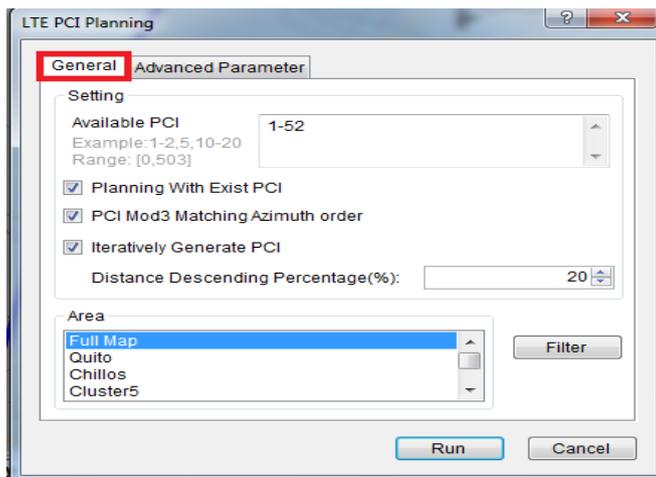


Figura 106. PCI Planning - *General*.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 44. Parámetros de la pestaña General.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Available PCI	Se refiere al número de PCI disponibles, el valor varía de 0 a 503, pero para este proyecto se lo ha puesto de 1-52 al contar únicamente con 8 sitios.
Planning With Exist PCI	Si la planeación se realizará basada en PCI existentes.
PCI Mod 3 Matching Azimuth order	Se asigna los PCI en modo Mod 3 basado en el orden de azimuth.
Iteratively Generate PCI	Indica que la generación de PCI se lo realizará de forma iterativa.
Distance descending (%)	Indica el porcentaje para la reducción de la distancia de reutilización de PCI, en este caso cada 20 % del área total de cobertura.
Area	Indica el área de planificación de PCI.

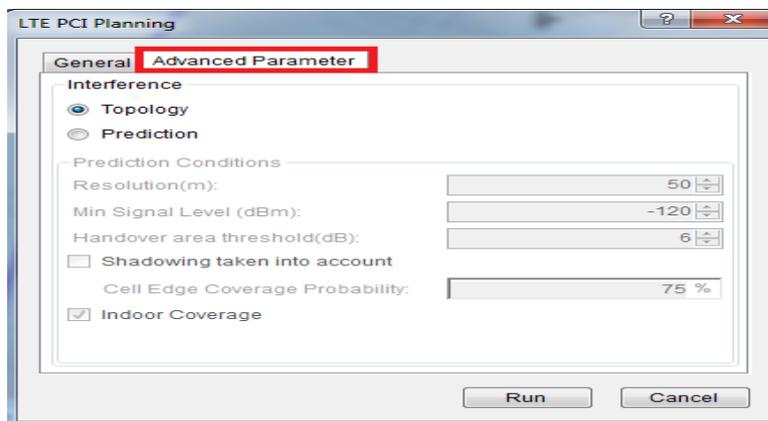


Figura 107. PCI Planning – *Advanced Parameter*
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

La planeación de PCI se lo realizará en base a la topología del clúster 2, razón por la cual como se puede ver en la figura 107, los otros parámetros han quedado deshabilitados.

Tabla 45. Parámetros de la pestaña Advanced Parameter.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Topology	Se selecciona la topología de red para planificar el PCI basado en la ubicación de las celdas y el azimut.
Prediction	Se selecciona este parámetro para planificar los PCI basados en los resultados de la predicción, tales como el área de cobertura de la celda.
Resolution(m)	Indica la precisión de cálculo de cobertura. El valor por defecto es 50.
Mín Signal Level(dBm)	Indica el umbral de mínimo nivel de recepción de la señal, el valor por defecto es de -120dBm.
Handover area threshold(dB)	Indica el umbral de zona de handover, el valor por defecto es 6dB.
Shadowing taken into account	Se selecciona para tener en cuenta la sombra de desvanecimiento durante el cálculo de pérdida de trayectoria.
Cell Edge Coverage Probability	Este parámetro sólo es válido cuando se toma en cuenta el desvanecimiento de sombra.
Indoor Coverage	Se selecciona para tener en cuenta la cobertura en interiores durante el cálculo de pérdida de trayectoria.

5. Una vez que se configuraron los parámetros anteriores, Click en **Run**, posteriormente los resultados serán mostrados en la parte inferior de la ventana principal de U-Net.

PCI Planning Display						
	Cell Name	Existing Code	Suggest Code	Confirm Code	Min Reuse Distance(m)	Min Reuse Tiers
1	PI_UIO_AJAVI_1	9	9	9	No Reuse	No Reuse
2	PI_UIO_AJAVI_2	10	10	10	No Reuse	No Reuse
3	PI_UIO_AJAVI_3	11	11	11	No Reuse	No Reuse
▶ 4	PI_UIO_BILOXI_1	6	6	6	No Reuse	No Reuse
5	PI_UIO_BILOXI_2	7	7	7	No Reuse	No Reuse
6	PI_UIO_BILOXI_3	8	8	8	No Reuse	No Reuse
7	PI_UIO_CDLA_IBARRA...	26	26	26	No Reuse	No Reuse
8	PI_UIO_CDLA_IBARRA...	24	24	24	No Reuse	No Reuse
9	PI_UIO_CDLA_IBARRA...	25	25	25	No Reuse	No Reuse

Figura 108. PCI Planning – Resultados

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

En la tabla 46 se describe los parámetros para la visualización de resultados de la planificación PCI.

Tabla 46. Resultados PCI Planning.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Cell Name	Indica el nombre de la celda.
Existing Code	Indica el valor de un PCI existente en caso que existiese, para este caso hace referencia a los PCI de la red anteriores 3G.
Suggest Code	Indica el valor de PCI sugerido, dentro del rango configurado 1-52.
Confirm Code	Indica el valor de PCI confirmado, el valor de este parámetro se presenta al enviar resultados de la planificación PCI.
Min Reuse Distance(m)	Indica la distancia de reutilización mínima de PCI en el área actual. No Reuse indica que el PCI no se reutiliza, es decir es suficiente con los 1 a 52 que se ha configurado.
Min Reuse Tier	Indica la reutilización Tier mínima de PCI en el área actual. No Reuse indica que el PCI no se reutiliza.

4.2.9.2 Planificación LTE PRACH

Para garantizar con éxito el acceso aleatorio a la red LTE-FDD, se debe planear el canal físico de acceso aleatorio (PRACH) de cada celda de la red. El procedimiento es el siguiente:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **LTE PRACH Planning**.
3. Dentro del menú contextual se elige la opción **Automatic Allocation**.

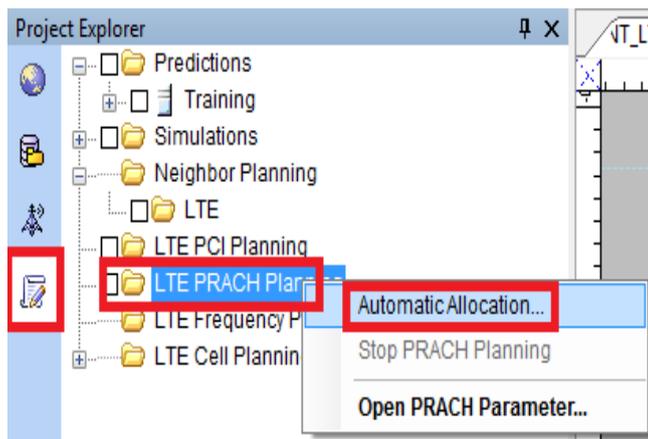


Figura 109. LTE PRACH Planning.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación se muestra el cuadro de diálogo LTE PRACH Planning con los siguientes parámetros mostrados en la tabla 47.

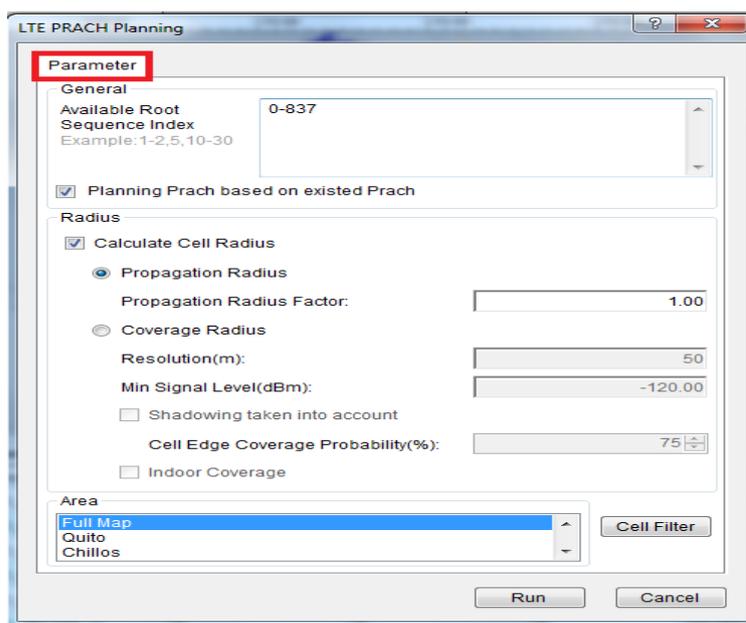


Figura 110. PCI Planning – *Parameter*
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 47. LTE Prach Planning.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Available Root Sequence Index	Indica el índice de secuencia Zadoff-Chu disponible. Formato Preámbulo (0-3): Indica los índices de secuencia ZC disponibles para las celdas cuyo formato preámbulo se establece en 0-3. El rango máximo de valor es 0-837.
Calculate Cell Radius	Se selecciona para calcular el radio de la celda, en este caso se

	ha seleccionado un factor de radio de propagación de 1 basado en el radio del modelo de propagación.
Propagation Radius Factor	Indica el factor de conversión para el radio de cálculo de un modelo de propagación.
Coverage Radius	Indica que el radio de la celda se calcula en base a la cobertura de la señal de las celdas.
Resolution(m)	Indica la precisión del cálculo de la cobertura. El valor por defecto es 50.
Min Signal Level(dBm)	Indica el mínimo nivel de recepción de señales para la cobertura de las celdas.
Shadowing taken into account	Indica si se debe considerar el desvanecimiento de sombra dentro del cálculo cobertura de la señal de las celdas.
Cell Edge Coverage Probability(%)	Indica la probabilidad de cobertura de borde de celda utilizado para el cálculo de desvanecimiento de sombra.
Indoor Coverage	Indica si se debe tomar en cuenta la pérdida de penetración.
Area	Indica el espacio para la planificación PRACH, en este caso todo el mapa.

5. Click en **Run**, seguidamente los resultados de la planificación de los parámetros PRACH se muestran en un panel debajo de la interfaz principal de U-Net los cuales tienen los siguientes parámetros descritos en la tabla 48.

PRACH Parameter Display													
	Cell Name	High Speed	Ncs	Cell Radius(m)	Existed Min Root Sequence Index	Suggested Start Root Sequence	Suggested End Root Sequence Index	Confirmed Start Root Sequence Index	Confirmed End Root Sequence Index	Reuse Tier (Topology)	Reuse Distance(m)	Reuse Tier (Neighbor)	Actual Reuse (Neighbor)
▶ 1	PL_UIO_AJ...	<input type="checkbox"/>	38	4000	6	6	8	6	8	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
2	PL_UIO_AJ...	<input type="checkbox"/>	38	4000	3	3	5	3	5	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
3	PL_UIO_AJ...	<input type="checkbox"/>	38	4000	0	0	2	0	2	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
4	PL_UIO_BI...	<input type="checkbox"/>	38	4000	15	15	17	15	17	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
5	PL_UIO_BI...	<input type="checkbox"/>	38	4000	12	12	14	12	14	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
6	PL_UIO_BI...	<input type="checkbox"/>	38	4000	9	9	11	9	11	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
7	PL_UIO_C...	<input type="checkbox"/>	38	4000	24	24	26	24	26	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2
8	PL_UIO_C...	<input type="checkbox"/>	38	4000	21	21	23	21	23	No Reuse	No Reuse	No Reuse	2

Figura 111. LTE PRACH Planning – Resultados
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 48. Parámetros de configuración LTE PRACH Planning.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Cell Name	Indica el nombre de la celda.
High Speed	Indica si la celda es una celda de alta velocidad. En la planificación PRACH, las celdas de alta velocidad son preferentemente planeadas.
Ncs	Indica el desplazamiento cíclico de las celdas. El valor de este parámetro es resultado de la planificación de PRACH. Los valores posibles de este parámetro son los siguientes: Celdas de alta velocidad: 15, 18, 22, 26, 32, 38, 46, 55, 68 o 70. Celdas de baja velocidad: 0, 13, 15, 18, 22, 26, 30. Por lo tanto tenemos un valor de 38 al ser celdas de alta velocidad.
Cell Radius	Indica el radio de la celda en m.
Existed Min Root Sequence Index	Indica el inicio del índice de secuencia ZC de la celda.
Suggested Start Root Sequence Index	Indica el comienzo previsto del índice de secuencia ZC de la celda.
Suggested End Root Sequence Index	Indica el final planeado del índice de secuencia ZC de la celda.
Confirmed Start Root Sequence Index	Indica el inicio confirmado del índice de secuencia ZC de la celda.
Confirmed End Root Sequence Index	Indica el final confirmado del índice de secuencia ZC de la celda.
Reuse Tier (Topology)	Indica el número mínimo de reutilización de Tier basados en la ubicación geográfica, en este caso no hay re uso.
Reuse Distance(m)	Indica la distancia de reutilización PARACH, es decir, la distancia de reutilización mínima de la misma secuencia de raíz, en este caso no hay re uso.
Reuse Tier (Neighbor)	Indica el número mínimo de reutilización de Tier basado en la relación de vecindades.
Actual Required Reuse Tier (Neighbor)	Indica el número real de reutilización de Tier cuando los recursos han sido asignados a las celdas.
Lower Reuse Tier (Neighbor)	Indica si el número de reutilización de Tier se reduce cuando los recursos se asignan a las celdas.

4.2.9.3 Optimización de celdas

La función de planificación automática de celdas en LTE se utiliza para ajustar el ángulo de inclinación mecánica, azimuth, y potencia de la señal de referencia de las antenas de la red para satisfacer las necesidades de los usuarios. Esto evita las intervenciones manuales y reduce los ajustes de parámetros repetidos.

El propósito de esta función es mejorar el rango de cobertura de la red, controlar y reducir la interferencia entre celdas, y ampliar la capacidad de la red; garantizando al mismo tiempo la calidad de señal de recepción.

Una vez que la red está al aire y si la cobertura de la red no cumple los requisitos, se puede habilitar esta función para ajustar automáticamente los parámetros de celda con el fin de optimizar la cobertura.

Previamente se debe calcular los datos del enlace de cada celda para mejorar la eficiencia de la planificación, para ello se sigue el siguiente proceso:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **LTE CELL Planning**.
3. Clic derecho en **LTE CELL Planning** y se selecciona **Calculate LinkLoss Matrix** en el menú contextual.

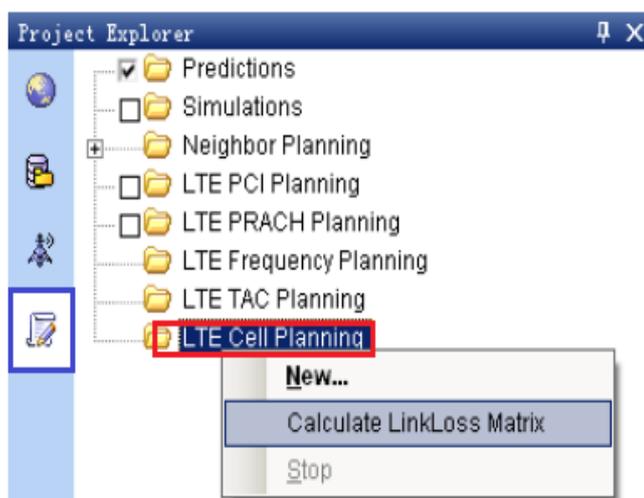


Figura 112. LTE Cell Planning.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación se establecen los parámetros relacionados a Calculate LinkLoss Matrix, los mismos que se encuentran descritos en la tabla 49.

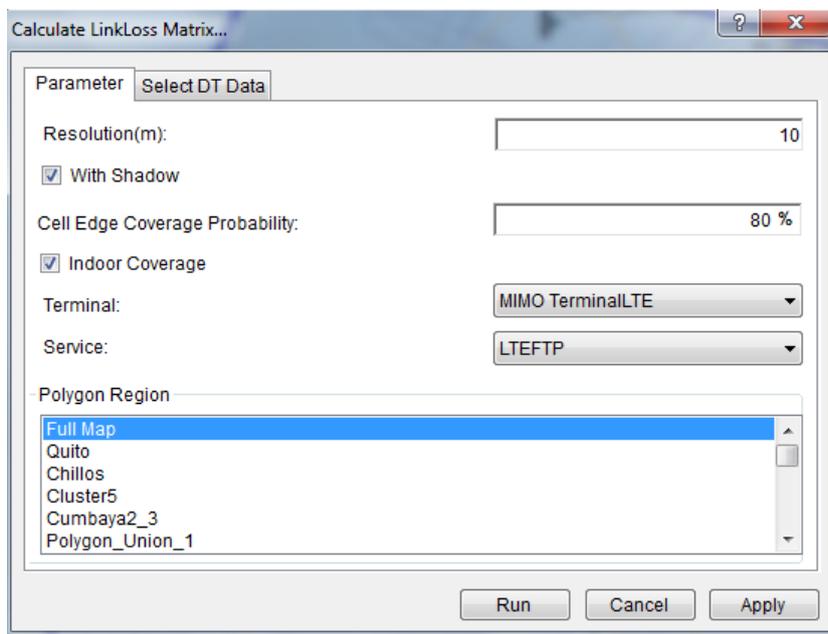


Figura 113. Calculo de Link Loss Matrix.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 49. Parámetros de configuración Calculate LinkLoss Matrix.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Resolution (m)	Indica la resolución del enlace cálculo matricial. El valor por defecto es 10m, es decir que el cálculo de pérdidas lo hará considerando 10 m del radio de cobertura definido por el Link Budget.
With Shadow	Indica si se debe imponer el desvanecimiento de sombra. Por defecto, esta opción ya está seleccionada.
Cell Edge Coverage Probability	Indica la cobertura de borde de la celda. El valor por defecto es 80%.
Indoor Coverage	Esta opción indica si se debe tomar en cuenta la cobertura indoor.
Terminal	Se selecciona un tipo de terminal predefinido, en este caso es un tipo MIMO.
Service	Se selecciona el tipo de servicio con menor prioridad, en este caso LTE FTP.
Polygon Region	Se seleccione una región poligonal, se ha seleccionado todo el mapa

5. Click en **Run** para iniciar el cálculo como se indica en la figura 114.



Figura 114. Calculando LinkLoss Matrix.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Antes de la planificación de las celdas, es necesario establecer parámetros como el análisis y áreas de simulación, parámetros RSRP, RS SINR, y el rango de ajuste máximo del ángulo de inclinación de la antena, el azimuth, y la potencia de transmisión de la señal de referencia. Como pre-requisitos para realizar este proceso, es necesario que se haya completado el cálculo LinkLoss Matrix y además haber creado anteriormente los grupos de predicción, de tal manera el procedimiento es el siguiente:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **LTE CELL Planning**.
3. Click derecho en **LTE CELL Planning** y se selecciona **New** en el menú contextual.

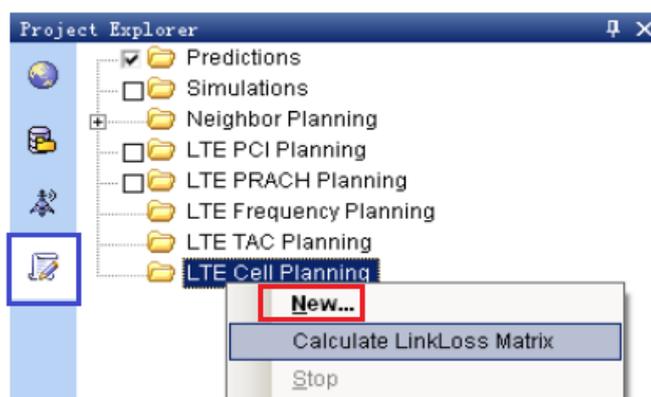


Figura 115. LTE Cell Planning - New
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación en el cuadro de diálogo se muestra los parámetros relacionados a la planificación de la celda, los mismos que se encuentran detallados en la tabla 50, 51 y 52.

El objetivo de la planificación de la celda es mejorar los parámetros de predicción de cobertura obtenidos anteriormente, como se pudo observar en los resultados anteriores el radio de cobertura se encontraba dentro de los estándares de LTE, pero no era suficiente ya que no explotaba al máximo la capacidad de canal, de tal manera que para la optimización se modificará el radio de cobertura al 100%, manteniendo los valores mínimos en DL RSRP de -110 dBm, valores ideales de -3.00 dBm y valores fuera del rango de aceptación según los estándares 3GPP de -120 dBm.

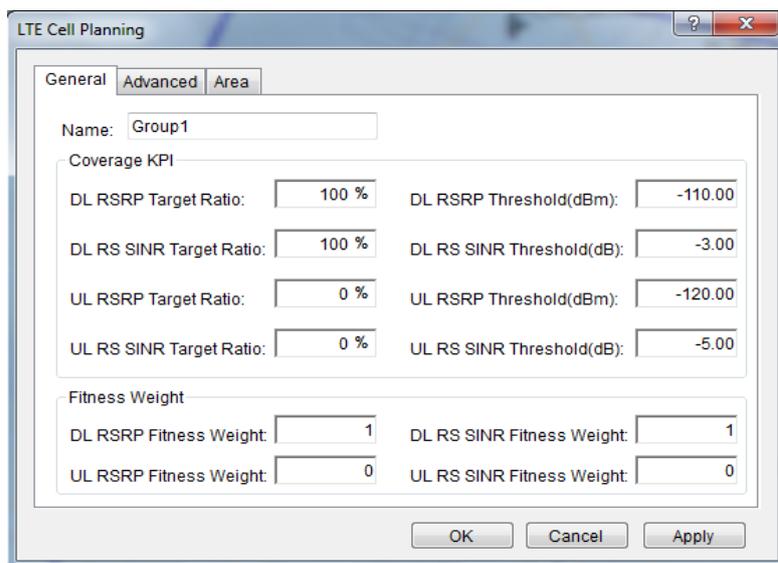


Figura 116. LTE Cell Planning - New
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 50. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña General.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Name	Indica el nombre del grupo de planeación de celda LTE.
DL RSRP Target Ratio	Indica el porcentaje de RSRP en enlace descendente que alcanza el umbral especificado en el área de cálculo seleccionado. El valor varía de 0% a 100%.
DL RSRP Threshold(dBm)	Indica el umbral que RSRP en enlace descendente alcanza.
DL RS SINR Target Ratio	Indica el porcentaje RS SINR en enlace descendente que alcanza el umbral especificado en el área de cálculo seleccionado. El valor varía de 0% a 100%.
DL RS SINR Threshold(dBm)	Indica el umbral que RS SINR en enlace descendente alcanza.
	Indica el porcentaje RSRP en enlace ascendente que

UL RSRP Target Ratio	alcanza el umbral especificado en el área de cálculo seleccionado. El valor varía de 0% a 100%.
UL RSRP Threshold(dBm)	Indica el umbral que RSRP en enlace ascendente alcanza.
UL RS SINR Target Ratio	Indica el porcentaje SINR en enlace ascendente que alcanza el umbral especificado en el área de cálculo seleccionado. El valor varía de 0% a 100%.
UL RS SINR Threshold(dBm)	Indica el umbral que SINR en enlace ascendente alcanza.
DL RSRP Fitness Weight	Indica el rendimiento RSRP en enlace descendente de una celda. Al seleccionar un radio de cobertura de 100% en DL RSRP, se asigna por defecto un rendimiento de 1 indicando un valor óptimo.
DL RS SINR Fitness Weight	Indica el rendimiento SINR en enlace descendente de una celda. Al seleccionar un radio de cobertura de 100% en DL RS SINR, se asigna por defecto un rendimiento de 1 indicando un valor óptimo.
UL RSRP Fitness Weight	Indica el peso del contador de rendimiento RSRP en enlace ascendente de una celda. El valor oscila entre 0 y 100.
UL RS SINR Fitness Weight	Indica el peso del contador de rendimiento RS SINR en enlace ascendente de una celda. El valor oscila entre 0 y 100.

Se procede a configurar los parámetros referentes a la planeación de la celda.

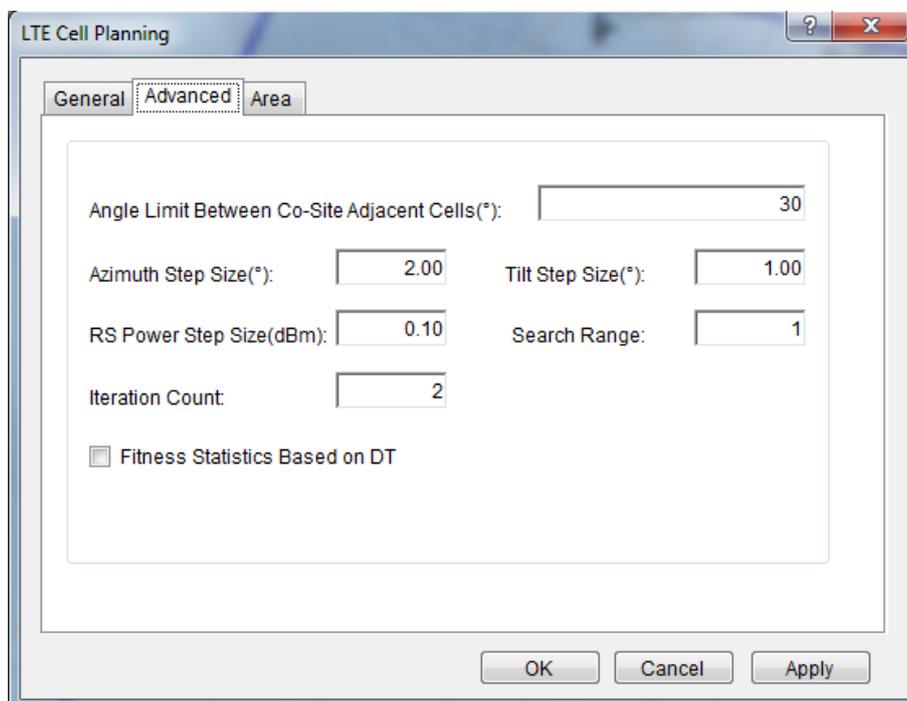


Figura 117. LTE Cell Planning-Advanced

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 51. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña Advanced.**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Angle Limit Between Co-Site Adjacent Cells (°)	Indica el ángulo mínimo entre celdas adyacentes co-sitio, el valor por defecto es 30°
Azimuth Step Size(°)	Indica el ajuste del azimuth de la antena. El rango de valores varía desde -360° hasta 360°.
Tilt Step Size(°)	Indica el ajuste del ángulo Tilt de la antena. El rango de valores varía desde -90° hasta 90°.
RS Power Step Size(dBm)	Indica el ajuste de la potencia de transmisión de la celda. Los rangos de los valores son 0-46.
Search Range	Indica el rango que se calcula para cada optimización durante la planificación. El valor varía de 1 a 4, un valor de parámetro mayor indica un resultado de la planificación más precisa, aunque el cálculo se tarde más.
Iteration Count	Indica el número máximo de iteraciones durante toda la planificación. El valor varía de 1 a 100, un valor de parámetro mayor indica un resultado de la planificación más precisa, aunque el cálculo se tarde más.

En la pestaña Area se procede a seleccionar el área donde se realizará la optimización, en este caso el área de Quito.

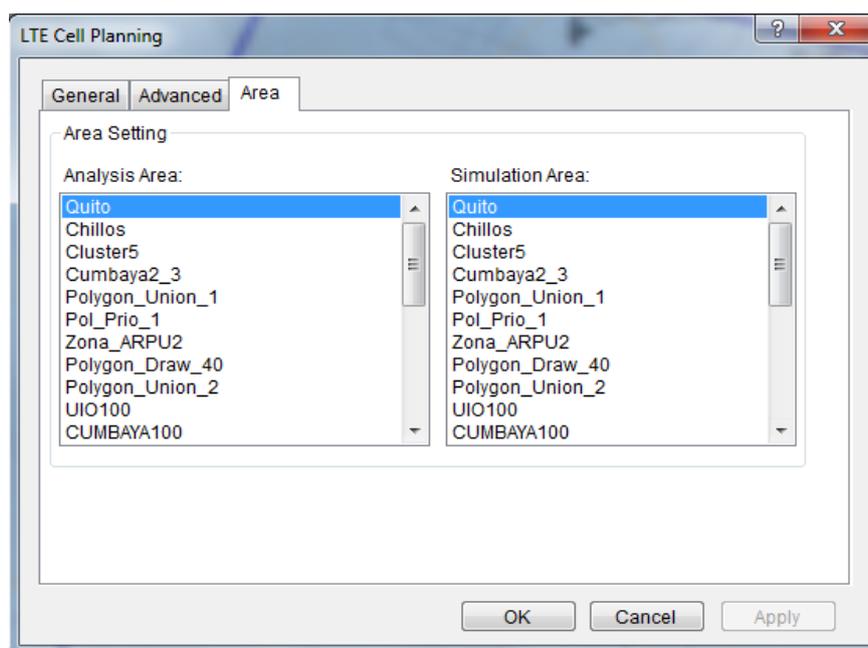
**Figura 118.** LTE Cell Planning-Area
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

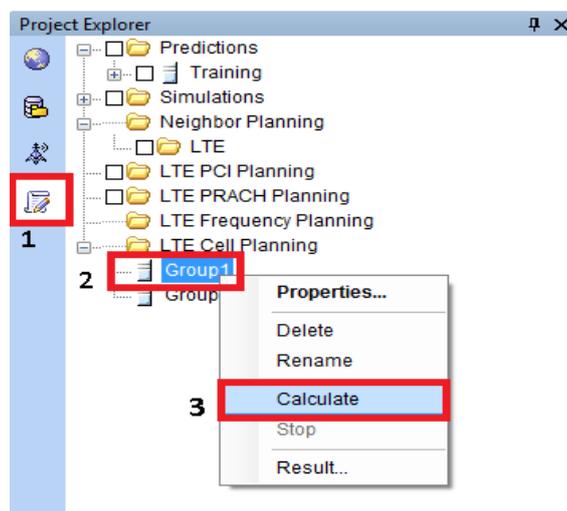
Tabla 52. Parámetros de configuración LTE Cell Planning, pestaña Area.**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

Parámetro	Descripción
Analysis Area	Indica el área de análisis para la planificación automática de celdas LTE, en este caso el área de Quito.
Simulation Area	Indica el área de simulación para la planificación automática de celdas LTE, esta área supervisa todo el efecto de ajuste de celdas LTE.

5. Una vez que se hayan configurado los parámetros anteriores, click en **Ok**.

Después que se haya creado el grupo de planificación de celdas, ahora se puede realizar la planificación de cada una de ellas, para ellos el procedimiento es el siguiente:

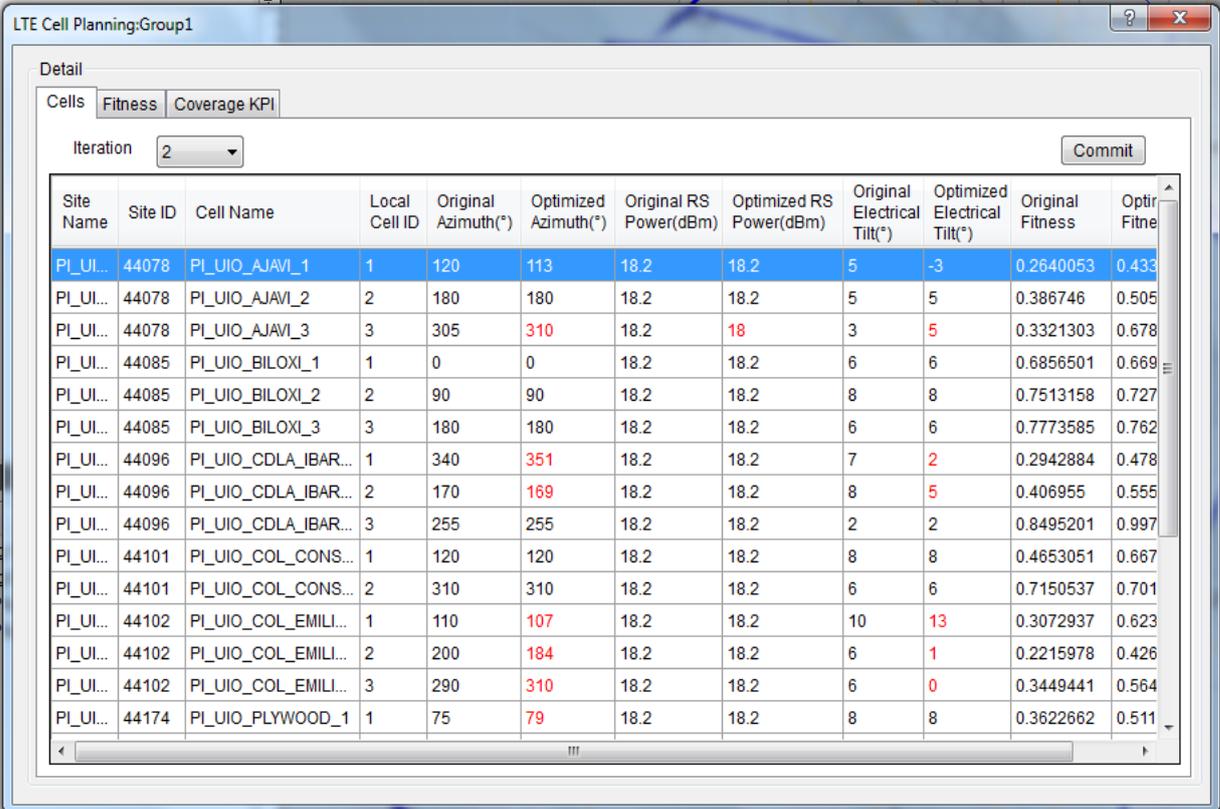
1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, se selecciona **LTE CELL Planning** → **Group 1**
3. Clic derecho en **Group 1** y se selecciona **Calculate** en el menú contextual como se muestra en la figura 119.

**Figura 119.** LTE Cell Planning - Calculate**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

Una vez que se haya calculado la planificación de las celdas LTE, se puede ver el resultado tanto de cada iteración como de la planificación de los parámetros de cada celda LTE.

También se puede comparar los valores de los parámetros antes y después de la planificación, con el fin de analizar las mejoras que se tiene luego de la optimización. El procedimiento para visualizar los resultados es el siguiente:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **LTE CELL Planning → Group 1**
3. Click derecho en **Group 1** y se selecciona **Result** en el menú contextual, enseguida se muestra el cuadro de diálogo **LTE Cell Planning Group 1**, como se muestra en la figura 120.



The screenshot shows a window titled "LTE Cell Planning:Group1" with a "Detail" section. It contains a table with columns for Site Name, Site ID, Cell Name, Local Cell ID, Original Azimuth(*), Optimized Azimuth(*), Original RS Power(dBm), Optimized RS Power(dBm), Original Electrical Tilt(*), Optimized Electrical Tilt(*), Original Fitness, and Optimized Fitness. The table lists 20 cells, with several parameters highlighted in red to indicate changes after optimization. A "Commit" button is visible in the top right corner of the dialog.

Site Name	Site ID	Cell Name	Local Cell ID	Original Azimuth(*)	Optimized Azimuth(*)	Original RS Power(dBm)	Optimized RS Power(dBm)	Original Electrical Tilt(*)	Optimized Electrical Tilt(*)	Original Fitness	Optimized Fitness
PI_UI...	44078	PI_UIO_AJAVI_1	1	120	113	18.2	18.2	5	-3	0.2640053	0.433
PI_UI...	44078	PI_UIO_AJAVI_2	2	180	180	18.2	18.2	5	5	0.386746	0.505
PI_UI...	44078	PI_UIO_AJAVI_3	3	305	310	18.2	18	3	5	0.3321303	0.678
PI_UI...	44085	PI_UIO_BILOXI_1	1	0	0	18.2	18.2	6	6	0.6856501	0.669
PI_UI...	44085	PI_UIO_BILOXI_2	2	90	90	18.2	18.2	8	8	0.7513158	0.727
PI_UI...	44085	PI_UIO_BILOXI_3	3	180	180	18.2	18.2	6	6	0.7773585	0.762
PI_UI...	44096	PI_UIO_CDLA_IBAR...	1	340	351	18.2	18.2	7	2	0.2942884	0.478
PI_UI...	44096	PI_UIO_CDLA_IBAR...	2	170	169	18.2	18.2	8	5	0.406955	0.555
PI_UI...	44096	PI_UIO_CDLA_IBAR...	3	255	255	18.2	18.2	2	2	0.8495201	0.997
PI_UI...	44101	PI_UIO_COL_CONS...	1	120	120	18.2	18.2	8	8	0.4653051	0.667
PI_UI...	44101	PI_UIO_COL_CONS...	2	310	310	18.2	18.2	6	6	0.7150537	0.701
PI_UI...	44102	PI_UIO_COL_EMILI...	1	110	107	18.2	18.2	10	13	0.3072937	0.623
PI_UI...	44102	PI_UIO_COL_EMILI...	2	200	184	18.2	18.2	6	1	0.2215978	0.426
PI_UI...	44102	PI_UIO_COL_EMILI...	3	290	310	18.2	18.2	6	0	0.3449441	0.564
PI_UI...	44174	PI_UIO_PLYWOOD_1	1	75	79	18.2	18.2	8	8	0.3622662	0.511

Figura 120. LTE Cell Planning – Results Cells
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

En la figura 120 se puede observar que los parámetros que se encuentran con rojo luego de la optimización si han cambiado, de tal manera que al momento de visualizar los resultados se podrán notar los cambios y mejoras en cuanto a cobertura.

Los parámetros que contiene el cuadro de diálogo de resultados son descritos a continuación en la tabla 53 y 54.

Tabla 53. Parámetros de configuración LTE Cell Planning Results, pestaña Cells.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Iteration	Indica el número de una iteración.
Site Name	Indica el nombre del sitio.
Site ID	Indica el identificador ID del sitio.
Cell Name	Indica el nombre de la celda.
Local Cell ID	Indica el código interno de una celda para la diferenciarla de otras celdas bajo el mismo eNodoB.
Original Azimuth(°)	Indica el azimuth de la antena original para una celda.
Optimized Azimuth(°)	Indica el azimuth optimizado para una celda.
Original RS Power(dBm)	Indica la potencia RS original para una celda.
Optimized RS Power(dBm)	Indica la potencia RS optimizada para una celda.
Original Tilt(°)	Indica el ángulo de inclinación Tilt de la antena original para una celda.
Optimized Tilt(°)	Indica el ángulo de inclinación Tilt de la antena optimizado para una celda.
Original Fitness	Indica el valor de fitness, el cual representa el rendimiento de la celda.
Optimized Fitness	Indica el valor de optimizado fitness de una celda.

En la figura 121 se muestran los resultados de antes y después de realizar la predicción, mirando claramente las mejoras en cuanto a niveles de rendimiento y cobertura.

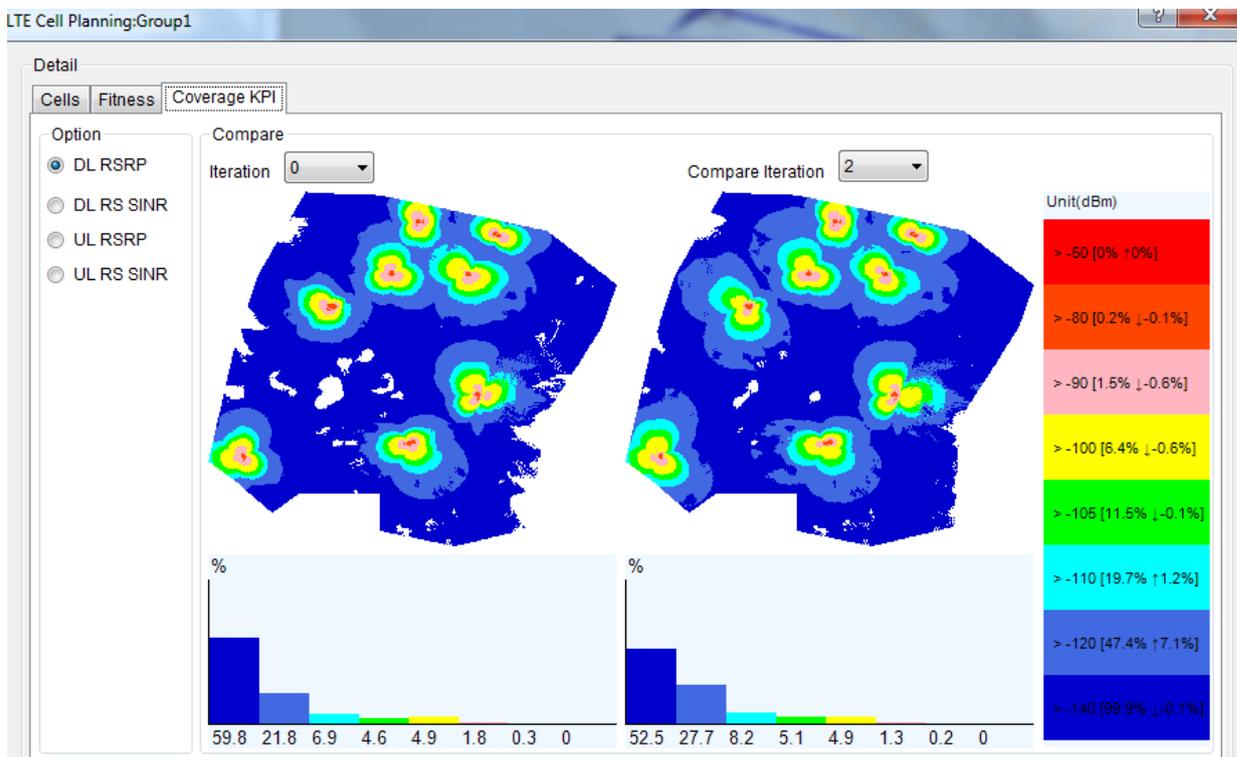


Figura 121. LTE Cell Planning – Coverage KPI.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 54. Parámetros de configuración LTE Cell Planning Results, pestaña Coverage KPI.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
DL RSRP	Se muestran los gráficos de predicción de cobertura DL RSRP de dos iteraciones.
DL RS SINR	Se muestran los gráficos de predicción de cobertura DL RS SINR de dos iteraciones.
UL RSRP	Se muestran los gráficos de predicción de cobertura UL RSRP de dos iteraciones.
UL RS SINR	Se muestran los gráficos de predicción de cobertura UL RS SINR de dos iteraciones.
Iteration	Indica la primera iteración para ser comparado.
Compare Iteration	Indica la segunda iteración a ser comparado ya con las mejoras realizadas por la optimización.

Nuevos resultados después de la optimización:

Best Server: En la figura 122 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción Best Server, el cual muestra la asignación de un color distinto para cada celda con el fin de representar que todas están recibiendo señales en enlace descendente.

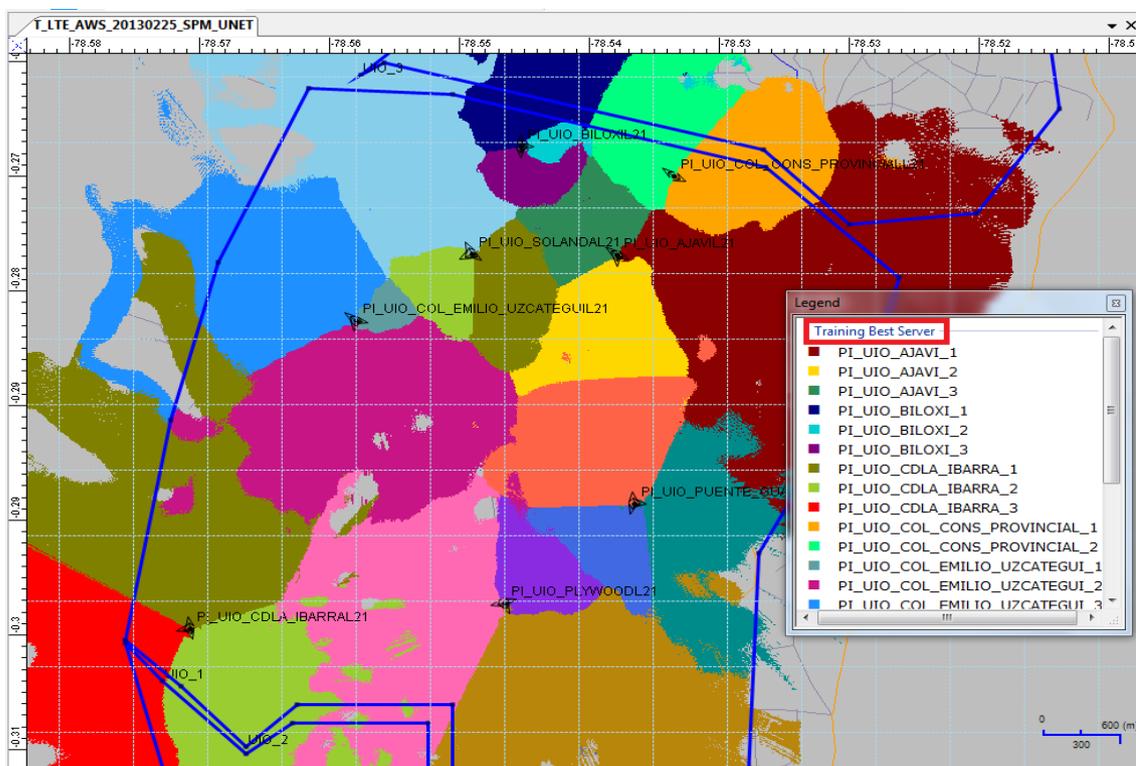


Figura 122. LTE Cell Planning – Coverage KPI.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

En relación a la figura 100 en la que se muestra que los colores por cada celda apenas cubren los límites del clúster 2 en estos nuevos resultados luego de la optimización se observa que cada color perteneciente a cada celda sobresale de los límites del clúster 2, esto se debe principalmente a que los parámetros de radio frecuencia fueron modificados y principalmente el radio de cobertura fue optimizado al 100%.

DL RSRP: En la figura 123 se puede apreciar los resultados del parámetro de predicción DL RSRP con la optimización, en el cual se puede apreciar los cambios que se han realizado en cuanto a cobertura, ya que se observa notablemente como la zona de cobertura de cada celda se ha ensanchado, manteniéndose en los valores de intensidad de señal de -90 dBm a -105 dBm los cuales garantizan una buena cobertura.

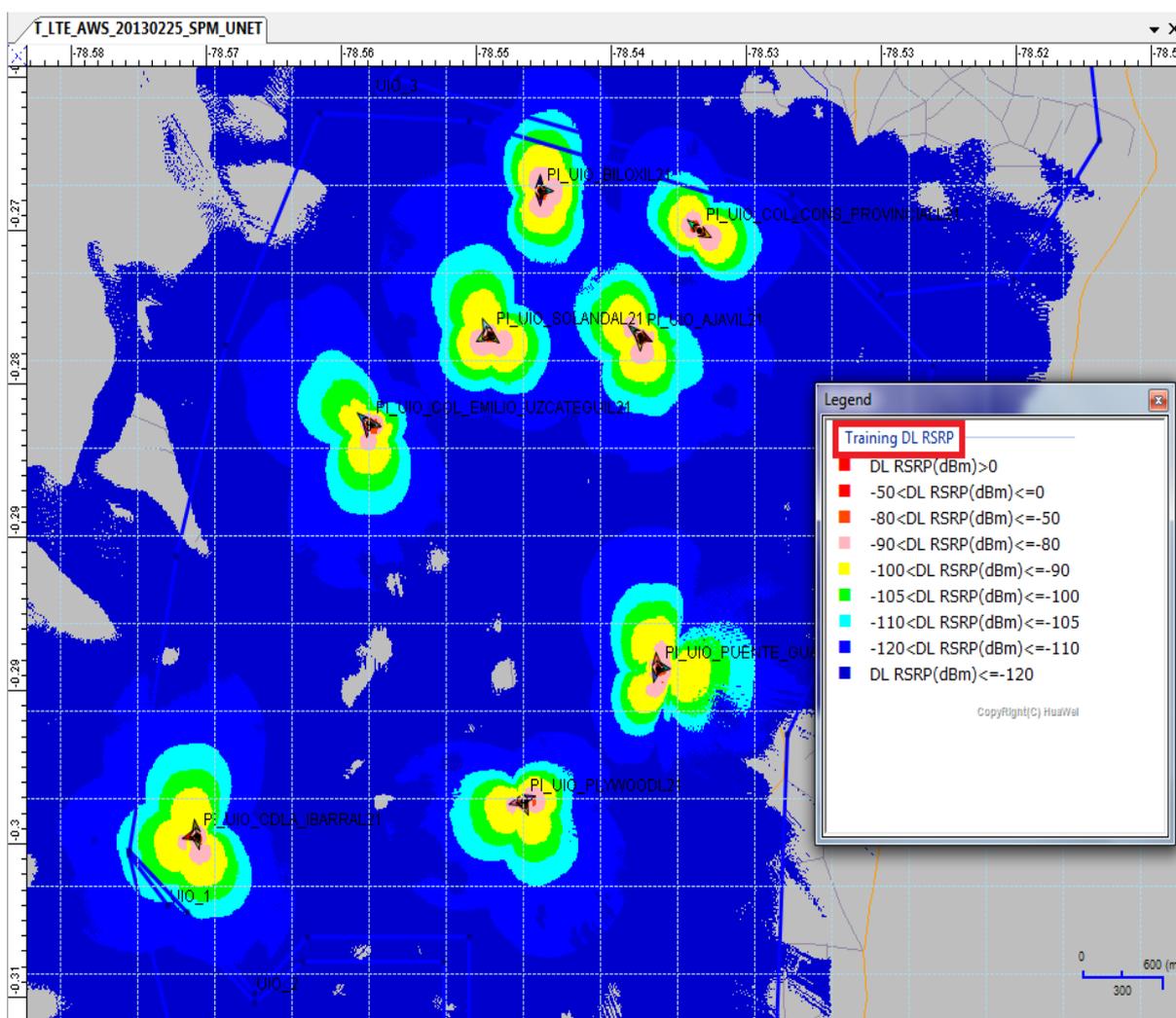


Figura 123. LTE Cell Planning – Training DL RSRP
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

DL RS SINR: En la figura 124 se observa el notable mejoramiento en cuanto a cobertura por cada celda en relación a los resultados obtenidos antes de la optimización de la figura 102. Los indicadores de niveles de cobertura descritos en la leyenda, reflejan resultados muy óptimos de hasta niveles de 60dBm y un rango promedio de 20 dBm a 5dBm.

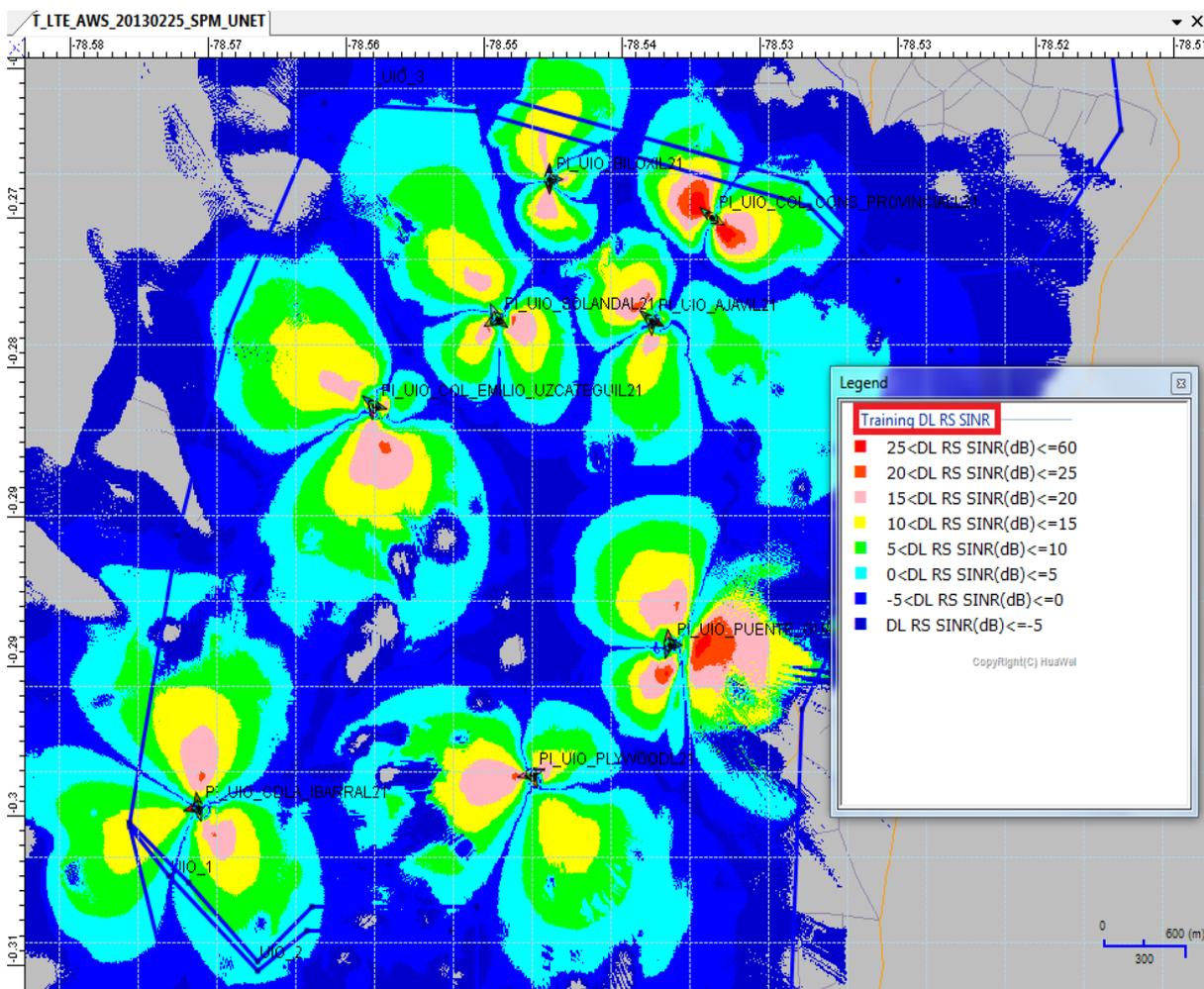


Figura 124. LTE Cell Planning – Training DL RS SINR
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

DL Mac Peak Throughput: En la figura 125 se observa las notables mejoras en cuanto a cobertura y niveles de rendimiento en la capa MAC para en enlace descendente. En relación a la figura 103 también se puede observar el ensanchamiento del lóbulo de radiación perteneciente a cada celda de los sitios; según la leyenda del software los resultados predominan dentro rango aceptable de 24 Mbps a 6 Mbps.

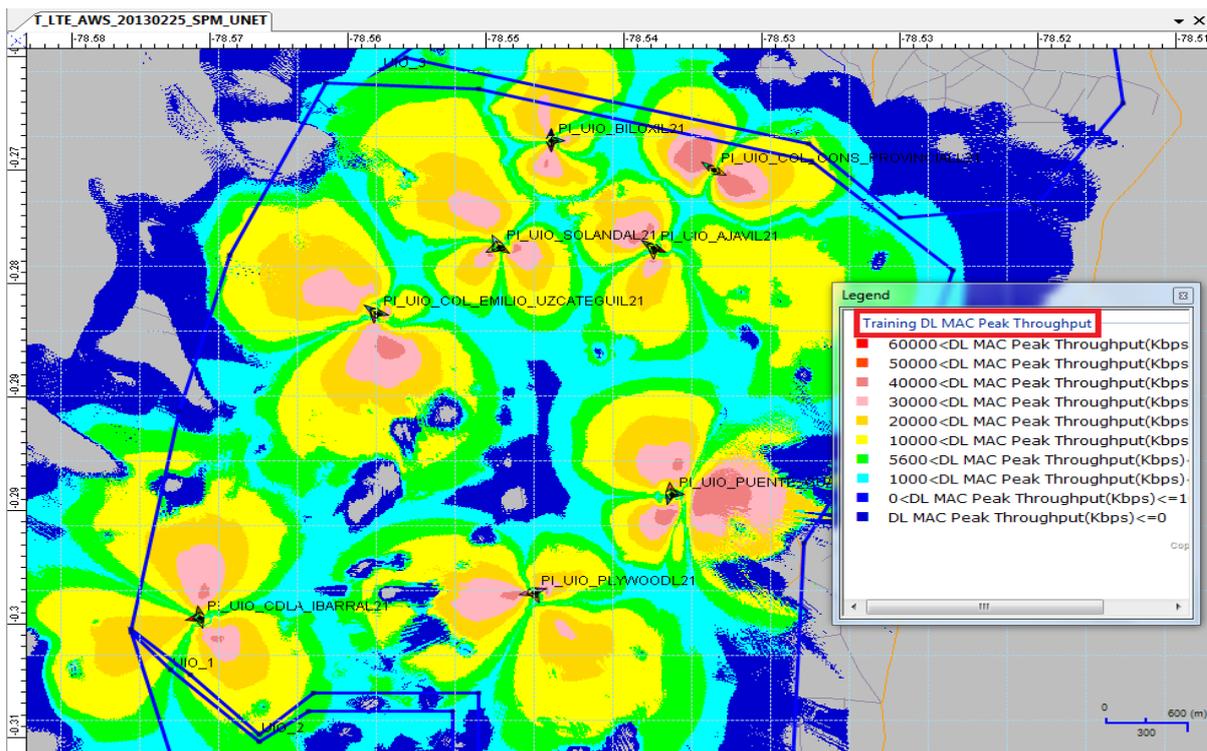


Figura 125. LTE Cell Planning – Training DL MAC Peak Throughput.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

UL Mac Peak Throughput: En la figura 126 se observa los resultados después de la optimización para los niveles de rendimiento en la capa MAC en enlace ascendente. En relación a la figura 104 también se observa mejor rendimiento en cuanto a cobertura y niveles de acceso a la capa MAC, según se describe en la leyenda generada por U-Net.

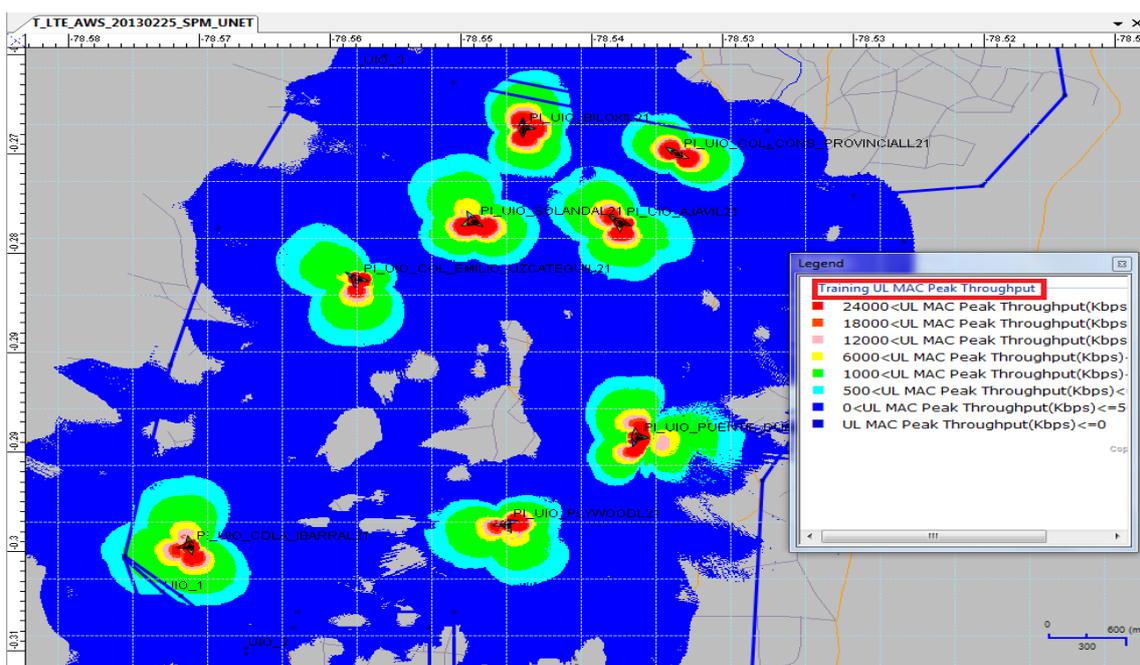


Figura 126. LTE Cell Planning – Training UL MAC Peak Throughput.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

4.3 DISPOSITIVOS DE RED EMPLEADOS EN LA TECNOLOGÍA LTE.

Con el rápido avance de las tecnologías de comunicaciones móviles, los operadores de red durante la construcción de nuevas redes de comunicación, se apoyan en la innovación y la integración de múltiples tecnologías al momento de ofrecer una solución de infraestructura. Este enfoque ayuda a los operadores móviles a ofrecer una red móvil rentable y orientada al futuro.

4.3.1 Introducción DBS 3900

Con el concepto de innovación continua en base a las necesidades de los clientes, Huawei ofrece estaciones base bajo el concepto de dos soluciones: Single RAN y Single BTS. Single BTS se refiere a la infraestructura física de las estaciones base denominada DBS 3900 la cual está formada fundamentalmente por los módulos BBU y RRU; por otra parte Single RAN provee la capacidad de integrar varias tecnologías en una sola infraestructura; de tal manera que constituye una solución escalable y compacta a la vez.

La estación base DBS3900 cuenta con un diseño modular de última generación, la cual se caracteriza por su pequeño tamaño, alta integración, bajo consumo de energía y despliegue fácil y rápido; además que son aplicables a diferentes escenarios de instalación, dependiendo los requerimientos de red. Esto implica una significativa reducción de los costos de construcción y los gastos de operación relacionados con la adquisición del sitio.

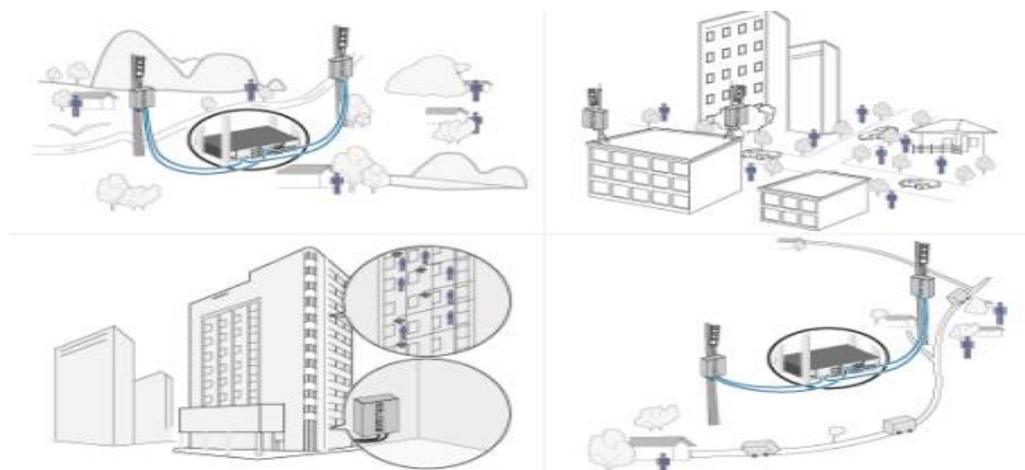


Figura 127. Escenarios típicos de aplicación de la DBS3900

Fuente: DBS3900 Product Description, Huawei Technologies CO., LTD. 2012-09-30.

La estación base DBS3900 está formada por un Mini Shelter y por dos módulos básicos: la unidad de banda base BBU 3900 y la unidad de radio remota RRU 3908, el escenario que se emplea para el presente diseño se muestra en la figura 128.

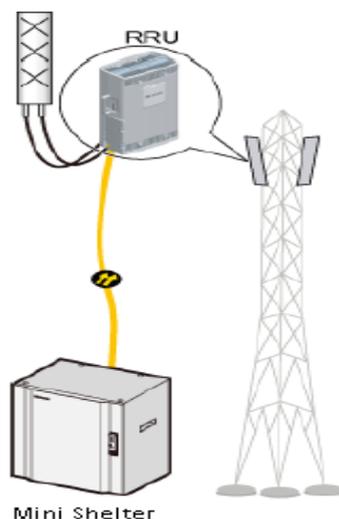


Figura 128. Escenario estación base DBS3900.

Fuente: DBS3900 Product Description, Huawei Technologies CO., LTD. 2012-09-30.

En este escenario, la BBU y equipos de transmisión están instalados dentro del armario de la transmisión más conocido como Mini Shelter, que proporciona protección al aire libre para la BBU. La RRU se puede instalar de forma flexible lo más cercano a las antenas ubicadas en la torre.

Todas las 16 estaciones base del clúster 2 se encuentran ya instaladas bajo la solución Single BTS y Single RAN, lo que significa que los 8 sitios que ofrecerán tecnología LTE únicamente tendrán que hacer una actualización en las tarjetas que conforman la BBU, por lo demás la misma infraestructura se mantendrá igual.

4.3.2 Especificaciones de capacidad DBS 3900

Tabla 55. Especificaciones de capacidad DBS3900.

Fuente: eNodeB LTE FDD V100R005 Product Description. Huawei Technologies CO., LTD. 2013.

Item	Especificación
Número máximo de celdas	4x2 MIMO 6 celdas 2x2 MIMO 12 celdas

Máximo rendimiento por celda (20MHz)	Velocidad downlink en la capa MAC (150Mbits/s). Velocidad uplink en la capa MAC (70Mbits/s)
Máximo rendimiento por eNodeB	Velocidad de datos Uplink y Downlink en la capa MAC: 1500 Mbits/s.
Máximo número de UE en modo conectado por eNodeB	10800 UE, con un ancho de banda de: 5 MHz/10Mhz/15MHz y 20MHz.

Para el presente proyecto cada eNodeB manejará 3 celdas, con velocidad con 150 Mbits/s en Uplink y 70 Mbits/s en Downlink; al manejar un ancho de banda de 20 MHz, soportará un máximo de 10800 UE por nodo.

4.3.3 Estructura del sistema Single BTS

La solución multi-banda Single BTS está compuesta por los siguientes equipos:

4.3.3.1 BBU3900

La BBU3900 es una unidad de control de banda base que transfiere señales entre la estación base y la red de núcleo, realiza las siguientes funciones:

- Proporciona puertos para la conexión a la Entidad de Gestión de Movilidad (MME), Servicio de puerta de enlace (S-GW) y los procesos relacionados con los protocolos de transmisión.
- Proporciona puertos CPRI para la comunicación con las RRU y procesa las señales de banda base en enlace UL y DL.
- Gestiona toda la estación base por medio de operación y mantenimiento (OM) y el procesamiento de mensajes de señalización.
- Proporciona la señal de reloj al sistema.
- Proporciona un canal de OM para la conexión a la terminal de mantenimiento local LMT o M2000.

4.3.1.1.1 Estructura Lógica BBU3900

La BBU3900 adopta un diseño modular, se incluye un subsistema de control, un subsistema de transporte, y un subsistema de banda base. Además, un módulo de reloj, módulo de energía, módulo de ventilador (FAN), y el módulo CPRI que es una interfaz de radio la cual garantiza la conexión entre la BBU y RRU mediante cables de fibra óptica.

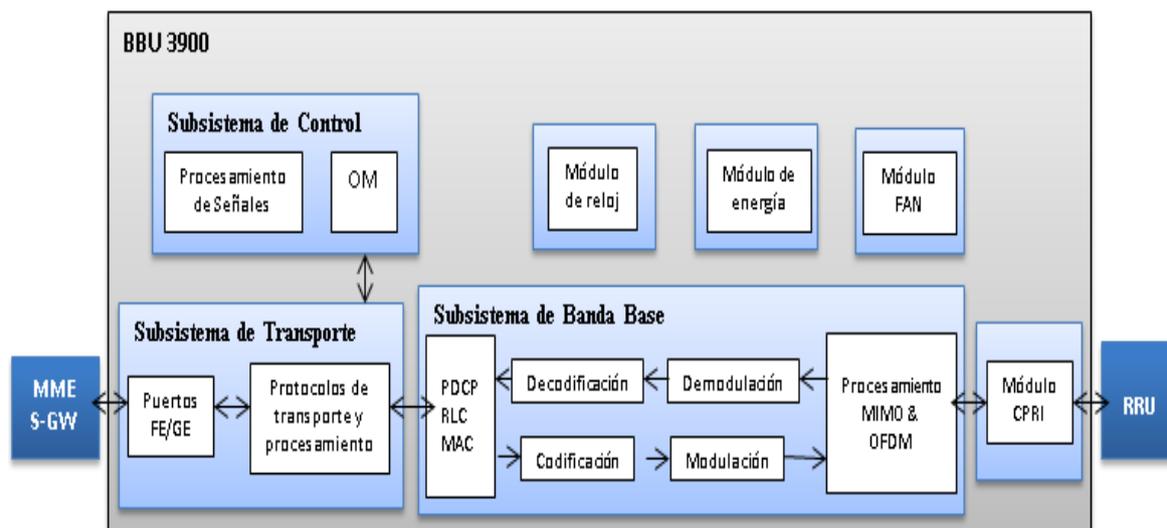


Figura 129. Estructura lógica BBU3900.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Subsistema de control: Las funciones del subsistema de control son implementadas por el módulo LMPT. Este subsistema realiza funciones de operación y mantenimiento (O&M), los procesos de señalización, y proporciona la señal de reloj al sistema. Gestiona todo el eNodeB.

- Las funciones O&M incluyen la gestión de configuración, gestión de fallos, la gestión del rendimiento y gestión de seguridad.
- La señalización implica la señalización del Protocolo de Convergencia de Datos por Paquetes (PDCP) en la interfaz Uu señalización del protocolo de transmisión de control (SCTP) en la interfaz S1 y X2.
- El reloj del sistema puede ser uno de los siguientes tipos: Sistema de Posicionamiento Global (GPS), IEEE1588 V2, sincrónico Ethernet, o reloj sobre IP.

Subsistema de Transporte: Las funciones del subsistema de transporte son implementadas por el LMPT / UMPT y UTRP, módulos los cuales proporcionan puertos para la comunicación entre el eNodeB y la red de core.

- Proporciona el canal de Operación y Mantenimiento entre el eNodeB y el terminal de mantenimiento local (LMT).
- Proporciona puertos para la comunicación entre el eNodeB y estaciones base 2G/3G de manera que los recursos de transmisión E1/T1 pueden ser compartidos por el eNodeB y las estaciones base 2G/3G

Subsistema de banda base: Se encarga del procesamiento de las señales y el envío de las mismas hacia la RRU.

4.3.1.1.2 Especificaciones técnicas BBU3900



Figura 130. Apariencia física BBU3900.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Las especificaciones técnicas de la BBU3900 se detallan en la tabla 56.

Tabla 56. Especificaciones BBU3900.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Ítem	Especificación
Dimensiones	Espesor: 86 mm, Ancho: 310 mm, Largo: 442mm.
Peso	12Kg
Fuente de alimentación	-48 V DC. Rango de voltajes :-36V DC a -57 V DC
Temperatura de operación	-20°C to +55°C

4.3.1.1.3 Tarjetas y puertos de la BBU3900

Según en el modo que se configure la BBU, se tiene diferentes módulos y tarjetas en su interior.

Es importante diferenciar una BBU configurada en modo UMTS y en modo LTE, ya que el cambio que se realizará es básicamente en las tarjetas como se muestra a continuación:

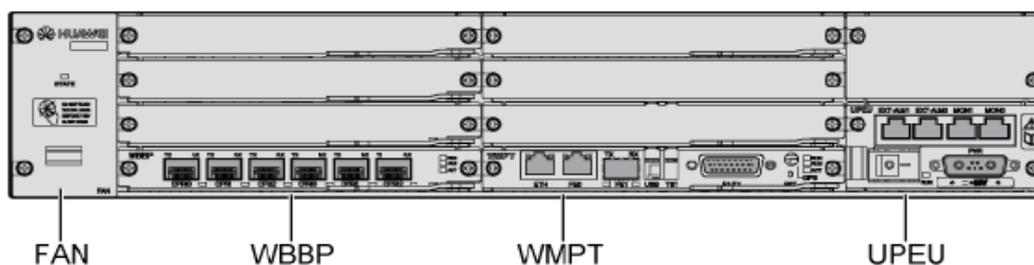


Figura 131. Configuración típica de la BBU3900 en modo UMTS
Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

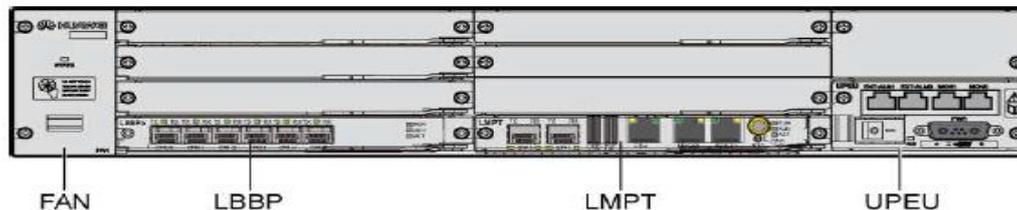


Figura 132. Configuración típica de la BBU3900 en modo LTE.
Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Como se puede observar en las figuras anteriores el cambio que se realiza se basa en el reemplazo de las tarjetas WBBP y WMPT por LMPT y LBBP. A continuación se describen los módulos y tarjetas de la BBU en modo LTE.

4.3.1.1.3.1 Módulo LMPT (LTE Main Processing and Transmission Unit)

El módulo LMPT de procesamiento principal LTE y unidad de transmisión, gestiona toda la red de acceso E-UTRAN en términos de operación y mantenimiento

(OM); además realiza funciones de control principal, transmisión de la señal de reloj e intercambio de mensajes de señalización. Es el principal módulo de comunicación desde la BBU hacia la red de core.

En la figura 133, se muestra cada uno de los puertos LMPT, los cuales son detallados en la tabla 57.

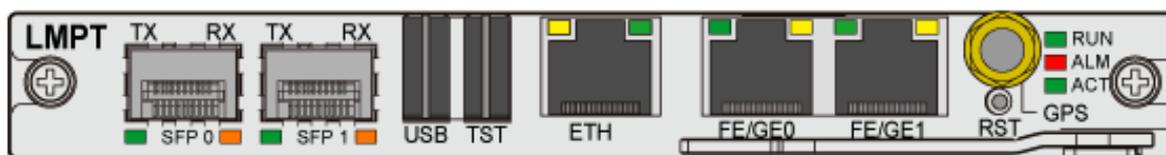


Figura 133. Módulo LMPT.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Tabla 57. Puerto módulo LMPT.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Módulo	Puerto	Conector	Cantidad	Función
LMPT	Puerto óptico FE/GE	SFP	2	La transmisión de datos a través de las interfaces S1 y X2.
	Puerto USB	USB	1	Sirve para cargar el software en la tarjeta.
	Puerto TST	USB	1	Sirve para hacer pruebas
	Puerto Ethernet de comisionamiento	RJ45	1	Sirve para realizar mantenimiento local.
	Puerto eléctricos FE/GE	RJ45	2	La transmisión de datos a través de las interfaces S1 y X2.
	Puerto antena GPS	SMA	1	Sirve para conectar con la antena GPS.

4.3.1.1.3.2 Módulo LBBP (LTE Baseband Processing Unit).

La unidad de procesamiento de banda base LTE procesa las señales de banda base, implementa las funciones de las capas PHY y MAC, y es compatible con la interfaz de radio pública común (CPRI). Es el módulo de comunicación principal hacia las RRU.

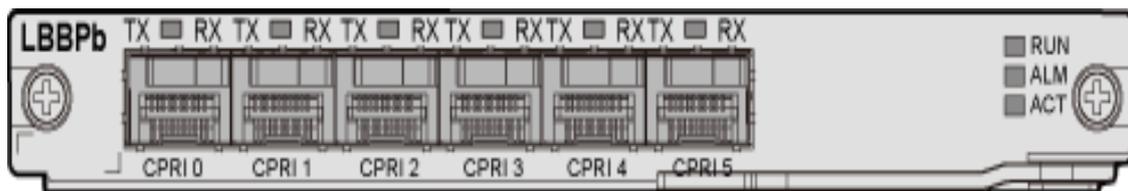


Figura 134. Módulo LBBP.
Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Tabla 58. Puerto módulo LBBP

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Módulo	Puerto	Conector	Cantidad	Función
LBBP	Puerto CPRI	SFP	6	Interfaz entre BBU y RRU

4.3.1.1.3.3 Módulo UPEU (Universal Power & Environment Interface Unit).

La unidad de interfaz universal de energía y medio ambiente se encarga de convertir -48V DC a 12V DC en la salida, en la tabla 59 se describen cada uno de sus puertos. Es el módulo de alimentación y de monitoreo de alarmas.

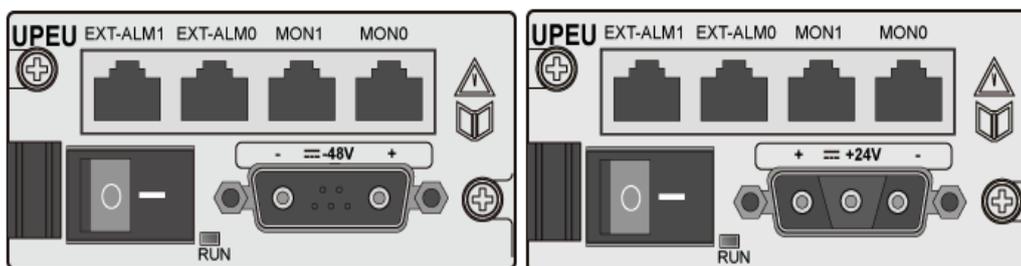


Figura 135. Módulo UPEU.
Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Tabla 59. Puerto módulo UPEU.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD

Módulo	Puerto	Conector	Cantidad	Función
UPEU	Puerto de Alimentación	3V3	1	Provee una entrada de -48V DC
	MON 0	RJ45	1	Transmiten las señales de supervisión y conectan a los dispositivos de control externos
	MON 1	RJ45	1	

E x T-ALM 0	RJ45	1	La transmisión de señales de contacto y las conecta a dispositivos de alarma externos.
E x T-ALM 1	RJ45	1	

4.3.1.1.3.4 Módulo FAN

La unidad de ventilación (FAN) controla el giro de los ventiladores, comprueba la temperatura del módulo de ventilador, y lleva a cabo la disipación de calor de la BBU. Realiza el control de la velocidad del ventilador y presenta informes del estado del ventilador al módulo LMPT.

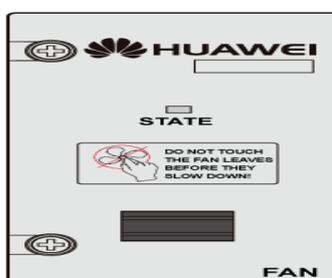


Figura 136. Módulo FAN.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

4.3.3.2 RRU 3908

La unidad de radio remota RRU 3908 proporciona funciones de modulación y demodulación de señales de banda base y de RF. La RRU 3908 se conecta a la BBU 3900 a través de fibra óptica y es instalada cerca de las antenas para reducir la longitud y pérdida de alimentación con el fin de mejorar la cobertura del sistema.

4.3.3.2.1 Estructura Lógica RRU 3908

El sistema RF realiza la modulación, demodulación, procesamiento de datos, combinación y división de señales de banda base y de radio frecuencia.

- **La interfaz CPRI:** Recibe datos de banda base en enlace downlink desde la BBU y transmite datos de banda base en enlace uplink hacia la BBU para las comunicaciones entre la RRU y la BBU.

- **TRX:** Proporciona dos canales de RX para las señales de RF en enlace uplink, dos canales de TX para las señales de RF en enlace downlink, y un canal de retroalimentación.

Los canales RX convierten las señales recibidas en enlace downlink y las amplifican a través de una conversión (A/D), mientras que los canales TX realizan un filtrado de señales en enlace downlink en conjunto con una conversión (D/A).

- **PA:** El amplificador de potencia amplifica las señales de radio frecuencia de baja potencia recibida desde el TRX.
- **LNA:** El amplificador de bajo ruido (LNA) amplifica las señales recibidas desde la antena.
- **Duplexer:** Se encarga de multiplexar las señales de RX y TX, lo cual permite que ambas señales puedan compartir en mismo canal de la antena.

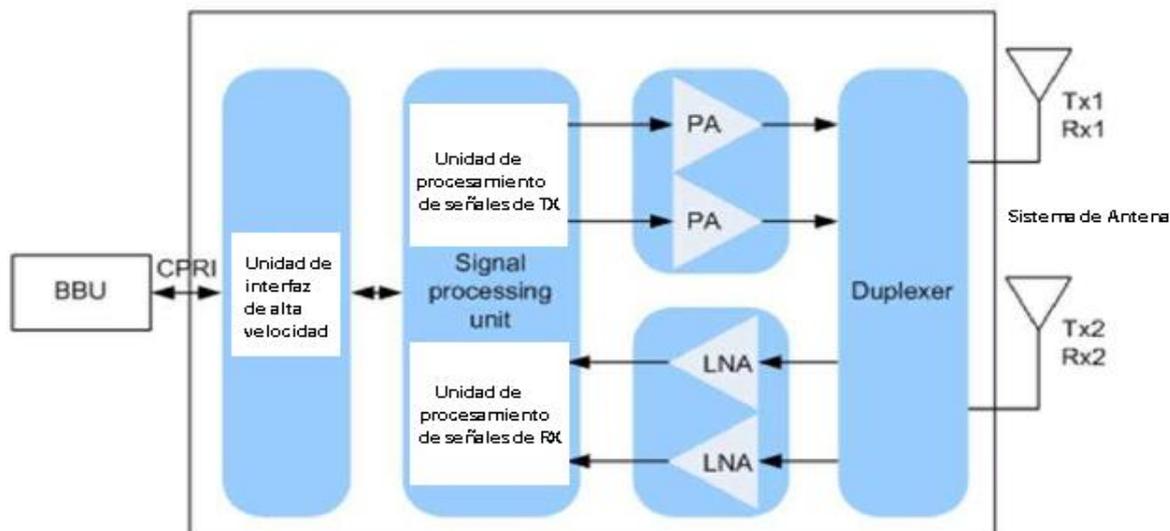


Figura 137. Estructura lógica RRU3908

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

4.3.3.2.2 Conexiones RRU 3908

Las conexiones necesarias para cada RRU son:

- **Cable de alimentación:** Es de -48V DC, con sección de 4mm^2 en color negro o azul y recubierto por chaqueta negra.
- **Cable GND:** Es de color verde/amarillo con sección de 16mm^2 .

- **Fibra óptica:** Multimodo para conectar a los puertos CPRI de la BBU.
- **Cable RF:** Es el cable que conecta la RRU con la antena, éste puede tener diferente configuración; se utiliza sólo jumper sólo hasta distancias de 10m, y la combinación jumper/feeder/jumper para distancias mayores a 10m. Los cables jumper son de 1/2” y los feeders de 7/8”.

En la figura 138 se muestran las principales conexiones que tiene la RRU 3908 con la BBU y la antena.

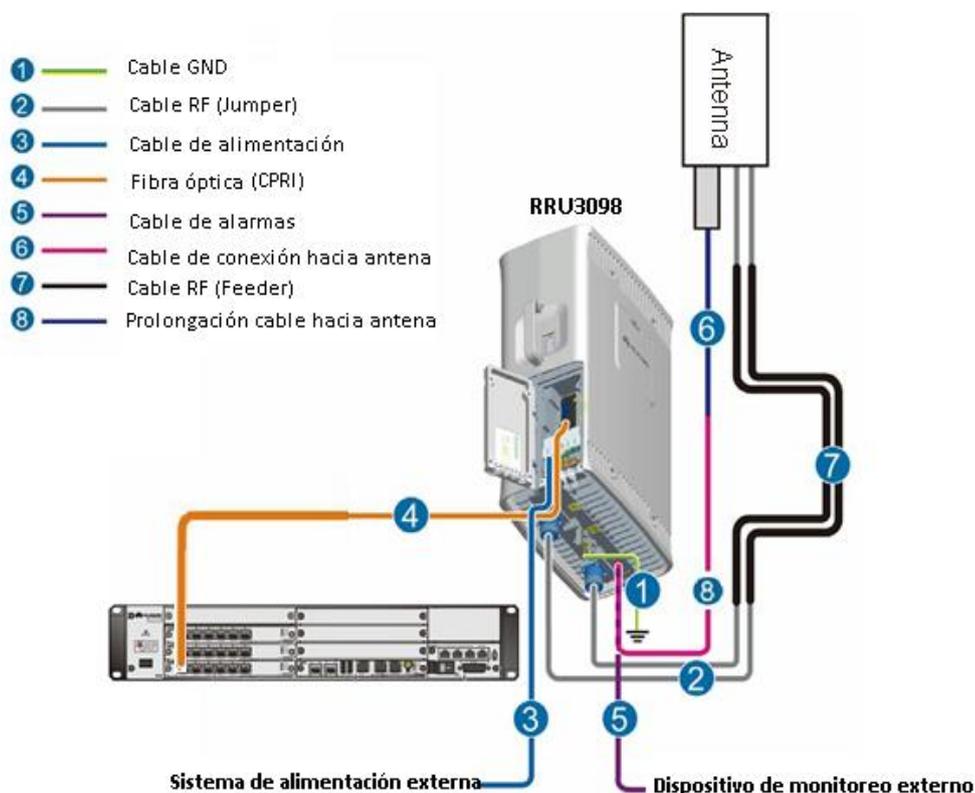


Figura 138. RRU3908.

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD

4.3.3.3 Antena Huawei Agisson A19451811

Manteniendo el concepto de brindar las mejores soluciones, Huawei Agisson se compromete a mejorar el éxito, respondiendo rápidamente a las demandas de los clientes al proporcionar estaciones base y soluciones de antena rentable y sostenible a través de tecnologías innovadoras.



Figura 139. Antena AGISSON A19451811

Fuente: Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD.

Las características más sobresalientes de la antena AGISSON A19451811 son:

Excelente rendimiento: El rendimiento eléctrico de las antenas de Huawei Agisson es mayor que el nivel promedio de las otras antenas existentes en la industria. La supresión de lóbulos laterales superior y sus propiedades tanto eléctricas como mecánicas han alcanzado los estándares líderes internacionales.

En la tabla 60 y 61 se muestra las propiedades mecánicas y eléctricas de la antena AGISSON A19451811.

Tabla 60. Propiedades eléctricas antena Agisson A19451811.

Fuente: Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD

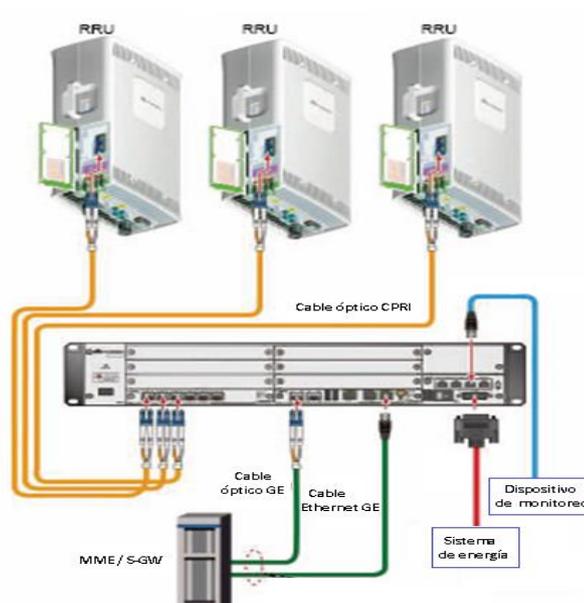
Propiedades Eléctricas										
Rango de Frecuencia (MHz)	1770 – 1880			1850 - 1990			1920 - 2170			
Polarización	±45°									
VSWR	≤ 1.4									
Ganancia (dBi)	(°)	2	6	10	2	6	10	2	6	10
	(dB)	17.8	17.7	17.5	17.9	17.7	17.5	18.0	17.7	17.5
3dB ancho de haz (horizontal)	66°			64°			62°			
3dB ancho de haz (vertical)	7.5°			6.8°			6.4°			
Aislamiento entre puertos (dB)	≥ 30									
Downtilt eléctrico	2° - 10°									
Max. Potencia de entrada (W)	300									
Impedancia (Ω)	50									
Toma puesta a tierra	Tierra DC									

Tabla 61. Propiedades mecánicas antena Agisson A19451811.**Fuente:** Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD

Dimensiones (largo, ancho, espesor) (mm)	1306 x 155 x 79
Peso neto (Kg)	6.5
Downtilt mecánico	0° - 16°
Material principal	Fibra de vidrio
Temperatura de operación (°C)	-20 to +55
Max. velocidad de viento	200
Conector	2x7 / 16 Conector DIN hembra

4.3.4 Interconexión de equipos DBS3900

Las estaciones base DBS3900 son de tipo outdoor, se componen principalmente de dos sistemas: sistema radiante y de procesamiento principal. Por lo general el sistema radiante correspondiente a las antenas, las cuales suelen ser instaladas en torres o dependiendo del caso puede ser en un mástil o monopolo. Para cada RRU se instala una antena respectivamente, puede haber hasta 4 RRU por estación base, ya que es asignada una por cada sector con el fin de proveer total cobertura. Por otra parte el sistema de procesamiento encabezado por la BBU se encuentra ubicado en el interior de un armario denominado Mini Shelter, a partir del cual se realizan las conexiones con la RRU y antenas. En la figura 140 se observa la interconexión de los recursos que conforman la DBS3900.

**Figura 140.** Interconexión DBS3900**Fuente:** Base Station Antenna Catalogue, Huawei Technologies CO., LTD

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN DE LA RED 4G

En este capítulo se describe los conocimientos básicos incluyendo las relaciones entre los parámetros de tráfico, para realizar la simulación de la capacidad de la red LTE con la ayuda del software U-Net, el cual genera un cierto número de abonados basado en la creación de un mapa de tráfico, y asigna recursos de red a los abonados generados. Entonces, U-Net analiza el rendimiento general de la red y recopila los resultados finales de la simulación de la capacidad, generando un informe estadístico.

5.1 PROCESO DE SIMULACIÓN DE LA RED LTE EN U-NET

En la figura 141, se muestra el proceso para el desarrollo de la simulación a través de U-Net.



Figura 141. Proceso de simulación de la red.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Como paso inicial antes de iniciar con el proceso de simulación, es importante configurar el ajuste de los parámetros de tráfico, proceso el cual ya se desarrolló anteriormente en el capítulo 4, de tal manera que el siguiente paso es la creación del mapa de tráfico.

5.1.1 Creación del mapa de tráfico.

Una vez que todos los parámetros de diseño se han configurado, es necesario crear un mapa de tráfico para proceder con la simulación de capacidad de la red.

Durante el proceso de simulación, U-Net genera los usuarios sobre la base del mapa de tráfico que se ha creado, el número de usuarios se determina por los parámetros de tráfico que se configuraron anteriormente durante el ajuste de los mismos.

Para el presente diseño se ha creado un mapa de tráfico basado en la cobertura de la celda, mediante el cual se puede establecer el uso del servicio, el volumen de tráfico o el rendimiento de cada celda en función de la cobertura real.

Los usuarios que se generan sobre la base de la cobertura de la celda se distribuyen en zonas especificadas por el parámetro **Best Server**, el cual anteriormente fue configurado dentro de las especificaciones del grupo de predicción. Por lo tanto, antes de crear un mapa de tráfico en función de la cobertura de la celda, es indispensable crear el grupo de predicción y configurar el parámetro Best Server.

Los pasos necesarios para la creación del mapa de tráfico basado en la cobertura de la celda son:

1. En la ventana del explorador, clic en la pestaña **Data**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Traffic Map**.
3. Elegir **New** en el menú contextual.

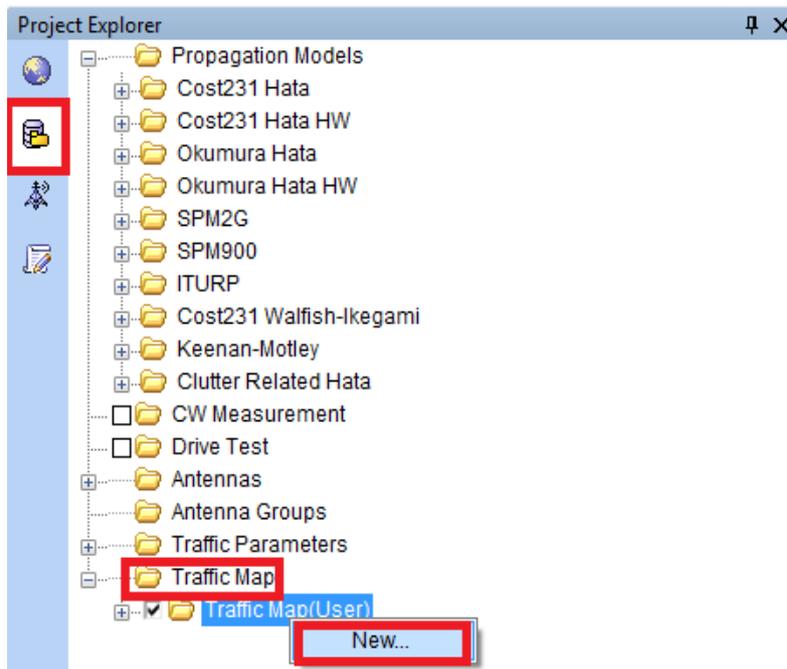


Figura 142. Proceso de simulación de la red.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. A continuación se presenta un cuadro de diálogo **Select Map Type**, en donde se debe elegir el tipo de mapa de tráfico, para este caso se eligió un mapa de tráfico basado en la cobertura de la celda.

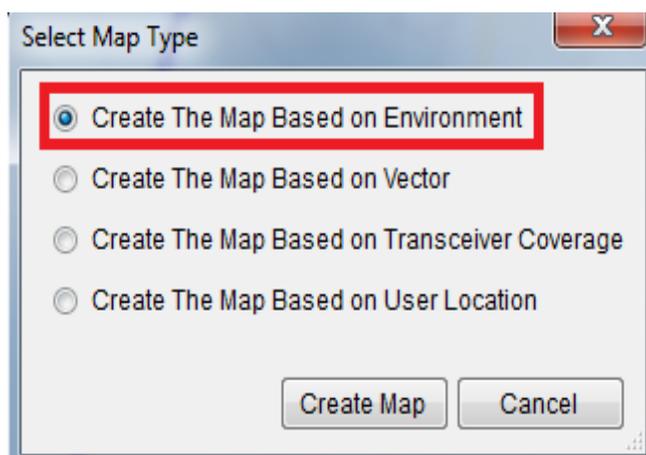


Figura 143. Seleccionar el tipo de mapa de tráfico.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

5. Clic en **Create Map**, y a continuación aparecerá el cuadro de diálogo **New Environment Traffic Map Properties**, en el cual contiene los parámetros del mapa de tráfico basado en la cobertura de la celda, los cuales son descritos en la tabla 62.

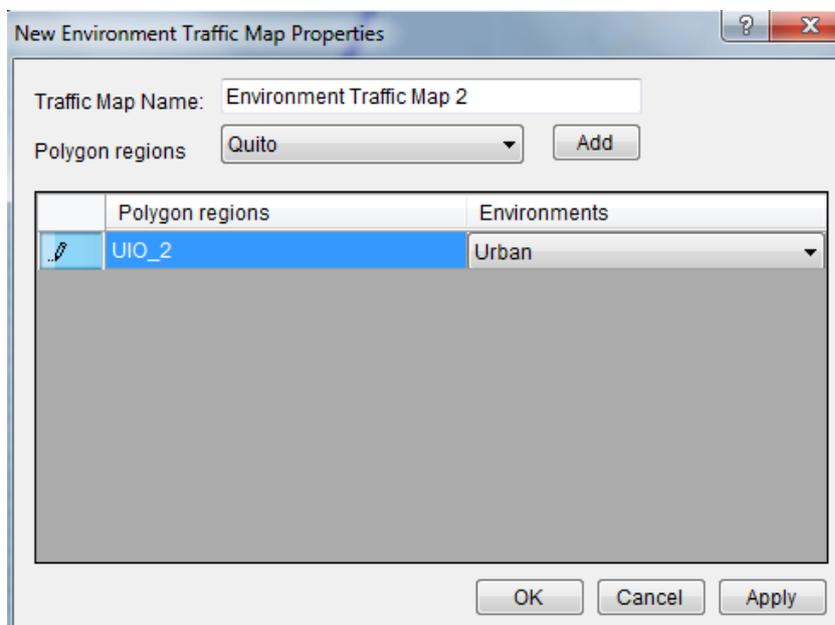


Figura 144. Propiedades del mapa de tráfico por cobertura de la celda.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 62. Parámetros de la pestaña Traffic para la creación del mapa de tráfico.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetro	Descripción
Traffic map name	Indica el nombre del mapa de tráfico.
Polygon region	Indica el área poligonal que cubrirá la simulación.
Environment	Indica el tipo de entorno, urbano.

6. Click en **Ok**, y tras los ajustes anteriores, el mapa de tráfico entorno a la zona poligonal del clúster 2 será creado como se muestra en la figura 145.

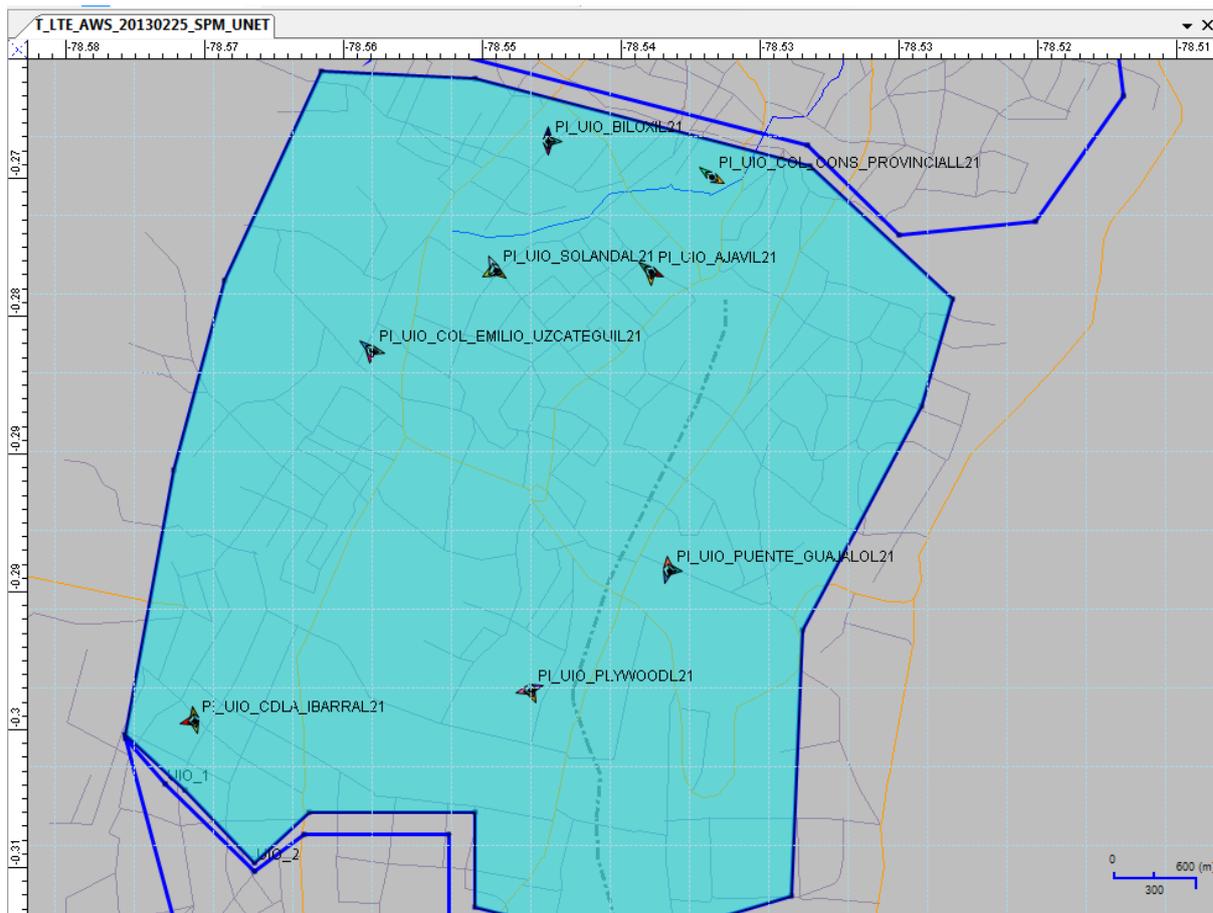


Figura 145. Propiedades del mapa de tráfico por cobertura de la celda.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

5.1.2 Creación del grupo de simulación.

Al igual que en el proceso de predicción, U-Net calcula la simulación de la red basado en grupos de simulación de tráfico, para lo cual es necesario comprobar que todos los ajustes de parámetros de tráfico se encuentren previamente configurados, el procedimiento es el siguiente:

1. En la ventana del explorador, click en la pestaña **Operation**.
2. En la ventana de navegación, seleccione **Simulations**.
3. Dentro del menú contextual, seleccionar **New** y a continuación se visualizará el cuadro de diálogo **Simulation Group Properties**.

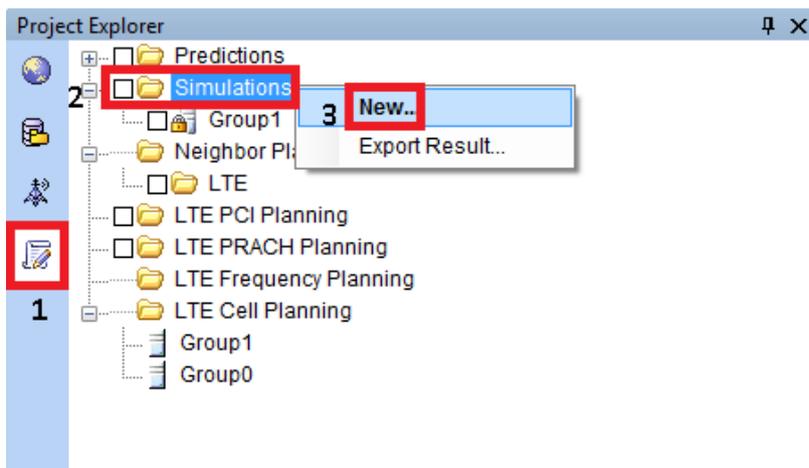


Figura 146. Nuevo grupo de simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

4. Se procede a establecer las propiedades del grupo de simulación, las cuales con descritas en la tabla 63, 64 y 65.

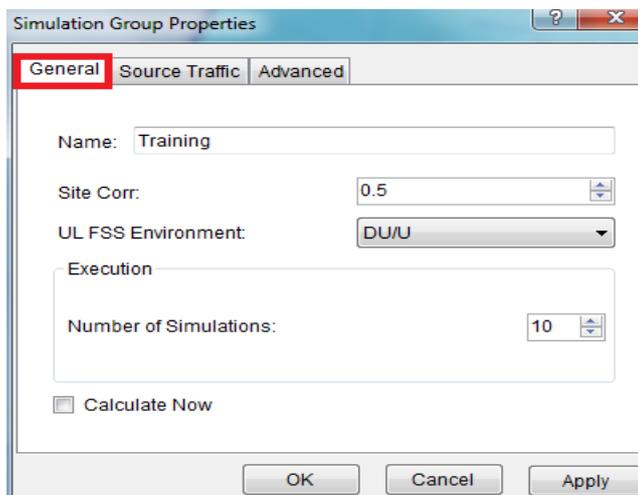


Figura 147. Propiedades del grupo de simulación-General.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 63. Parámetros de la pestaña General dentro de las propiedades del grupo de simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Parámetros	Descripción
Name	Nombre de un grupo de simulación, en este caso “training”
Site Corr	Factor de desvanecimiento de sombra en la estación base, se seleccionó un factor de 0.5 debido a que no existen muchos edificios, siendo el máximo valor 1.

UL FSS Environment	Se utiliza para modificar la ganancia de selección de frecuencia en UL según el tipo de entorno, para ello se seleccionó de tipo urbano y denso urbano. (U-UD).
Number of Simulations	Indica el número de simulaciones, un mayor número de simulaciones indica un resultado de la simulación más preciso, pero requiere más tiempo para el cálculo.
Calculate Now	Se selecciona si se desea realizar inmediatamente el cálculo de la simulación.

Se procede a seleccionar el mapa de tráfico en base a la zona del clúster 2: UIO_2.

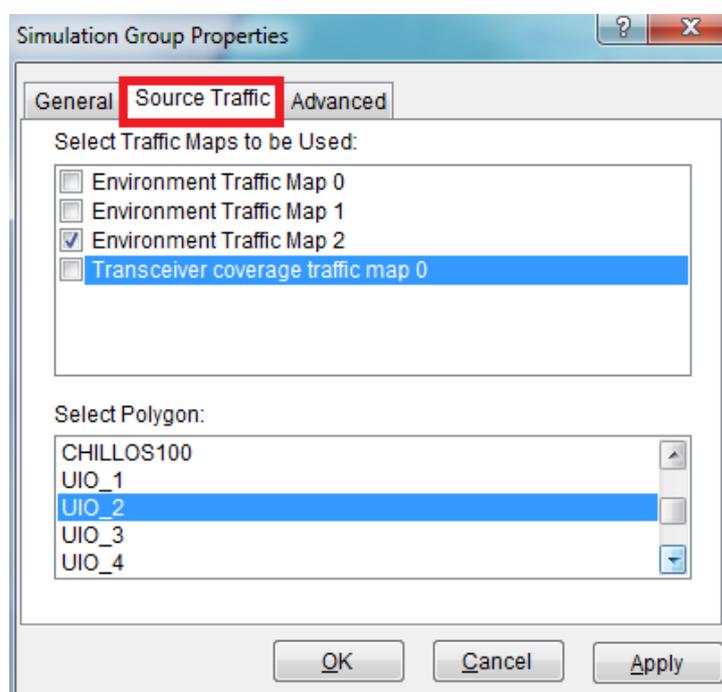


Figura 148. Propiedades del grupo de simulación-Source traffic.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Tabla 64. Parámetros de la pestaña Source Traffic dentro de las propiedades del grupo de simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetros	Descripción
Select Traffic Maps to be Used	Se selecciona el mapa de tráfico que se creó previamente.
Select Polygon	Se selecciona el área de cálculo de la simulación.

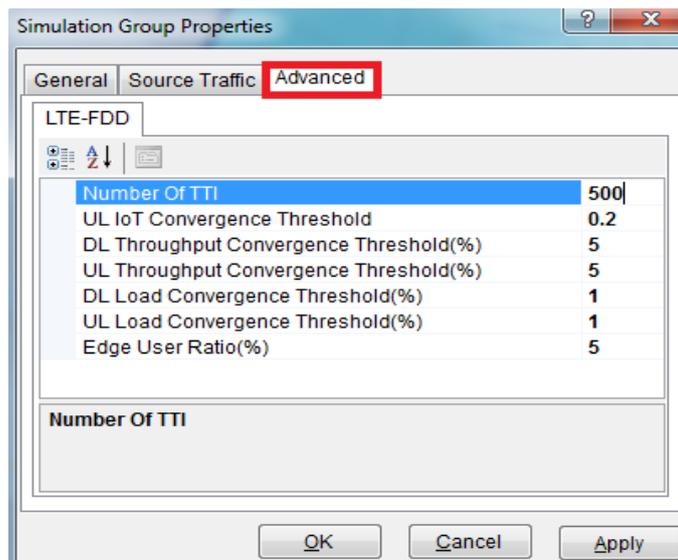


Figura 149. Propiedades del grupo de simulación-Advanced.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Tabla 65. Parámetros de la pestaña Advance dentro de las propiedades del grupo de simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Parámetros	Descripción
Number of TTI	Indica el número de intervalos de tiempo de transmisión (TTI), durante cada intervalo en eNodeB considera el entorno de radio físico en el que se encuentran los UE, con el fin de que los UE notifiquen su calidad de radio percibida. U-Net adopta la simulación mediante TTI con el fin de obtener resultados de comportamiento en diferentes tiempos. Un mayor número de TTI indica un resultado de la simulación más precisa, pero se requiere un tiempo más largo para el cálculo.
UL IoT Convergence Threshold	Indica el umbral de convergencia de la interfaz actual sobre el terminal (IoT) en UL, es utilizado para comprobar si la red tiene convergencia, se ha asignado un valor de 0.2 siendo el máximo 0.4
DL Throughput Convergence Threshold(%)	Indica el umbral de convergencia del rendimiento en DL, es decir la cantidad mínima al 5% para comprobar si la red es convergente.
	Indica el umbral de convergencia del

UL Throughput Convergence Threshold(%)	rendimiento en UL, es decir la cantidad mínima al 5% para comprobar si la red es convergente
DL Load Convergence Threshold(%)	Umbral de convergencia de carga de enlace descendente, se utiliza para comprobar si la red es convergente al 1% de recepción de señal.
UL Load Convergence Threshold(%)	Umbral de convergencia de carga de enlace ascendente, se utiliza para comprobar si la red es convergente al 1% de recepción de señal.
Edge User Ratio (%)	Es utilizado para calcular el número de usuarios borde de la celda, ya que se está manejando valores de umbral es decir valores mínimos se calculará los usuarios únicamente del 5% del radio de la celda.

5. Para calcular la capacidad de simulación inmediatamente después de haber creado el grupo de simulación, click en **Ok** y **Calculate**.

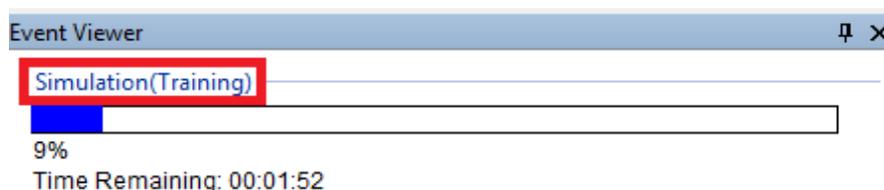


Figura 150. Calculando simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

5.1.3 Visualizar el resultado de la capacidad de simulación.

Una vez que se ha creado el grupo de simulación, se puede establecer las propiedades de visualización de los resultados obtenidos, para el presente diseño se optará por consultar el resultado de la simulación a través de representaciones por colores en el mapa que se cargó inicialmente, para ello U-Net clasifica a los usuarios según el tipo de usuario y el tipo de movilidad; además puede representar los diferentes tipos de usuarios de simulación en variadas formas y colores en el mapa.

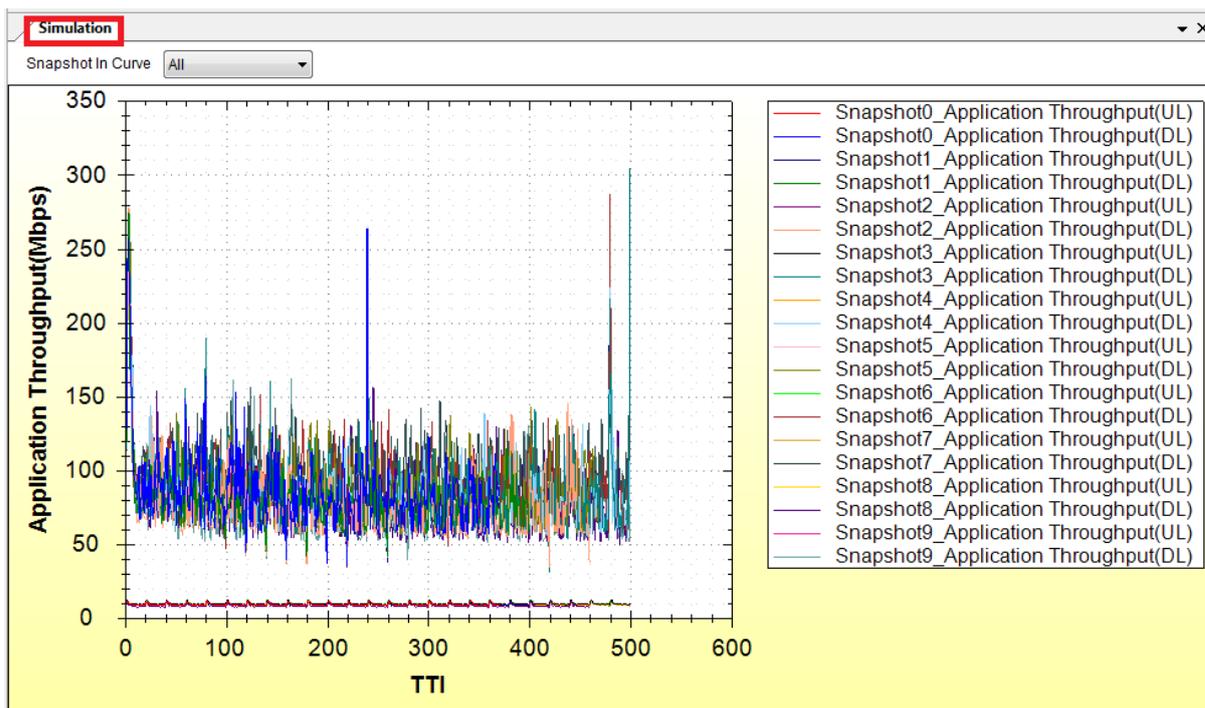


Figura 151. Resultados simulación.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 151 se puede observar el resultado total de la simulación durante un intervalo de tiempo de transmisión de 500 TTI, se consideraron 10 simulaciones o snapshots los cuales han sido calculados para downlink y uplink.

Cabe recalcar que existen intervalos de tiempo durante la simulación en los cuales se tiene rendimientos muy buenos de hasta 300 Mbps, y el resto de tiempo prevaleciendo en un valor de 130 Mbps, valores los cuales se encuentran dentro de los estándares de rendimiento y capacidad de transmisión de LTE.

5.1.4 Análisis del resultado de la capacidad de simulación.

Margen de interferencia IoT: En la figura 152 se puede observar el resultado de la simulación en el parámetro de margen de interferencia en el enlace ascendente del sistema LTE, el cual es considerado como el ruido térmico producido por la interferencia entre celdas adyacentes que se encuentran utilizando los mismos recursos físicos e incluso frecuencias similares al mismo tiempo.

En LTE se considera como valor típico y aceptable para el margen de interferencia de hasta 3 dB, y como podemos observar en la gráfica éste parámetro se está cumpliendo ya que solo el mínimo del 0.01% sobrepasa el rango de los 3 dB en adelante.

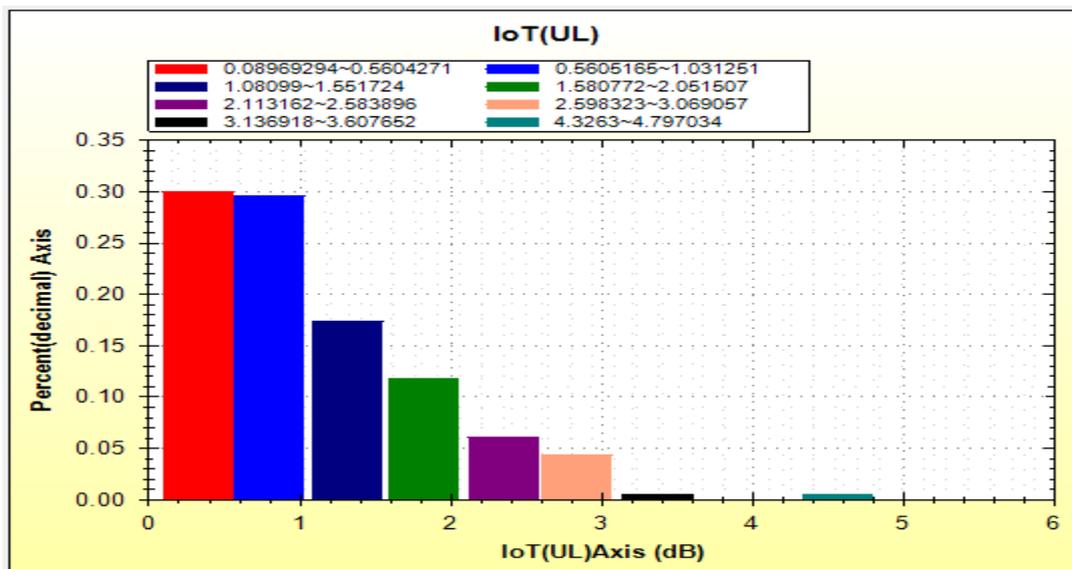


Figura 152. Resultados simulación IoT (UL).
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

▪ Resultados Globales

Dentro de los resultados globales de la simulación tenemos de los usuarios que están intentando conectarse a la red LTE y de los usuarios que lograron conectarse a la red haciendo uso de todos los recursos.

Usuarios Intentando conectarse a la red LTE: En la figura 153 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos para los usuarios que intentaron acceder a la red LTE, de tal manera que para 500 intervalos de tiempo de transmisión se tuvo que desearon acceder a la red 1034.3 usuarios con una promedio de demanda de rendimiento para enlace descendente de: 26.72613 Mbps y 4.913738 Mbps de rendimiento en enlace ascendente.

Tanto el número de usuario así como la capacidad de rendimiento para uplink y downlink, se encuentran distribuidos para cada servicio, de tal manera que para el servicio LTE FTP se tiene un total de 418 usuarios queriendo acceder al servicio a través de la red

LTE, de los cuales 369,6 se encuentran en enlace downlink y 48.4 usuarios en uplink, los valores máximos que requieren para lograr acceder a éste servicio en cuanto a capacidad de rendimiento es de: 484 Kbps en downlink y 3.696 Mbps en uplink.

Para el servicio LTEVoIP se tiene un total de 165.3 usuarios intentando acceder al servicio a través de la red LTE, de los cuales 82.6 usuarios se encuentran en enlace downlink y 82.7 usuarios en enlace uplink, de tal manera que el promedio de rendimiento que requieren para hacer uso del servicio en enlace uplink es de 1.00894 Mbps y en downlink de 1.007721 Mbps.

Para el servicio LTEWeb Browsing, se tiene un total de 451 usuarios, distribuidos 344.1 en enlace downlink y 106.9 en enlace uplink, de los cuales los usuarios en enlace uplink requieren una demanda de rendimiento promedio de 3.4208 Mbps, mientras que para el enlace downlink se requiere una demanda de rendimiento de 22.0224Mbps.

De manera que si sumamos los rendimientos promedios tanto para uplink y downlink de cada servicio, se obtendrá el valor inicial de demanda total por parte del conjunto total de usuarios queriendo acceder a la red.

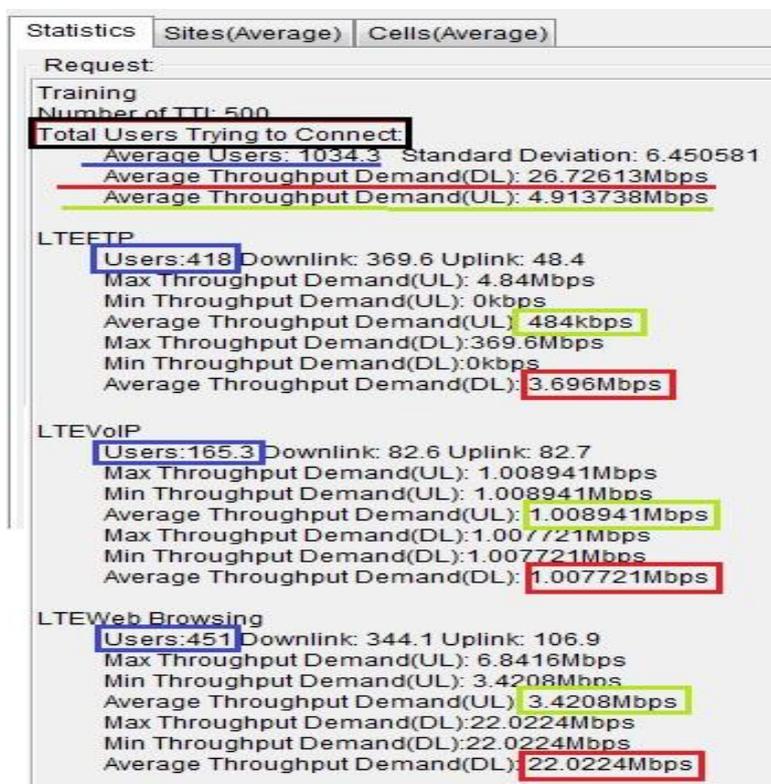


Figura 153. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios queriendo acceder a la red LTE.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Usuarios conectados a la red LTE: En la figura 154 y 155 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos para los usuarios que accedieron a la red LTE, de tal manera que se tuvo un total de 814.9 usuarios que accedieron a la red LTE, con un rendimiento en capa MAC en enlace uplink de: 10.2154 Mbps y 87.50877 Mbps en downlink; mientras que en capa aplicación se tiene un rendimiento para enlace uplink de 9.573561 Mbps y en downlink de 82.85704 Mbps.

Según estos resultados se puede notar que los valores tanto en uplink como en downlink son mayores para capa MAC, ya que son los rendimientos con los cuales se accede en primera instancia al servicio; mientras que para capa aplicación se tiene valores aún sobre los estándares pero inferiores con relación a capa MAC, esto se debe principalmente a que los recursos se van desgastando en todo el proceso que se realiza a lo largo de la red de acceso hasta llegar a los servicio y aplicaciones finales.

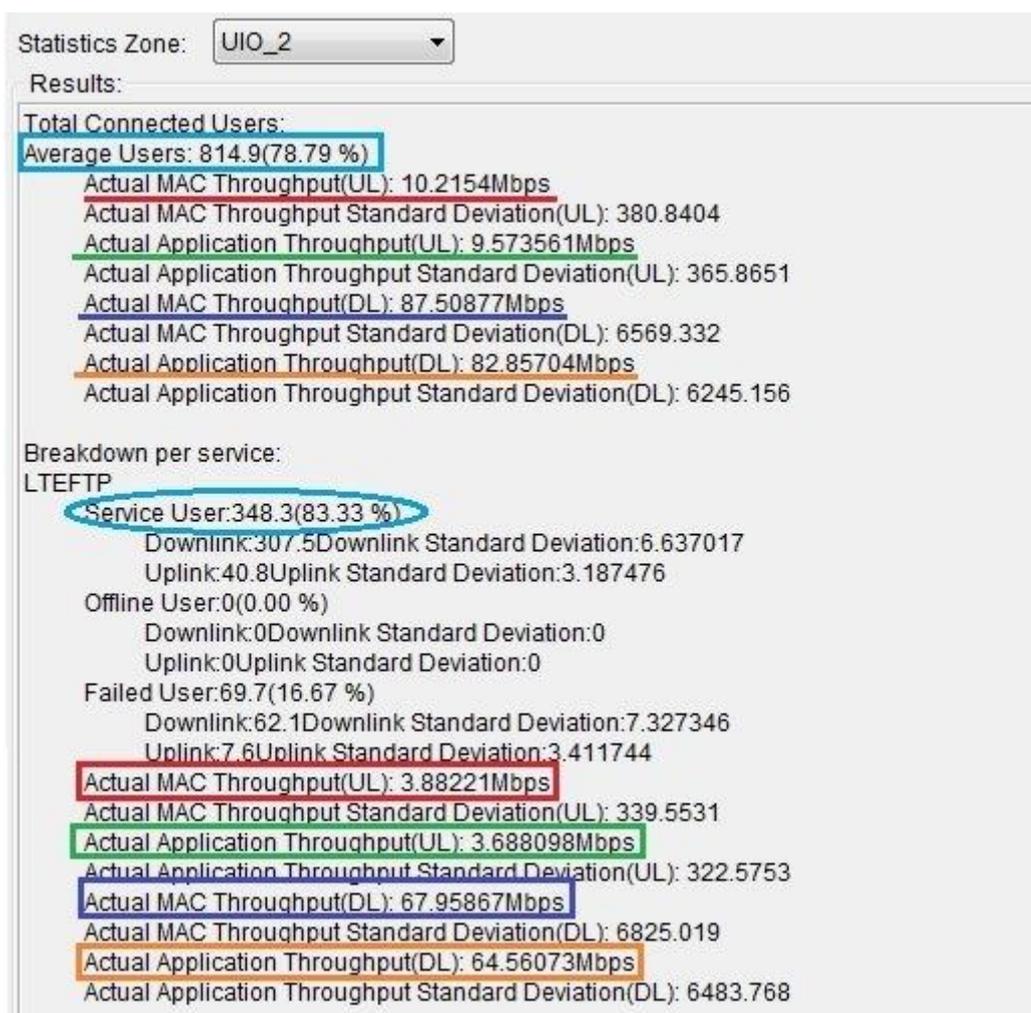


Figura 154. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios con acceso a la red LTE (1).

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

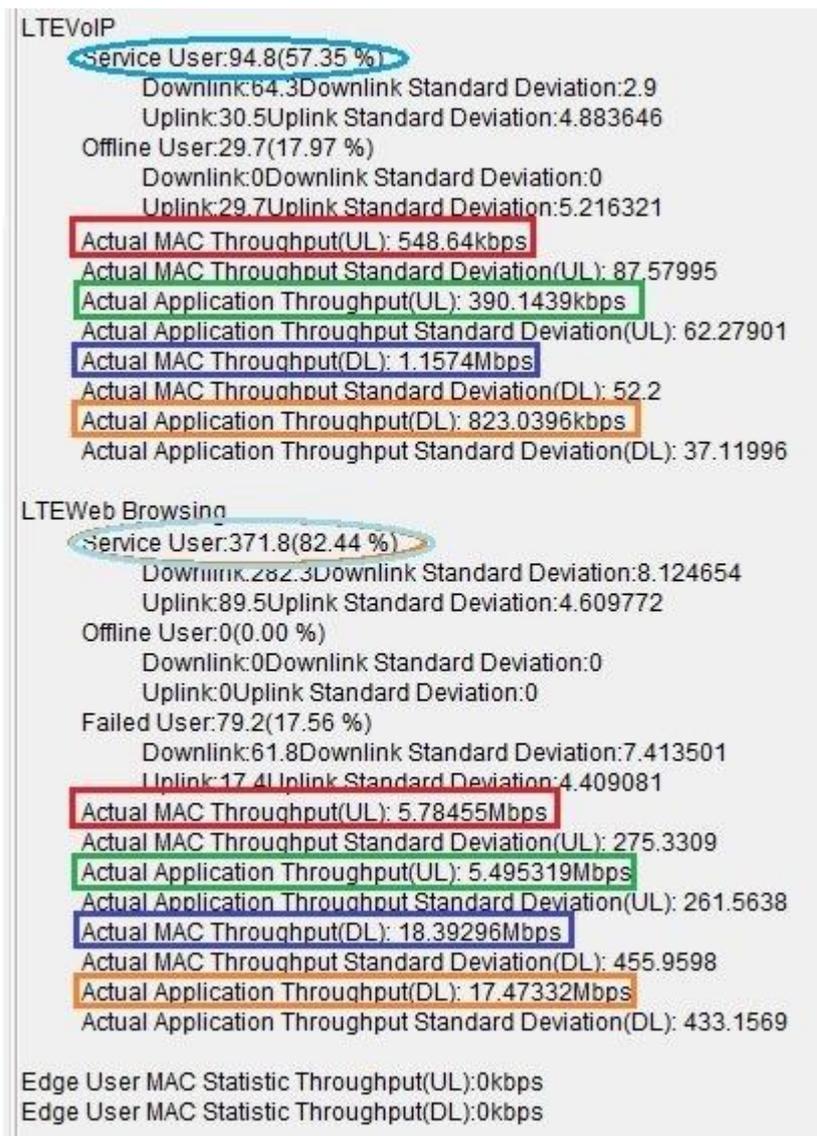


Figura 155. Resultados totales del grupo de simulación para usuarios con acceso a la red LTE (2).
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Adicionalmente se puede obtener la ubicación de los usuarios según su estado de conexión en el que se encuentren, en la tabla 66 se muestra la clasificación de los usuarios según su estado.

Tabla 66. Clasificación de usuarios según su estado.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Estado	Descripción
Satisfied	Indica los usuarios que están satisfechos con la calidad de la red, es decir, los usuarios que no están en ninguno de los siguientes estados: ULNoCover,

	DLNoCover, NoAccess y Offline.
ULNoCover	Indica el usuario que no tiene cobertura en enlace ascendente.
DLNoCover	Indica el usuario que no tiene cobertura en enlace descendente.
NoAccess	Indica el usuario que no se tiene acceso a la red.
OffLine	Indica los usuarios desconectados de la red.

En la figura 156 se encuentran los usuarios en estado satisfecho, es decir que pueden acceder a la red y vivir la experiencia LTE a capacidades de 82.85704 Mbps en enlace downlink y 9.573561 Mbps en enlace uplink.

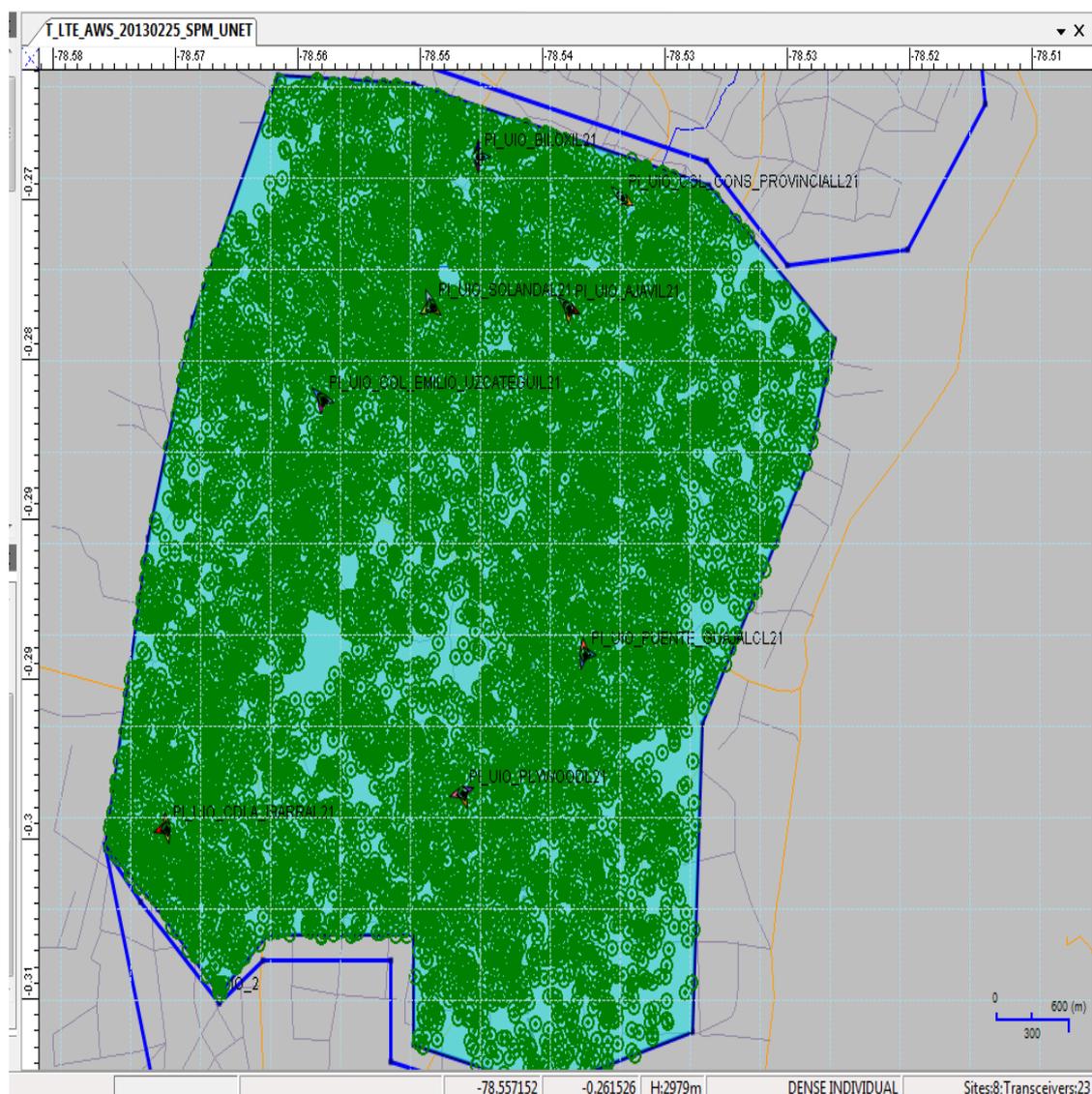


Figura 156. Usuarios en estado satisfecho.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 157 se encuentran los usuarios que no tienen cobertura en enlace uplink, dentro de ellos se encuentran los usuarios que se encuentran queriendo acceder a la red.

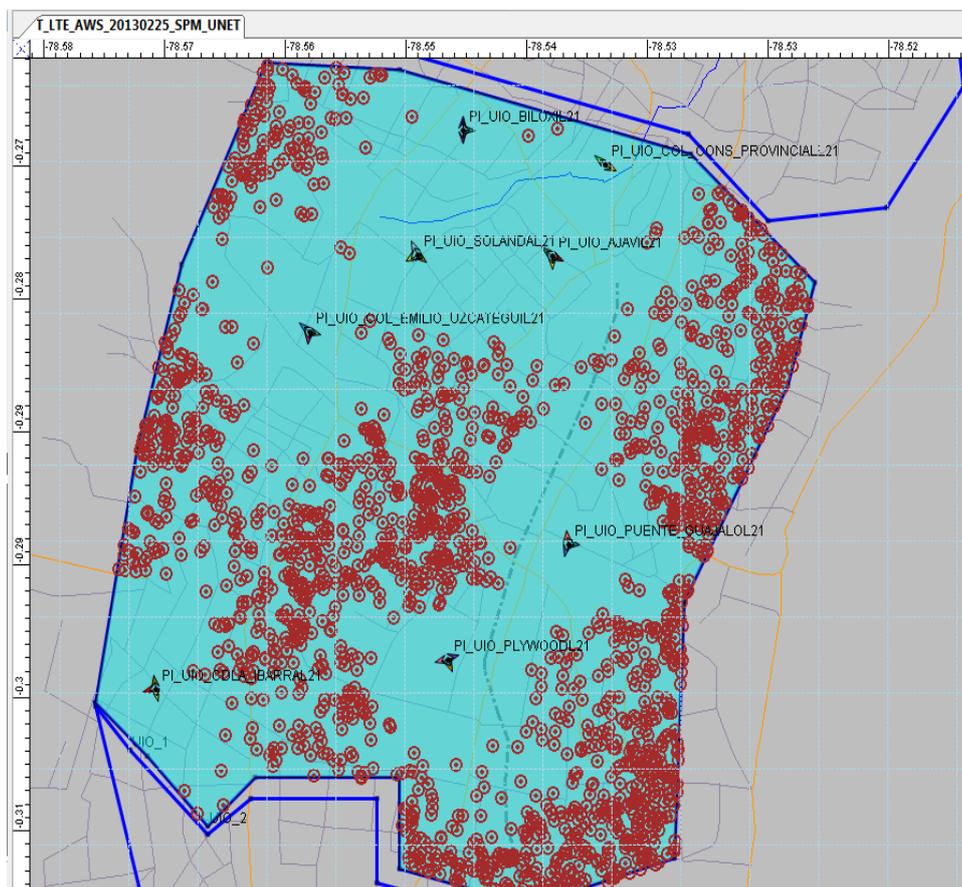


Figura 157. Usuarios en estado ULNoCover
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 158 se encuentran los usuarios que no tienen cobertura en enlace downlink, se puede observar que los usuarios que no tiene cobertura en enlace downlink son menores en relación a los usuarios que no tienen cobertura en enlace uplink, esto se debe a que siempre los niveles de rendimiento en downlink son mucho mayores gracias al método de acceso al medio OFDMA utilizado en LTE.

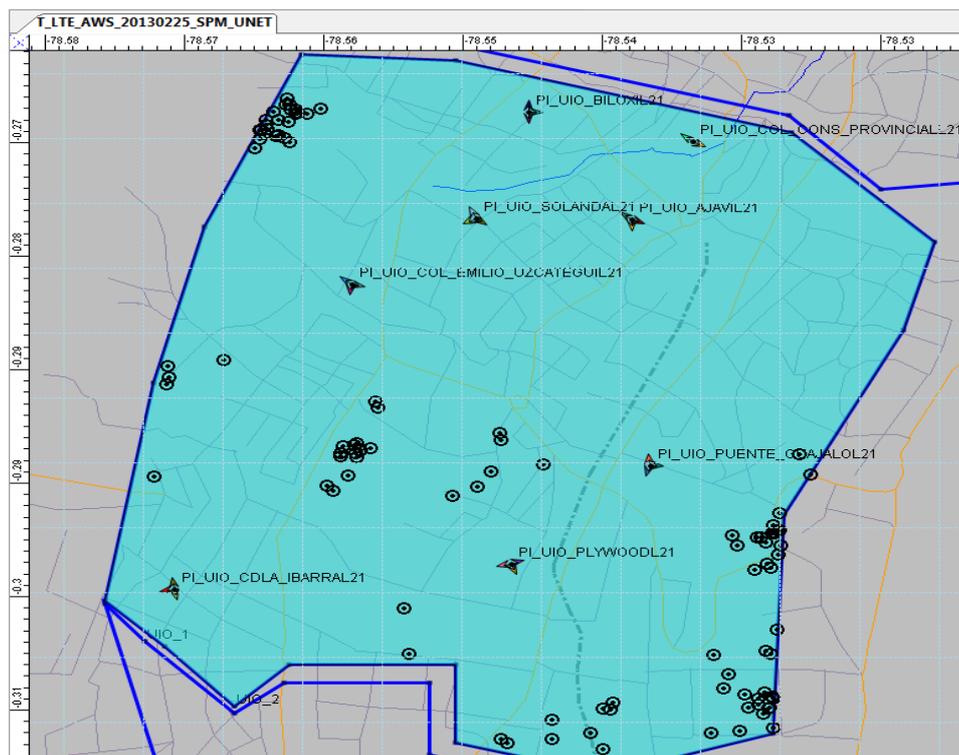


Figura 158. Usuarios en estado DLNoCover
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 159 se observa los usuarios que no accedieron a la red, debido a que no cumplieron con el proceso de autenticación y el proceso de registro en la red.

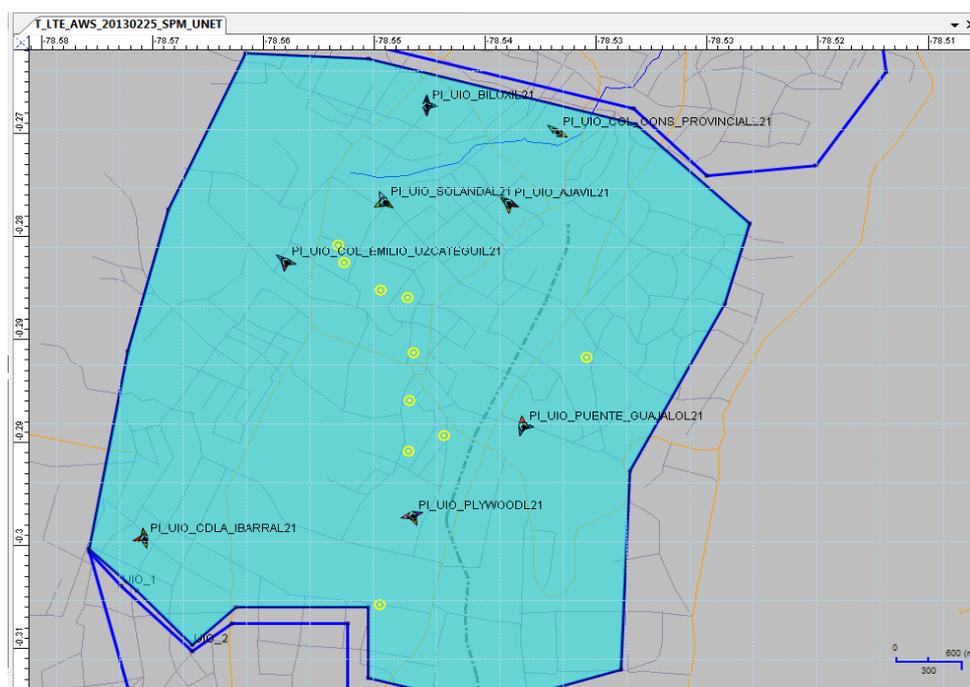


Figura 159. Usuarios en estado NoAccess.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Finalmente en la figura 160 se encuentran los usuarios desconectados, los mismos que tienen la libertad de conectarse a la red 3G o LTE según sus necesidades o lugar de ubicación dentro del clúster 2.

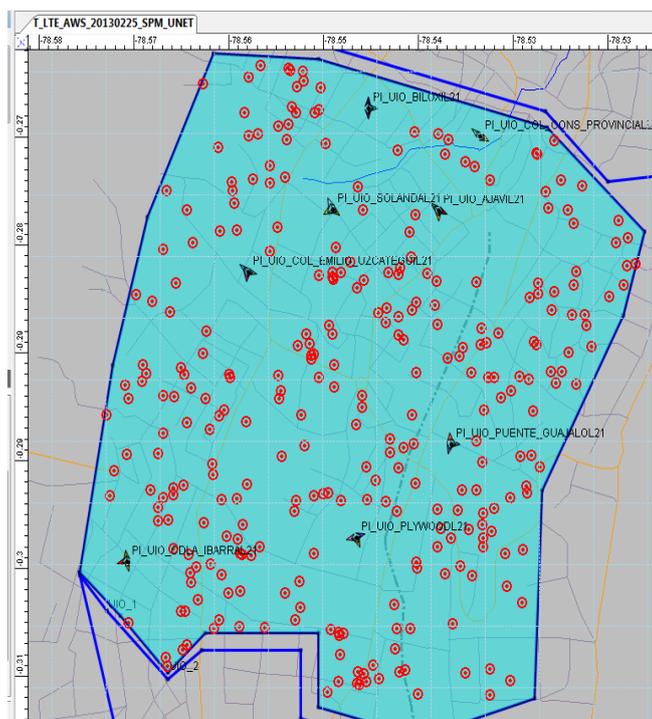


Figura 160. Usuarios en estado Offline.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

Con el fin de conocer la intensidad de todas las celdas, utilizamos la función de análisis de punto, para analizar el estado de la señal en una determinada coordenada. Después de seleccionar un terminal o servicio, se puede analizar la calidad de la señal, potencia de la señal de enlace ascendente y enlace descendente o el estado de un punto determinado en base a los resultados obtenidos de la simulación de la capacidad.

Para ello seleccionamos un determinado sitio, en este caso se ha elegido Solanda, elegimos la pestaña inferior Reference Signal Reception, en donde se muestran en un gráfico en orden descendente los resultados de la predicción de la intensidad de la señal de las diferentes celdas. La celda que tiene la fuerza de la señal más alta es la celda de mejor servicio con relación al punto seleccionado en el mapa. Según la figura 161, la celda en

mejores condiciones de recepción es PI_UIO_AJAVI_1 con -116,40 dBm, mientras que la celda con peores condiciones es PI_UIO_SOLANDA_1 con -144,71 dBm.

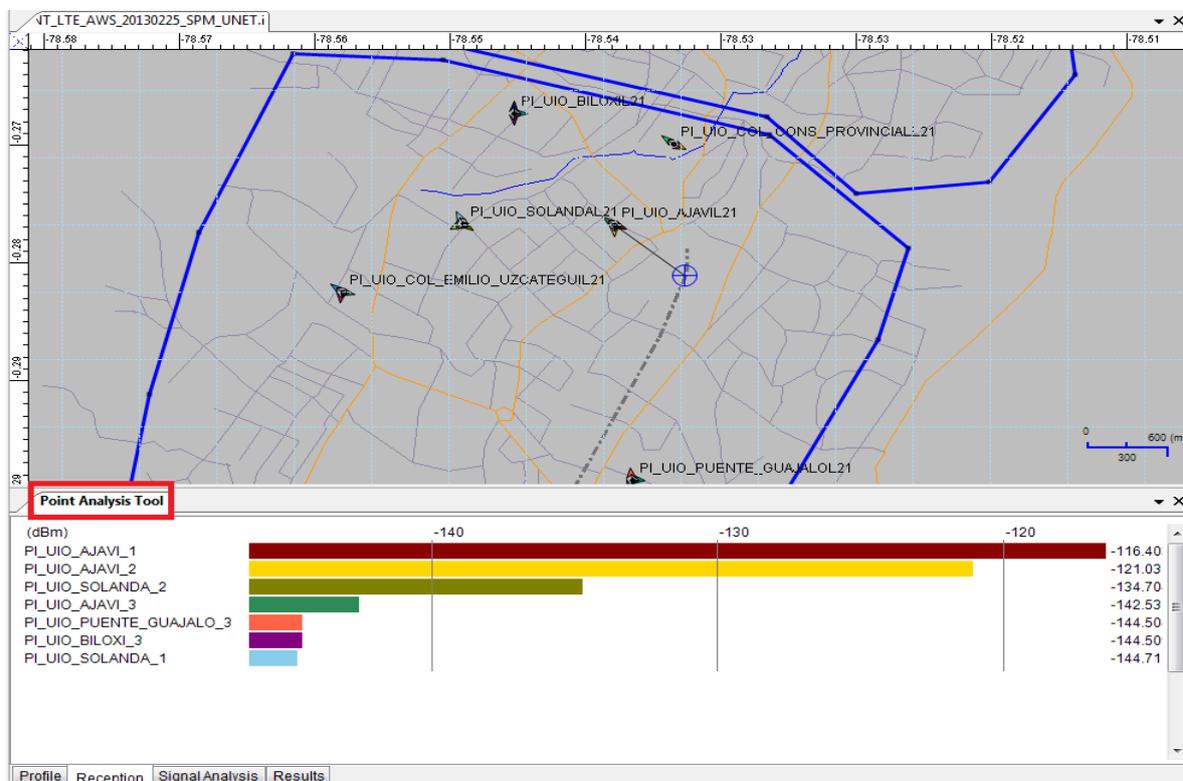


Figura 161. Reference Signal Reception.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

Para determinar la relación de intensidad de la señal en base a todas las celdas del clúster 2 se utiliza la opción Results de la herramienta de análisis de punto.

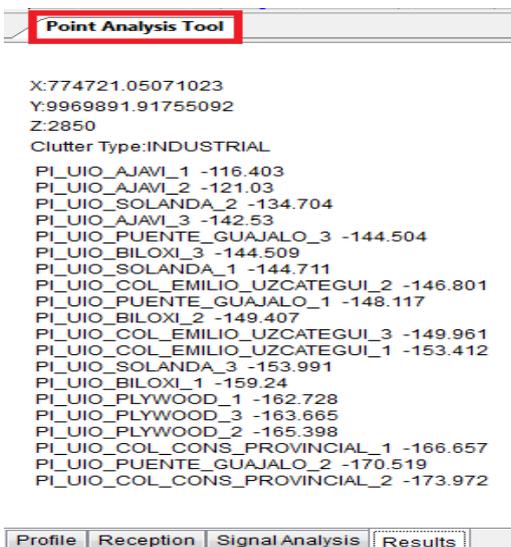


Figura 162. Results.
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

En la figura 162 dentro de la pestaña Result según el punto seleccionado, se muestran las coordenadas y la altitud de la ubicación actual de cada una de las celdas pertenecientes a los 8 sitios LTE, la clase de clutter en este caso es de tipo industrial debido a que se está trabajando en un entorno urbano, así como la lista de celdas de las que se pueden recibir y transmitir señales, y la intensidad de la señal recibida, ubicando en orden ascendente desde la celda con mejor recepción en este caso PI_UIO_AJAVI_1 con -116,403 dBm, hasta la celda PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_2 con una baja intensidad de señal de -173.972 dBm.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD A NIVEL DE PROYECTO.

En el presente capítulo se analiza la factibilidad legal, técnica y económica del proyecto, con el fin de determinar cuan viable resulta la implementación de los nuevos sitios LTE bajo tecnología Huawei Technologies.

6.1 Factibilidad Legal⁶⁴

Para que una nueva tecnología incurriere en el Ecuador, a más de ser atractiva en términos tecnológicos, se debe tomar en cuenta el cumplir con todos los requisitos de los organismos de regulación de Telecomunicaciones, así como la adquisición lícita de las diferentes bandas de frecuencia para su legal operación.

El principal limitante de los operadores móviles es la poca cantidad de espectro radioeléctrico disponible, lo cual impide el despliegue de servicios tecnológicos avanzados de cuarta generación.

Por su parte CNT EP. es la única empresa que cuenta con el espectro radioeléctrico específico para desplegar servicios LTE y ésta es la principal ventaja en comparación con las otras operadoras móviles privadas que operan en Ecuador, ya que al ser la única entidad en brindar servicios 4G no tiene mucha competencia razón por la cual se constituye un proyecto factible y que cumple con todos los requisitos legales.

El proceso legal que se realizó con el fin de obtener la banda de frecuencia se encuentra detallado en la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012, la cual contiene los siguientes artículos y resoluciones.

⁶⁴ Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL. http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf

Vale la pena recalcar que todas las operadoras móviles se encuentran en la libertad de cumplir con los requerimientos que implica la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012.

6.1.1 Resoluciones

Las resoluciones que CNT EP. cumplió según los requerimientos de la Ley especial de Telecomunicaciones Reformada fueron las siguientes:

“Espectro radioeléctrico.- El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado”. (Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, Artículo 2).

“Es facultad privativa del Estado el aprovechamiento pleno de los recursos naturales como el espectro de frecuencias radioeléctricas, y le corresponde administrar, regular y controlar la utilización del espectro radioeléctrico en sistemas de telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, de acuerdo con los interés nacionales”. (Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, Artículo 13).

“El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado; en consecuencia es inalienable e imprescriptible. La planificación, administración y control de su uso corresponde al Estado a través del CONATEL, la Secretaría y la Superintendencia en los términos de la Ley Especial de Telecomunicaciones, sus reformas y este reglamento y observando las normas y recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones”. (Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, Artículo 47).

Según la resolución establecida en el artículo 47 de la Ley Especial de Telecomunicaciones, éste es el principal limitante que impide que las otras operadoras puedan ofrecer servicios LTE, debido que al ser el espectro radioeléctrico de origen del estado, el monto para la concesión de éste recurso es muy excesivo para las operadoras internacionales, por tal motivo la autorización y demás proceso de asignación de frecuencias aún se encuentran en negociaciones hasta llegar a un acuerdo.

6.1.2 Solicitudes

De tal manera conociendo todos los artículos reglamentarios, CNT EP. emitió los siguientes oficios:

Que, mediante Oficio GNRI.GREG-055 del 11 de enero de 2012, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP presentó a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la petición de banda de 700 MHz, especificando que se requiere la adjudicación de 20+20 MHz de ancho de banda de forma directa.

Que, mediante Oficio GNRI-GREG-0723-02-2012 del 8 de mayo de 2012 y Oficio No. 20120632 del 5 de junio de 2012. La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP. presentó a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la petición de asignación de banda de 700 MHz, especificando que se requiere la adjudicación de 20+20 MHz de forma directa.

Que, mediante Oficio SNT-2012-1452 de 27 de junio de 2012, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones solicita a CNT EP. la información detallada del requerimiento de ancho de banda en la banda de 700 MHz, con las justificaciones técnicas correspondientes; nombre exacto de la tecnología que desea implementar en la banda en cuestión (Release 3GPP); detalle de los servicios y velocidades de transmisión reales que consideraría proveer a sus usuarios; cronograma y detalle del plan de instalación de la nueva tecnología usando el espectro solicitado; y, las acciones puntuales que realizará la empresa, teniendo en cuenta las metas establecidas en el Plan Nacional de Banda Ancha.

Que, mediante Oficio GNRI-02-2012-000492 de 30 de julio de 2012, CNT EP. remite la información solicitada del requerimiento de espectro radioeléctrico en la banda de 700MHz con las justificaciones técnicas correspondientes.

Que, mediante Oficio 20121228 de 29 de octubre de 2012, CNT EP. insiste en la solicitud de autorización de nuevo espectro dentro de la banda ancha de 700 MHz para la prestación de servicios LTE en frecuencias dentro del espacio central de la banda.

Que, mediante Oficio 20121265 de 7 de noviembre de 2012, CNT EP. ingresa un nuevo requerimiento de espectro y solicita la adjudicación de forma directa de 20+20 MHz en la banda de AWS, para la prestación del Servicio Móvil Avanzado.

6.1.3 Concesiones

Una vez que se emitieron todas las solicitudes y realizaron todos los cambios y adaptaciones necesarias, finalmente se emitieron las siguientes concesiones a favor de CNT EP.

Que, mediante oficio SNT-2012-1537 de 07 de diciembre de 2012, el señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones remitió para conocimiento y resolución de los señores miembros del CONATEL el informe Técnico-Jurídico elaborado por las Direcciones Generales de Gestión del Espectro Radioeléctrico y Jurídica de la SENATEL, sobre las solicitudes de espectro en las bandas para sistemas IMT (introducción de nuevas tecnologías).

De tal manera que una vez que se analizaron cada uno de las solicitudes emitidas por CNT EP, a principios del 2013 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones (Conatel) autorizó el uso de 70 MHz de espectro radioeléctrico a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) en las bandas de 700 MHz y 1,7/2,1 GHz, con el objetivo de lanzar servicios de banda ancha móvil 4G en Ecuador.

6.2 Factibilidad Técnica

Con el pasar del tiempo y la apresurada evolución de las comunicaciones móviles, el gran riesgo de las operadoras ha sido el factor inversión, el cual ha obligado a los fabricantes de equipos de telecomunicaciones a crear soluciones escalables y con miras al futuro, con la finalidad de permitir que una fuerte inversión inicial de infraestructura en determinada tecnología pueda ser reutilizada según los nuevos avances y requerimientos de los usuarios. Esta fue la principal razón por la cual Huawei en el año 2008 decidió crear una solución denominada Single RAN, la misma que permite reducir el coste de construcción y operación de la red.

6.2.1 Solución SINGLE RAN Huawei

Como se mencionó anteriormente la nueva tecnología LTE será instalada sobre la solución Single Ran de Huawei, la misma que permite a los operadores de red incorporar varias tecnologías móviles en una sola infraestructura, haciendo posible que puedan co-existir tanto redes 2G -3G y permitir a la vez la evolución hacia la red de cuarta generación LTE de manera sencilla y sin precisar un mayor cambio en la topología.

El principal objetivo de Single RAN es ofrecer una red de acceso móvil de múltiple tecnología, garantizando la evolución de la red sin que esto implique una fuerte inversión en nueva infraestructura, es decir la inversión inicial es proyectada al futuro.

Es así que CTE EP., desde su despliegue de red con tecnología 3G ha utilizado la solución Single RAN, la misma que hoy le permite poder migrar fácilmente a la tecnología LTE, haciendo uso de la misma infraestructura pero con pequeñas variaciones en sus equipos de red como se mostró en el capítulo anterior.

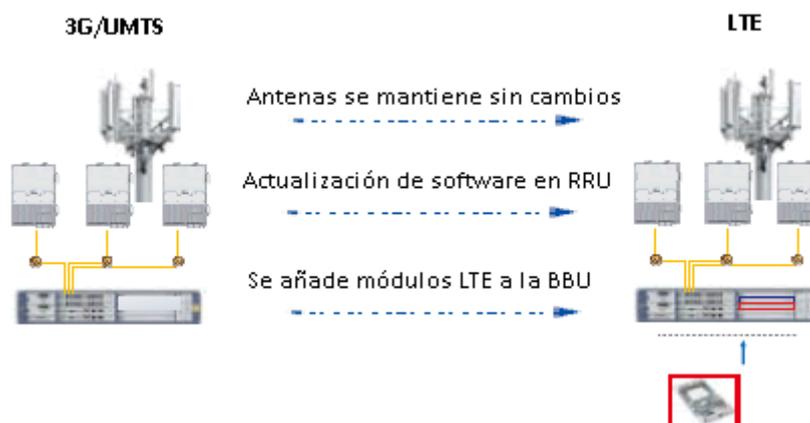


Figura 163. DBS3900 UMTS a LTE

Fuente: LTE Hardware Introduction, Huawei Technologies CO., LTD.

Como se puede ver en la figura 163, no implica mayor gasto la nueva instalación de LTE, ya que únicamente se añaden los nuevos módulos LTE y se requiere de la actualización en los equipos existentes, reduciendo así notablemente los costos de CAPEX referentes a inversión y OPEX en cuanto tiene que ver a operación y mantenimiento.

La solución Single RAN en conjunto con Single BTS impulsa efectivamente el desarrollo de la red móvil, combinando las siguientes características en una sola solución, permitiendo construir una mejor e innovadora red móvil.

- **Evolución transparente.** Las estaciones base permiten la implementación de una red orientada al futuro y la evolución transparente hacia una red LTE.
- **Flexibilidad.** El diseño innovador y las combinaciones flexibles de los módulos funcionales y dispositivos auxiliares son el principal atractivo de esta solución, especialmente porque los operadores pueden instalar módulos en diferentes modos dentro del gabinete para formar distintos escenarios según las nuevas exigencias. Esto acelera la introducción de nuevas bandas de frecuencia y nuevas tecnologías de radio, abordando de manera eficiente los requisitos de una red móvil.

- **Banda ancha.** Al estar basada en una tecnología multiportadora y totalmente IP, soporta un ancho de banda de más de 100 Mbps en los puertos de transmisión. Esto asegura la compatibilidad con el crecimiento de los servicios de datos móviles, y asegura mayores velocidades de transmisión de datos para los usuarios.

- **Tecnología Verde.** Los equipos y la arquitectura optimizada del sistema en conjunto con las tecnologías innovadoras para la gestión de los amplificadores de potencia y el consumo de energía, permiten a los operadores implementar un ahorro energético, reducción de emisiones y construir una red ecológica de comunicación a través del control de temperatura y la utilización de energía ecológica.

- **Reducción de costos.** La presente solución adopta un diseño modular de vanguardia combinando modos múltiples y usando los mismos tipos de módulo para diferentes modelos de estaciones base. Las estaciones base son aplicables a diversos escenarios de instalación. Además, los tres módulos básicos de la serie SingleBTS (RRU, RFU y BBU) se caracterizan por su pequeño tamaño, su alta integración, su bajo consumo de energía y su despliegue fácil y rápido. Esto reduce significativamente los costos de construcción de la red y los gastos operativos de los operadores en términos de adquisición de sitios, expansión en la capacidad y protección al medio ambiente.

Por todas y cada una de las razones explicadas anteriormente el proyecto es viable tanto en factibilidad técnica al utilizar la misma infraestructura de red para el despliegue de LTE; y en factibilidad económica ya que consecuentemente el hecho de utilizar una misma infraestructura reduce notablemente la inversión en el desarrollo de una nueva tecnología. Los únicos gastos que serán tomados en cuenta son los referentes al costo de operabilidad, ya que será necesario actualizar el software de los equipos existentes, y el referente a los dos nuevos módulos instalados dentro de la misma BBU.

6.3 Factibilidad Económica

En el acto de presentación de la RED MÓVIL 4G LTE, realizado en octubre del año pasado, la máxima autoridad de la operadora pública nacional CNT EP., señaló que la inversión inicial se encuentra alrededor de \$ 36 millones de USD, valor que contempla la instalación de 400 sitios con tecnología LTE en las principales ciudades del Ecuador.

Según esta información el costo de inversión para los 8 sitios LTE será de \$720,000.00, valor que abarca los gastos CAPEX, los cuales son generados por la adquisición de equipos y la instalación de los mismos, como ya se mencionó anteriormente, únicamente se hará la inversión de los dos nuevos módulos LTE (LMPT y LBBP) que serán instalados en las 8 BBU de los sitios LTE, adicional a los gastos OPEX referentes al mantenimiento y operación de la red.

6.3.1 Proyección de Usuarios.

CNT EP. es la empresa pública de telecomunicaciones que progresivamente ha ido creciendo en cuanto al ofrecimiento de servicios de telefonía móvil, es así que según los últimos datos estadísticos obtenidos por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones en enero del 2014, CNT EP. ha obtenido este año el total de 558.207 usuarios, representando el 3% del total de abonados móviles del país, seguido de Movistar con el 29% y Claro con el 68%.

Los 558.207 representa el 100% de usuarios de diferentes servicios de telefonía móvil para CNT EP., de éste total únicamente el 3% correspondiente a 16.746 se consideran como usuarios de servicios LTE para todo el Ecuador.

Para la estimación de usuarios LTE en el clúster 2, se considera que para el primer año se tiene el 15% del total de clientes (16.746), es decir para el primer año se cuenta con 2.512 clientes.

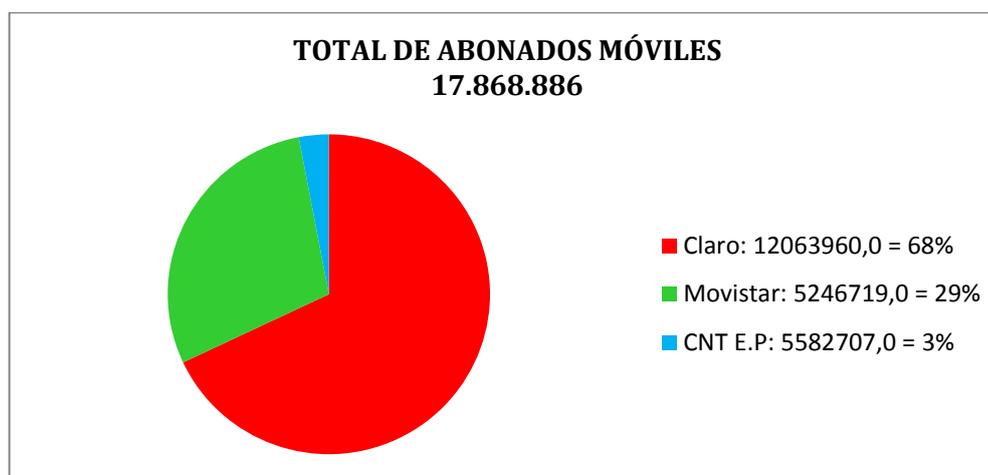


Figura 164. Total de abonados móviles en el Ecuador

Fuente: Suscriptores servicios móviles avanzados Recuperado de:

<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>, Información actualizada 8 enero de 2014.

6.3.2 Estimación de Ingresos⁶⁵

En la tabla 67 se muestran los ingresos que serían generados por los servicios ofrecidos para el año 1.

Tabla 67 . Ingresos previstos para el año 1

Fuente: Elaborado por Diana Alvarez basado en planes comerciales LTE de CNT EP.

Número de clientes	Plan Pospago controlado	Tarifa USD mensual	Tarifa USD anual	Precio Total
2512	LTE Control 4G 29	\$29.00	\$348.00	\$874.176,00

La CNT EP ha establecido distintos planes, de acuerdo con las necesidades y requerimientos de los clientes, los mismos que van desde los US\$ 29.00. La conectividad se da gracias a un innovador dispositivo; un router portátil que actúa como un dispositivo wi-fi personal y de bolsillo, que permite conectar hasta cinco dispositivos a la vez, dotándoles de toda la experiencia que solamente la red LTE 4G de CNT EP. puede brindar.

⁶⁵ <https://www.cnt.gob.ec/index.php/categoria-noticias/1046-la-maxima-experiencia-movil-con-lte-de-cnt>

Según la tabla 67, teniendo un número de 2512 clientes por año con un plan de \$29.00 mensuales, cada usuario generará una cantidad de \$348.00 al año, que multiplicado por los 2512 usuario se generará un ingreso de \$ 874.176,00.

En conclusión, el costo de inversión para los 8 sitios LTE como se mencionó anteriormente será de \$720.000,00, valor que es totalmente recuperado con los ingresos de \$874.176,00 generados en el primer año de consumo de servicios LTE.

Cabe recalcar que los cálculos realizados anteriormente son un aproximado de los valores reales que implicarán la puesta en servicio de los nuevos sitios bajo tecnología LTE.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Al culminar el diseño de la red LTE para el clúster 2 de la ciudad de Quito, se pudo analizar el gran impacto que la nueva tecnología de cuarta generación ofrece en cuanto a prestación de servicios de banda ancha móvil, a través de los cuales se permite satisfacer las exigencias de los usuarios móviles, que cada día buscan estar a la par de la tecnología.
- Según el estudio teórico realizado previo al desarrollo del diseño, se pudo analizar que la tecnología LTE nace a partir de una gran evolución que han tenido los estándares de tecnología móvil de la 3GPP, cada eslabón ha hecho posible que se adquieran nuevas técnicas, principios de funcionamiento y arquitectura de red, lo cual hoy se ve reflejado en las características únicas y de máxima velocidad propias de LTE.
- Al ser el clúster 2 un sitio bajo tecnología 3G/UMTS, fue un punto clave llevar a cabo el análisis de sus principales características, lo que permitió observar la gran diferencia que existe entre manejar tecnología 3G/UMTS y LTE.
- Inicialmente el clúster 2 cuenta con 16 estaciones base que brindan servicios bajo tecnología 3G/UMTS a lo largo de 7 parroquias al sur de Quito (Solanda, San Bartolo, La Ecuatoriana, Chillogallo, La Mena, Quitumbe y La Argelia); pero durante las consideraciones de diseño para la nueva red LTE, el principal aspecto que se consideró al momento de seleccionar los sitios que pasarán a ofrecer servicios de cuarta generación, fue la cobertura, requerimiento principal del cliente CNT EP., de tal manera que fueron escogidos 8 de los 16 eNodeB para migrar a LTE.
- No cabe duda que uno de los aspectos más importantes y sobre todo de mucha ayuda para el diseño de una red, es la ingeniería de proyecto, proceso mediante el cual se

recopila toda la información concerniente a los nuevos requerimientos del proyecto, de tal manera que al momento de iniciar con el diseño se puede estructurar una serie de pasos ordenados.

- El software de predicción U-Net fue utilizado para crear los sitios y celdas, y configurar en ellos los parámetros de cobertura, modelo de propagación, configuración de servicios, pérdidas de la señal, etc.; todo esto a través de la importación del mapa real de la ciudad de Quito, mediante el cual se pudo visualizar el relieve y determinar los puntos más críticos del comportamiento de la señal.
- Al igual que en el proceso de diseño, en la simulación se utilizó el software de predicción U-Net, a través del cual se crearon mapas de tráfico para analizar el comportamiento de cada uno de los servicios que fueron configurados en el proceso de diseño; todo esto fue posible a la capacidad en conjunto que tiene U-Net de generar resultados estadísticos.
- Los resultados obtenidos a través del software de predicción U-Net, tanto en la predicción como simulación, permitieron confirmar y asegurar que el usuario móvil en verdad experimentará la calidad de servicios LTE, debido a que los niveles de rendimiento que se obtuvieron son notablemente superiores a los de la red 3G/HSPA+.
- Mediante el análisis de factibilidad se pudo analizar cuán importante es que las inversiones al momento de implementar una nueva tecnología se realicen con miras a futuro, y es así que bajo este concepto fundamental la CNT EP. optó por la solución Single RAN y Single BTS de Huawei, soluciones escalables que hoy le permiten migrar fácilmente a LTE sin costos adicionales en infraestructura.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que previo al diseño, se realice el levantamiento de información acerca de las estaciones base existentes bajo tecnología 3G UMTS/HSPA+, con el fin de conocer detalladamente sus características y modo de operación, lo cual servirá de base para el nuevo diseño de la red LTE.
- Es de mucha importancia que se analicen las condiciones del entorno en las que se desarrollará el proyecto, los accidentes geográficos y obstáculos que se presentan en el camino de propagación tales como edificios y árboles deben ser considerados, ya que de estos factores depende la selección del modelo de canal y de propagación dentro de la planeación de cobertura.
- Se debe tomar en cuenta los resultados del Link Budget ya que cada uno de sus parámetros califica de cierta forma el rendimiento de la transmisión a través del sistema de radio.
- Dentro de los principales aspectos que se debe tener presente en cuanto a la configuración del sistema radiante son los parámetros de radio frecuencia, ya que su correcta configuración en el diseño, permitirá que al momento de ser implementado se aproveche al máximo la capacidad de las antenas, evitando que se produzcan interferencias con otros sectores.
- Se recomienda una correcta configuración de la planificación de la celda, tomando en cuenta los PCI, áreas de seguimiento y relación de vecindades; parámetros los cuales permiten que se diferencien las distintas señales de radio unas de otras y que se mantenga un seguimiento de los UE durante su conexión, una mala configuración de estos parámetros sería crucial dentro de la red, ya que se producirían interferencias y el rendimiento de la señal no sería óptimo.
- Si bien es cierto el software de predicción U-Net, es una herramienta completa que brinda múltiples aplicaciones, en el presente proyecto se centró en el diseño de una red

LTE FDD, y se pudieron visualizar los resultados, pero para obtener un máximo beneficio, se recomienda que se realice una correcta interpretación de los mismos.

- Se recomienda que se realice la optimización continua de la red, a fin de mantenerla actualizada y mejorar su desempeño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6.
- Magdalena Nohrborg. LTE Overview. Obtenido el 25 de marzo de 2014 en <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>.
- LTE—the UMTS long term evolution: from theory to practice / Stefania Sesia, Matthew Baker, and Issam Toufik. © 2009 John Wiley & Sons Ltd.
- Theory and Applications of OFDM and CDMA: Wideband Wireless Communications by Henrik Schulze, Christian Lueders. ISBN: 978-0-470-85069-5.
- LTE for 4G Mobile Broad Band Air Interface Technologies and Performance by Farooq Khan, Published in USA. by Cambridge University Press, New York.
- 3GPP TS 29.188 V9.4.0. Mobility Management Entity (MME) – Visitor Location Register (VLR) SGs interface specification (Release 9).
- 3GPP TS 24.301 V8.1.0. Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS). (Release 8).
- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access (p. 30) Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6
- 3GPP LTE. Documento: “3GPP LTE – Long Term Evolution”. Junio. 2010. Recuperado de: <http://3gpplte-longtermevolution.blogspot.com>
- LTE Signaling: Troubleshooting and Optimization, Saturday, October 8, Recuperado de: <http://ltesignaling.blogspot.com/2011/10/packet-data-network-gateway-pdn-gw.html>.

- Introduction to Evolved Packet Core, n. Copyright © 2009 Alcatel-Lucent. All rights reserved. CPG2896090226 (03), Recuperado: [http://www3.alcatel-lucent.com/.../DocumentStreamerServl.file:///C:/Users/Admin/Downloads/Intro_EP_C_wp_0309%20\(1\).pdf](http://www3.alcatel-lucent.com/.../DocumentStreamerServl.file:///C:/Users/Admin/Downloads/Intro_EP_C_wp_0309%20(1).pdf)
- 3GPP TS 29.214 V0.1.0 (2005-11), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Policy and Charging Control over Rx reference point (Release 7). Recuperado de: http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/29_series/29.214/
- HSS Recuperado de: <https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/lte-network-infrastructure-and-elements#TOC-3.2-HSS-Home-Subscriber-Server->
- 3GPP TS 36.413 V0.0.0 (2007-01), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN); S1 Application Protocol (S1AP) (Release 8).
- Servicios avanzados de telecomunicación. By María Carmen España Boquera, Ediciones Diaz de santos S.A, Madrid España 2003.
- Ramón Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, “LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles”, Editorial: Fundación Vodafone España, 2010. Recuperado de: <http://proyectolte.files.wordpress.com/2012/09/lte-nuevas-tendencias.pdf>.
- 3GPP TS.abc V1.0.0 (2008-02), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; 3GPP System Architecture Evolution: Security Architecture; (Release 8) ...recuperado de: www.3gpp.org.
- 3G EVOLUTION: HSPA AND LTE FOR MOBILE BROADBAND, Copyright © 2007. Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld and Per Beming. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.
- LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES. Ramón Agustí, Francisco Bernardo, Fernando Casadevall, Ramon Ferrús, Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, ISBN: 84-934740-4-5, © Copyright 2010. Fundación Vodafone España.

- 3GPP TS 36.410, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Access Network (E-UTRAN);
- S1 General Aspects and Principles (Release 8).
- 3GPP TS 23.401, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; GPRS enhancements for E-UTRAN access (Release 8).
- 3GPP TS 36.420 V11.0.0 (2012-09), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); X2 general aspects and principles (Release 11).
- MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced, Juho Lee, Jin-Kyu Han and Jianzhong (Charlie) Zhang by Digital Media & Communications R&D Center, Samsung Electronics, 416, Maetan-3dong, Yeongtong-gu, Suwon-si 443-742, South Korea.
- Oscar Avellaneda, Diciembre 2006. Normas de acceso inalámbrico para NGN. Recuperado de: http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2006/diciembre/ngn_e.asp.
- ETSI TS 125 461 V6.0.0 (2004-09) Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); UTRAN Iuant interface: Layer 1 (3GPP TS 25.461 version 6.0.0 Release 6). Recuperado de: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125400_125499/125461/06.00.00_60/ts_125461v060000p.pdf
- Sandra Ocaña (2009). Funcionamiento de la telefonía celular. Celdas. Recuperado de: <http://www.mailxmail.com/curso-telefonía-celular-movil-funcionamiento-generaciones/funcionamiento-telefonía-celular-celdas>.
- Asiganación de Frecuencias LTE. Recuperado de: http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf
- 3GPP TS 36.306 V8.0.0 (2007-12) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio access capabilities (Release 8).

ANEXOS

DX-1710-2200-65-18i-M

Model: A19451811

**Electrical Properties**

		1710 - 2200											
		1710 - 1880			1850 - 1990			1920 - 2170			2170 - 2200		
Frequency range (MHz)													
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)	1635 x 195 x 160
Antenna weight (kg)	6.2
Clamps weight (kg)	2.0 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	11.2 (Included clamps)
Mast diameter supported (mm)	38 - 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

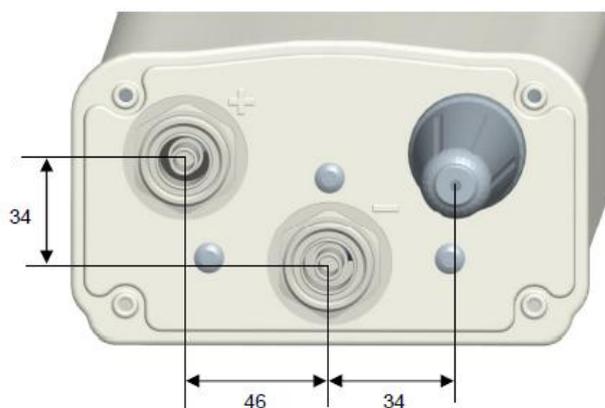
Accessories

Item	Model	Description	Weight	Units per antenna
Downtilt kit	ASMDT0A01	Mechanical downtilt: 0 - 12 °	0.6 kg	1 (Separate packing)

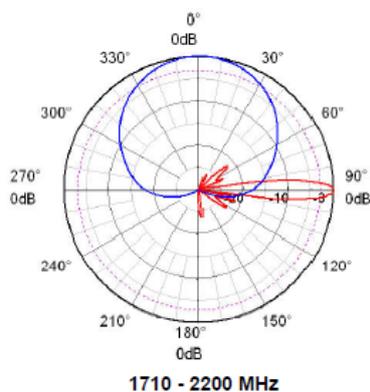
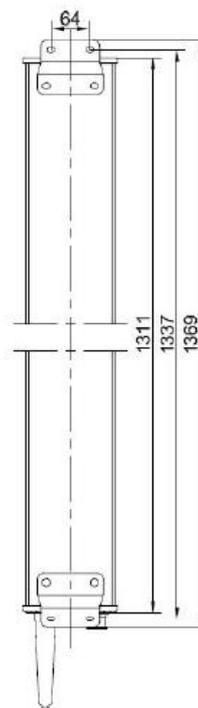
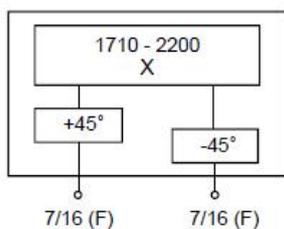


DX-1710-2200-65-18i-M

Model: A19451811



Unit: mm



NOTE

Extraordinary operating conditions, such as heavy icing or storm wind, may result in the breakage of an antenna. These facts must be considered during the site planning process.

The installation team must be properly qualified and also be familiar with the relevant national safety regulations.