ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA CELDA BASE DE ACCESO INALÁMBRICO CON TECNOLOGÍA 4G LTE PARA EL SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE LA INFORMACIÓN

MEZA SORIA HENRY RODOLFO
henryms9@gmail.com

SANTÍN DÍAZ LUIS FERNANDO
luisfernando8@hotmail.es

DIRECTOR: Msc. CARLOS ROBERTO EGAS ACOSTA
kyviis@hotmail.com

QUITO, ABRIL 2014

DECLARACIÓN

Nosotros, Henry Rodolfo Meza Soria, Luis Fernando Santín Díaz, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Henry Meza

Luis Santín

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Henry Rodolfo Meza Soria y Luis Fernando Santín Díaz, bajo mi supervisión.

_____

MSc. Carlos Roberto Egas Acosta
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por darnos la sabiduría y saber guiarnos siempre, durante todo este proceso para alcanzar nuestros objetivos.

A nuestro Director el MSc. Carlos Egas por su gran apoyo y ánimo para poder finalizar este proyecto.

Y un agradecimiento muy especial a nuestros padres y hermanos, por enseñarnos lo verdaderamente importante de la vida, la constancia, la paciencia y el valor que se debe tener en la vida para no decaer y lograr cumplir con nuestras metas.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo en primer lugar a Dios, por permitirnos culminar con este objetivo, a nuestros padres por su incondicional apoyo y absoluta confianza, nuestro imperecedero agradecimiento padres.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN……..i
CERTIFICACIÓN……...ii
AGRADECIMIENTO……iii
DEDICATORIA……...iv
CONTENIDO…….....……v
RESUMEN……xxv
PRESENTACIÓN……...xxvii

CAPITULO I.- EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL 2G/3G/4G Y ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA LTE.

1.1 COMIENZO Y DESARROLLO DE LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR 1
1.1.1 EVOLUCIÓN 1
1.1.2 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE 3
1.1.2.1 FDMA (Frequency Division Multiple Acces) 3
1.1.2.2 TDMA (Time Division Multiple Acces) 3
1.1.2.3 CDMA (Code Division Multiple Acces) 4
1.2 PRIMERA GENERACIÓN (1G) 4
1.2.1 AMPS (Advance Mobile Phone Service) 5
1.2.2 TACS (Total Acces Comunication System) 5
1.2.3 ETACS (Enhanced Total Acces Comunication System) 5
1.3 SEGUNDA GENERACIÓN (2G) 6
1.3.1 GSM (Global System for Mobile Communicactions) 7
1.3.1.1 Arquitectura GSM 8
1.3.2 TDMA IS-136 11
1.3.3 CDMA IS-95 (cdmaOne) 11
1.3.3.1 Arquitectura CDMA 13
1.4 GENERACIÓN (2.5G) 14
1.4.1 SISTEMAS BASADOS EN GSM/TDMA 15

1.4.1.1 GPRS (General Packet Radio Service) 15

1.4.1.2 EDGE (Enhanced Data Rates Apply to GSM Evolution) 16

1.4.2 SISTEMAS BASADOS EN CDMA 18

1.4.2.1 CDMA 2000 18

1.4.2.2 CDMA 2000 1X 19

1.4.2.3 CDMA 2000 1xEV 20

1.5 TERCERA GENERACIÓN (3G) 22

1.5.1 LA ARMONIZACIÓN GLOBAL 23

1.5.1.1 IMT-2000 (Internacional Mobile telecomunication 2000) 23

1.5.1.1.1 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 24

1.5.1.1.1.1 Releases de 3GPP 25

1.5.1.1.2 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2Phase) 27

1.5.1.1.2.1 Releases de 3GPP2 27

1.5.2 UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMUNICATION SYSTEM) 29

1.5.2.1 Arquitectura de Red UMTS 30

1.5.2.1.1 Core Network 31

1.5.2.2 Técnica de Acceso 32

1.5.2.3 Red de Acceso de Radio para UMTS (UTRAN) 33

1.5.3 HIGH SPEED PACKET ACCES (HSPA) 35

1.5.3.1 HSDPA (High Speed Downlink Packet Acces) 35

1.5.3.1.1 Arquitectura de Red HSDPA 36

1.5.3.2 HSUPA (High Speed Upload Packet Acces) 39

1.5.4 HSPA+ (HSPA EVOLUTION, ENVOLVED HSPA) 40

1.6 CUARTA GENERACIÓN (4G) 41

1.6.1 UMB (ULTRA MOBILE BROADBAND) 42

1.6.2 LTE (LONG TERM EVOLUCION) 42

1.6.2.1 Modos de Duplexión FDD y TDD 44

1.6.2.1.1 TDD (Time Division Duplexing) 44

1.6.2.1.2 FDD (Frequency Division Duplex) 45

1.6.2.2 Portadora y Ancho de Banda 46

1.6.2.2.1 Sub-portadora LTE 49

1.6.2.3 Esquemas de Acceso 49

1.6.2.3.1 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces) 49

1.6.2.3.1.1 Prefijo Cíclico 51

1.6.2.3.1.2 Parámetros de OFDMA en LTE 52

1.6.2.3.2 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Acces) 54

1.6.2.4 Arquitectura del Sistema LTE 55

1.6.2.4.1 Red de Acceso Evolucionada E-UTRAN 57

1.6.2.4.1.1 Arquitectura E-UTRAN 57

1.6.2.4.1.1.1 Entidades de Red e Interfaces 57

1.6.2.4.1.1.1.1 Entidad Envolved NodeB (eNodeB) 57

1.6.2.4.1.1.1.2 Interfaz de Radio (Uu) 58

1.6.2.4.1.1.1.3 Interfaz S1 (eNodeB <-> EPC) 59

1.6.2.4.1.1.1.4 Interfaz X2 (eNB<->eNB) 60

1.6.2.4.2 Red Troncal de Paquetes Evolucionada: EPC 61

1.6.2.4.2.1 Arquitectura EPC 61

1.6.2.4.2.1.1 Entidades de Redes e Interfaces 63

1.6.2.4.2.1.1.1 MME (Mobility Managment Entity) 63

1.6.2.4.2.1.1.2 S-GW (Serving Gateway) 63

1.6.2.4.2.1.1.3 P-GW (PDN-Gateway) 63

1.6.2.4.2.1.1.4 HSS (Home Subscriber Server) 64

1.6.2.4.2.1.1.5 SGi (Interfaz P-GW) 64

1.6.2.4.2.1.1.6 S5/S8 (Interfaces P-GW/S-GW) 65

1.6.2.4.2.1.1.7 S11 (Interfaz MME/S-GW) 65

1.6.2.4.2.1.1.8 S10 (Interfaz MME/MME) 65

1.6.2.4.2.1.1.9 S6a (Interfaz HSS/MME) 65

1.6.2.4.3 IP Multimedia Subsystem (IMS) 65

1.6.2.5 Equipos de Usuario 67

1.6.2.6 Características de la Interfaz Aire 68

1.6.2.6.1 Estructura de la Trama de Radio 68

1.6.2.6.1.1 Estructura Básica de la Trama 68

1.6.2.6.1.2 Bloque de Recursos 69

1.6.2.6.2 Stack de Protocolos 71

1.6.2.6.3 Canales Utilizados en LTE 73

1.6.2.6.3.1 Canales Lógicos 74

1.6.2.6.3.2 Canales de Transporte 75

1.6.2.6.3.3 Canales Físicos 76

1.6.2.7 E-UTRAN (Envolved-UMTS terrestrial Radio Acces Network) 79

1.6.2.7.1 Resumen de Procesos de la Conexión RRC 79

1.6.2.7.1.1 Sincronización 81

1.6.2.7.2 Gestión de Radio 83

1.6.2.7.2.1 Portador EPS (Envolved Packet System) 83

1.6.2.7.2.2 Parámetros de Qos 84

1.6.2.7.2.3 Portadora de Radio 84

1.6.2.8 Tecnologías de Antena en LTE 85

1.6.2.8.1 Introducción 85

1.6.2.8.2 Antena Simple SISO (Single Input, Single Output) 85

1.6.2.8.3 Diversidad de Tx MISO (Multiple Input, Single Output) 85

1.6.2.8.4 Diversidad de Rx SIMO (Single Input, Multiple Output) 86

1.6.2.8.5 MIMO (Multiple Input, Multiple Output) 86

1.6.2.8.6 SU-MIMO, MU-MIMO 87

CAPITULO II.- DISEÑO DE UNA CELDA BASE DE RED CELULAR CON TECNOLOGÍA 4G/LTE, PARA EL SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO.

2.1 INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN DE LA RED DE RADIO 88

2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE RADIO 95

2.2.1 PRESUPUESTO DE ENLACE LTE (LINK BUDGET) 95

2.2.1.1 Umbral del Receptor en el EnodeB 98

2.2.1.2 Margen de Interferencia IoT 99

2.2.1.3 Margen de Shadowing 100

2.2.1.4 Pérdidas de Penetración 101

2.2.1.5 Pérdidas por Cuerpo 102

2.2.1.6 Ganancia de Handoff 102

2.2.1.7 Modelo de Propagación 104

2.2.1.8 Impacto del Uso de RRH y TMA 105

2.2.1.8.1 Características del Equipo 106

2.3 HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN DE RADIO Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO 108

2.3.1 INGRESO DE DATOS DE ENTRADA 109

2.3.2 DATOS GEOGRÁFICOS, CLASES DE CLUTTER 110

2.3.3 DATOS DE RADIO, TRAMA LTE 111

2.3.4 DATOS DE RADIO, BEARER LTE 111

2.3.5 DATOS DE RADIO, EQUIPAMIENTO LTE 112

2.3.6 DATOS DE RADIO, TRANSMISORES LTE 113

2.3.7 DATOS DE RADIO, CELDAS LTE 114

2.3.8 DATOS DE TRÁFICO, SERVICIOS EN LTE 115

2.3.9 DATOS DE TRÁFICO, TERMINAL EN LTE 116

2.3.10 DATOS DE TRÁFICO, PERFIL DE USUARIO EN LTE 117

2.3.11 RESUMEN DE PROCESOS CONCATENADOS A LA PLANIFICACIÓN DE RADIO USANDO LA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN 118

2.3.12 PREDICCIÓN DE COBERTURA USANDO LA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN 120

2.4 LINEAMIENTOS PRINCIPALES RECOMENDADOS PARA CELDAS 4G LTE 122

2.4.1 ADQUISICIÓN DE SITIO, CELDA BASE 122

2.4.2 RECONOCIMIENTO DE SITIO (SITE SURVEY) 123

2.4.3 ANTENAS 123

2.4.4 COEXISTENCIA DE LTE CON OTRAS TECNOLOGÍAS 124

2.4.4.1 Solución para Aplicar Aislamiento Requerido 126

2.5 DISEÑO DE RADIO FRECUENCIA (RF) 126

2.5.1 ENTRADAS 126

2.5.1.1 Modelo de Propagación 128

2.5.1.2 Márgenes de Ingeniería 129

2.5.1.3 Margen de Shadowing y Ganancia de Soft Handover 130

2.5.1.4 Perdidas de Penetración Indoor 131

2.5.1.5 Márgenes UL (Uplink) 131

2.5.1.6 Frecuencia Selectiva 132

2.5.2 DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIO Y SUPUESTOS DE TRÁFICO 133

2.5.2.1 Introducción a la Herramienta Utilitaria Link Budget 133

2.5.2.2 Dimensionamiento de Servicio 137

2.5.2.3 Supuestos de Tráfico 137

2.5.2.3.1 Objetivos de Diseño en RF 139

2.5.2.3.2 Objetivo RSRP (Potencia de Referencia de la Señal de Referencia) 139

2.5.2.3.3 DL RS-SINR, PDSCH SINR Y SINR PDCCH 142

2.6 ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE RADIO FRECUENCIA DE LA RED DE ACCESO LTE EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO 144

2.6.1 INTRODUCCIÓN 144

2.6.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 144

2.6.2.1 Resumen del Proceso de Planificación 144

2.6.2.2 Factores de Diseño 147

2.6.2.3 Consideraciones y Criterios Asumidos en el Diseño 148

2.6.2.3.1 Verificación de Información Recolectada 149

2.6.2.3.2 Datos de Entrada Asumidos 151

2.6.3 ANÁLISIS DE COBERTURA 153

2.6.3.1 Link Budget y Modelo de Propagación 153

2.6.3.1.1 Márgenes de Planificación 154

2.6.3.1.1.1 Margen de Shadowing 154

2.6.3.1.1.2 Margen de Penetración de Interiores e Interferencia (IoT) 154

2.6.3.1.2 Uplink Budget 155

2.6.3.1.3 Downlink Budget 156

2.6.3.1.4 Modelo de Propagación utilizado para Link Budget 160

2.6.4 PLANIFICACIÓN DE CELDAS EN LA RED DE RADIO 161

2.6.4.1 Diseño de RF y Procedimiento con la Herramienta de Predicción 161

2.6.4.1.1 Inputs: Datos de Radio, datos de trafico y resultados obtenidos 161

2.6.4.1.2 Predicciones de Cobertura 163

2.6.4.2 Resultados de la Planificación de la Red de Radio 168

2.6.4.2.1 Ubicación de Sitios y configuración 168

2.6.4.2.2 Resultados de Predicciones de Cobertura 170

2.6.4.3 Configuración de Parámetros RF 178

2.6.4.3.1 Planificación de Vecindades de Celdas 178

2.6.4.3.2 Planificación de la Identidad Física de la Celda 179

2.6.4.3.3 Configuración Física de la Celda Iñaquito Centro 181

2.6.4.4 Planificación de Capacidad 181

2.6.4.4.1 Capacidad de la Interfaz Aire 181

2.6.4.4.1.1 Verificación de límite de Ancho de banda por comparación 182

2.6.4.5 Simulación de Tráfico de Red usando la Herramienta de Planeación 184

2.6.4.6 Cobertura del Troughput en DL usando simulación en Tráfico de Red mediante la Herramienta de Planeación 189

2.6.4.7 Análisis de Resultados Obtenidos..... 192

CAPITULO III.- FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA BASE DE RED CELULAR EN QUITO.

3.1 INTRODUCCIÓN 194

3.2 MIGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS HACIA LTE..... 195

3.3 ANTECEDENTES Y PLANIFICACIÓN DE LA PLATAFORMA LTE EN AMÉRICA LATINA 196

3.4 OTRAS TECNOLOGÍAS 4G EN ECUADOR 198

3.4.1 OPERADORES CON TECNOLOGÍA WIMAX EN ECUADOR..... 198

3.4.2 DESCRIPCIÓN DE OTRAS TECNOLOGÍAS CONSIDERADAS 4G 199

3.4.2.1 Tecnología Wimax Móvil (IEEE 802-16e)..... 199

3.4.2.1.1 Aplicaciones y servicios de Wimax Móvil..... 201

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE HSPA+ (R8), WIMAX MÓVIL Y LTE PARA ACCESO A INTERNET DE BANDA ANCHA 201

3.5.1 COMPARACIÓN TECNOLÓGICA 201

3.6 COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE LA CELDA BASE DE QUITO CON DESPLIEGUES LTE SIMILARES 205

3.6.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS 206

3.6.2 FACTORES DE DISEÑO 211

3.7 FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA BASE DE RED EN QUITO 216

3.7.1 MOTIVACIÓN DE LTE 216

3.7.2 REQUERIMIENTOS DE LTE..... 216

3.7.3 ARQUITECTURA Y MIGRACIÓN 217

3.7.4 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESPECTRO 218
3.8 SERVICIOS Y VENTAJAS DE LTE 219

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
4.1 CONCLUSIONES 221
4.2 RECOMENDACIONES 223

BIBLIOGRAFÍA.....225

ACRÓNIMOS.....229

ANEXOS.....232

ANEXO 1: Alcatel Lucent 9926 Digital 2U eNodeB (BBU)
ANEXO 2: Alcatel Lucent RRH 2x40 -07
ANEXO 3: Antenna TDJ-708017DE-65F
ANEXO 4: Antenna Multi-Band Panel kathrein-80010766V01
ANEXO 5, 6: ZDA Communications Sector Antenna 710-790MHz & MIMO
ANEXO 7: Technical Site Survey

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I.- EVOLUCIÓN DE LOS SITEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL 2G/3G/4G Y ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA LTE

Figura 1.1 FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). 8

Figura 1.2 TDMA Acceso Múltiple por División en Tiempo 8

Figura 1.3 Arquitectura GSM.....9

Figura 1.4 Elementos e interfaces GSM.....10

Figura 1.5 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).....12

Figura 1.6 Arquitectura básica de CDMA (IS-95) 13

Figura 1.7 Evolución de las principales tecnologías 14

Figura 1.8 Diagrama GPRS, GPRS = GSM + 'SGSN' + 'GGSN'.....16

Figura 1.9 EDGE y GPRS 17

Figura 1.10 Comparación de Espectro entre CDMA2000 y WCDMA 19

Figura 1.11 Características básicas de las fases de CDMA 20

Figura 1.12 Evolución vía CDMA 2000 21

Figura 1.13 Interfaces de radio de la familia IMT-2000.....24

Figura 1.14 Diagrama en el tiempo de los avances en 3GPP 25

Figura 1.15 Evolución de 3GPP 27

Figura 1.16 Diagrama en el tiempo de los avances tecnológicos 3GPP2.....29

Figura 1.17 Arquitectura UMTS.....30

Figura 1.18 Componentes e interfaces de la UTRAN.....33

Figura 1.19 Coexistencia entre GERAN y UTRAN 36

Figura 1.20 Modulación adaptativa 37

Figura 1.21 HSPA+ Uplink & Downlink.....40

Figura 1.22 Evolución a 4G.....41

Figura 1.23 Comparación en el tiempo de LTE 42

Figura 1.24 Funcionalidades generales de LTE/EPC 44

Figura 1.25 Técnica de duplexión FDD, TDD y anchos de banda para UL/DL 45

Figura 1.26 Técnicas dúplex separación de UL/DL y comparación del uso del throughput en interfaz aire LTE 45

Figura 1.27 Ejemplo de uso del espectro en Banda 7 para LTE.....46

Figura 1.28 Granularidad de anchos de banda en LTE 46

Figura 1.29 Portadoras de frecuencias en las Bandas LTE.....48

Figura 1.30 Ejemplo de distribución de usuarios por símbolos y de modulación .48

Figura 1.31 Tipos de sub portadoras en LTE para todos los anchos de banda 49

Figura 1.32 Bandas de guarda en FDM 49

Figura 1.33 Bandas de guarda en OFDM.....50

Figura 1.34 Diagrama de señales bajo técnica OFDM. Puntos de cruce cero 50

Figura 1.35 Diagrama de señales sub portadoras y símbolos en el dominio del tiempo y frecuencia. FFT entre señales y sub portadoras.....52

Figura 1.36 Numero de sub-portadoras por cada ancho de banda.....53

Figura 1.37 Ancho de banda útil y espaciamiento en el espectro. 53

Figura 1.38 Señales con diversidad de amplitud y técnica SC-FDMA en Uplink .54

Figura 1.39 Sub-portadoras en OFDMA, SC FDMA 55

Figura 1.40 Arquitectura del sistema LTE 55

Figura 1.41 Arquitectura simplificada EPC –LTE 56

Figura 1.42 Red de Acceso E-UTRAN 57

Figura 1.43 Mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio.....59

Figura 1.44 Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME 60

Figura 1.45 Arquitectura Básica de la red troncal EPC 62

Figura 1.46 Entidades de red EPC.....63

Figura 1.47 Tipos de interconexión a través SGi.....64

Figura 1.48 Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS 66

Figura 1.49 Equipo de Usuario.....67

Figura 1.50 Funcionalidades de la interfaz aire 68

Figura 1.51 Estructura de trama de radio, UL/DL 69

Figura 1.52 Estructura de trama de radio, Sub tramas y sub slots 69

Figura 1.53 Tipos de estructura de tramas y bloques de recursos en LTE FDD..70

Figura 1.54 Estructura del bloque de recursos. [31] 70

Figura 1.55 Estructura del bloque de recursos por tipo de ancho de banda 71

Figura 1.56 Comunicación entre capas de enlace desde el UE hacia el eNodeB y tipos de canal 73

Figura 1.57 Estructura de tipos de canales vs protocolos entre UE y el eNodeB 74

Figura 1.58 Intervalo TTI entre bloques de transporte para canales de transporte.....75

Figura 1.59 Procedimientos en la capa física y datos desde la capa transporte..78

Figura 1.60 Modulación de datos y asignación a sub-portadoras.....78

Figura 1.61 Arquitectura de E-UTRAN 79

Figura 1.62 Procesos de la conexión RRC entre UE – eNodeB – EPC.....80

Figura 1.63 Tipos de Bearer (portador) entre entidades UE-ENODEB-SGW-PGW-RED EXTERNA 80

Figura 1.64 Ubicación del PSS en la trama de radio 82

Figura 1.65 Ubicación del SSS en la trama de radio 82

Figura 1.66 Ubicación de los bloques de recurso RB en el ancho de banda LTE.....83

Figura 1.67 Conexión entre entidades de red LTE a través del EPS Bearer 83

Figura 1.68 Tipos de Portadoras de Radio (RB) entre UE y el eNodeB 84

Figura 1.69 Tecnología de antena simple 85

Figura 1.70 Tecnología de antena de diversidad de Tx (Multiples entradas).....85

Figura 1.71 Técnica de antena de Diversidad TX/RX 86

Figura 1.72 Técnica de antena MIMO 87

Figura 1.73 Tipos de técnicas de antena múltiple, por tipo de transmisión 87

CAPÍTULO II.- DISEÑO DE UNA CELDA BASE DE RED CELULAR CON TECNOLGÍA 4G/LTE, PARA EL SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO

Figura 2.1 Resumen de la Planificación de Radio en la red LTE. 90

Figura 2.2 Parámetros ambientales y del medio físico en la red LTE 92

Figura 2.3 Principales pasos del proceso de planificación de Radio en la red LTE 93

Figura 2.4 Detalle de las fases de planificación de Radio en la red LTE 94

Figura 2.5 Concepto de Link Budget en la red LTE 95

Figura 2.6 Cálculo del MAPL en el enlace Uplink Link Budget en la red LTE 97

Figura 2.7 Umbral del receptor en el eNodeB en la red LTE 98

Figura 2.8 Margen de Interferencia IoT en la red LTE 99

Figura 2.9 Margen de Shadowing en la red LTE 100

Figura 2.10 Pérdidas por penetración en la red LTE 101

Figura 2.11 Pérdidas por cuerpo en el UE 102

Figura 2.12 Ganancia de Handoff 102

Figura 2.13 Ejemplo de cálculo para ambiente urbano.....103

Figura 2.14 Modelos de propagación Okumara Hata 104

Figura 2.15 Impacto del uso de RRH y TMA 105

Figura 2.16 Descripción de la configuración d2U + RRH.....107

Figura 2.17 Datos de entrada en la herramienta ATOLL 109

Figura 2.18 Datos geográficos, clases de clutter, desviación estándar, pérdidas y ganancias 110

Figura 2.19 Datos de radio, Estructura de la trama LTE.....111

Figura 2.20 Datos de radio, Equipos usados para LTE 112

Figura 2.21 Datos de radio, Características de los Transmisores para LTE 113

Figura 2.22 Datos de radio, características de las Celdas LTE 114

Figura 2.23 Datos de tráfico, parámetros en UL/DL de servicio en la red LTE. 115

Figura 2.24 Datos de tráfico, parámetros técnicos, de equipo y configuración MIMO en el terminal de usuario de LTE 116

Figura 2.25 Datos de tráfico, perfil de usuario en el terminal de abonado LTE..117

Figura 2. 26 Resumen de pasos en el ciclo de la planificación de radio de la red LTE a través de la herramienta de planeación.....118

Figura 2.27 Resultados de la planificación de radio de la red LTE. 119

Figura 2.28 Resumen de pasos para la predicción de coberturas de la red LTE a través de la herramienta de planeación.....120

Figura 2.29 Ejemplos de predicción de coberturas de la red LTE a través de la herramienta de planeación.....121

Figura 2.30 Mapas, tipos y sus resoluciones digitales. 127

Figura 2.31 Mapas, tipos y sus resoluciones digitales, tipos de morfología.....127

Figura 2.32 Tipos de Clutter disponibles en la herramienta de planeación.....128

Figura 2.33 Datos de entrada para la MACRO LINK BUDGET en Excel.....135

Figura 2.34 Datos de Salida para los parámetros del LINK BUDGET en UL. ...136

Figura 2.35 Datos de Salida para los parámetros del LINK BUDGET en DL. ...137

Figura 2.36 Resumen del proceso de diseño de red de radio 146

Figura 2.37 Resumen del proceso de diseño de red de radio para LTE.....147

Figura 2.38 Resumen de proceso de dimensionamiento de cobertura y tráfico. 148

Figura 2.39 Cálculo del presupuesto de enlace ascendente. 155

Figura 2.40 Ilustración del proceso de adaptación de enlace en el downlink.....157

Figura 2.41 Mapa digital de terreno, resolución 20m. 162

Figura 2.42 Mapa digital de clutter, resolución 20m. 162

Figura 2.43 Mapa digital de vectores 163

Figura 2.44 Ingresos en la herramienta de predicción para RSRP. 164

Figura 2.45 Ingresos en la herramienta de predicción para RSSI.....165

Figura 2.46 Ingresos en la herramienta de predicción para cobertura por transmisor. 165

Figura 2.47 Ingresos en la herramienta de predicción para RSRQ.....166

Figura 2.48 Ingresos en la herramienta de predicción para RS SINR. 166

Figura 2.49 Ingresos en la herramienta de predicción para PDSCH SINR. 167

Figura 2.50 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P1.....167

Figura 2.51 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P2.....167

Figura 2.52 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P1.....168

Figura 2.53 Ubicación del área geográfica de cobertura (VERDE) y alrededores, calles y avenidas, en MAPINFO.....168

Figura 2.54 Ubicación del área geográfica de cobertura (verde) y alrededores, sitios co-ubicados operador TELEFONICA /CLARO, en MAPINFO. 169

Figura 2.55 Ubicación geográfica del área de cobertura y el sitio seleccionado el área en Colores es el área por tipo de clutter en ATOLL. 169

Figura 2.56 Cobertura por nivel de señal. 170

Figura 2.57 BEST RSRP (RS EPRE) DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4. 171

Figura 2.58 RSSI DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4. 172

Figura 2.59 RSSI DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4.....172

Figura 2.60 Área de sobrelapamiento con threshold de 4 dB, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4. 173

Figura 2.61 Área de sobrelapamiento con threshold de 10 dB, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4. 173

Figura 2.62 RS SINR DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VozIP, FTP Download, MIMO4X4 174

Figura 2.63 Calidad de la señal RSRQ, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, VoIP, 50% de carga promedio DL/U, MIMO4X4 175

Figura 2.64 Throughput efectivo en el canal DL. Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VozIP, MIMO4X4. 176

Figura 2.65 Throughput efectivo en el canal DL, para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4. 176

Figura 2.66 Nivel de SINR en el PDSCH, efectivo en el canal DL, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4 177

Figura 2.67 Nivel de SINR en los canales PUSCH/PUCCH en el canal UL, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, FTP Download, MIMO4X4. 178

Figura 2.68 Entradas de datos para vecindades del sitio de forma automática en la herramienta de predicción. 179

Figura 2.69 Resultados para vecindades del sitio de forma automática en la herramienta de predicción. 179

Figura 2.70 Entrada de datos para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción. 180

Figura 2.71 Resultados para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción. 180

Figura 2.72 Resultado grafico para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción 181

Figura 2.73 Definición del mapa de tráfico en DU, visto en la herramienta de planeación. 185

Figura 2.74 Entradas de datos para simulación de tráfico en la herramienta de predicción. 186

Figura 2.75 Resultados gráficos de las simulaciones de tráfico mediante la herramienta de predicción. 186

Figura 2.76 Resultados del análisis por sitio, por celda y globales. 188

Figura 2.77 Resultados del análisis por sitio, por celda. 188

Figura 2.78 Entradas de datos para predicción de thourghput de celda y por usuario. 189

Figura 2.79 Predicción de cobertura por throughput de celda para servicio VoIP. Frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4. 189

Figura 2.80 Predicción de cobertura por throughput de celda para servicio FTP download, frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4. 190

Figura 2. 81 Predicción de cobertura por throughput de usuario para servicio VoIP, Frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4. 190

CAPITULO III.- FACTIBILIDAD TECNOLOGÍCA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA BASE DE RED CELULAR EN QUITO

Figura 3.1 Representación de una red Ubicua 196

Figura 3.2 Arquitectura de red WiMAX 199

Figura 3.3 Características Morfológicas de celdas celulares, Azcapotzalco México DF 206

Figura 3.4 Sitios co-ubicados para implementación Overlay (Reutilización de sitios ya ubicados) 208

Figura 3.5 Cobertura por nivel de señal considerado para el Transmisor eNodeB en el sector Iñaquito de la ciudad de Quito 208

Figura 3.6 Resultados de mejor nivel de RSRP en la zona. 215

Figura 3.7 Factibilidad de migración a la Arquitectura de Red LTE. 217

Figura 3.8 Índices de eficiencia espectral de las principales tecnologías inalámbricas 218

Figura 3.9 Principales servicios y aplicaciones de LTE 220

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I.- EVOLUCIÓN DE LOS SITEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL 2G/3G/4G Y ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA LTE

Tabla 1.1 Clasificación básica de los diferentes sistemas en función de la generación a la que pertenecen 2

Tabla 1.2 Tecnologías de primera generación de telefonía móvil.....6

Tabla 1.3 Tasa de datos para 2G, 2.5G, 3G 20

Tabla 1.4 Resumen de Tecnologías de 2G. 22

Tabla 1.5 Evolución de HSPA 35

Tabla 1.6 Comparación de HSPA con EVDO.....39

Tabla 1.7 Emparejamiento de frecuencias en UL/DL de LTE FDD y TDD.....47

Tabla 1.8 Ejemplo de parámetros de sub portadoras por ancho de banda.....53

Tabla 1.9 Entidades de red e interfaces de E-UTRAN. 61

Tabla 1.10 Categorías de Equipos Usuario LTE. 68

CAPÍTULO II.- DISEÑO DE UNA CELDA BASE DE RED CELULAR CON TECNOLGÍA 4G/LTE, PARA EL SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO

Tabla 2.1 Caracteristicas del RRH por Banda de Frecuencia.....107

Tabla 2.2 Figuras de capacidad del eNodeB (FDD): enlace UL. 122

Tabla 2.3 Figuras de capacidad del eNodeB (FDD): enlace DL. 122

Tabla 2.4 Criterios de aislamiento entre antenas de diferentes tecnologías y bandas con respecto a LTE 125

Tabla 2.5 Aislamiento entre diferentes tecnologías y mismas bandas.....125

Tabla 2.6 Pérdidas, ganancias y márgenes principales en la herramienta de predicción 130

Tabla 2.7 Probabilidad de cobertura vs Márgenes de shadowing, ganancias de HHO, velocidades del usuario y desviación estándar. 130

Tabla 2.8 Pérdidas de penetración de acuerdo al tipo de ambiente y la banda de frecuencia 131

Tabla 2.9 Ganancia del FSS (Frecuency Selective Scheduling = programación selectiva de frecuencia). 132

Tabla 2.10 Ancho de banda vs. Bloques de recursos para el PUCCH, LTE FDD. 133

Tabla 2.11 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE. 140

Tabla 2.12 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE, para ser tomado en cuenta en la herramienta de predicción para el RSRP 140

Tabla 2.13 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE. 141

Tabla 2.14 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE, para ser tomado en cuenta en la herramienta de predicción el RSSI. 141

Tabla 2.15 Objetivos RSRQ vs. Porcentajes de confiabilidad de cobertura, para plataformas de acceso versiones 3,4 y 5.....142

Tabla 2.16 Objetivos RS-SINR vs. Porcentajes de confiabilidad de cobertura, para plataformas de acceso versiones 3,4 y 5.....142

Tabla 2.17 Objetivos PDSCH SINR vs áreas de confiabilidad.....143

Tabla 2.18 Bandas de frecuencia definidas por 3GPP. 149

Tabla 2.19 Parámetros de Diseño del LinK Budget.....154

Tabla 2.20 Tabla de Márgenes de Shadowing por morfología 154

Tabla 2.21 Tabla de Márgenes de Interferencia por morfología. 155

Tabla 2.22 Generada para Uplink Budget (10MHz, 700 MHz, DenseUrban DU).....156

Tabla 2.23 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO LINK BUDGET EN UL, 700 MHz FREC, 20 MHz AB. 158

Tabla 2.24 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO LINK BUDGET EN DL, 700 MHz FREC, 20 MHz AB. 159

Tabla 2.25 Factores de corrección de los Clutters para DU en la banda elegida. 161

Tabla 2.26 Configuración física del sitio Iñaquito centro. 181

Tabla 2.27 Tabla referencial para tráficos en VoIP y Throughputs de datos en UL.. 182

Tabla 2.28 Tabla referencial para tráficos en VOIP y Thrpoughputs de datos. En DL.. 183

Tabla 2.29 Resumen general Inputs/Outputs para la herramienta Link Bugget. 191

CAPÍTULO III.- FACTIBILIDAD TECNOLOGÍCA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA BASE DE RED CELULAR EN QUITO

Tabla 3.1 Operadores bajo tecnología WiMax en Ecuador 198

Tabla 3.2 Bandas de frecuencia HSPA y WiMAx 203

Tabla 3.3 Comparación WiMAX vs LTE 203

Tabla 3.4 Comparación de eficiencia espectral 203

Tabla 3.5 Comparación característica entre las tecnologías WiMax Mobil, LTE, HSPA+. 204

Tabla 3.6 Tipo de clutter en la zona Dense_urban. 207

Tabla 3.7 Tipo de clutter zona dense-urban para sector Iñaquito de la ciudad de Quito. 207

Tabla 3.8 Resultados LTE UL Budget Indoor 212

Tabla 3.9 Resultados LTE Link Budget (outdoor) 213

Tabla 3.10 Resultados-UL Budget- Dense Urban-700MHz-20 MHz BW. 214

Tabla 3.11 Plots de BEST RSRP (RS EPRE) DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP. 215

RESUMEN

En el presente proyecto, se describe las diferentes etapas que intervienen en un proceso de diseño en este caso para una celda base de acceso inalámbrico con la utilización de tecnología LTE para un sector específico de la ciudad de Quito. La evolución a largo plazo (LTE: Long Term Evolution), se caracteriza por ser una tecnología totalmente nueva y ampliamente superior a sus antecesoras, características como: ser una red totalmente basada en IP, tecnología de antenas Múltiples (MIMO: Multiple input Multiple output), multiportadoras para accesos multiples por división de frecuencias ortogonales, reducción de la latencia, ancho de banda escalable, variedad para implementación en varias bandas de frecuencia y tasas de transmisión pico instantáneas de descarga de 100Mbps y 50Mbps de subida en condiciones ideales de prueba en la celda, aspectos relevantes que son tomados en cuenta para el desarrollo del diseño de una celda base considerando etapas de factibilidad, planificación, dimensionamiento, cobertura y trafico dentro de los cuales intervienen procedimientos de presupuesto de enlace (Link Budget), análisis de cobertura y un sistema de configuración de parámetros los cuales proporcionaran resultados visibles de cómo se refleja el diseño en un esquema gráfico (plots de cobertura y servicio).
Con esta finalidad hemos estructurado el proyecto en cuatro capítulos que se introducen a continuación.

En el Capitulo 1, se presenta un resumen de las generaciones de la telefonía móvil celular y sus principales tecnologías que caracterizaron esa época y como han ido evolucionando en el tiempo, sus características más importantes hasta llegar a la cuarta generación (4G), donde se describe su estándar principal y la estructura básica de la tecnología LTE.

En el Capitulo 2, se realizará una introducción a los principios de Radio de la interfaz E-UTRAN, planificación, dimensionamiento y diseño de una celda base de red celular, especificación de la metodología principal de diseño y aplicación práctica mediante el uso de la herramienta ATOLL, Link Budget MacroExcel, MAPINFO, configuración física del eNodeB y análisis de los resultados.

En el Capitulo 3, se realiza un análisis comparativo con otras redes celulares 4G desarrolladas en otros países donde se determinará desde el punto de vista tecnológico la factibilidad de implementación de la misma para el caso de estudio.

En el Capitulo 4, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto las cuales determinan si los criterios asumidos en el diseño cumplen con los objetivos planteados al inicio del proyecto, respecto al punto de vista tecnológico ventajas y desventajas del diseño.

Como ultima parte del proyecto se presenta los anexos en los que se indican los equipos seleccionados que cumplirán los requerimientos del diseño.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto expone criterios o bases con las que se pueda guiar un proceso de diseño para una celda con tecnología LTE, lo que representa un avance para implementaciones de ésta y futuras tecnologías ya que a partir del Release 7 con el cual inicia LTE se proyecta innovaciones de sus características de tal forma que al momento ya se habla de LTE Advance en el Release 10 del 3GPP.

La perspectiva que se tiene por objeto es replicar el diseño base en múltiples radio bases integradas y llegar a conformar una macro celda o red global celular complementando con criterios como el reuso de frecuencias, traspasos entre celdas activas y complementariedad de servicios.

Una visión en la que el mundo de las telecomunicaciones avanza y las aplicaciones se vuelven casi tan importantes como las tecnologías que las soportan, un ejemplo de ello y como mención a nuevos proyectos de tesis son las nuevas aplicaciones M2M sobre LTE o complementario con otras tecnologías inalámbricas (Bluetooth, UWB, RFID, Zig Bee) e incluso fijas. Las posibilidades no exploradas como son el IPTV de alta definición, multimedia en tiempo real, acceso instantáneo a redes sociales, etc. Aspectos en los cuales ya se está trabajando y la tecnología LTE es una base para permitir este desarrollo.

1 CAPÍTULO I.- EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL 2G/3G/4G Y ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA LTE.

1.1 COMIENZO Y DESARROLLO DE LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

1.1.1 EVOLUCIÓN

Antes de la implementación del sistema celular como se conoce actualmente, existieron sistemas de comunicación móvil previos, los cuales intentaron cubrir la necesidad de la comunicación en movimiento. Los sistemas de comunicación móvil que precedieron a la telefonía celular fueron, la comunicación móvil de radio, el servicio de telefonía móvil MTS, sistema telefónico operado manualmente que permitía a un suscriptor comunicarse a otra parte usando la red terrestre y el Servicio de Telefonía Móvil Mejorado IMTS el cual proporcionó selección de canal automática, conteo automático y operación simultánea full-duplex.

Hoy día existen varios sistemas móviles que proveen acceso telefónico. La comunicación celular, como concepto, fue originalmente concebido para proveer comunicación móvil de alta densidad sin consumir grandes cantidades de espectro y potencia. En la primera generación de telefonía móvil celular se adoptó la técnica de acceso FDMA/FDD (Frequency Division Multiple Access./ Frecuency Division Duplex), la cual utilizaba el Acceso Múltiple por División de Frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación TX y RX. En Norteamérica a partir de 1981 comenzó a utilizarse el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), el cual ofrecía 832 canales divididos en 776 canales de voz y 56 canales de señalización de 30 KHz cada uno. [1] [2]

[1].-http://es.wikitel.info/wiki/sistemas-celulares
[2].-http://www.monografias.com/evolución_de_sistemas_celulares.asp

Europa introduce en 1981 el sistema Nordic Mobile Telephone System o NMTS450 el cual empezó a operar en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega, en la banda de 450 MHz .En 1985 Gran Bretaña, a partir de AMPS, adoptó el sistema TACS (Total Access Communications System), el cual contaba con 1000 canales de 25 KHz cada uno y operaba en la banda de 900MHz. Con las tecnologías de primera generación solo se podía prestar servicios de voz. [2]

	1G	2G	2,5G	3G
Europa	NMT, TACS	GSM900 & 1800, DECT	GPRS	UMTS (WCDMA), EDGE
Estados Unidos y Latinoamérica	AMPS	TDMA, cdmaOne, GSM850 & 1900	CDMA2000 1xRTT, GPRS	EDGE, CDMA2000 1xEV-DO
Japón	IMTS	PHS, cdmaOne, PDC	CDMA2000 1xRTT	FOMA, WCDMA, CDMA2000 1xEV-DO
China		GSM, cdmaOne	CDMA2000 1xRTT	TD-SCDMA

Tabla 1.1 Clasificación básica de los diferentes sistemas en función de la generación a la que pertenecen. [3]

El concepto original involucraba el uso de un grupo de frecuencias dentro de una misma celda, rehusando la frecuencia en la misma vecindad pero separándolas en espacio físico para permitir el re-uso con un bajo nivel de interferencia. El hardware necesario para implementar este tipo de sistemas no fue logrado hasta finales de los años setenta y para entonces, el concepto celular, es decir, el re-uso de frecuencia en celdas, fue aceptado como una herramienta para la planificación de frecuencias.

[3].-Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información, AHCIET_ Telefónica I+D España.

1.1.2 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE [4]

Una de las estrategias más importantes para aumentar el número de usuarios en un sistema celular radica principalmente en la técnica de acceso múltiple que utiliza. Las técnicas de acceso múltiple en un sistema inalámbrico permiten que varios usuarios puedan accesar simultáneamente a un canal o un grupo de frecuencias, lo que permite el uso eficiente del ancho de banda. Un canal puede ser visto como una porción del espectro radioeléctrico, el cual es asignado temporalmente para un propósito especifico, tal como una llamada telefónica. Una técnica de acceso múltiple define como se divide el espectro de frecuencias en canales y como los canales son asignados a los múltiples usuarios en el sistema. Visto de otra manera, el seleccionar una técnica eficiente de acceso múltiple significa que los operadores telefónicos obtendrán más ganancias al acomodar más usuarios en sus redes.

1.1.2.1 FDMA (Frequency Division Multiple Acces)

Los sistemas celulares basados en FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias) formaron la base de los primeros sistemas celulares en el mundo.
FDMA fue implementada en la banda de 800 MHz utilizando un ancho de banda de 30 KHz por canal. FDMA subdivide el ancho de banda en frecuencias, cada frecuencia sólo puede ser usada por un usuario durante una llamada. Debido a la limitación en ancho de banda, esta técnica de acceso es muy ineficiente ya que se saturan los canales al aumentar el número de usuarios alrededor de una celda. Esta técnica de acceso múltiple predominó en los sistemas celulares analógicos de la primera generación. La tecnología más representativa de esta generación es conocida como AMPS (American Mobile Phone System).

1.1.2.2 TDMA (Time Division Multiple Acces)

Después de la introducción de FDMA, operadores celulares y fabricantes de equipo inalámbrico reconocieron las limitaciones de esta técnica de acceso analógica. Años más adelante aparecen los primeros sistemas celulares digitales basados en Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA.

---

[4].-http://www.wikipedia/info/técnicas_de_acceso_multiple

Con el fin de continuar la compatibilidad con la asignación de espectro del sistema anterior ocupado por la tecnología AMPS, se desarrolla en Norteamérica a finales de los 80s un sistema conocido como DAMPS (Digital AMPS) también con 30 KHz de ancho de banda por canal. En Europa se desarrolla también un sistema celular digital basado en TDMA conocido como GSM (Groupe Special Mobile) con canales de 200 KHz.

Los sistemas celulares bajo TDMA utilizan el espectro de manera similar a los sistemas FDMA, con cada radio base ocupando una frecuencia distinta para transmitir y recibir. Sin embargo, cada una de estas dos bandas son divididas en tiempo (conocidas como ranuras de tiempo) para cada usuario. Por ejemplo, TDMA de tres ranuras divide la transmisión en tres periodos de tiempo fijos (ranuras), cada una con igual duración, con una asignación particular de ranuras para transmisión para uno de 3 posibles usuarios. Este esquema de tres ranuras por canal, incrementa en un factor de tres la capacidad de TDMA con respecto a FDMA.

1.1.2.3 CDMA (Code Division Multiple Acces)

A mediados de los 80s algunos investigadores vieron el potencial de una tecnología conocida como espectro disperso (spread spectrum) la cual era utilizada para aplicaciones militares pero que también podría ser usada para telefonía celular. Esta tecnología de espectro disperso involucra la transformación de la información de banda angosta a una señal de banda amplia para transmisión, la cual puede ser vista como una manera de aumentar las capacidades de los sistemas TDMA que limitan el número de usuarios al número de ranuras de tiempo.

1.2 PRIMERA GENERACIÓN (1G) [3]

La primera generación 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, si bien proliferó durante los años 80. Introdujo los teléfonos "celulares", basados en las redes celulares con múltiples estaciones de base relativamente cercanas unas de otras, y protocolos para el "traspaso" entre las celdas cuando el teléfono se movía de una celda a otra. La transferencia analógica y estrictamente para voz son características que identifican a la 1G.

Con calidad de enlaces muy reducida, la velocidad de conexión no era mayor a (2400 bauds). En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaban con una baja capacidad basadas en FDMA, lo que limitaba en forma notable la cantidad de usuarios que el servicio podía ofrecer en forma simultánea ya que los protocolos de asignación de canal estáticos padecen de ésta limitación ya que eran sistemas totalmente analógicos, dispositivos pesados, corta duración de batería y muy pocas prestaciones para transmisión de datos que no ofrecen gran ancho de banda.

La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System). Otros incluyen el AMPS usado en los Estados Unidos, TACS (Total Access Communications System) en Inglaterra.

1.2.1 AMPS (Advance Mobile Phone Service)

AMPS usa 832 canales dobles por usuario, formados por 832 simples de bajada y otros 832 simples de subida, cada uno de ellos con un ancho de banda de 30KHz. La eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico es una de las principales razones porque las comunicaciones móviles han evolucionado.

1.2.2 TACS (Total Acces Comunication System)

Es la versión europea del modelo AMPS. Este sistema fue muy usado en Inglaterra y luego en Asia (Hong-Kong y Japón) y utilizaba la banda de frecuencia de 900 MHz

1.2.3 ETACS (Enhanced Total Acces Comunication System)

Es una versión mejorada del estándar TACS desarrollado en Inglaterra que utiliza una gran cantidad de canales de comunicación.

Si bien había diferencias en la especificación de los sistemas, eran conceptualmente muy similares. La información con la voz era transmitida en forma de frecuencia modulada al proveedor del servicio. Un canal de control era usado en forma simultánea para habilitar el traspaso a otro canal de comunicación de ser necesario.

---

[5].-http://www.monografias.com/tecnología/fundamentos_celulares.asp
[6].-GSM Fundamentals & RF_ (GTL-GSM-RF-001).pdf

La frecuencia de los canales era distinta para cada sistema. NMT usaba canales de 12.5KHz, AMPS de 30KHz y TACS de 25KHz.

Se considera este sistema como el de primera generación de telefonía celular pues fue el primero en implementar el concepto de celdas de ahí su nombre, las que se caracterizaban por tener cada una cierta frecuencia distinta de las de sus celdas adyacentes, para no interferirse entre ellas.

Parámetros	**AMPS**	**TACS**	**NMT**	**NTT**
Frecuencia Tx (MHz) Base Móvil	 870-890 825-845	 935-960 890-915	 463.5-467.5 453-457.5	 870-885 925-940
Espacio entre frecuencias Tx/Rx (MHz)	45	45	10	55
Espacio entre canales (KHz)	30	25	25	25
Número de canales	832	1000	180	600
Cobertura radiobase (km)	2-25	2-20	1.8-40	5-10
Velocidad de transmisión (Kbps)	10	8	1.2	0.3

Tabla 1.2 Tecnologías de primera generación de telefonía móvil. [3]

1.3 SEGUNDA GENERACIÓN (2G) [6]

Su estudio y definición se inició a principios de los años 80, en el grupo GSM, la 2G se caracteriza por ser digital, porque los aparatos móviles y las radio bases eran capaz de modular y codificar de manera digital aunque las señales en el aire siguen siendo analógicas. La digitalización trajo consigo la reducción del tamaño, costo y consumo de potencia en los dispositivos móviles, esto permitió que las baterías que alimentan los celulares tengan más horas de duración y reduzcan su tamaño considerablemente, además de nuevos servicios tales como identificador de llamada, envío de mensajes cortos (SMS), mensajes de voz conferencia tripartita dependiendo de las funciones que soporte el teléfono y del proveedor de servicios.

Una nueva banda de frecuencias fue abierta para permitir estos servicios y nuevos competidores. La banda de 1.9 GHz (1.850 -1.990 MHz) abrió nuevas expectativas para los usuarios y muchas compañías telefónicas. Se considera tres

tecnologías básicamente: GSM, TDMA IS-136 y CDMA IS-95. Estas tres tecnologías predominantes de la segunda generación se describen a continuación.

1.3.1 GSM (Global System for Mobile Communicactions) [5][6]

La red GSM (*Sistema global de comunicaciones móviles*) es, a comienzos del siglo XXI, el estándar más usado de Europa. Se denomina estándar "de segunda generación" (2G) porque, a diferencia de la primera generación, las comunicaciones se producen de un modo completamente digital.

En 1982, cuando fue estandarizado por primera vez, fue denominado "Groupe Special Mobile" y en 1991 se convirtió en un estándar internacional llamado "Sistema Global de Comunicaciones Móviles".

El estándar GSM permite un rendimiento máximo de 9,6 kbps, que permite transmisiones de voz y de datos digitales de volumen bajo, por ejemplo, mensajes de texto (**SMS**, Servicio de mensajes cortos) o mensajes multimedia (**MMS**, Servicio de mensajes multimedia).

En una red GSM, la terminal del usuario se llama estación móvil. Una estación móvil está constituida por una tarjeta SIM (Módulo de identificación de abonado), que permite identificar de manera única al usuario y a la terminal móvil, o sea, al dispositivo del usuario (normalmente un teléfono portátil).

Las terminales o dispositivos se identifican por medio de un número único de identificación de 15 dígitos denominado IMEI (Identificador internacional de equipos móviles). Cada tarjeta SIM posee un número de identificación único denominado IMSI (Identificador internacional de abonados móviles). Este código se puede proteger con una clave de 4 dígitos llamada *código PIN*.

Por lo tanto, la tarjeta SIM permite identificar a cada usuario independientemente de la terminal utilizada durante la comunicación con la estación base. Las comunicaciones entre una estación móvil y una estación base se producen a través de un vínculo de radio, por lo general denominado interfaz de aire (o en otras ocasiones, interfaz Um).

GSM opera mayormente en las bandas de 850MHz, 900MHz, 1800MHz y 1900MHz, dependiendo del país. GSM usa una combinación de FDMA y TDMA en un espectro total de 25 MHz.

FDMA divide esos 25 MHz en 124 frecuencias portadoras de 200KHz cada una.

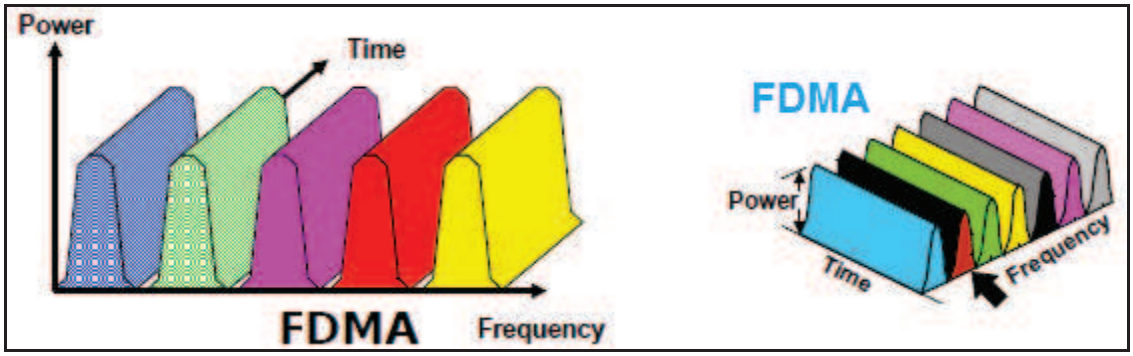


Figura 1.1 FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). [6]

Dentro de estos 200KHz se divide en forma temporal la transmisión de información (TDMA), formándose los llamados TS (time slot). Por cada 200KHz hay 8 TS. Cada uno de estos TS se utiliza para enviar información, lo cual lleva a la idea de canal lógico, donde se transmite distintos tipos de información.

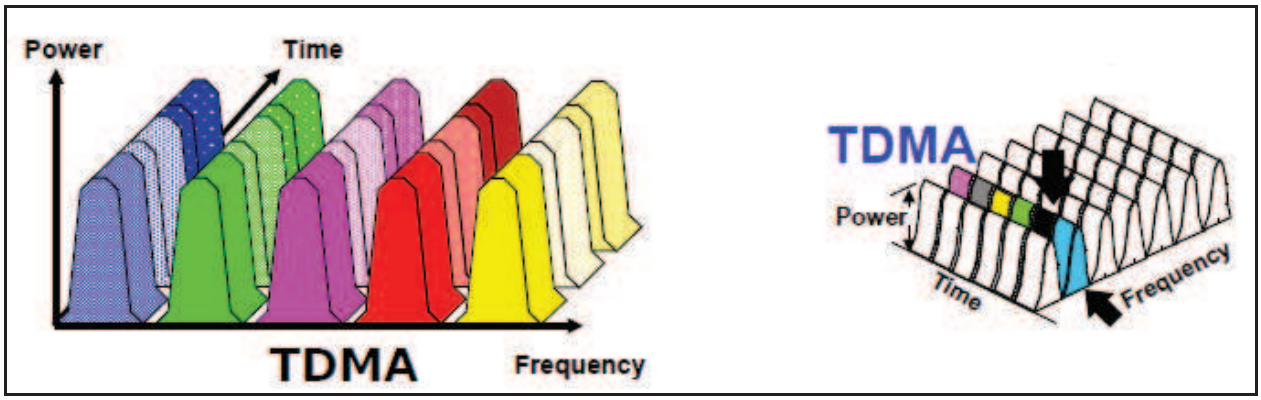


Figura 1. 2 TDMA Acceso Múltiple por División en Tiempo. [6]

1.3.1.1 Arquitectura GSM [3]

La infraestructura de red, independientemente del estándar utilizado, debe incorporar los elementos necesarios para poder gestionar de forma eficiente la movilidad a la que se hacía referencia anteriormente, así como para garantizar un acceso seguro (ya que se está utilizando un medio que se comparte entre varios usuarios).

Una infraestructura de red móvil genérica, independientemente de la tecnología de acceso utilizada, contará con una serie de elementos básicos como son:

- MS (Mobile Station) que permiten al usuario conectarse a la red. Pueden ser teléfonos, tarjetas de red o incluso dispositivos embebidos.

- BTS (Base Transceiver Station) que son el equipamiento fijo distribuido geográficamente para cubrir el área a la cual se pretende dar el servicio. Controlan el enlace radio entre el usuario y la red, constituyendo, por tanto, las puertas de acceso de los usuarios a la misma.

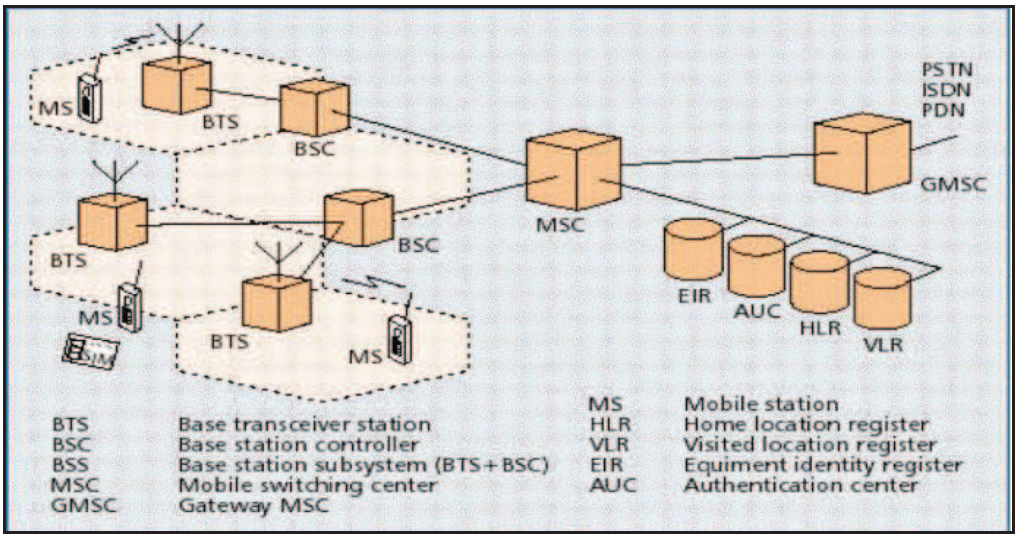


Figura 1.3 Arquitectura GSM. [3]

La arquitectura de la tecnología GSM se caracteriza por los siguientes elementos:

- BSS (Base Station Subsystem) hace las funciones de control de los recursos de radio, está compuesto por una o más BTS (Base Transceiver Station) que realiza las funciones de capa física (enlace de radio) y el BSC que efectúa la gestión de los recursos de radio.
- BSC (Base Station Controller) mientras la BTS es el elemento de interface que conecta los dispositivos móviles con la red, la BSC es responsable del establecimiento, realización y mantenimiento de todas las conexiones de las celdas que están conectadas a la BSC.
- NSS (Network and Switching System) se encarga de enrutar datos, permite la interconexión de redes y las conexiones para usar servicios de red.
- El proceso de inicio, establecimiento y terminación de una comunicación a través de la BS y BSS está a cargo de la MSC (Mobile Switching Central).
- MSC (Mobile Switching Center) es el elemento central de una red de telecomunicaciones móviles, en una red clásica de circuitos conmutados todas las conexiones entre usuarios son manejadas por la MSC y son enrutadas sobre la matriz de conmutación.

- AUC (Authentication Center) almacena información confidencial de cada usuario creando una base de datos para realizar el proceso de autenticación.
- EIR (Equipment Identification Register) se encarga de los permisos de utilización de los terminales.
- HLR (Home Location Register) contiene el registro permanente de los abonados, la posición del usuario en la red y servicios que puede usar.
- VLR (Visitor Location Register) es una base de datos que contiene información sobre los usuarios que se encuentran en el área del MSC.
- Los Subsistemas de soporte y Operación (OSS): se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorear toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en las BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema. En la figura 1.4 se muestra un pequeño esquema de lo descrito anteriormente:

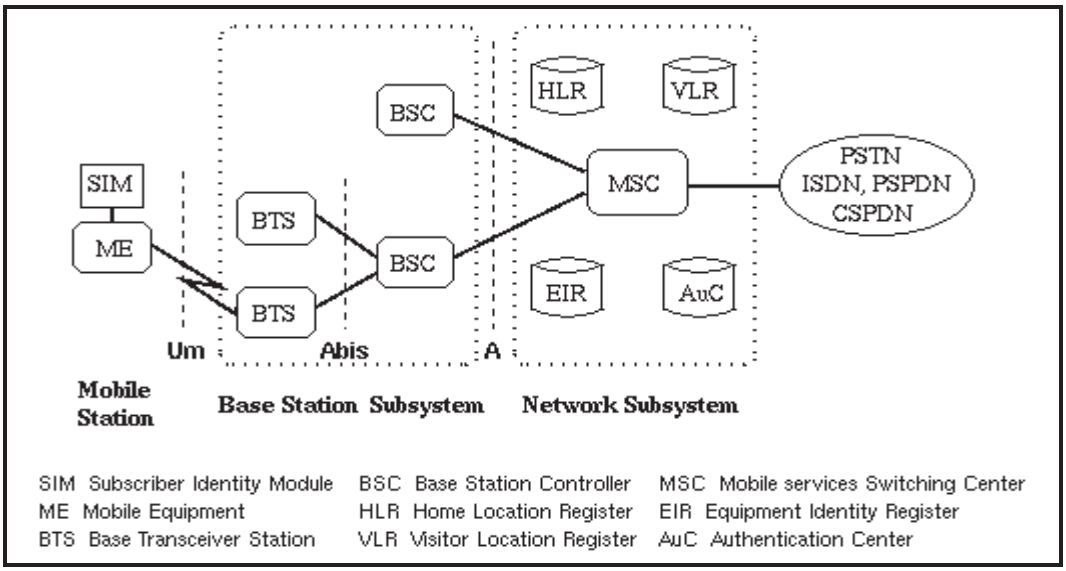


Figura 1.4 Elementos e interfaces GSM. [7]

[7].-http://www.monografias.com/tecnologías/tec_celulares/sistema_GPRS.doc

Las redes tradicionales GSM no se adaptan adecuadamente a las necesidades de transmisión de datos con terminales móviles. Por ello surge una nueva tecnología portadora denominada GPRS (General Packet Radio Service) que unifica el protocolo IP con la telefonía móvil, creándose toda una red paralela a la red GSM y orientada exclusivamente a la transmisión de datos.

1.3.2 TDMA IS-136 [8]

TDMA Interim Standard 54 (IS-54) fue liberado por la TIA a principios de 1991. En 1994, la FCC (Federal Comunications Comission) de EUA anunció la asignación de espectro en la banda de 1900 MHz y comienzan una serie de subastas de esa banda. TDMA IS-136, conocido también como DAMPS (Digital AMPS), está basado en la especificación IS-136, la cual es una revisión de la versión original IS-54. Las especificaciones del TDMA IS-136 fueron publicadas hasta 1994.

TDMA IS-136 divide el ancho de banda del canal de 30 KHz en tres ranuras de tiempo, incrementando en 3 veces la capacidad con respecto a la versión analógica AMPS.

TDMA IS-136 permite velocidades de hasta 9.6 Kbps e incorpora una diversidad de servicios digitales y al mismo tiempo puede coexistir con la red analógica AMPS en los 800 MHz.

1.3.3 CDMA IS-95 (cdmaOne)

CDMA es una técnica de acceso múltiple, que define una interface de aire inalámbrica basada en una forma particular de la tecnología conocida como espectro esparcido (spread spectrum) y era usada para comunicaciones militares por su inmunidad a la interferencia y alta seguridad. En los 70s y 80s fue creciendo el interés en aplicaciones comerciales, principalmente en telefonía celular. En 1993 el sistema de Qualcomm fue modificado y adoptado por la TIA como el Interim Standard 95 (IS-95) conocido también como **cdmaOne**. Muchos operadores adoptaron este estándar en las bandas de 800 y 1900 MHz.

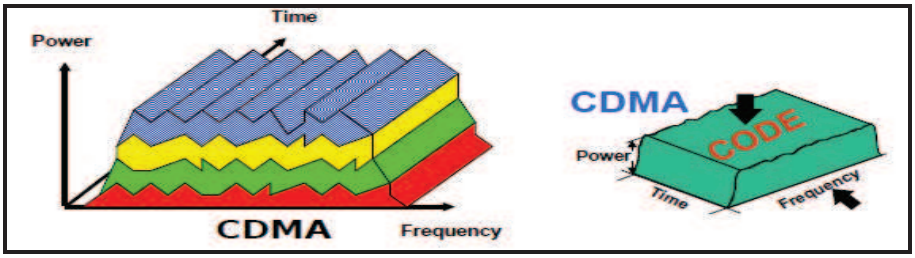


Figura 1. 5 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA). [6]

Uno de los aspectos únicos de CDMA es que a pesar de que existe un número fijo de llamadas telefónicas, la capacidad del sistema va a depender de muchos factores. Cada dispositivo que utiliza CDMA está programado con un pseudocódigo, el cual es usado para extender una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencia amplio. La estación base utiliza el mismo código en forma invertida (todos los ceros son unos y los unos ceros) para des-extender y reconstruir la señal original. Todos los otros códigos permanecen extendidos, indistinguibles del ruido de fondo.

A CDMA se le caracteriza por su alta capacidad y celdas de radio pequeño, que emplea espectro extendido y un esquema de codificación especial y lo mejor de todo es muy eficiente en potencia. Los sistemas IS-95-A dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz. Soporta servicios de datos en conmutación de circuitos a velocidades de 9.6 Kbps a 14.4 Kbps. El protocolo IS-95B (basado en conmutación de paquetes), el cual es un paso transicional hacia la siguiente generación, ofrece velocidades de datos de hasta 64 Kbps manteniendo compatibilidad hacia atrás con los sistemas existentes de IS-95A.

Con CDMA se incrementa la capacidad del sistema de 10 a 15 veces comparado con AMPS y más de tres veces comparado con los sistemas basados en TDMA. A parte de la eficiencia en espectro, CDMA ofrece capacidades de seguridad y privacidad al incorporar un sistema criptográfico de autenticación. A diferencia de ancho de banda de canal de los sistemas GSM y TDMA, CDMA utiliza un espectro de 1.25 MHz, donde todos los usuarios pueden tener acceso a éste ancho de banda. [10]

1.3.3.1 Arquitectura CDMA

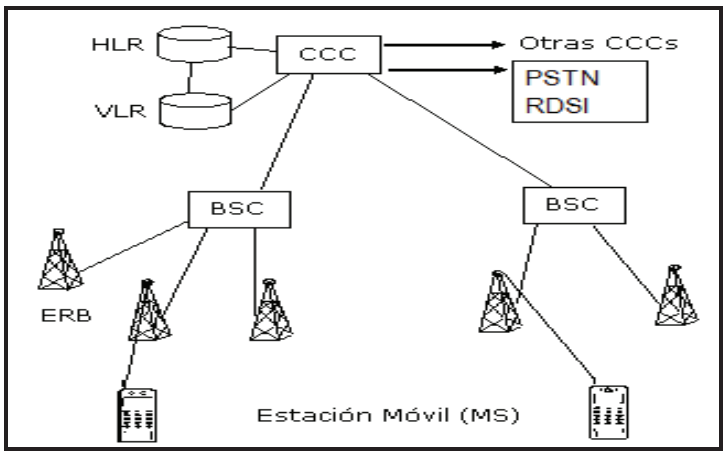


Figura 1.6 Arquitectura básica de CDMA (IS-95). [9] [10]

- Mobile Station (MS).- Estación Móvil es el terminal utilizado por el suscriptor. La estación móvil es identificada por un MIN (Mobile Identification Number). El equipamiento dispone aún de un número de serie electrónico (ESN).
- Estación Radio Base (ERB).- Equipamiento encargado de la comunicación con las estaciones móviles en una determinada área que constituye una célula.
- Base Station Controller (BSC).- Controla un grupo de ERBs. En algunos sistemas CDMA las funciones del BSC son implementadas en la CCC.
- Central de Conmutación y Control (CCC).- Es la central responsable por las funciones de conmutación y señalización para las estaciones móviles localizadas en un área geográfica designada como el área de la CCC.
- Home Location Register (HLR).- Registro de Suscriptores Locales es la base de datos que contiene informaciones sobre los suscriptores de un sistema móvil celular.
- Visitor Location Register (VLR).- Registro de Suscriptores Visitantes es la base de datos que contiene informaciones sobre los suscriptores en visita (roaming) a un sistema móvil celular.

1.4 GENERACIÓN (2.5G) [7],[8],[9],[10]

El moverse de una generación 2G a 3G implica en la mayoría de los casos una nueva infraestructura de red para la nueva interface de aire, planeación de radio bases y modificaciones de la red. Es por eso que operadores bajo TDMA optaron por hacer una transición más suave al implementar servicios de datos con redes de conmutación de paquetes a velocidades de 384 Kbps (EDGE) y 115 Kbps (GPRS). A esta transición suave se le conoce como generación 2.5G.

Como se puede ver en la figura 1.7 a partir de la 2G se identifican dos vertientes tecnológicas, claramente identificadas que son CDMA y GSM-TDMA que evolucionan a través del tiempo y su tendencia a unificar algunas características técnicas como son velocidades, esquemas de acceso de radio, utilización del protocolo IP, reutilización de frecuencia, todo en función de los parámetros que definen a la generación presente.

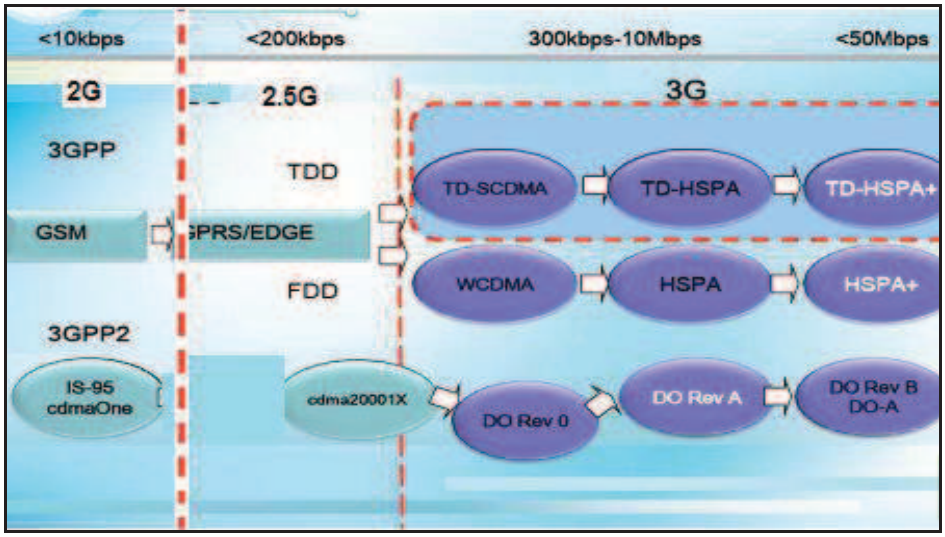


Figura 1.7 Evolución de las principales tecnologías. [11]

Estos sistemas 2.5G pueden aprovechar mucha de la infraestructura existente de la 2G para ofrecer nuevos servicios de datos.

En el caso de los nuevos estándares basados en TDMA (IS-136) como IS-136+ y IS-136HS permiten transmisiones a mayores velocidades de información tal es el caso de GPRS y EDGE. Estas nuevas tecnologías de conmutación de paquetes pueden ser superpuestas sobre las redes existentes de TDMA/GSM permitiendo al sistema mantener su compatibilidad hacia atrás.

Mientras GPRS y EDGE se aplicaron a GSM, otras mejoras fueron orientadas al sistema CDMA, siendo el primer paso de CDMA a CDMA2000 1x.

2.5G provee algunos de los beneficios de 3G (por ejemplo conmutación de datos en paquetes) y puede usar algo de la infraestructura utilizada por 2G en las redes GSM and CDMA.

La tecnología más comúnmente conocida de 2.5G es GPRS que provee transferencia de datos a velocidad moderada usando canales TDMA no utilizados en la red GSM. Algunos protocolos, como EDGE para GSM y CDMA2000 1x para CDMA, califican oficialmente como servicios "3G" (debido a que su taza de transferencia de datos supera los 144 kbit/s), pero son considerados por la mayoría como servicios 2.5G o 2.75G, que luce aún más sofisticado porque son en realidad varias veces más lentos que los servicios implementados en una red 3G. Mientras los términos "2G" y "3G" están definidos oficialmente, no lo está "2.5G". Fue inventado con fines únicamente publicitarios.

1.4.1 SISTEMAS BASADOS EN GSM/TDMA [7]

1.4.1.1 GPRS (General Packet Radio Service)

Servicio general de paquetes vía radio es una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) para la transmisión de datos por conmutación de paquetes de información desde el emisor al receptor, esto permite el uso más eficiente de los canales de comunicación. En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de la red.

La tecnología GPRS, o generación 2.5, representa un paso más hacia los sistemas inalámbricos de Tercera Generación o UMTS. Su principal característica radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarificando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión.

[11].-http://www.imt-2000.org/portal/

GPRS utiliza 8 ranuras de tiempo por cada canal de 200 KHz. y puede transportar paquetes basados en IP a velocidades de transmisión mínimo 40 Kbps y un máximo de hasta 115 Kbps por comunicación, conexión permanente tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo. GPRS es una evolución no traumática de la actual red GSM: no conlleva grandes inversiones y reutiliza parte de la infraestructura actual de GSM.

En la figura 1.8, se puede apreciar los bloques de la arquitectura de red GSM en convivencia con GPRS.

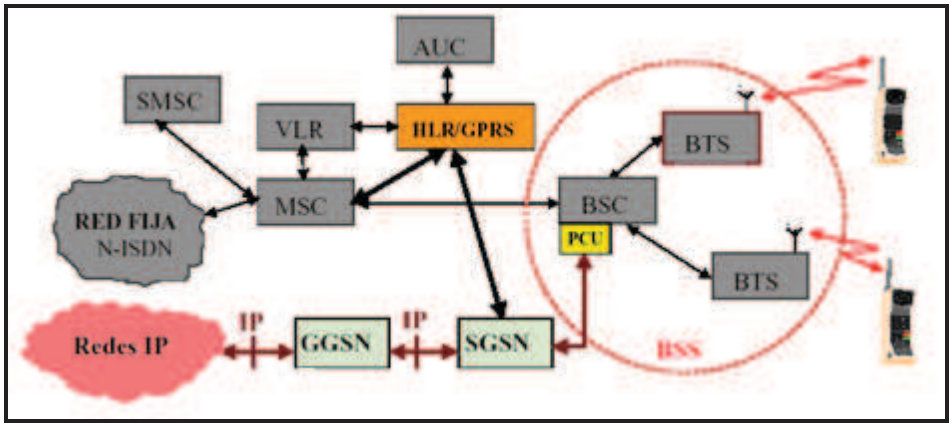


Figura 1.8 Diagrama GPRS, GPRS = GSM + 'SGSN' + 'GGSN' [7]

- **SGSN:** Serving GPRS Support Node. Nodo servidor de soporte GPRS. Nodo para el control de la red GPRS.
- **GGSN:** Gateway GPRS Support Node. Nodo pasarela de soporte GPRS. Pasarela GPRS hacia las redes externas de paquetes.

1.4.1.2 EDGE (Enhanced Data Rates Apply to GSM Evolution) [7]

Básicamente es el sistema GPRS con un nuevo esquema de modulación de frecuencia. EDGE pretende mejorar el caudal eficaz por ranura de tiempo de GPRS para soportar velocidades de hasta 384 Kbps utilizando los mismos 200 KHz por canal definidos en las redes GSM.

EDGE (EGPRS) es una tecnología que nace con las mejoras de GRPS, es la tasa de datos mejorada para la evolución de GSM, puede funcionar en cualquier red GPRS solo implementando actualizaciones. Es una potente optimización a las redes GSM/GPRS e incrementa las velocidades en un factor de 3 sobre GPRS y duplica la capacidad de datos, al ser una tecnología de radio de banda angosta

(canales de 200 KHz), EDGE permite que los proveedores ofrezcan servicios de 3G sin la necesidad de adquirir una licencia 3G.

Los cambios de GPRS a EDGE consisten en una actualización de software en la radio base, en su controlador de la radio base y la adición de un elemento que se llama EDGE TRU (Unidad de transceptor) en el transceptor de la radio base.

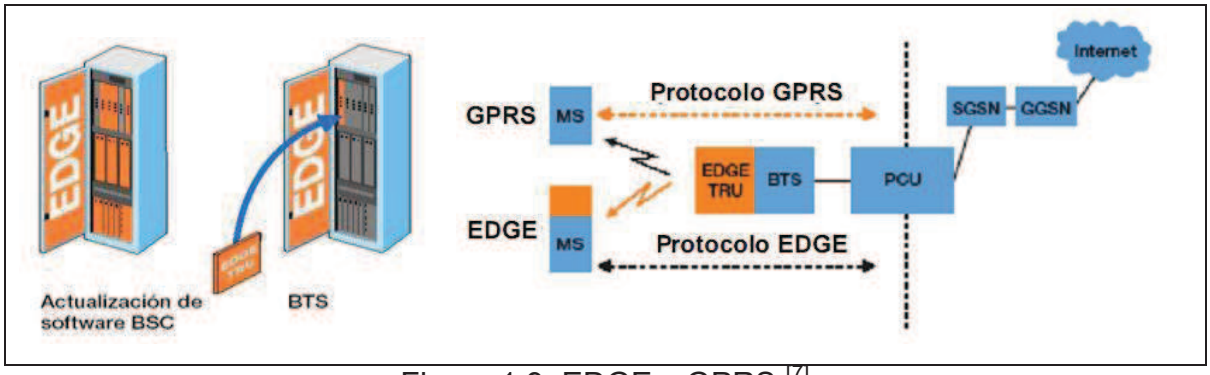


Figura 1.9 EDGE y GPRS [7]

Introducir EDGE a una red GSM/GPRS es el primer paso en la evolución hacia *GSM/EDGE Radio Access Network (GERAN)* según el estándar 3GPP, y con el tiempo a una arquitectura de red IP total.

EDGE emplea 3 técnicas avanzadas en el radio-enlace que le permiten alcanzar una eficiencia espectral sumamente elevada para servicios de datos celulares de banda angosta.

- Nuevo esquema de modulación llamado 8-PSK, que le permite a la señal de radio transmitir tres bits de información en cada símbolo de radio.
- La segunda técnica es la de esquemas de codificación múltiples, en la que la red puede ajustar la cantidad de bits dedicados a control de errores dependiendo del entorno de radio. EDGE tiene cinco esquemas de codificación disponibles para 8-PSK.
- EDGE selecciona dinámicamente el esquema de modulación y codificación óptimo para el entorno de radio imperante en el momento. Con la tercera técnica, si se reciben bloques de datos con error, EDGE envía una cantidad incremental de datos correctores de errores (retransmite datos usando diferentes tipos de codificación) en cada re-transmisión haciendo que una tenga mayor probabilidad de éxito que la anterior.

EDGE reduce la latencia a aproximadamente 300ms, en el caso de GSM este valor es de entre 500 y 600ms, con lo cual se hace más rápida la red. Los

esfuerzos por mejorar esta tecnología se basan principalmente en aumentar la capacidad de la red y reducir la latencia. Alta eficiencia espectral ya que no requiere un gran bloque de espectro y puede desplegarse en las bandas de 850, 900, 1800, y 1900 MHz. Es compatible con otras tecnologías hacia 3G, de modo que cuando un usuario se desplaza fuera de la cobertura EDGE, se los conmuta automáticamente a redes GPRS o HSDPA dependiendo de los servicios de datos que utilicen.

Las fuertes demandas por mayores capacidades hacen que GSM se enfoque en una forma de optimizar la interfaz radio, esto quiere decir que en base a las ventajas que tiene la tecnología CDMA sobre las redes TDMA, adopte la tecnología WCDMA (Wideband CDMA) como principal estándar de convergencia para las diferentes tecnologías GSM y CDMA. Hasta ahora las características de esta interface de radio UMTS, han supuesto un gran avance respecto a lo que proporcionaba GSM sobre todo en lo que respecta a la transferencia de datos, todavía resultan un poco limitadas cuando se utilizan aplicaciones que requieren transferencia de información a muy alta velocidad o cuando coinciden muchos usuarios con aplicaciones 3G en área reducida. Puesto que las aplicaciones de datos se descargan mayoritariamente desde la red hacia el terminal, la versión 5 del 3GPP introduce el HSDPA, como primer paso en la evolución de la interface de radio, permitiendo utilizar velocidades de transmisiones muy superiores a las actuales en el enlace descendente. A continuación en la versión 6 del 3GPP aparece el HSUPA (High Speed Uplink Packet Acces) que permite algo similar en el canal ascendente.

1.4.2 SISTEMAS BASADOS EN CDMA [9]

1.4.2.1 CDMA 2000

Esta rama evolutiva tiene como origen la tecnología CDMA IS-95, el protocolo de red ANSI 41 y se conoce como cdmaOne, estas redes utilizan una portadora de 1,25 MHz y opera dentro de las bandas de 800 y 1900MHz.

La TIA y su sub-comité TR5.5.4 fue el responsable de la selección del concepto básico y del desarrollo de cdma2000, opera tanto en secuencia directa como en multiportadora.

En la estructura de los canales existen dos alternativas para el enlace de bajada: multiportadora y secuencia directa. La opción de multiportadora mantiene ortogonalidad entre cdma2000 y las portadoras de IS-95. El enlace de bajada es más importante debido a que el control del nivel de potencia no puede balancear las potencias interferentes entre las diferentes capas, como sucede en el enlace de subida. cdma2000 está diseñado para operar con anchos de banda de 1.25, 5, 10, 15 y 20 MHz. Utiliza modulación QPSK en el enlace de bajada y BPSK en el de subida. Soporta QoS (calidad de servicio) sobre diferentes canales.

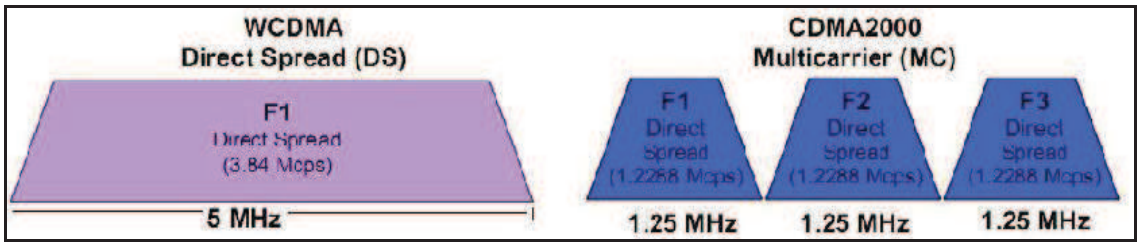


Figura 1.10 Comparación de Espectro entre CDMA2000 y WCDMA [9]

Hacia 3G, CDMA2000 evoluciona a CDMA 1XEV-DO el cual es un progreso de CDMA2000 1x con una alta velocidad de datos (Hight Data Rate: HDR) con una portadora solo para datos y donde el enlace ascendente es multiplexado por división de tiempo que maximiza las velocidades de datos del usuario. Este estándar de interfaz 3G ha sido denominado IS-856.

Existen varias fases de cdma2000, tales como 1x, 1xEV (HDR) y 3x. A continuación se explican las dos primeras fases de cdma2000.

1.4.2.2 CDMA 2000 1X [10]

Los sistemas basados en CDMA en cambio no tienen las limitantes de ancho de banda de canal de TDMA [30 KHz] y GSM [200 KHz]. Desde el principio se definió un ancho de banda de 1.25 MHz que sería compartido entre todos los usuarios. La siguiente generación de las redes bajo CDMA será en dos fases. La primera fase conocida como CDMA 2000 1X y la segunda conocida como CDMA 2000 3X. El término "1X" y "3X" se refiere al número de canales usados de la interface de aire con ancho de banda de 1.25 MHz. CDMA 2000 1X permitirá a los sistemas basados en CDMA mejorar los servicios de datos al brindar servicios de datos basados en IP a velocidades de hasta 144 Kbps en un canal de 1.25 MHz. A

través de mejoras en la modulación y mejor control de potencia, estos sistemas pueden doblar la capacidad de los sistemas anteriores IS-95.

Generación	2 G	2,5 G	3G
Tecnología	cdmaOne (IS- 95 A y B)	CDMA2000 1X*	CDMA 1xEV-DO CDMA 1xEV-DV
Tasa de datos (teórica)	14,4 kbit/s	153 kbit/s	2,4 Mbit/s

Tabla 1.3 Tasa de datos para 2G, 2.5G, 3G

* CDMA2000 1X= CDMA/IS-95-C, CDMA 1xRTT o cdma2000 1x.

El CDMA 1xEV tiene su evolución en dos etapas:

- 1xEV-DO (Data Only) donde una portadora de 1,25 MHz es dedicada sólo para datos, y posteriormente.
- 1xEV-DV (Data and Voice) donde una portadora podrá ser utilizada para voz y datos.

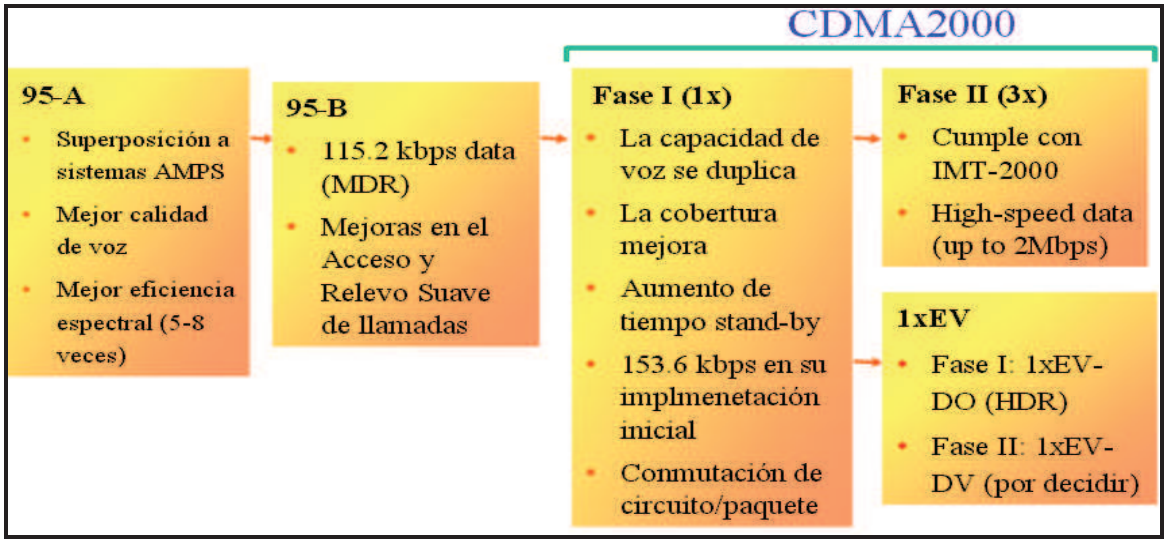


Figura 1.11 Características básicas de las fases de CDMA [9]

1.4.2.3 CDMA 2000 1xEV [9]

Recientemente la TIA adoptó la especificación basada en HDR, conocida como TIA/EIA/IS-186 "cdma2000, High Rate Packet Data Air Interface Specification". HDR también se le conoce como 1xEV. La especificación 1xEV fue desarrollada por 3GPP2.

HDR puede proveer acceso inalámbrico a velocidades de hasta 2.4 Mbps en un ancho de banda de canal de 1.25 MHz. 1xEV está optimizado para servicios de paquetes de datos ya que incorpora una arquitectura basada en IP. 1xEV es totalmente compatible con los estándares IS-95A/B, lo cual permite ser implementado sobre las redes basadas en CDMA, como cdmaOne.

Figura 1.12 Evolución vía CDMA 2000 [10]

A continuación se muestra la tabla 1.4 donde se especifican los diferentes servicios ofrecidos por cada una de estas tres tecnologías: IS-136, IS-95 Y GSM.

Tecnología	Servicio	Capacidad de datos
GSM	Datos conmutados por circuitos basados en el estándar GSM	9.6 Kbps a 14.4 Kbps
	GPRS	IP y comunicaciones X.25 en el orden de Kbps
	EDGE	Comunicaciones IP a 384 Kbps. Posible compatibilidad con las redes IS-136
	W-CDMA	Similar a EDGE pero son posibles velocidades a 2 Mbps en interiores.

Tecnologia	Servicio	Capacidad de Datos
IS-136	Datos conmutados por circuitos basados en el estándar IS-135	9.6 Kbps
	EDGE	Comunicaciones IP a 384 Kbps. Posible compatibilidad con las redes GSM
	WCDMA (o Wideband TDMA, WTDMA)	Similar a EDGE pero incorpora velocidades a 2 Mbps en interiores
CDMA	Datos conmutados por circuitos basados en el estándar IS-707	9.6 Kbps a 14.4 Kbps
	IS-95B	Comunicaciones IP a 64 Kbps
	CDMA2000 1XRTT	Comunicaciones IP a 144 Kbps
	CDMA2000 3XRTT	Comunicaciones IP a 384 Kbps en exteriores y 2 Mbps en interiores

Tabla 1.4 Resumen de Tecnologías de 2G. [10]

1.5 TERCERA GENERACIÓN (3G)

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) definió a la tercera generación de servicios móviles (conocida como 3G) en base a diferentes velocidades de información las cuales permitirán la transmisión de voz, datos e imágenes en movimiento. Para brindar estos servicios deberán alcanzarse velocidades de hasta 144 Kbps para ambientes en movimiento (por ejemplo dentro de vehículos en marcha); deben de alcanzarse velocidades de hasta 384 Kbps en ambientes de baja velocidad (peatones en movimiento) y deben

alcanzarse hasta 2 Mbps en ambientes estacionarios o en interiores. Para la tercera generación 3G se consideraron 3 tecnologías; el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) que utiliza tecnología WCDMA (Wide band CDMA) acceso múltiple por división de código de banda ancha, este sistema permite transmisión de datos en conmutación de circuitos y de paquetes, generación multi-trayecto y recepción en WCDMA.

La otra tecnología considerada es la CDMA 2000 1xEV-DV, que es una evolución de CDMA 2000 1x, y ofrece servicios de voz y datos. La tercera tecnología considerada dentro de la 3G, fue desarrollada en China, el TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA).

1.5.1 LA ARMONIZACIÓN GLOBAL [11]

Con el objetivo de lograr la armonización global de las tecnologías inalámbricas de tercera generación la ITU pretende unificar en un estándar común para todos los operadores de telecomunicaciones y crea la IMT-2000, en el cual agrupa características tecnológicas y servicios. A continuación se describen brevemente algunos de los principales organismos.

1.5.1.1 IMT-2000 (Internacional Mobile telecomunication 2000)

IMT-2000 es un esfuerzo de la ITU y otras organizaciones regionales para armonizar a los sistemas móviles de tercera generación, los cuales proveerán acceso por diversos medios a un amplio rango de servicios de telecomunicaciones soportados por las redes terrenales de telecomunicaciones (PSTN, ISDN, IP, etc.) y por satélite.

Con el fin de justificar un cambio evolutivo respecto a la generación anterior, una mayor capacidad de sistema, una mayor eficiencia espectral y mayor velocidad de transmisión en entornos fijos y móviles, se aprobó cinco interfaces de radio que componen la familia IMT-2000 y son:

- El sistema IMT-DS (Direct Sequence). Es ampliamente conocido como UTRA FDD (UMTS Terrestrial Radio Access FDD), y más comúnmente como WCDMA.

- El sistema IMT-MC (Multicarrier). Este sistema es la versión 3G del sistema IS-95 (también conocido como cdmaOne), y se suele denominar cdma2000.
- El sistema IMT-TC (Time Code). Este sistema es el UTRA TDD. Se trata del modo UTRA que utiliza multiplexación por división en el tiempo.
- El sistema IMT-SC (Single Carrier). Esencialmente se trata de una manifestación particularizada de GSM Fase 2+, conocido como EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).
- El sistema IMT FT (Frequency Time). Este sistema se conoce como DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications).

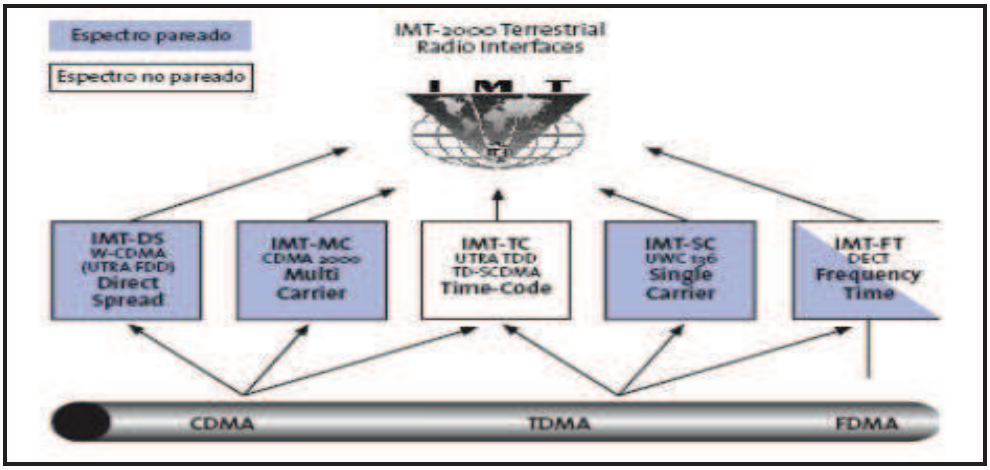


Figura 1.13 Interfaces de radio de la familia IMT-2000 [11]

En vista de la escalabilidad hacia una nueva generación en el camino evolutivo el proyecto IMT-2000 formó dos grupos para la normalización de redes terrestres el 3GPP y el 3GPP2.

1.5.1.1.1 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [12],[13]

IMT-2000 es un esfuerzo de la ITU y otras organizaciones regionales para armonizar a los sistemas móviles de tercera generación, los cuales proveerán acceso por diversos medios a un amplio rango de servicios de telecomunicaciones soportados por las redes terrenales de telecomunicaciones (PSTN, ISDN, IP, etc.) y por satélite.

Con el fin de justificar un cambio evolutivo respecto a la generación anterior, una mayor capacidad de sistema, una mayor eficiencia espectral y mayor velocidad de

transmisión en entornos fijos y móviles, se aprobó cinco interfaces de radio que componen la familia IMT-2000 y son:

- El sistema IMT-DS (Direct Sequence). Es ampliamente conocido como UTRA FDD (UMTS Terrestrial Radio Access FDD), y más comúnmente como WCDMA.
- El sistema IMT-MC (Multicarrier). Este sistema es la versión 3G del sistema IS-95 (también conocido como cdmaOne), y se suele denominar cdma2000.
- El sistema IMT-TC (Time Code). Este sistema es el UTRA TDD. Se trata del modo UTRA que utiliza multiplexación por división en el tiempo.
- El sistema IMT-SC (Single Carrier). Esencialmente se trata de una manifestación particularizada de GSM Fase 2+, conocido como EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).
- El sistema IMT FT (Frequency Time). Este sistema se conoce como DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications).

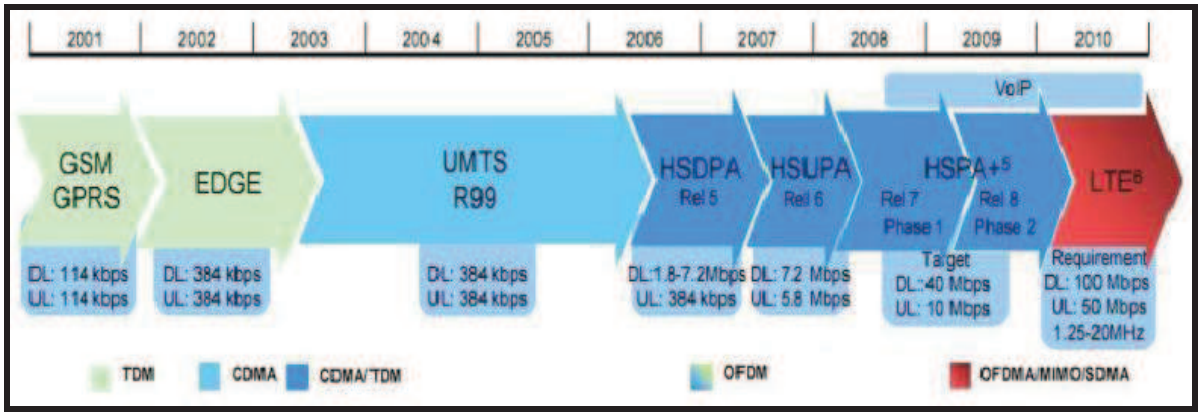


Figura 1.14 Diagrama en el tiempo de los avances en 3GPP. [13]

En vista de la escalabilidad hacia una nueva generación en el camino evolutivo el proyecto IMT-2000 formó dos grupos para la normalización de redes terrestres el 3GPP y el 3GPP2.

1.5.1.1.1.1 Releases de 3GPP [13]

La organización 3GPP da las características a la tecnología UMTS lleva a cabo un trabajo continuo de cambios y mejoras sobre UMTS. Cada cierto tiempo las especificaciones que llevan a cabo se “congelan” para dar una base de

especificaciones estables a los fabricantes de equipamiento y a los proveedores de servicio, constituyendo, cada una de estas especificaciones, las versiones de UMTS o *Releases*. A continuación se listan indicando las características más relevantes:

• *Release 99*: Se establece la arquitectura de una red UMTS coexistiendo con una red GSM con soporte para GPRS y EDGE. Es la primera versión explotable y punto de partida de UMTS con sus características básicas.
• *Release* 4: Introduce algunas mejoras a la arquitectura de la red y a la interfaz radioeléctrica. Soporte para mensajes multimedia usa transporte IP en el core network.
• *Release 5*: Mejora importante en la interfaz aérea al introducirse HSDPA mejorando principalmente las tasas de transferencia en el enlace descendente. Primera fase de IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Totalmente capaz de usar transporte basado en IP en vez de ATM en el core.
• *Release* 6: La principal contribución del Rel-6 es HSUPA (*Hight Speed Uplink Packet Acces*) mejorando las velocidades del enlace ascendente y que junto con HSDPA forman la mejora HSPA. También destaca MBMS (*Multimedia Broadcast/Multicast Services*), usando los mismos recursos de radio a través de GSM, UMTS y aplicaciones de voz sobre IP (VoIP). Contiene también especificaciones de desempeño para receptores avanzados y opciones de integración con redes inalámbricas de área local (WLAN).
• *Release 7*: Especifica la evolución de HSPA a HSPA+ la que incluye modulación de alto orden (64QAM en DL y 16QAM en UL) y MIMO, permitiendo doblar las tasas de transferencia. También incluye ajustes y mejoras incrementales a características de versiones previas, lo que resulta en mejoras de desempeño, aumento de la eficiencia espectral, mayor capacidad y mejor resistencia a las interferencias. Se realizan nuevos avances a IMS (*IP Multimedia Subsystem*). Además incluye mejoras en la funcionalidad de datos de GSM con *Evolved* EDGE y se agrega la capacidad CPC (*Continous packet connectivity*).
Las principales mejoras que harán posible la consecución de dichos objetivos son las antenas múltiples o MIMO (Multiple Input Multiple Output) tanto en el

transmisor como en el propio teléfono, el uso de modulaciones más eficientes como por ejemplo 64QAM.

• Release 8: Desarrolla el concepto de *Long Term Evolution* (LTE) y *Evolved Packet System* (EPS). Mejoras a HSPA tales como uso simultáneo de MIMO y 64 QAM, velocidades teóricas de 100/50Mbps de bajada/subida respectivamente y hace despreciable el retardo. Especifica el LTE basado en acceso OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*).

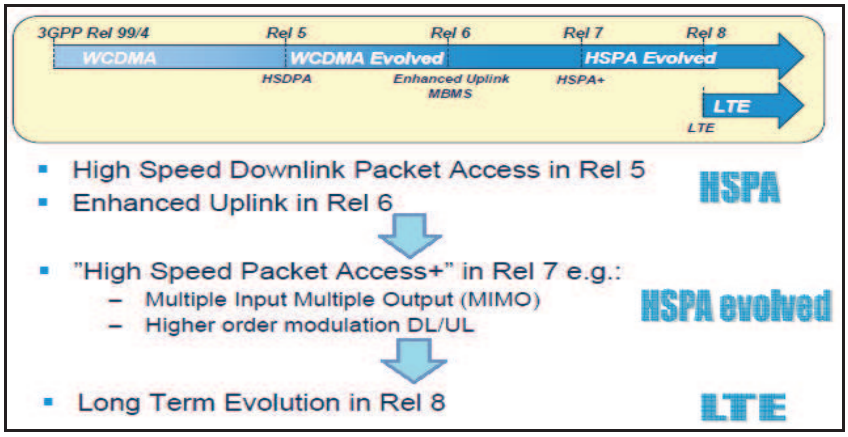


Figura 1.15 Evolución de 3GPP [13]

1.5.1.1.2 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2Phase) [14]

3GPP2 es una organización colaborativa de estándares de 3G para desarrollar especificaciones globales que soporten ANSI/TIA/EIA-41. La organización se encarga también de especificar los estándares de evolución de IS-95 al cdma2000 y sus etapas 1xEV-DO y 1xEV-DV con revisiones RevA, RevB, RevC.

1.5.1.1.2.1 Releases de 3GPP2 [14]

Este estándar, al igual que 3GPP tiene varias revisiones que van graduando el avance tecnológico respecto de EVDO. La evolución de IS-95 es IS-2000 o CDMA-2000, siendo totalmente retro compatible. CDMA2000 1xEV se implementa en dos etapas aprobadas por la UIT:

•1xEV-DO: 1x Evolution Data Only "Evolución de datos solamente"

•1xEV-DV: 1x Evolution Data and Voice "Evolución de datos y voz"

Rev 0: Esta tecnología móvil se desplegó por primera vez a nivel mundial en el 2002 en Corea del Sur.

[12].-IEEE Communications Society http://www.comsoc.org
[13].-Third Generation Partnership Project http://www.3gpp.org

Ofrece banda ancha a una velocidad de 2.4 Mbps en el downlink (canal de bajada) y de 153 kbps en el uplink (canal de subida) con una única portadora FDD de 1.25 MHz, sin embargo comercialmente posee un rendimiento de 500-700 Kbps en el downlink y de 70-90 kbps en el uplink. En muchos países, 1XEV-DO Rev 0, se constituyó en una alternativa para dar servicio de acceso a internet, y se ha convertido en otros lugares en la competencia directa de los accesos ADSL.
Debido a las características similares de RF es bastante factible la integración del 1xEV-DO con las redes CDMA existentes, reutilizando la infraestructura de las BTS (radio bases), antenas y equipamientos de transmisión y recepción.
Rev A: Mejora las velocidades de Rel 0, y provee una tasa de datos pico de 3.1 Mbps en el downlink y 1.8 Mbps en el uplink con portadora FDD de 1.25 MHz, sin embargo en redes comerciales posee un rendimiento de 450-800 kbps en el downlink y de 300 - 400 kbps en el uplink., ofreciendo así la posibilidad de un ancho de banda simétrico ideal para aplicaciones interactivas. Implementando calidad de servicio (QoS) y una arquitectura de banda ancha basada en IP, Rev A soporta aplicaciones tales como VoIP (voz sobre IP), video llamada.
Rev B: Se agregan de múltiples portadoras de 1.25 MHz incrementando la velocidad de datos pico proporcional al número de portadoras, cuando 15 portadoras son combinadas en un ancho de banda de 20 MHz se alcanza velocidades de 46.5 Mbps en el downlink y de 27 Mbps en uplink. Usando modulación 64-QAM, la velocidad del downlink se incrementa, por ejemplo, con una sola portadora de 1.25 MHz se tendría hasta 4.9 Mbps, con 4 portadores de 1.25 MHz (5MHz) se transmitiría hasta 9.3 Mbps y con 20 MHz de ancho de banda se alcanzaría 73.5 Mbps.
Rev C: UMB (Ultra-high Mobile Broadband): Combina lo mejor de muchas tecnologías como CDMA y OFDMA en una única interface de aire empleando antenas con técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y SDMA (Spatial Division Multiple Access) para alcanzar velocidades muy altas con baja latencia y alta eficiencia espectral.

[14].-Third Generation Partnership Project 2 http://www.3ggp2.org

Soporta asignaciones incrementales de espectro desde 1.25 MHz a 20 MHz. La evolución de la tecnología CDMA2000 nos llevará hacia UMB la cual promete velocidades pico de 288 Mbps en el downlink y 75 Mbps en el uplink. UMB es lo que ofrece la tecnología CDMA para el acceso de banda ancha en un futuro próximo lo que se puede considerar como el equivalente de LTE (Long Term Evolution) normada por la 3GPP, pero dado que las redes HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) actualmente han sido desplegadas por decenas de operadoras alrededor del mundo y su número va en aumento, además algunas de ellas ya están haciendo una migración hacia HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) lo cual hace prever que la evolución natural de la mayoría de redes del mercado móvil se inclinará hacia LTE dejando a UMB con una minoritaria participación de mercado, se espera a pesar de todo, que UMB pueda hacer frente a LTE y a la versión móvil de WiMAX.

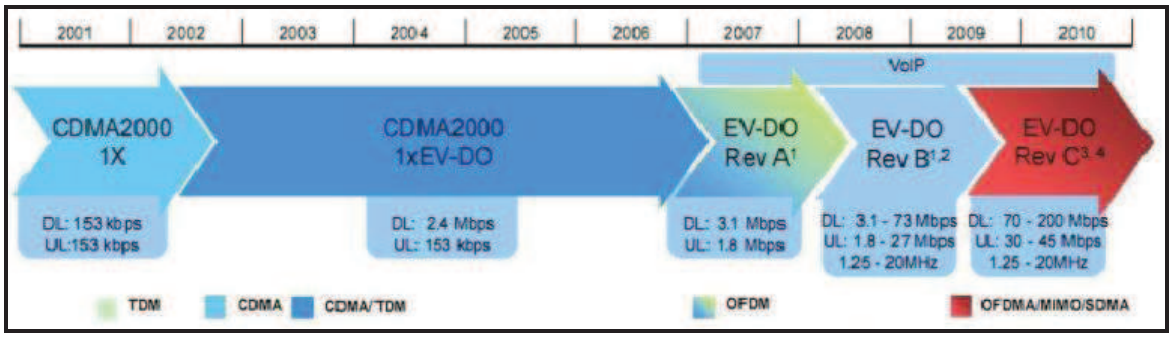


Figura 1.16 Diagrama en el tiempo de los avances tecnológicos 3GPP2. [14]

1.5.2 UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMUNICATION SYSTEM) [15]

UMTS es un sistema móvil de tercera generación sucesor de GSM, la cual usa la técnica de acceso WCDMA hacia la Red de Acceso Radio de UMTS, llamada UTRAN. Desarrollado en Europa por el organismo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) para promover la utilización de UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) en el IMT-2000 de la ITU.

UMTS es un sistema que combina la telefonía celular, teléfonos inalámbricos, redes locales de datos, radios móviles privados y sistemas de radio-localización, también busca cimentar y extender el potencial de las tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales de hoy en día. UMTS provee velocidades de hasta 2 Mbps y utiliza un par de canales de 5MHz, uno en el rango de los 1900MHz para

enlace de subida (*uplink*) y otro en el rango de los 2100MHz para el enlace de bajada (*downlink*).

1.5.2.1 Arquitectura de Red UMTS

La red central común utiliza los mismos elementos de red que GPRS y GSM, incluyendo el SGSN, el GGSN, el MSC, el HLR y VLR. A esto se le denomina red UMTS, y brinda un máximo de flexibilidad a los operadores para la provisión de distintos servicios en sus áreas de cobertura. La red de radio- acceso UMTS consiste en radio estaciones base que se conectan con controladores de red de radio RNC. Estos RNC se conectan a la red central al igual que los BSC, la diferencia radica en la interface de acceso de radio, es decir, la forma en que se trasmite entre el móvil y las estaciones base que es WCDMA. En redes con acceso disponible tanto a GSM como a WCDMA, la red puede conmutar usuarios entre estas redes. Además la red puede seleccionar la red de radio acceso más adecuado para el usuario, dependiendo de las preferencias del usuario y de la carga que tenga la red en ese momento.

La arquitectura UMTS que se muestra en la figura 1.17 y se describe ampliamente en la especificación de la 3GPP tiene diferentes elementos que se agrupan según su funcionalidad en tres grupos; el núcleo de red (CN del inglés Core Network) UTRAN del inglés UMTS *terrestrial* RAN (Radio Access Network) y el equipo de usuario (UE, User Equipment). Desde el punto de vista de la estandarización el UE y la UTRAN constan de protocolos completamente nuevos, mientras que el CN es adoptado de GSM.

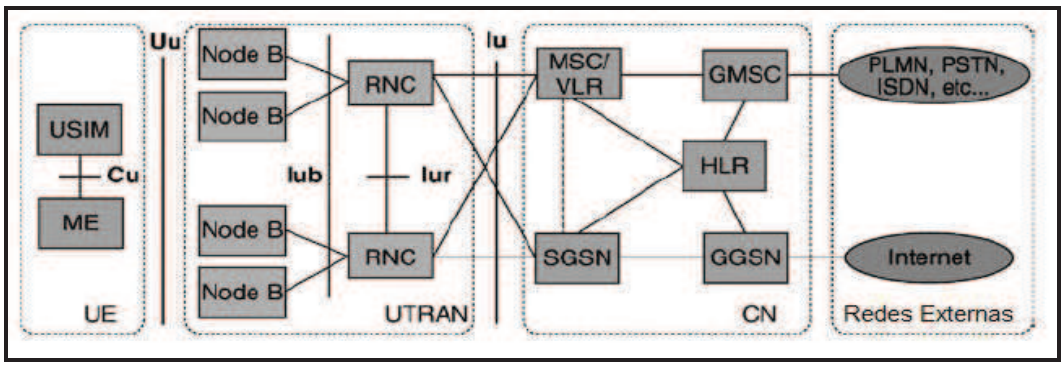


Figura 1.17 Arquitectura UMTS [16]

La arquitectura de la red UMTS, tiene como base la arquitectura de GPRS donde muchos de los módulos que la componen siguen teniendo funciones similares, cambiando así sólo algunos de los nombres especialmente en el acceso. Se pueden distinguir tres dominios en UMTS:

• UE (*User Equipment*): contiene el equipo móvil (ME) y la tarjeta USIM (*Universal SIM*), la cual contiene información del suscriptor que le permite acceder a la red.
• RAN (*Radio Access Network*): sus componentes son la estación base o NodoB y las RNC (*Radio Network Controller*). Las funciones principales de la estación base son el cierre del lazo de control de potencia, codificación de los canales físicos, modulación-demodulación, interfaz de aire para la transmisión/recepción, captura de errores, entre otras. Mientras que las tareas de la RNC son administración y control de los recursos de radio, control de potencia, asignación de canales, cifrado, segmentación y re-ensamblado, etc.
• CN (*Core Network*): su principal función es la conmutación, enrutamiento y transito del tráfico de los usuarios. La arquitectura de este dominio de UMTS está basada en la de GSM con GPRS, pero todo el equipamiento debe ser modificado para la operación de UMTS. La CN se puede subdividir en dominios de circuitos (CS) y paquetes (PS). Los elementos de CS son la MSC, VLR y GMSC.
Existen dos modos para WCDMA: FDD (*Frecuency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*). En la primera se tiene dos bandas de frecuencia, una para el downlink y otra para el *uplink*; esta es la versión presente en la mayoría de las redes desplegadas, por lo que se centrará en este modo todo análisis. El modo TDD utiliza una sola frecuencia tanto para *downlink* como para *uplink*, pero se van alternando en el tiempo.

1.5.2.1.1 Core Network

MSC (*Mobile Switching Center*) es el elemento central en la red de conmutación de circuitos. Tanto GSM como UMTS usan el mismo MSC, es decir la BSS de GSM y el RNS de UTRAN se pueden conectar con el mismo MSC, con las debidas actualizaciones tanto de software como de hardware. Varios BSSs pueden ser conectados a un MSC. Un MSC se conecta con otros en la red de un operador y se conecta con el SGSN. Las funciones principales de un MSC son:

- Paginación

- Coordinación de llamadas
- Función de trabajo con otros tipos de redes
- Control del *Handover*
- Intercambio de señales entre diferentes interfaces
- Asignación de frecuencia

GMSC (*Gateway MSC*) es un MSC que está localizado entre la PSTN y los otros MSCs en la red. Su tarea es rutear llamadas al MSC apropiado decidiendo por medio de la interrogación del HLR adecuado.

SGSN (*Serving GPRS Support Node*) es el elemento central de la red de conmutación de paquetes. El SGSN se conecta con UTRAN mediante la interfaz Iu-PS y con el GSM-BSS mediante la interfaz GB.

GGSN (*Gateway GPRS Suppor Node*) corresponde a la función del GMSC en la red de conmutación de paquetes, pero a diferencia de este que sólo rutea el tráfico entrante a la red, el GGSN debe rutear también el tráfico saliente.

1.5.2.2 Técnica de Acceso [15]

La técnica de acceso en UTRAN corresponde a WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*) y se basa en el sistema de división por código, en el cual la señal de banda base es ensanchada en su espectro mediante una secuencia pseudo-aleatoria de alta frecuencia. En contraste a FDMA, en que una portadora representa el canal de acceso para un único usuario, en CDMA, sobre una portadora podrán coexistir varios usuarios, identificándose cada uno con un código pseudo-aleatorio. Dicho código es conocido a ambos lados de la transmisión, recuperándose la señal de banda base deseada.

El acceso WCDMA nació como parte de una de las cinco tecnologías definidas para IMT-2000, bajo el nombre de CDMA *Direct Spread, o Direct Sequence* CDMA (DSCDMA), con la utilización de multiplexación en frecuencia y una tasa de chips de 3.84 Mbps, resultando en un espectro esparcido en cerca de 5 MHz.

Por definición, el ancho de banda de WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) es de 5MHz y se escogió principalmente ya que:

• Es suficiente para proveer tasas de datos de 144 y 384Kbps y hasta 2Mbps en buenas condiciones (objetivos originales de 3G). A partir del release 5 estas tasas se superan con HDSPA.

• El ancho de banda es siempre escaso y por lo tanto se debe usar lo menos posible especialmente si el sistema debe ser usado en bandas de frecuencia ya ocupadas por sistemas 2G.

Los esquemas WCDMA utilizan dos modos diferentes para transmitir, FDD (*frecuency-division-duplex*) y TDD (*time-divison-duplex*). En el modo FDD, una frecuencia es usada para el enlace de subida y otra para el de bajada. En el modo TDD, el enlace de subida y bajada comparten la misma frecuencia. La frecuencia es dividida en ranuras de tiempo, usadas para uplink y otras para downlink. FDD se subdivide en DS-CDMA (FDD-DS) y MC-CDMA (FDD-MC), es decir FDD puede ser en secuencia directa o multi-portadora.

1.5.2.3 Red de Acceso de Radio para UMTS (UTRAN)

La red de acceso por radio de UMTS o UTRAN, es una de las principales diferencias con la tecnología GSM, principalmente por la diferencia en la comunicación por radio. Siguen habiendo dos bloques constructivos en esta sección igual que en la BSS de GSM, estos son el controlador de radios RNC y Nodos B, que corresponden al BSC y la BTS de GSM respectivamente. Un RNC al que se conecten varios Nodos B corresponde a lo que se denomina RNS (Radio *Network Subsystem*) como se muestra en la figura 1.18 las interfaces internas de la UTRAN se denominan Iub e Iur.

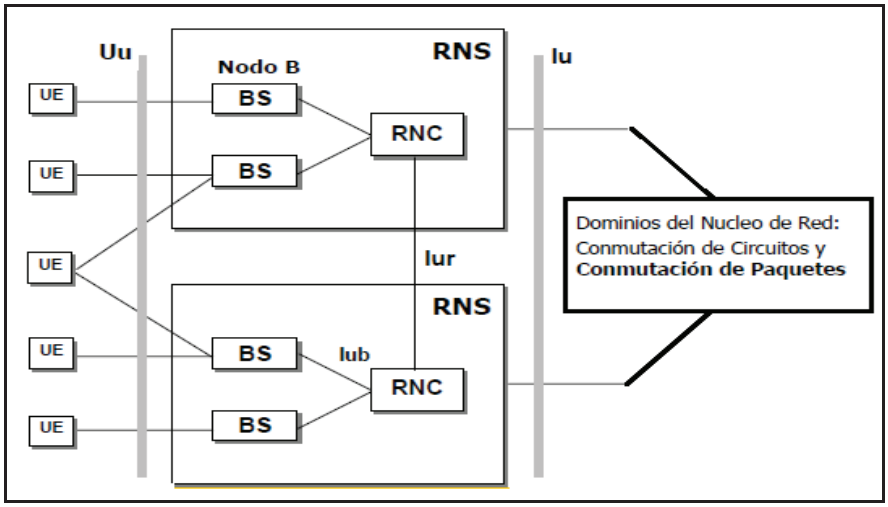


Figura 1.18 Componentes e interfaces de la UTRAN [16]

[15].-Ruth Sanchez Martinez, 3G-sistems-wcdma-umts2012.pdf
[16].-Maaruf Ali, UMTS AIR INTERFACE.pdf

La interfaz Iub está pensada para ser una interfaz abierta y debe lidiar con problemas que afectarán el enlace de radio, tales como el control de potencia que realiza la RNC. El RNC se conecta con el core de la red por la interfaz IuCS (*Iu Circuit Switching*) a un MSC y por IuPS (*Iu Packet Switching*) a un SGSN. La interfaz Iur entre las RNC es una interfaz lógica, lo que significa que no necesariamente existe una conexión física entre dos RNC. De las funciones que cumple el RNC las más destacadas son:

- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz Iub.
- Control de los recursos lógicos de operación y mantenimiento (O&M) de los nodos B.
- Manejo de sistema de información.
- Soft handover
- Asignación de los códigos de canal.
- Control de potencia del downlink.
- Manejo del tráfico de los canales compartidos.

El Nodo B, al igual que su símil BTS de GSM, puede soportar más de una celda aunque en general las especificaciones hablen sólo de una celda por Nodo B, por lo que el concepto Nodo B es usado como un concepto lógico en la literatura en general. Entre las funciones que debe realizar el Nodo B se encuentran:

- Transmisión de mensaje de información de acuerdo a los parámetros dados por la RNC.
- Reporte de las medidas de interferencia e información de potencia del *downlink*.
- Detección de errores en canales de transporte e indicación a las capas superiores.
- Codificación/decodificación FEC de los canales de transporte.
- Balance de potencias y combinación de los canales físicos.
- Modulación, dispersar/de-modular y operación de juntar (*despreading*) en los canales físicos.
- Sincronización de tiempo y frecuencia.

1.5.3 HIGH SPEED PACKET ACCES (HSPA) [17],[18]

Denominado Acceso de alta velocidad de paquetes, es una tecnología que aumenta las capacidades de UMTS/WCDMA. Se considera como una fusión de dos protocolos de telefonía móvil, HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) y de HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) para el canal descendente y ascendente respectivamente. Bajo el estándar 3GPP, esta tecnología evoluciona a HSPA Evolución también llamado HSPA+, en el release 7, y se considera el paso previo antes de la cuarta generación 4G.

HSPA es completamente compatible con UMTS *Release* 99 y todas las aplicaciones desarrolladas por Release 99 sirven para HSPA. El mismo canal de radio de servicios para usuarios de voz y datos de UMTS puede ser usado simultáneamente para usuarios de datos de HSPA.

Esta tecnología eleva el nivel de rendimiento de la tecnología WCDMA para entregar servicios de banda ancha y posee, teóricamente, el mayor throughput que cualquier tecnología celular disponible actualmente que esté desplegada.

Nombre	Release	Velocidad descarga	Velocidad de subida
HSDPA	Release5	14,4 Mbps	384 Kbps
HSUPA	Release6	14,4 Mbps	5,76 Mbps
HSPA+	Release7	28 Mbps	11,5 Mbps
HSPA+MIMO	Release8	42 Mbps	11,5 Mbps

Tabla 1.5 Evolución de HSPA.

1.5.3.1 HSDPA (High Speed Downlink Packet Acces) [18]

Con la introducción del HSDPA, se pasó de velocidades de descarga de 171 Kbit/s teóricos (que en la realidad eran unos 40 u 80 Kbit/s) del GPRS y 473 Kbit/s teóricos (que en práctica eran de unos 100/130 Kbps) en EDGE, a velocidades de 14 Mbit/s teóricos (que en la práctica corresponden a 3 o 4 Mbit/s). El despliegue inicial para tasas de throughput para el usuario está sobre los 1 Mbps, frecuentemente alcanzando los 1,5 Mbps (tres a cinco veces más rápido que UMTS Release 99) y aumenta con el tiempo debido al desarrollo de las capacidades de los terminales y de la red.

En el release 99 y release 4, los tres canales que pueden ser usados para la transmisión de paquetes son: *Dedicated Channel* (DCH), *Downlink-shared*

Channel (DSCH) y *Forward Access Channel* (FACH). Todos estos se pueden usar y obtener hasta 2Mbps de descarga. El concepto clave de HSDPA es incrementar la tasa de transferencia de paquetes por medio del uso de canales de alta velocidad denominados *High Speed Physical Downlink Shared* (HS-PDSCH). Se puede tener operando hasta 15 de estos canales en los 5MHz del canal de radio WCDMA.

1.5.3.1.1 Arquitectura de Red HSDPA [18]

La arquitectura de red para la tecnología HSDPA, es la misma en donde conviven las redes de acceso de radio EDGE/GPRS (GERAN) con UMTS (UTRAN), conectados al núcleo de red. La implantación del HSDPA en la red de acceso (UTRAN) sería hecha a través del "upgrade" de software/hardware en las estaciones base (BS) y controladores de red radio (RNC). La estación base (BS) es también conocida como nodo B en la terminología 3GPP.

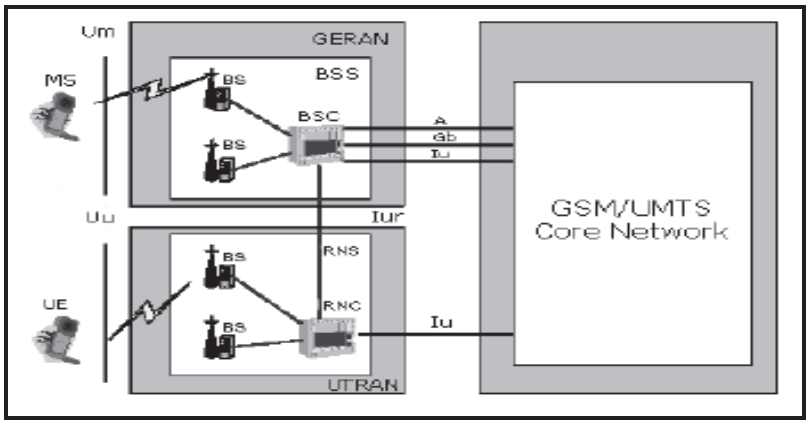


Figura 1.19 Coexistencia entre GERAN y UTRAN. [18]

HSDPA, consigue las mejoras mediante la implementación de una serie de técnicas empleadas en la interfaz de radio.

- Nuevo canal de transporte compartido HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel).
- Fast Sheduling (despacho rápido).
- AMC (Modulación y Codificación Adaptativa).
- Retransmisión Hibrida HARQ (Hybrid Automatic Request): mecanismo de retransmisión de mensajes en caso de error.

[17].-Martin Sauter, FROM GSM TO LTE, first Edition 2011Wiley
[18].-4G Americas Coexistence of GSM-HSPA-LTE, May 2011x.pdf

La característica principal de HSDPA, se basa en el uso del enlace de adaptación, Fast Schedulining y las retransmisiones de la capa física.

Todos estos métodos tienen como objetivo mejorar el rendimiento de bajada de paquetes de datos, tanto en términos de capacidad como en la tasa real de bits (Bit rates).

a. - HS-DSCH (*High-Speed Downlink Shared Channel; Canal compartido de alta velocidad):*

Con este nuevo canal compartido de enlace descendente de alta velocidad, los recursos utilizados por la radio (como los códigos de canal y la potencia) puedan ser compartidos por todos los usuarios de un mismo sector de forma dinámica en el tiempo con lo que se consigue una mayor eficiencia, reduciendo así los tiempos muertos de desuso e incrementando el rendimiento del canal. Asimismo, los intervalos utilizados para cada transmisión son más cortos (2ms).

b. - AMC (*Modulación y codificación adaptativa*).

Es un mecanismo que permite una adaptación de velocidad de transmisión a las condiciones del canal, de acuerdo a esto, será la modulación y codificación que se utilice. HSDPA trabaja con modulación QPSK y 16QAM, esto significa que pasa a transmitir de 2 bits por símbolo a 4 bits por símbolo, este aumento conlleva una menor inmunidad al ruido, por lo que se prefiere 16 QAM sólo cuando las condiciones son favorables, es decir, cuando el terminal esta cerca del nodo B y estático.

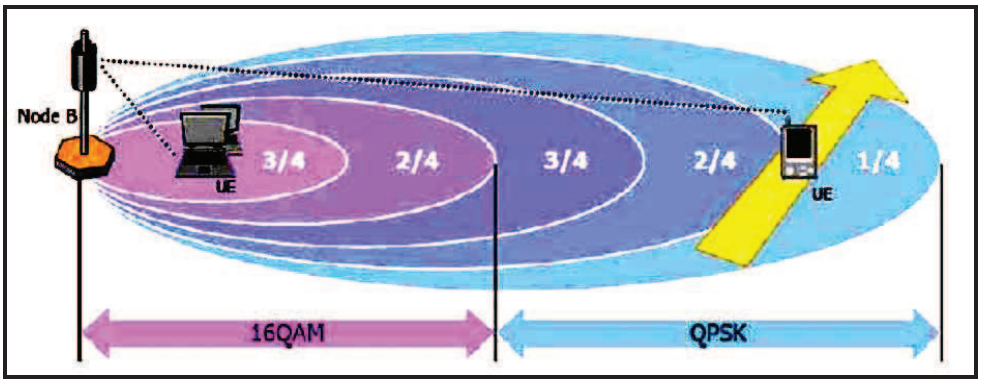


Figura 1.20 Modulación adaptativa. [19]

c.- FAST SHEDULING (*Planificación rápida o despacho rápido*).

En HSDPA el bloque que tiene control sobre los recursos de radio, asignar los códigos, la tasa de codificación y el manejo de las retransmisiones es el nodo B,

lo que permite, además de reducir los tiempos de latencia en la red, aumentar efectivamente la tasa de transmisión final, al saltarse los retrasos que introduce el interfaz entre el nodo B y el RNC (Iub). Este enfoque basado en traspasar todas estas funcionalidades desde el RNC al Nodo B, se le llama despacho rápido.

d. - RETRANSMISIÓN HÍBRIDA HARQ (Hibryd Automatic Request, mecanismo de retransmisión de mensajes en caso de error).

Para realizar la codificación de datos para altas tasas de transferencias, HSDPA utiliza una codificación turbo de 1/3 (tasas de codificación de canal de 1/2 o 1/3). Quiere decir que por cada bit de información a transmitir se introducen 2 o 3 bits de redundancia, que resulta ser más eficiente.

En el receptor se realiza la decodificación de los datos y pueden encontrarse errores en la información recibida, generalmente ocasionadas por interferencias. En este caso se envía al transmisor una petición de retransmisión de información. A esta operación en HSDPA se le denomina HARQ (Hibryd Automatic Request), que cuenta con dos instancias en que se podrá recuperar la información errónea en el receptor, primero por la redundancia agregada en la codificación del canal, y segundo, de fallar la codificación, mediante la retransmisión de la información recuperada.

La idea de híbrido (Hybrid) viene de utilizar no sólo la retransmisión para recuperar la señal, sino combinarla con la información original recibida, para así aumentar la probabilidad de éxito. Es decir, cuando el receptor detecta un error en la codificación, solicita la retransmisión del bloque, pero a la vez guarda el bloque ya recibido, para combinarlo con el nuevo que llegue y entonces intentar la decodificación.

Parámetro	**EVDO**			**HSPA**	
	Rel 0	**Rel A**	**Rel B**	**HSDPA**	**HSUPA**
Ancho de Banda (MHz)	1.25	1.25	5	5	5
Modulación (DL)	8QPSK 16QAM	8QPSK 16QAM	64QAM	QPSK 16QAM	QPSK
Modulación (UL)	BPSK	BPSK	64QAM	QPSK	QPSK
Técnica de acceso	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA	CDMA
Duplexión	FDD	FDD	FDD	FDD TDD	FDD TDD

Parametro	EVDO			HSPA	
	Rel 0	Rel A	Rel B	HSDPA	HSUPA
Velocidad DL (Mbps)	2.4	3.1	73.5	14.4	14.4
Velocidad UL (Mbps)	0.153	1.8	27	0.384	5.76

Tabla 1.6 Comparación de HSPA con EVDO. [19]

1.5.3.2 HSUPA (High Speed Upload Packet Acces) [18]

Se introduce en el *Release* 6, agrega un nuevo canal de transporte llamado *Enhanced Dedicated Channel* (EDCH). Se mejora el desempeño del *uplink* reduciendo la latencia, aumentando las tasas de datos y la capacidad, siendo con esto el complemento de HSDPA para un mejor desempeño de las aplicaciones de paquetes de datos. HSUPA tiene una gran cantidad de características nuevas cuya introducción tienen un impacto mínimo en los protocolos de arquitecturas de las interfaces de radio. Se agregan nuevos medios de control de acceso a los ya existentes en los UE (user equipment), nodos B y RNC. Para lograr las altas tasas de transferencia en el *uplink*, HSUPA posee principalmente las siguientes características:

- Transmisión Multi-códigos: en contraste con HSDPA, el nuevo canal de *uplink* que es introducido con HSUPA, no es compartido entre los usuarios sino que está dedicado a un único usuario.
- Reducción del TTI: WCDMA 3GPP *Release* 99 usa un TTI de 10 ms, 20 ms o 40 ms en el *uplink*. HSUPA opera con un TTI de 2 ms o 10 ms en el *uplink*. Esta reducción del TTI permite una disminución de la latencia total y entrega las condiciones para que las otras características se adapten rápidamente.
- *Fast hybrid Automatic Repeat reQuest*: el protocolo *fast hybrid* ARQ usado es similar al de HSDPA. El nodo B rápidamente puede requerir una retransmisión de la información recibida erróneamente, lo que hace al sistema más robusto y con una menor latencia.
- *Fast scheduling*: en el *uplink,* el recurso común entre los terminales de usuario es la cantidad de interferencia tolerable, la cual es la potencia total recibida por la estación base. La cantidad de recursos comunes de *uplink*

que un terminal está usando depende de la tasa de datos usada generalmente, mientras mayor sea la tasa de datos, mayor es la potencia de transmisión requerida y mayor es el consumo de recursos.

Lo cual permite una rápida reubicación de los recursos entre los UEs, también permite al sistema un mayor número de usuarios y adaptaciones rápidas a variaciones de interferencia, lo que lleva a un incremento en la capacidad y probabilidad de que el usuario pueda tener altas tasas de transferencias de datos.

1.5.4 HSPA+ (HSPA EVOLUTION, ENVOLVED HSPA) [20]

Es un estándar de internet móvil definido en el release 7 del 3GPP. Provee velocidades teóricas de hasta 84 Mbps de bajada y 22 Mbps de subida, a través de una técnica multi-antena conocida como MIMO (Multiple Input Multiple Output) y modulación 64Q-AM si la señal es suficientemente buena. Sin embargo, estas velocidades representan picos teóricos que difícilmente se llegan a alcanzar. Al lado de la celda sector (máximo 3 sectores por sitio), se alcanzan velocidades apenas superiores a los 14.4 Mbps de HSDPA, a menos que se utilice un canal mayor a los 5 Mhz. Las versiones posteriores de HSPA+ soportarán velocidades de hasta 168 Mbps utilizando múltiples portadoras, y hasta 672 Mbps según lo propuesto para la versión 11 de 3GPP, utilizando técnicas avanzadas de antena.

La modulación 64QAM transporta más información con los mismos recursos radioeléctricos. Dentro del release7 puede alcanzar velocidades de pico de hasta 28 Mbps de descarga 11,5 Mbps de subida. En una segunda fase, HSPA+ utilizará MIMO para transmitir varias señales en paralelo, llegando a 42 Mbps.

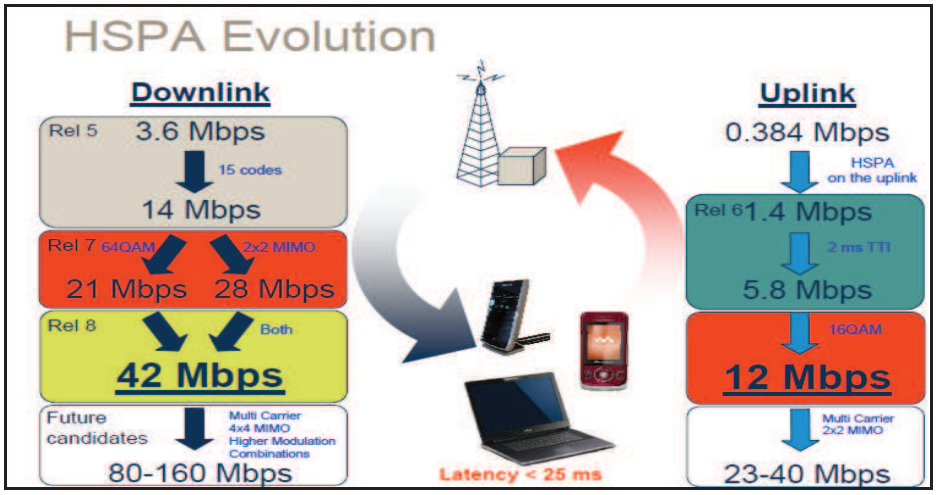


Figura 1.21 HSPA+ Uplink & Downlink. [20]

HSPA+ también introduce una arquitectura IP opcional para las redes cuyas estaciones base estén conectadas directamente a un backhaul IP y en seguida al enrutador del ISP. Asimismo, esta tecnología permite un ahorro importante de batería y un acceso más rápido al contenido, ya que mantiene una conexión permanente. HSPA+ no debe ser confundida con LTE, que utiliza una interfaz aérea distinta.

1.6 CUARTA GENERACIÓN (4G)

La cuarta generación es un proyecto que se ha venido estructurando rápidamente y será mucho más rápido en velocidad que la tercera generación. Son sistemas totalmente basados en protocolo IP y que brinda multi-servicios como: videoconferencia, televisión móvil, juegos interactivos, etc. Las ventajas que presta la 4G están orientadas al video streaming, con tasas de transferencia de datos teóricas de alrededor de 100 Mbps en una estación fija y en las mejores condiciones.

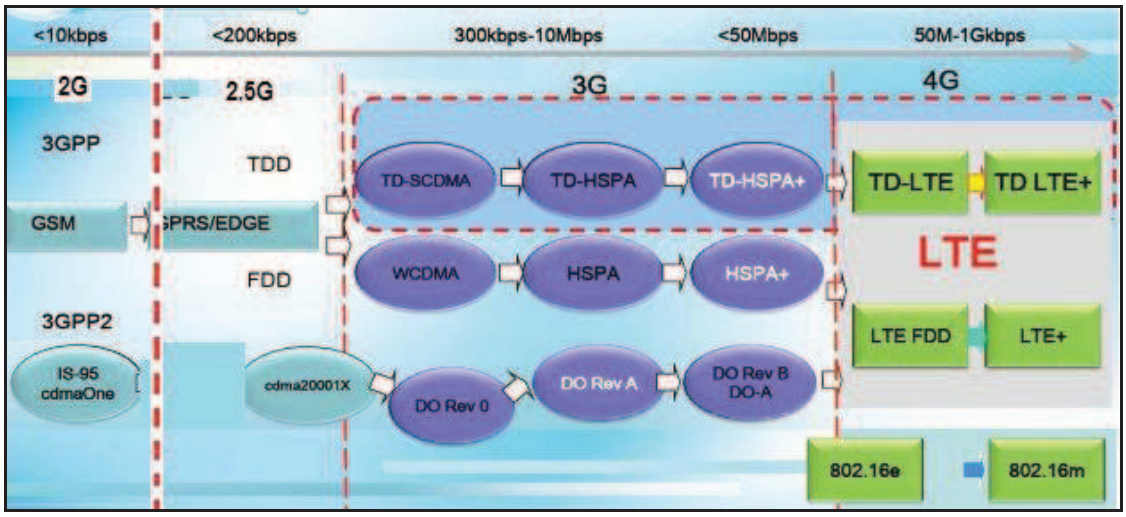


Figura 1.22 Evolución a 4G. [20]

[20].-LTE OVERVIEW SPEAKER-39724960.pdf

1.6.1 UMB (ULTRA MOBILE BROADBAND)

Banda-ancha Mobil Ultra, es el proyecto del 3GPP2 para mejorar el estándar CDMA 2000 y del mismo modo que LTE, este se basa en el protocolo IP, pero debido a la amplia acogida entre fabricantes y operadores a la tecnología GSM y por ende a su línea evolutiva, UMB pierde popularidad y su desarrollo queda relegado, además del surgimiento de tecnologías como WiMAX (World Interoperability for Microwave Acces) que hacen más difícil su permanencia y comercialización.

1.6.2 LTE (LONG TERM EVOLUCION) [21], [22]

Es una tecnología 4G de banda ancha inalámbrica desarrollada por 3GPP (Tercera Generation Partnership Project), se presenta como la evolución de la tecnología celular UMTS/HSPA+, como interfaz aire utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) en downlink y SC FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Acces) para uplink, además presenta un núcleo IP y flexibilidad para operar en una amplia variedad de anchos de banda.

Los documentos del 3GPP se estructuran en *Releases (Revisiones)*, cada uno caracterizado por la incorporación de un conjunto de funcionalidades destacadas en relación a la versión anterior, a LTE se asocia el Release 8 y posteriores. UTRAN se creó para la evolución hacia una tecnología de acceso de alta velocidad de transmisión, baja latencia y optimizada para la transmisión de paquetes, de modo que con ello quedase asegurada la competitividad de las soluciones 3GPP.

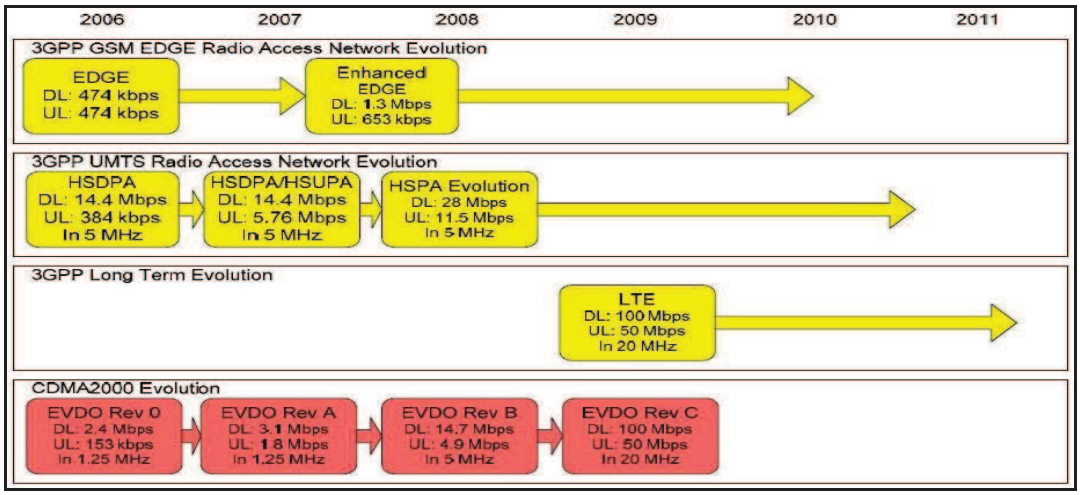


Figura 1.23 Comparación en el tiempo de LTE. [22]

LTE se propone a minimizar el consumo de energía y costos al tiempo que garantiza la compatibilidad hacia atrás y un coste efectivo de la migración de los sistemas UMTS. Mejora de los servicios de multicast, soporte mejorado de extremo a extremo. La eficiencia espectral en el enlace descendente LTE (DL) será de 3 a 4 veces del release 5 (HSDPA), mientras que en el enlace ascendente (UL), será de 2 a 3 veces la del Release 6 (HSUPA).

El proceso de evolución a LTE pretende maximizar las ventajas con respecto a sus tecnologías anteriores. Entre sus mejorías tenemos:

- Ancho de banda escalable: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz. Para cubrir todas las frecuencias de las IMT-2000 que va desde los 450 MHz hasta 2,6GHz.
- DL:> 100 Mbps para la asignación de espectro de 20MHz UL:> 50 Mbps para la asignación de espectro de 20MHz.
- Plano de Control: <100 ms para establecer al plano de usuario (es decir que el UE pase de modo inactivo a modo activo). Plano de Usuario: <10 ms desde el UE al eNodeB (en la red de radio).
- El aumento de las tasas de bits de datos en el borde de la celda reduce significativamente la latencia como se aprecia en los puntos anteriores plano de usuario y plano de control.
- La movilidad celular oscila: por encima de 5km, satisface los requerimientos de diseño con mejor eficiencia de espectro, hasta 35km; con degradación en el rendimiento y la eficiencia del espectro dependiendo de las pérdidas en trayecto. Sobre los 35Km no cumple requerimientos de diseño. La movilidad tiene un alto rendimiento de 15 a 120 Km/h, de 120 a 300 Km/h con servicio degradado pero funcional.
- Handover entre 3G y LTE. Retardo en Tiempo real <300ms.Retardo en tiempo no real <500ms.
- Co-existencia con UMTS / GSM.
- Arquitectura de red simplificada, transmisión en el dominio de paquetes, todo IP y alta capacidad por celda.

[21].- http://es.wikitel.info/wiki_4G/UMB
[22].-Long Term Evolution, LTE-ebook-47071901.pdf

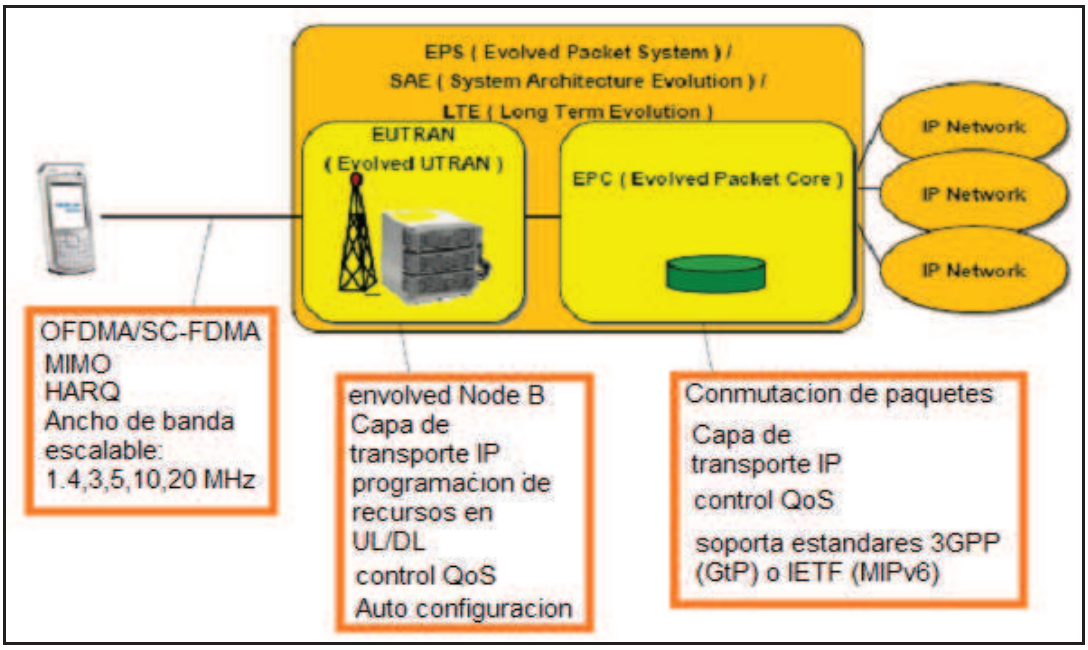


Figura 1.24 Funcionalidades generales de LTE/EPC. [22]

1.6.2.1 Modos de Duplexión FDD y TDD

El medio físico en LTE emplea tecnologías avanzadas que son nuevas para aplicaciones celulares. Estos incluyen multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM) y técnicas de antenas múltiple input múltiple output (MIMO) y transmisión de datos bajo una arquitectura plana todo IP.

Aunque las especificaciones de LTE describen tanto duplexión por división de frecuencia (FDD) y duplexión por división de tiempo (TDD).Para separar el tráfico UL y DL, las preferencias del mercado dictan que la mayoría de los sistemas desplegados serán LTE-FDD.

1.6.2.1.1 TDD (Time Division Duplexing)

El principio básico para TDD es usar la misma banda de frecuencia para la transmisión y recepción, pero con el fin de alternar el tiempo de dirección de transmisión (UL o DL). Puesto que el ancho de banda se comparte entre UL y DL y el ancho de banda máximo es de 20 MHz las velocidades de datos máximas alcanzadas en TDD son inferiores que en el modo FDD.

El sistema TDD puede ser implementado sobre una banda no pareada mientras el sistema FDD siempre requiere de un par de bandas con una cierta separación entre UL y DL para la separación dúplex.

En el modo TDD comparte la misma banda de frecuencia en UL y DL, pueden interferirse entre sí. Por el despliegue no coordinado (no sincronizado) en la misma banda de frecuencias, los dispositivos conectados a las celdas con diferentes periodos y / o asignación diferente UL / DL puede causar el bloqueo de otros usuarios. En el modo TDD las estaciones base necesitan estar sincronizados entre sí a nivel de trama en la misma zona de cobertura para evitar esta interferencia. El enlace ascendente y las transmisiones de enlace descendente están separados en tiempo y se utiliza un solo ancho de banda.

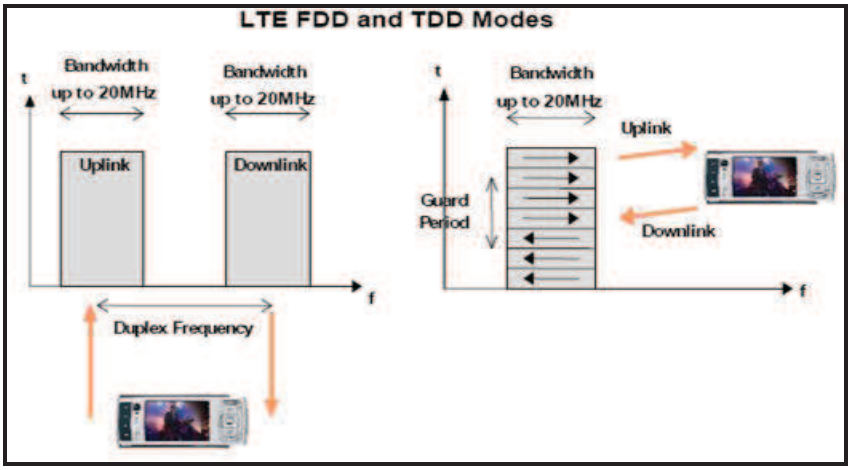


Figura 1.25 Técnica de duplexión FDD, TDD y anchos de banda para UL/DL. [22]

1.6.2.1.2 FDD (Frequency Division Duplex)

El enlace ascendente y las transmisiones de enlace descendente están separadas por frecuencia y se utilizan 2 anchos de banda.

En el modo FDD no es necesario la sincronización de la estación base, DL y UL utilizan diferentes frecuencias con el mismo ancho de banda. Entonces, el rendimiento de DL es igual al UL.

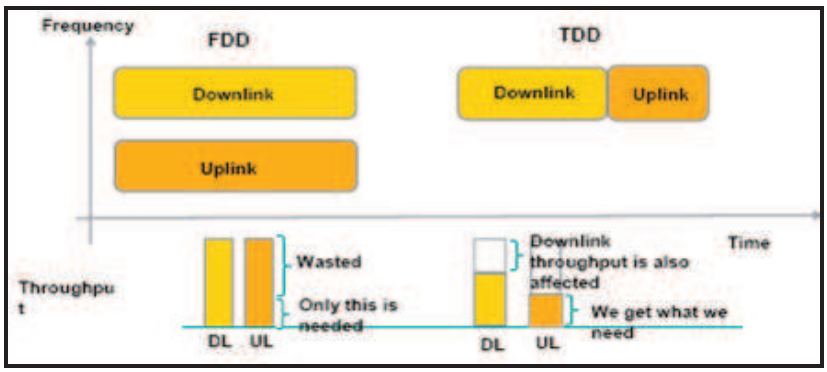


Figura 1.26 Técnicas dúplex separación de UL/DL y comparación del uso del throughput en interfaz aire LTE. [22]

1.6.2.2 Portadora y Ancho de Banda [23]

El 3GPP específica que LTE se puede implementar en el actual IMT-2000 de sus bandas de frecuencia.

- Bandas IMT-2000: de 450 MHz a 2,6 GHz
- Incluyendo WCDMA / HSPA, CDMA2000/EV-DO y bandas GSM

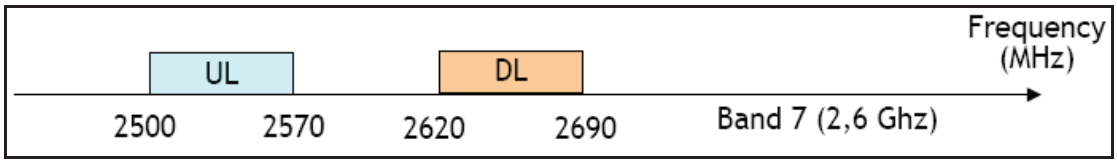


Figura 1.27 Ejemplo de uso del espectro en Banda 7 para LTE.

- El ancho de banda es más flexible que en los estándares 3GPP anteriores.
- Escalable de 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
- La capacidad de una celda depende fuertemente de su ancho de banda asignado.

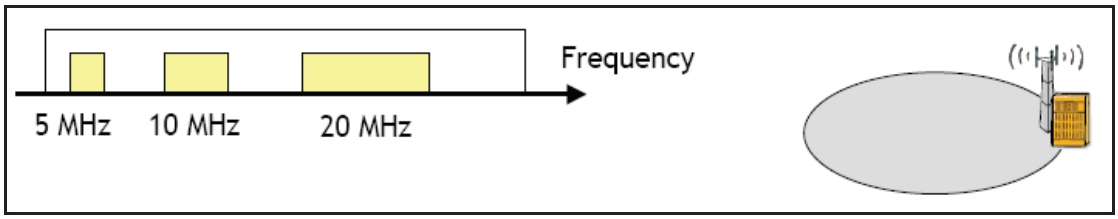


Figura 1.28 Granularidad de anchos de banda en LTE.

Las bandas de frecuencia FDD son emparejadas para permitir la transmisión simultánea en dos frecuencias. Las bandas también deben tener una separación suficiente para permitir que las señales transmitidas no perjudiquen indebidamente el rendimiento del receptor. Si las señales están demasiado cerca entonces el receptor puede ser bloqueado y perjudicar la sensibilidad.

E-UTRAN está diseñado para operar en las bandas de frecuencia definidas en la siguiente tabla:

E-UTRA OPERATING BAND	Uplink (UL) Operating Band BS receive UE transmit	Downlink (DL) Operating Band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	FUL_low - FUL_high	FDL_low - FDL_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 - 894 MHz	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	1749.90 MHz -1784.9MHz	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
…			
33	1900 MHz - 1920 MHz	1900 MHz - 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz - 2025 MHz	2010 MHz - 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz - 1910 MHz	1850 MHz - 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz - 1990 MHz	1930 MHz - 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz - 1930 MHz	1910 MHz - 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz - 2620 MHz	2570 MHz - 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz - 1920 MHz	1880 MHz - 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD

Tabla 1.7 Emparejamiento de frecuencias en UL/DL de LTE FDD y TDD. [22]

La eficiencia espectral se aumenta hasta cuatro veces en comparación con UTRA, y hay mejoras en la arquitectura y señalización, reduciendo la latencia de ida y vuelta.
Multiple Input / Multiple Output (MIMO) como tecnología de antena debería habilitar 10 veces más usuarios por celda que la tecnología original de acceso de radio 3GPP WCDMA.

LTE puede coexistir con las anteriores tecnologías de radio 3GPP, incluso con canales vecinos, y las llamadas pueden ser entregadas desde y hacia todas las anteriores tecnologías 3GPP de acceso por radio hacia LTE.
En contraste con los anteriores sistemas celulares, LTE se puede desplegar en múltiples bandas. La selección de portadora depende del uso del hardware en el eNodeB.

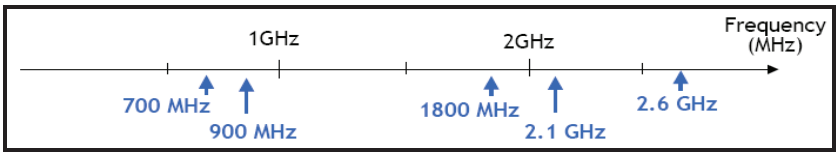


Figura 1.29 Portadoras de frecuencias en las Bandas LTE. [23]

Durante un periodo de tiempo, una sub-portadora lleva un símbolo.
La cantidad de bits llevados por la sub-portadora depende de la modulación.

QPSK: 2 bits por cada simbolo
16 QAM: 4 bits por cada simbolo
64 QAM: 6 bits por cada símbolo

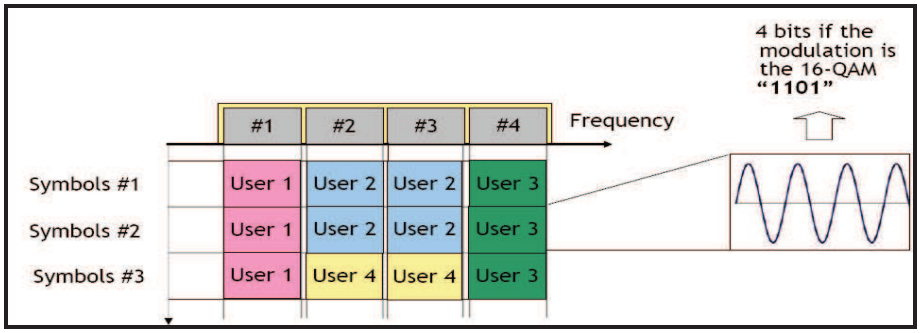


Figura 1.30 Ejemplo de distribución de usuarios por símbolos y de modulación. [24]

[23].- Rodrigo, Fernández., Modelo de Capacidad a una Red HSPA de una Celda.: Universidad de Chile, 2010

El ancho de banda está dividido en sub-portadoras. En el ejemplo de la figura 1.30 existe 4 sub-portadoras pero en realidad hay algunos cientos de sub-portadoras. Dependiendo del tráfico y condiciones de radio, el Scheduler (planificador) ubica algunas sub-portadoras al UE durante un número dado de símbolos. Esas sub-portadoras son re-usadas después para otros UE.

1.6.2.2.1 Sub-portadora LTE

Hay diferentes tipos de sub-portadoras:

- Subportadora de datos
- Subportadora de Piloto
- Subportadora DC
- Subportadora de Guarda

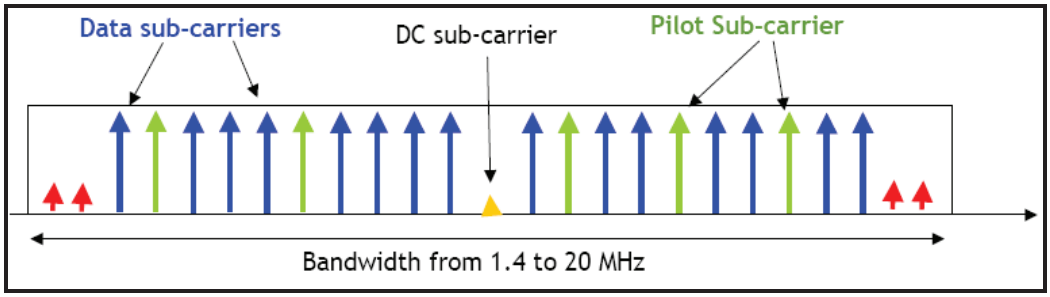


Figura 1.31 Tipos de sub portadoras en LTE para todos los anchos de banda. [24]

DC representa la corriente directa y es una sub portadora que no tiene ninguna información enviada sobre el mismo. Es utilizado por el dispositivo móvil para localizar el centro de la banda de frecuencia.

1.6.2.3 Esquemas de Acceso [25], [26]

1.6.2.3.1 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces)

En FDM, las sub-portadoras están separadas en el dominio de la frecuencia para evitar interferencia entre los canales secundarios.

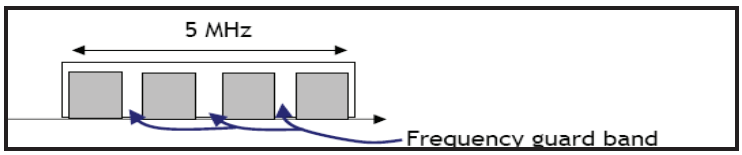


Figura 1.32 Bandas de guarda en FDM.

[24]. - Rohde & Schwarz, LTE technology and LTE test: Tutorial 2

Como resultado da una pérdida de la eficiencia del espectro de frecuencia porque la banda de protección no puede ser utilizada para enviar datos.
La técnica OFDM permite quitar la banda de seguridad de frecuencia.

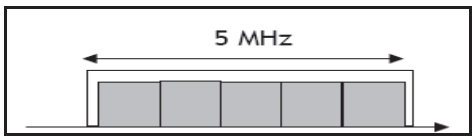


Figura 1.33 Bandas de guarda en OFDM.

En OFDM, las frecuencias sub-portadoras se eligen de manera que sean ortogonales entre sí, la diafonía (interferencia) entre los canales secundarios se elimina y entre ellos las bandas de guarda no son requeridas y aporta una mejor eficiencia del espectro. Esto simplifica enormemente el diseño tanto del transmisor como del receptor, a diferencia de un convencional FDM.
Beneficios: Hay más sub-portadoras, de manera tal, que más símbolos se envían al mismo tiempo. Esto se logra escogiendo frecuencias que sean ortogonales lo cual significa que son perpendiculares en el sentido matemático permitiendo que sus espectros se superpongan sin interferir. Las interferencias inter-canal (o entre sub-portadora) se cancelan porque se encuentra en una forma tal que cuando existe el pico para una determinada sub-portadora, las sub portadoras adyacentes son nulos.

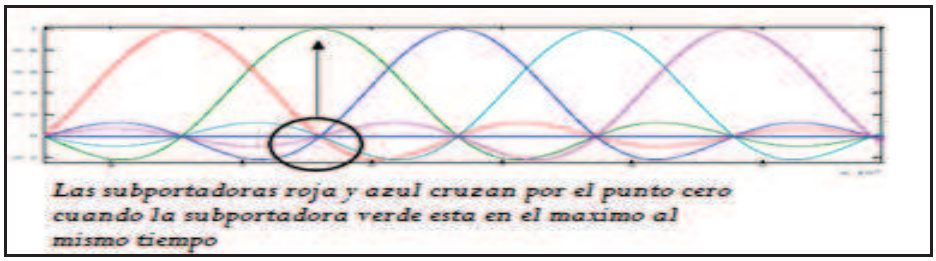


Figura 1.34 Diagrama de señales bajo técnica OFDM. Puntos de cruce cero. [26]

[25].- http://es.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA
[26].- http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_011.pdf

La técnica OFDMA, es la versión multiusuario de OFDM. Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de sub-portadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios.

Beneficios de OFDMA:

- Robustez que disminuye la interferencia co-canal.
- El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de sub-portadoras asignadas al usuario, consiguiendo una mayor eficiencia espectral.
- Robustez contra interferencia entre símbolos (ISI) y el desvanecimiento.
- Alta eficiencia espectral.

Desventajas de OFDMA:

PAPR (Peak to Average Power Radio) es un problema que aqueja a la multiplexación por OFDM, significa una alta relación entre potencia pico y potencia media, una señal con PAPR alta, limitará la potencia de transmisión en UL y reducirá la cobertura. LTE utiliza en UL una forma modificada del proceso de OFDMA, llamado SC-FDMA.

1.6.2.3.1.1 Prefijo Cíclico

El prefijo cíclico (CP) consiste simplemente en la última parte del símbolo siguiente. El tamaño del campo de prefijo cíclico depende del sistema y puede variar incluso dentro de un mismo sistema. Prefijos cíclicos son utilizados por todos los sistemas modernos OFDM y su rango de tamaños va desde 1/4 a 1/32 de un período de símbolo. La mayoría de las estructuras de receptor utiliza el prefijo cíclico para hacer una estimación inicial de sincronización de tiempo y frecuencia.

Un receptor típicamente utiliza la alta correlación entre el prefijo cíclico y la última parte del siguiente símbolo para localizar el inicio del símbolo y entonces comenzar con la decodificación.

En entornos de propagación multi-trayecto las versiones retardadas de la señal llegan con un desplazamiento de tiempo, de modo que el inicio del símbolo de la primera trayectoria cae en los prefijos cíclicos de los símbolos retardados. A

medida que el prefijo cíclico es simplemente una repetición del símbolo final, no es una interferencia entre símbolos y puede ser fácilmente compensada por la siguiente decodificación basado en la transformada discreta de Fourier.

Por supuesto los prefijos cíclicos reducen el número de símbolos que se puede transmitir durante un intervalo de tiempo. Este método para hacer frente a la interferencia entre símbolos a partir de la propagación multi-trayecto es teóricamente óptimo. El pulso rectangular con prefijo cíclico requiere menos hardware, por lo que la capacidad libre se puede utilizar para poner en práctica otras técnicas de optimización de rendimiento como MIMO.

El problema se resuelve mediante la adición de un tiempo de guarda entre cada símbolo para evitar la interferencia intersimbolo (ISI). El ISI está todavía presente pero no es tan molesto para el receptor, al añadir un prefijo para absorber el efecto de canalización y evitar ISI. El prefijo cíclico permite facilitar la demodulación, y transforma la convolución del canal clásico en una convolución cíclica que permite la fácil demodulación después de FFT. El tiempo de guarda se llama el prefijo cíclico (CP).

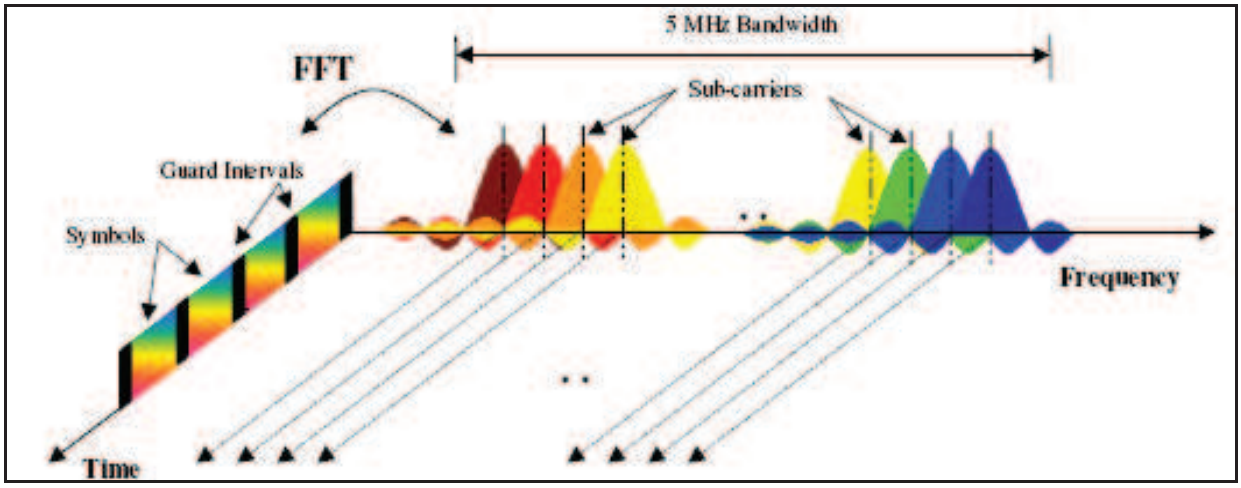


Figura 1.35 Diagrama de señales sub portadoras y símbolos en el dominio del tiempo y frecuencia. FFT entre señales y sub portadoras. [26]

1.6.2.3.1.2 Parámetros de OFDMA en LTE

El ancho de una sub-portadora es 15 kHz cualquiera que sea el ancho de banda. Los anchos de banda son: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz.

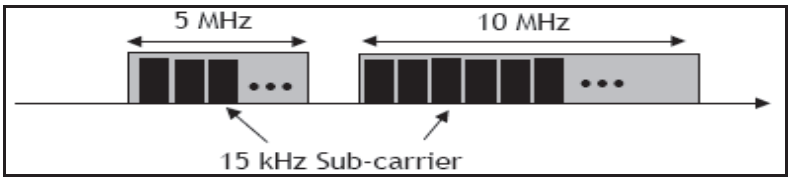


Figura 1.36 Numero de sub-portadoras por cada ancho de banda.

La duración del símbolo es siempre el mismo cualquiera que sea el ancho de banda. Hay 2 veces más sub-portadoras en 10 MHz que en 5 MHz, 2 veces más símbolos pueden ser enviados o recibidos al mismo tiempo. La capacidad se multiplica por 2.

Spectrum Allocation	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20MHz
Sub-carrier Spacing	15 KHz.					
Sampling Frecuency	1.92 MHz (1/2 x 3.84)	3.84 MHz	7.68 MHz (2 x 3.84)	15.36 Mhz (4 x 3.84)	23.04 MHz (6 x 3.84)	30.72 MHz (8 x 3.84)
Number of sub-carriers FFT size	128	256	512	1024	1536	2048
Number of useful Sub-carriers	72 (73)	180(181)	300(301)	600(601)	900(901)	1200(1201)

Tabla 1.8 Ejemplo de parámetros de sub portadoras por ancho de banda.

Para 5MHz, hay 512 sub-portadoras de 15KHz. La banda total es 7,68MHz. Es más grande que la banda de 5MHz.

- Pero sólo 301 sub-portadoras se utilizan (Pilotos, DC, datos), los otros son sub portadoras de guarda:
- 301 Sub-portadoras * 15 kHz = 4,515 MHz

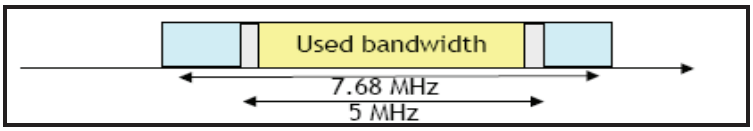


Figura 1.37 Ancho de banda útil y espaciamiento en el espectro.

La duración del símbolo depende de la anchura de la sub portadora. UsefulSymbolDuration = 1 / SubcarrierWidth = 1/15 kHz = 66,6 microseg.

El 3GPP define 2 prefijos cíclicos (CP):

Prefijo cíclico Extendido: 16.67 micro segundos

Prefijo cíclico Normal : 4.69 micro segundos

La duración total de un símbolo es:

Duración Útil + CP = 66,6 + 4,69

Duración total = 71,29 micro segundos. Con CP normales.

1.6.2.3.2 SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Acces) [27]

Portadora única FDMA es un esquema de acceso múltiple que utiliza modulación de portadora única, multiplexación por frecuencia ortogonal y ecualización frecuencial. Se utiliza para la comunicación de datos de alta velocidad en enlace ascendente del estándar LTE. Esta técnica se puede definir como una versión particular de OFDMA donde las etapas de pre-codificación y decodificación se añaden al transmisor y receptor respectivamente, por este motivo SC-FDMA también es conocido como DFT Spread OFDM (DFTS-OFDM).

SC-FDMA mejora la relación de potencia de pico a promedio (PAPR) en comparación con OFDM, lo cual permite tener diseño de amplificador de energía reducido y una mejor cobertura.

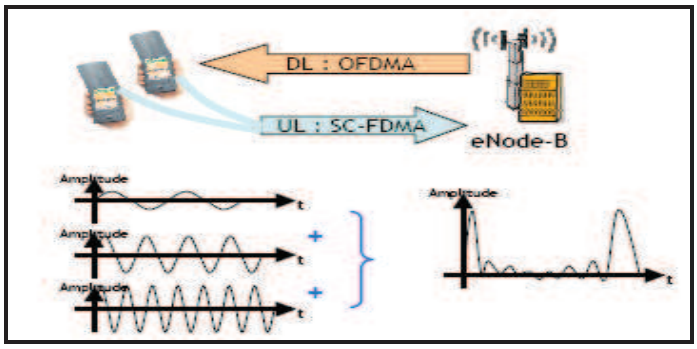


Figura 1.38 Señales con diversidad de amplitud y técnica SC-FDMA en Uplink. [27]

Beneficios del SC-FDMA:

- En OFDM, cada modulación de símbolos ve una única sub-portadora de 15kHz (canal plano).
- En SC-FDMA, cada símbolo de modulación ve un mayor ancho de banda.

- El igualamiento se requiere en el receptor SC-FDMA

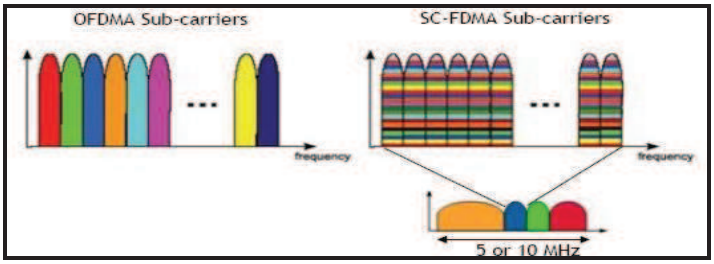


Figura 1.39 Sub-portadoras en OFDMA, SC FDMA [28]

1.6.2.4 Arquitectura del Sistema LTE

En la siguiente figura 1.40 se ilustra la arquitectura completa del sistema LTE, denominado formalmente en las especificaciones como *Evolved Packet System* (EPS). Los componentes fundamentales del sistema LTE son:

- La red de acceso E-UTRAN
- La red troncal EPC
- La evolución del subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS.

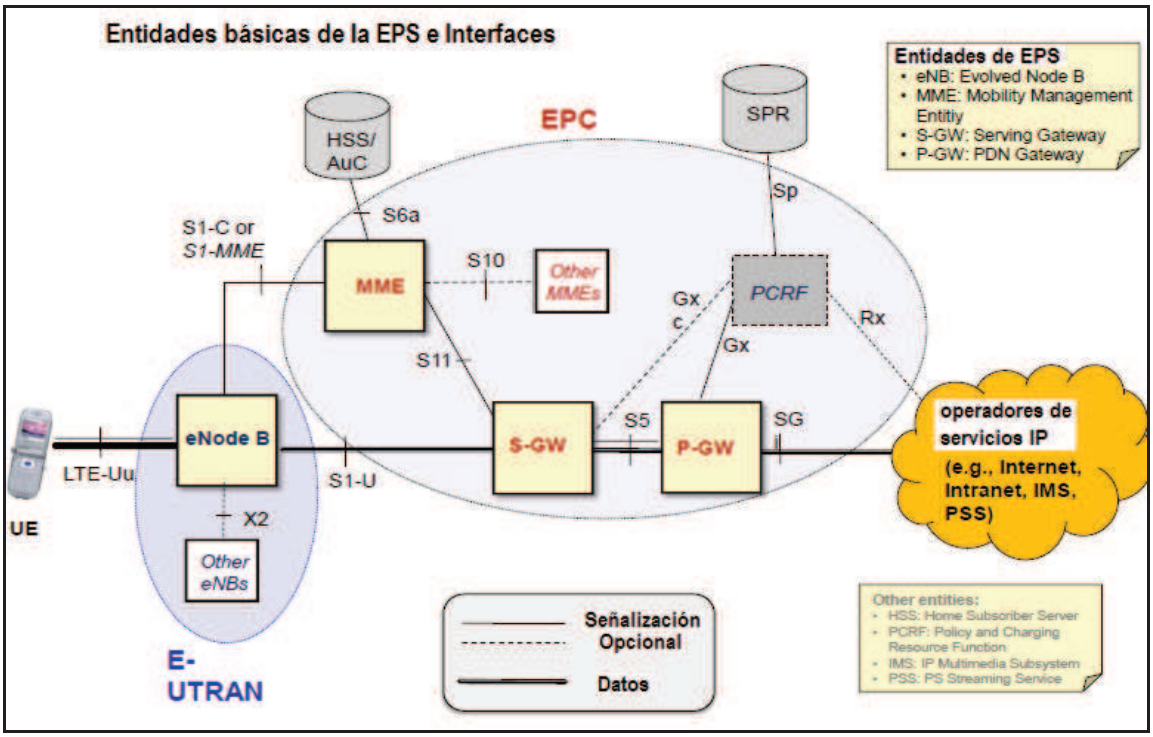


Figura 1.40 Arquitectura del sistema LTE [29]

[27].- http://www.teletopix.org/4g-lte/difference-between-dl-and-ul-in-lte
[28].-http://www.teletopix.org/4g-lte/sc-fdma-receiver-benefits-in-lte

Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito (en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes). En este sentido, EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS.

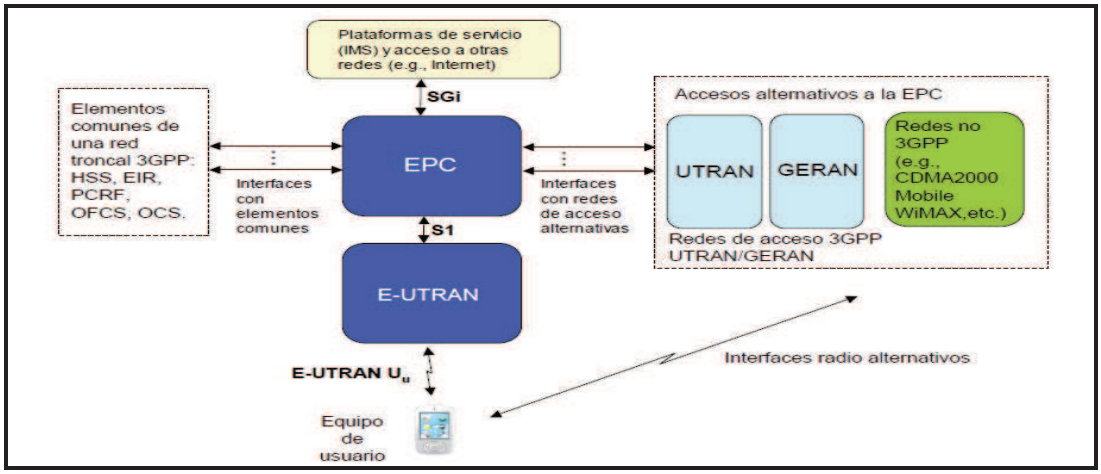


Figura 1.41 Arquitectura simplificada EPC –LTE [29]

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y las redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y otras redes de telecomunicaciones como el internet.

Otra característica fundamental del sistema LTE es que contempla también el acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN así como mediante la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP. La interconexión de las redes de acceso alternativas, tanto 3GPP y otras, se soporta a través de un conjunto de interfaces de la EPC.

Es importante destacar que la interconexión de los diferentes equipos físicos donde se ubicarían las funciones tanto de la red troncal EPC como de la red de acceso E-UTRAN, se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP.

[29].-http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/publicaciones/publicaciones/lte-nuevas-tendencias-en-comunicaciones-moviles-/

1.6.2.4.1 Red de Acceso Evolucionada E-UTRAN [29]

1.6.2.4.1.1 Arquitectura E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada envolved NodeB (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN. Tal como se ilustra en la Figura 1.42, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNB's que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC.

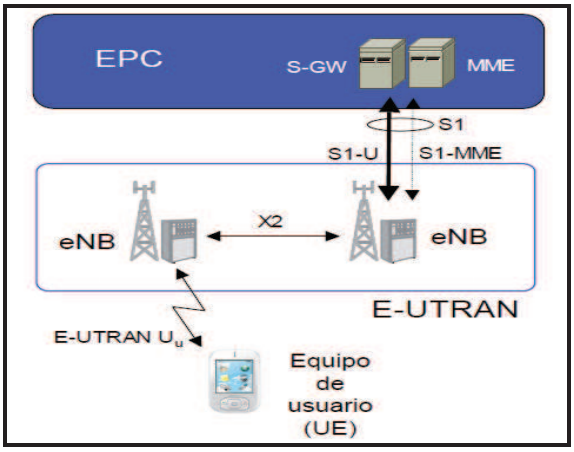


Figura 1.42 Red de Acceso E-UTRAN [29]

1.6.2.4.1.1.1 Entidades de Red e Interfaces [29]

La interconexión de la red de acceso E-UTRAN a la EPC se realiza a través de la interfaz S1. En particular, la interfaz S1-MME que sustenta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz S1-U del plano de usuario termina en el S-GW. La entidad MME termina el plano de control de los equipos de usuario conectados a la red LTE mediante los protocolos NAS y controla las funciones de transferencia del plano de usuario de red LTE a través de la interfaz S11 con la pasarela S-GW.

1.6.2.4.1.1.1.1 Entidad Envolved NodeB (eNodeB) [29]

- El eNodeB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNodeB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNodeB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio.

- La funcionalidad clave de un eNodeB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, el eNodeB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores de radio, control de movilidad (decisión de realizar un *handover*), asignación dinámica de los recursos de radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de *scheduling*), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos.
- En E-UTRAN un eNodeB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un eNodeB se denomina su “pool área”.
- Un eNodeB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red troncal EPC. Ello conlleva que el eNodeB albergue funciones de encaminamiento del tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red S-GW correspondiente. La elección de S-GW en este caso compete a la entidad MME y no al eNodeB.
- Un eNodeB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es el uso de sectorización de forma que, el eNodeB ubicado en un emplazamiento soporta tantas celdas como sectores.

1.6.2.4.1.1.1.2 Interfaz de Radio (Uu) [29]

Permite la transferencia de información por el canal de radio entre el eNB y los equipos de usuario. La interfaz radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal de radio.

1. Difusión de señalización de control.
2. Envió de paquetes IP.
3. Transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNodeB.

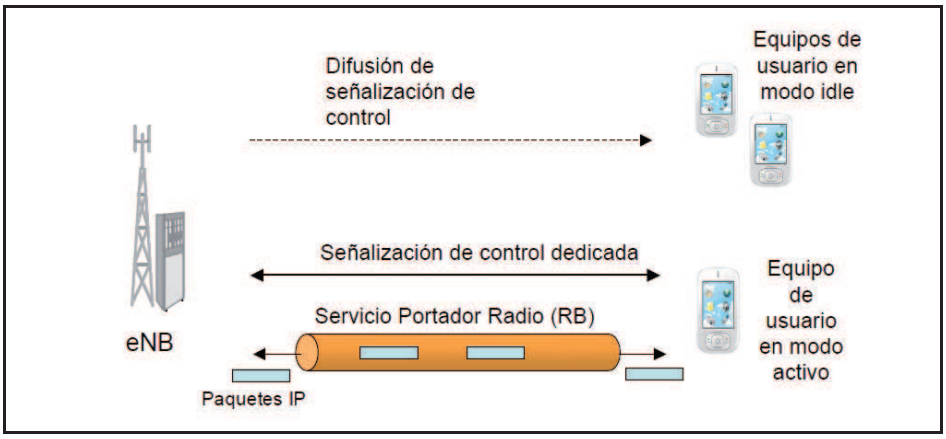


Figura 1.43 Mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio [29]

1.6.2.4.1.1.1.3 Interfaz S1 (eNodeB <-> EPC) [29]

Permite que se conecte el eNodeB con la red troncal EPC. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario.

- *S1-MME* es la interfaz, que permite al eNodeB comunicarse con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (dicha entidad de la red troncal EPC se denomina Mobility Management Entity, MME)
- *S1-U* es la interfaz, que permite al eNodeB comunicarse con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (dicha entidad de red de la EPC se denomina Serving Gateway, S-GW).

El plano de usuario de esta interfaz, denominado S1-U (*S1 User Plane*), proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNodeB y S-GW sin garantías de entrega (se basa en UDP) y que no soporta ni mecanismos de control de errores ni de control de flujo.

El plano de control, denominado S1-MME o también S1-C, se utiliza para soportar un conjunto de funciones y procedimientos de control entre eNodeB's y la entidad MME de la red troncal. Concretamente, entre los procedimientos soportados en la interfaz S1 destacan:

- Procedimientos para establecimiento, modificación y liberación de recursos de los servicios portadores tanto en la interfaz radio (servicio portador radio o RB) como en la interfaz S1 (S1 bearer).

- Procedimientos de *handover* entre eNodeB's. Si la red E-UTRAN decide que un terminal debe cambiar de eNodeB en el transcurso de una conexión, y no existe una interfaz X2 entre los dos eNodeB's involucrados, la interfaz S1-MME se presta para articular el procedimiento de *handover.*
- Procedimiento de aviso *(Paging).* Una de las funciones básicas de la entidad MME es la gestión de la localización de los equipos de usuario en la red.
- Procedimiento de envío de forma transparente entre MME y eNodeB de los mensajes de señalización de control que fluyen entre el MME y el equipo de usuario.

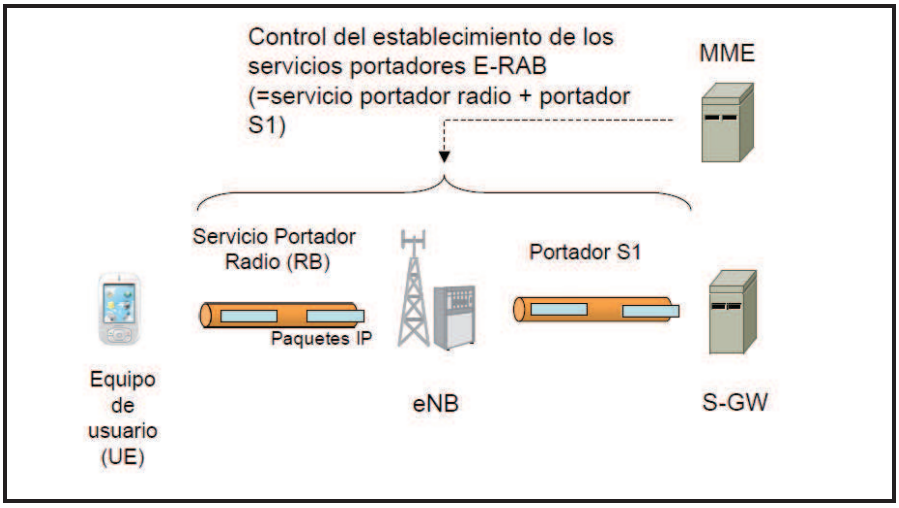


Figura 1.44 Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME [29]

1.6.2.4.1.1.1.4 Interfaz X2 (eNB<->eNB) [29]

Es la interfaz que permite conectarse entre eNodeB's. A través de esta interfaz, los eNodeB se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (información para reducir interferencias entre eNodeB's) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNodeB a otro durante un proceso de *handover*.

El plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre un grupo de eNodeB sin garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. Respecto al plano de

control, entre las funciones y procedimientos soportados en la interfaz X2 destacan:

- Soporte del mecanismo de *handover* entre eNodeB's.
- Indicación del estado de carga del eNodeB. A través de dicha interfaz, eNodeB's que tengan celdas vecinas pueden transferirse información para llevar a cabo funciones de gestión de recursos radio como la coordinación de interferencias entre celdas que operen en el mismo canal.

	Denominación	**Descripción**	**Referencias 3GPP**
Entidades de red	Evolved NodeB (eNB)	Estación base de la red de acceso E-UTRAN	TS 36.300[4] TS 36.401[5]
Interfaces	**Denominación**	**Entidades de red asociadas**	
	E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz radio)	eNB UE	TS 36.300 [4] Documentos TS 36.2xx Y TS 36.3xx
	X2	eNB eNB	Documentos TS 36.42x TS 29.281 [26]
	S1-MME	eNB Red troncal EPC	Documentos TS 36.41x
	S1-U	eNB Red troncal EPC (S-GW)	TS 29.281 [26]

Tabla 1.9 Entidades de red e interfaces de E-UTRAN. [30]

1.6.2.4.2 Red Troncal de Paquetes Evolucionada: EPC [30]

1.6.2.4.2.1 Arquitectura EPC [30]

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso EUTRAN. Asimismo, otro factor clave considerado en el diseño de la arquitectura de la red troncal ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a

través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito del 3GPP (cdma2000, WiMAX, 802.11).

De cara a introducir los diferentes componentes de la arquitectura completa de EPC de forma progresiva, la arquitectura mostrada comprende únicamente las entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC para la provisión de servicios de conectividad IP a través de una red de acceso E-UTRAN, junto con las entidades de red e interfaces que soportan las funciones relacionadas con el control del servicio de conectividad (control de QoS). Es importante matizar en este punto que las entidades de red en base a las cuales se realiza la descripción de la arquitectura de la red troncal son entidades funcionales: una entidad de red en 3GPP se concibe como una entidad "lógica" que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una implementación concreta de la red troncal EPC admite que diferentes entidades funcionales puedan residir en el mismo equipo físico.

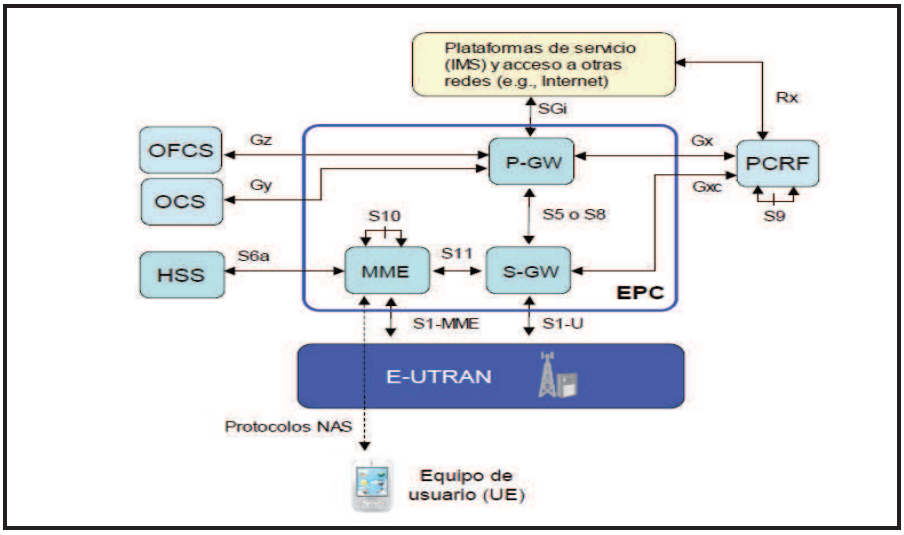


Figura 1.45 Arquitectura Básica de la red troncal EPC [30]

Tal como se ilustra en la figura 1.45 el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red:

- MME (*Mobility Management Entity*)
- Serving Gateway (S-GW)
- *Packet Data Network Gateway* (P-GW).

1.6.2.4.2.1.1 Entidades de Redes e Interfaces [30]

A continuación se describirá más detalladamente las funciones soportadas por las tres entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC (MME, S-GW y P-GW) y la entidad HSS común al resto de sistemas 3GPP, junto con las interfaces SGi, S5/S8, S11, S10 y S6a.

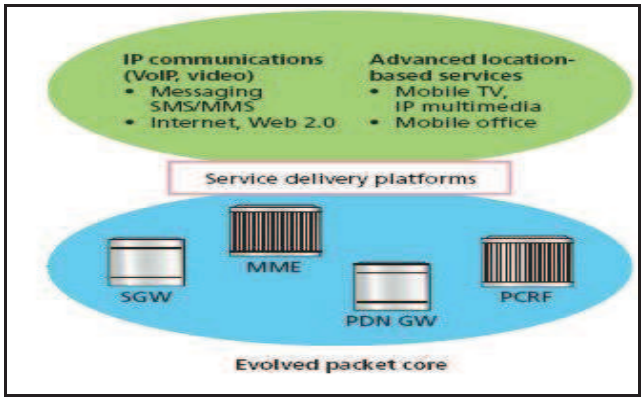


Figura 1.46 Entidades de red EPC [30]

1.6.2.4.2.1.1.1 MME (Mobility Managment Entity)

La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada.

1.6.2.4.2.1.1.2 S-GW (Serving Gateway)

Esta entidad actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario.

1.6.2.4.2.1.1.3 P-GW (PDN-Gateway)

Esta entidad es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como *Packet Data Network*, PDN, en las especificaciones 3GPP). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta “visible” en la red externa. Por tanto, los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de

esta pasarela y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW.

1.6.2.4.2.1.1.4 HSS (Home Subscriber Server)

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la subscripción del usuario (perfil de subscripción) como información necesaria para la propia operatividad de la red. La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales.

1.6.2.4.2.1.1.5 SGi (Interfaz P-GW)

A través de la interfaz SGi se realiza la interconexión de la pasarela P-GW de la red LTE con redes externas IP. La red externa puede ser tanto una red pública (Internet) como cualquier otra red privada (intranet corporativa, red de un ISP, red interna del propio operador para la provisión). La interfaz SGi es equivalente a la interfaz Gi especificada para la interconexión de la pasarela GGSN del dominio GPRS con redes externas. La interfaz SGi soporta la interconexión tanto a redes IPv4 como IPv6. Desde la perspectiva de la red externa, la pasarela P-GW es vista como un router IP convencional. Ambos modelos se ilustran en la figura 1.47 que se describen a continuación.

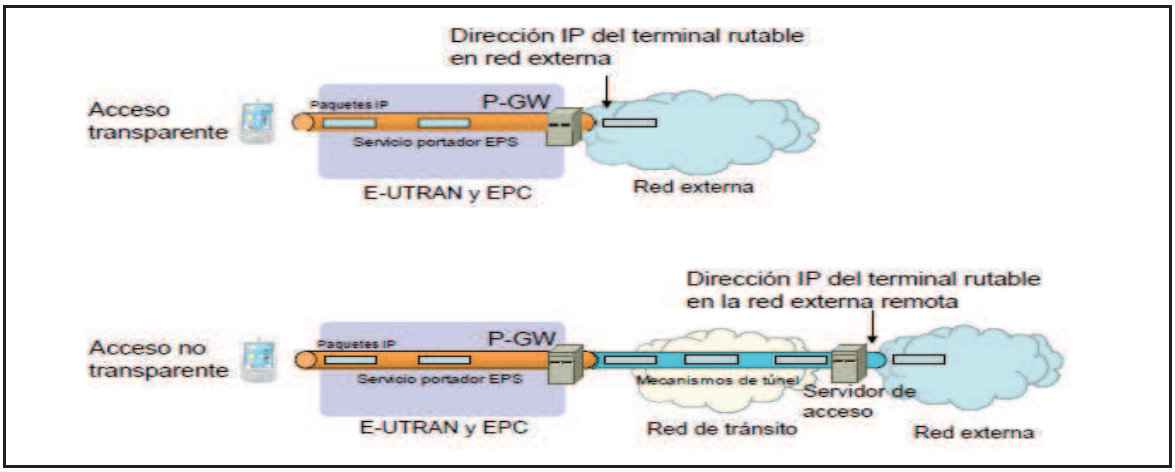


Figura 1.47 Tipos de interconexión a través SGi [30]

1.6.2.4.2.1.1.6 S5/S8 (Interfaces P-GW/S-GW)

Las interfaces S5 y S8 proporcionan el soporte para la transferencia de paquetes de usuario entre las pasarelas S-GW y P-GW.
Ambas interfaces S5 y S8 admiten dos implementaciones diferentes: una basada en el protocolo GTP y otra basada en el protocolo PMIPv6

1.6.2.4.2.1.1.7 S11 (Interfaz MME/S-GW)

Esta interfaz permite controlar la operativa del plano de usuario en la red troncal EPC desde la entidad de red MME. Así, los procedimientos soportados en esta interfaz permiten la creación/eliminación/modificación/cambio de los servicios portadores que los terminales tienen establecidos a través de la red troncal LTE. En este sentido, dado que la entidad MME es la entidad de control que termina los protocolos NAS con los usuarios, la interfaz S11 permite establecer el nexo del plano de control con las funciones del plano de usuario de la red troncal LTE. La interfaz S11 también da soporte al proceso de reubicación de la pasarela S-GW asociada a un terminal mediante la transferencia de contextos entre la pasarela antigua y la nueva.

1.6.2.4.2.1.1.8 S10 (Interfaz MME/MME)

La interfaz S10 se define entre dos entidades MME. Su principal función es el soporte del mecanismo de reubicación de la entidad MME. De esta forma, cuando la entidad MME que controla a un determinado equipo de usuario debe cambiarse debido, a su movilidad, a través de la interfaz S10 se realiza la transferencia del contexto de dicho usuario entre MMEs.

1.6.2.4.2.1.1.9 S6a (Interfaz HSS/MME)

Esta interfaz permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad del plano de control MME de la red troncal EPC.

1.6.2.4.3 IP Multimedia Subsystem (IMS) [29], [30]

El subsistema IMS proporciona los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios de comunicación multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el subsistema IMS se materializa

mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, bases de datos, pasarelas) que se comunican entre sí mediante diversos protocolos, fundamentalmente estándares del IETF, y que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo. El acceso de los terminales a dicha infraestructura se realiza a través de los servicios de conectividad IP que proporciona la red LTE.

El modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación, tal como se muestra en la Figura 1.48.

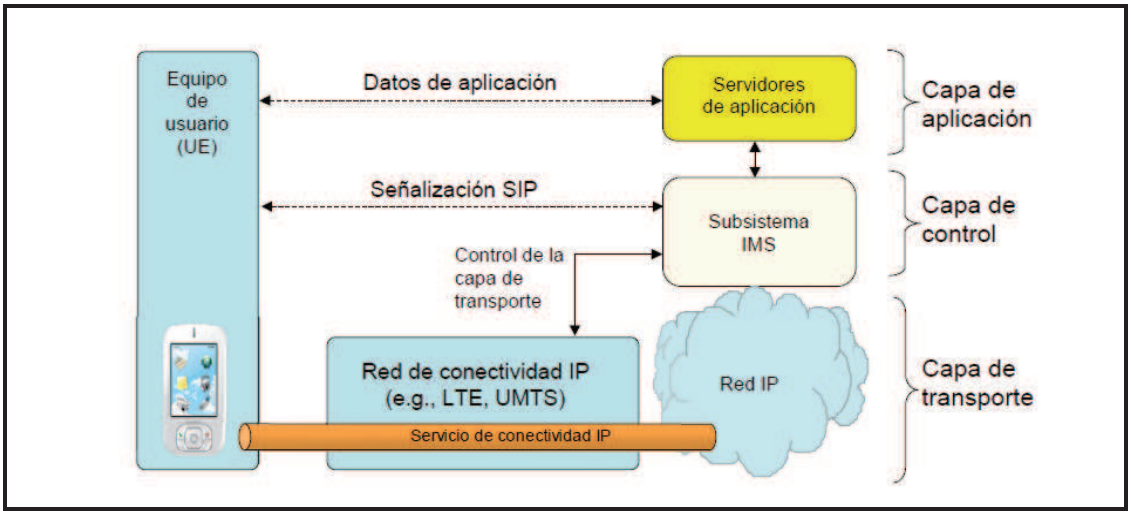


Figura 1.48 Modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS [29]

La capa de transporte representa la infraestructura de red IP, dependiente de la tecnología de acceso, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

En la capa de control se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones tales como los servidores de señalización SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).

En la capa de aplicación residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS (servicio de mensajería instantánea y presencia, etc.).

1.6.2.5 Equipos de Usuario [30]

El equipo de usuario es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que en su momento se definió para los sistemas GSM y que se adaptó posteriormente para UMTS. La arquitectura funcional de un equipo de usuario GSM/UMTS/LTE se muestra en la figura1.49. El equipo de usuario (*User Equipment*, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de subscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil propiamente dicho (*Mobile Equipment*, ME). Adicionalmente, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: el terminal móvil (*Mobile Terminal*, MT) y el equipo terminal (*Terminal Equipment*, TE).

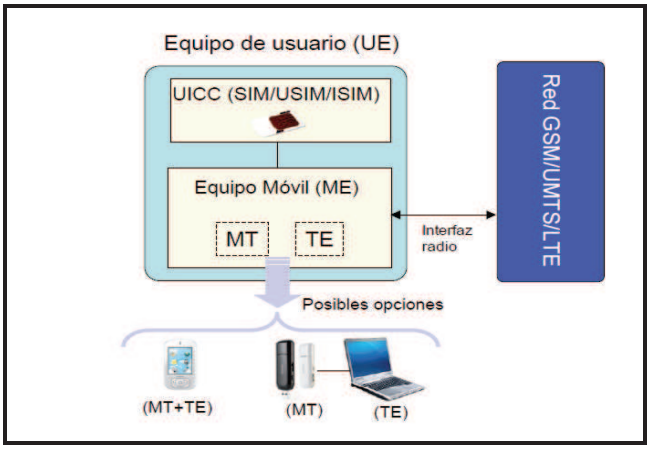


Figura 1.49 Equipo de Usuario. [30]

En la tabla 1.10 se menciona los estándares existentes para los UE:

- Todas las categorías soportan 20 MHz.
- El tipo de modulación para todas las clases en downlink es 64QAM, pero no en Uplink (excepto Class 5).
- Todas las clases utilizan la técnica de antena 2x2 excepto la clase 1.

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Peak rate DL/UL	10/5 Mbps	50/25 Mbps	100/50 Mbps	150/50 Mbps	300/75Mbps
RF bandwith	20 MHz	20 MHz	20 Mhz	20 Mhz	20 Mhz

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Modulation DL	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM
Modulation UL	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM	64QAM
Rx diversity	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
BTS Tx diversity	1-4 Tx	1-4 Tx	1-4 Tx	1-4 Tx	1-4 Tx
MIMO DL	Optional	2 x 2	2 x 2	2 x 2	4 x 4

Tabla 1.10 Categorías de Equipos Usuario LTE. [30]

1.6.2.6 Características de la Interfaz Aire

Gráficamente, las funcionalidades, características del interfaz aire en LTE son:

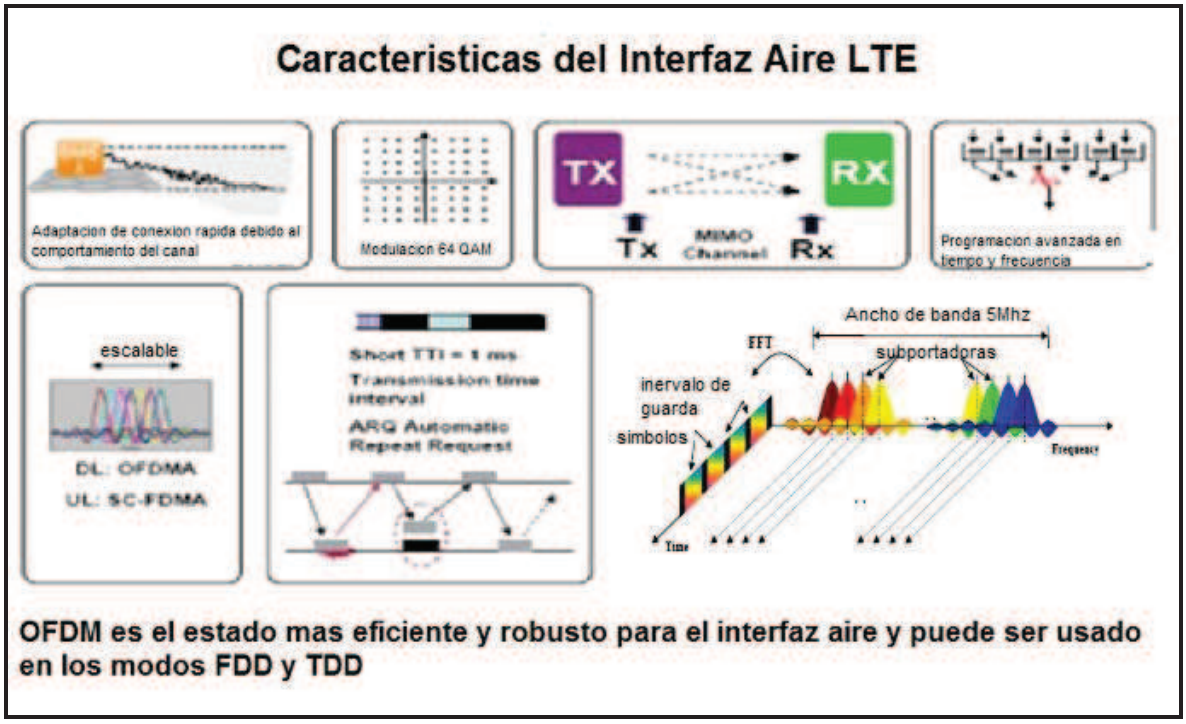


Figura 1.50 Funcionalidades de la interfaz aire. [30]

1.6.2.6.1 Estructura de la Trama de Radio

1.6.2.6.1.1 Estructura Básica de la Trama

- En FDD, las tramas en DL y UL no están en la misma portadora.
- La trama de Radio (RF) se denomina tipo 1 por el 3GPP. La longitud es de 10 ms.

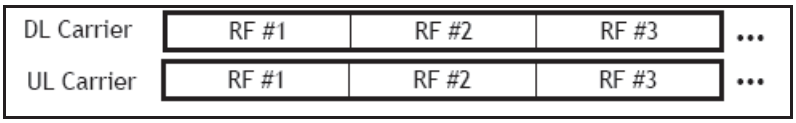


Figura 1.51 Estructura de trama de radio, UL/DL. [31]

- La trama de radio se compone de 10 sub-tramas de 1 ms.
- Cada sub-trama se compone de 2 slots de 0,5 ms.

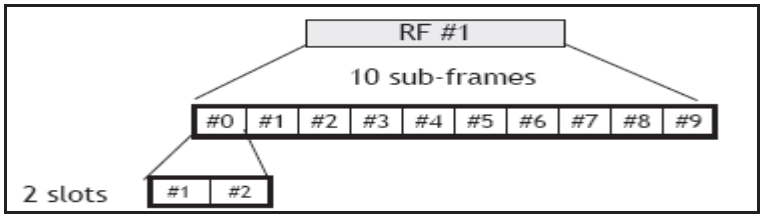


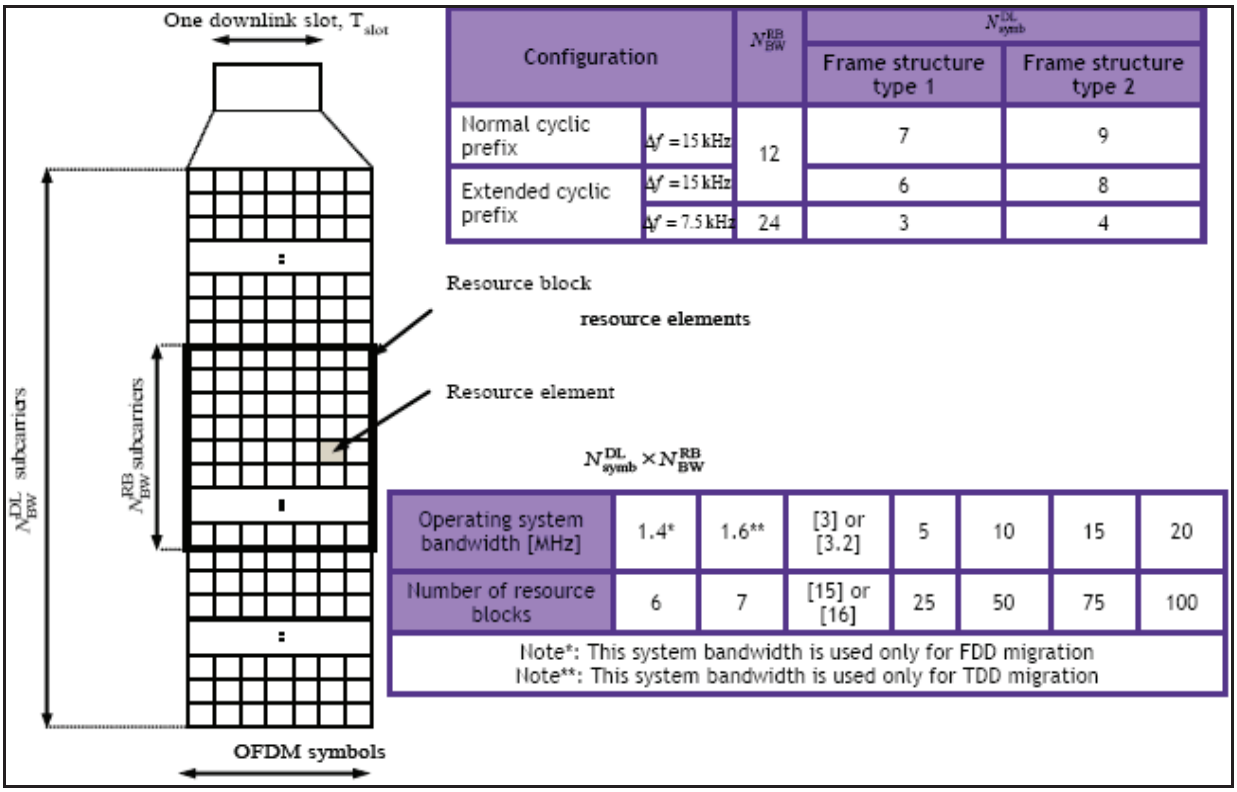
Figura 1.52 Estructura de trama de radio, Sub tramas y sub slots. [31]

Para FDD, están disponibles 10 sub-tramas para la transmisión de enlace descendente y 10 sub-tramas para el enlace ascendente, transmisiones en cada intervalo de 10 ms. Las transmisiones de enlace ascendente y descendente están separadas en frecuencia.

1.6.2.6.1.2 Bloque de Recursos

Múltiples usuarios son multiplexados tanto en tiempo como en frecuencia, junto con las señales piloto y señales de control. El plano tiempo-frecuencia se divide en trozos es decir la mínima unidad de asignación de recursos. La multiplexación de tráfico se lleva a cabo asignando a cada usuario un cierto número de trozos en función de su velocidad de datos.

[29].-http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/publicaciones/publicaciones/lte-nuevas-tendencias-en-comunicaciones-moviles-/
[30].- LTE Interface, Fundamentals, Nokia Siemens Networks, 2011.
[31].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Frame Structure, pag. 85, Alcatel Lucent, 2010.



Configuration		N_{BW}^{RB}	N_{symb}^{DL} Frame structure type 1	N_{symb}^{DL} Frame structure type 2
Normal cyclic prefix	$\Delta f = 15$ kHz	12	7	9
Extended cyclic prefix	$\Delta f = 15$ kHz	12	6	8
	$\Delta f = 7.5$ kHz	24	3	4

Operating system bandwidth [MHz]	1.4*	1.6**	[3] or [3.2]	5	10	15	20
Number of resource blocks	6	7	[15] or [16]	25	50	75	100

Note*: This system bandwidth is used only for FDD migration
Note**: This system bandwidth is used only for TDD migration

Figura 1.53 Tipos de estructura de tramas y bloques de recursos en LTE FDD. [31]

En OFDMA, a los usuarios se les asigna un número específico de sub portadoras para una cantidad de tiempo predeterminada. En las especificaciones de LTE estos son definidos como bloques de recursos físicos (PRB, Physical Resource Block). La asignación de PRBs es manejado por una función de programación en la estación base 3GPP (eNodeB).

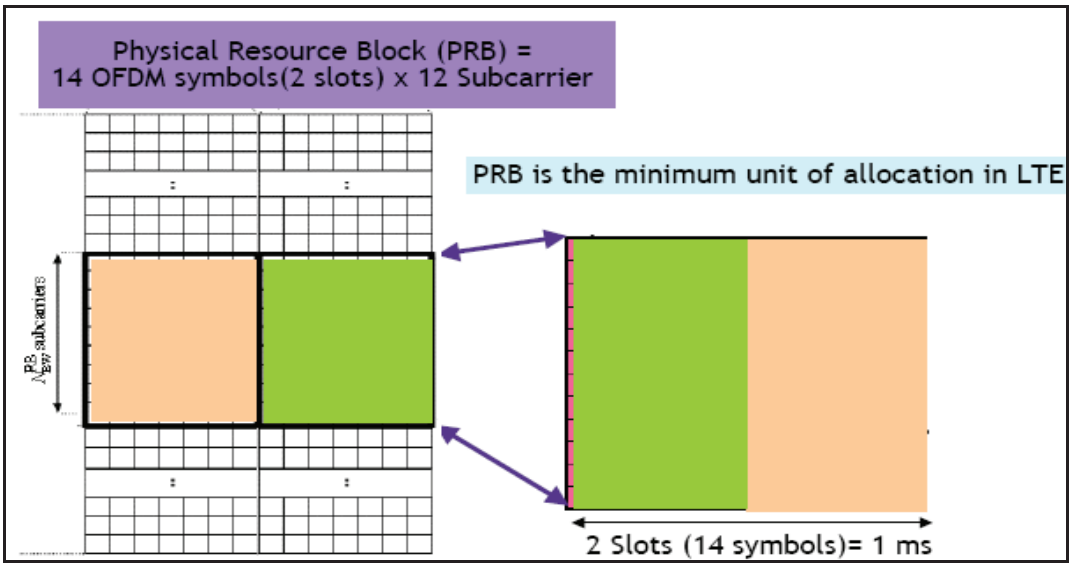


Figura 1.54 Estructura del bloque de recursos. [31]

La separación entre portadoras dependerá del escenario de implementación, el tamaño del bloque de frecuencia disponible y los anchos de banda del canal. La separación nominal entre portadoras de canales adyacentes E-UTRA se define de la siguiente manera:

La trama de canal es de 100 KHz para todas las bandas, lo que significa que la frecuencia de la portadora central debe ser un múltiplo entero de 100 KHz.

La separación de canales se puede ajustar para optimizar el rendimiento en un escenario de implementación particular.

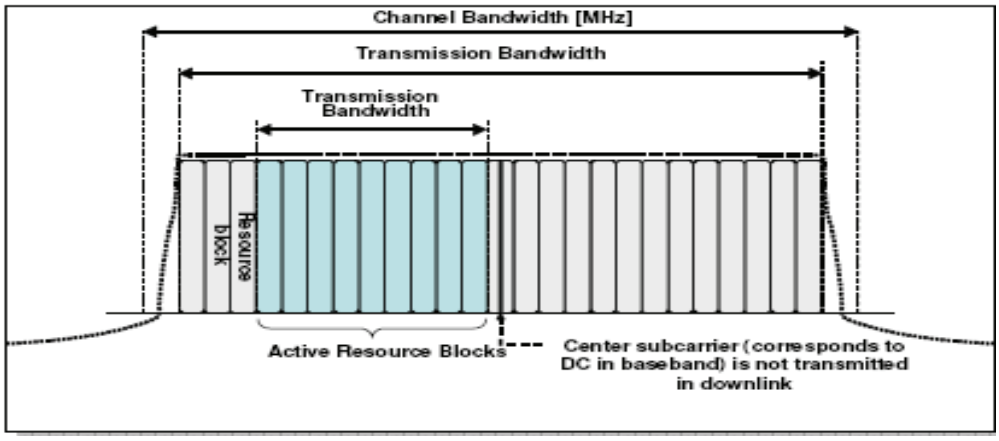


Figura 1.55 Estructura del bloque de recursos por tipo de ancho de banda. [31]

1.6.2.6.2 Stack de Protocolos [32]

Los modelos de protocolos de radio E-UTRAN, especifican los protocolos entre UE y eNodeB, bastante similar a la pila de protocolo WCDMA de UMTS.

La pila de protocolos define tres capas: la capa 1 física, capa 2 de acceso y capa 3 que aloja el estrato de acceso y NAS (non Access stratum) como protocolos de control, así como el software de nivel de aplicación por ejemplo, la pila IP.

La capa física forma la capa completa 1 de la pila de protocolos y proporciona la funcionalidad básica de transmisión en un medio físico. En LTE la capa física es impulsada por OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente. La capa física utiliza canales físicos para transmitir datos a través del trayecto. Los canales físicos se asignan de forma dinámica a los recursos disponibles (bloques de recursos físicos y puertos de antena). Para las capas superiores, la capa física ofrece su funcionalidad de transmisión de datos a través de canales de transporte. Al igual que en UMTS un canal de transporte es un

servicio orientado a bloque de transmisión con ciertas características en cuanto a tasas de bits, retardo, el riesgo de colisión y fiabilidad.

MAC (Medium Access Control): MAC es el protocolo más bajo de capa 2 y su principal función es la de conducir los canales de transporte. MAC se alimenta desde las capas superiores con canales lógicos que estén en correspondencia uno a uno con los portadores de radio.
A cada canal lógico se le da una prioridad y la MAC tiene que multiplexar de manera lógica, los datos sobre el canal de transporte. En la dirección de recepción debe tener lugar la de-multiplexación de los canales lógicos del canal de transporte. Otras funciones de MAC serán el manejo de colisión y explícita identificación del UE.

RLC (Radio Link Control): Cada portador de radio tiene una instancia RLC de trabajo en cualquiera de los tres modos: UM (unacknowledge mode, no reconocida), AM (acknowledge mode, reconocido) o TM (Transparente).El modo que se haya elegido depende del propósito de la portadora de radio. RLC por lo tanto puede mejorar la portadora de radio con ARQ (Retransmisión automática a petición) utilizando la secuencia numerada en las tramas de datos y los informes de estado para desencadenar la retransmisión. Hay que tener en cuenta que deberá ser posible desencadenar retransmisiones también a través de la entidad HARQ (Hybrid, ARQ) en la MAC. La segunda funcionalidad de RLC es la segmentación y re ensamblaje que divide mayormente los datos de la capa superior o concatena datos de la capa en trozos de datos adecuados para transporte sobre canales de transporte que permiten un cierto conjunto de bloque de transporte en función de los tamaños.

PDCP (Packet Data, Protocolo de Convergencia): Realiza la compresión y descompresión de cabeceras para datagramas IP y el cifrado /descifrado en el plano de control, pero no para la señalización. Así, las entidades PDCP de portadoras de radio de señalización hará generalmente cifrado / descifrado.

RRC (Radio Resource Control): RRC es el control de recursos, especifica el protocolo para E-UTRAN. Además, proporcionará los mensajes requeridos para el canal de gestión, medición y control de informes de gestión.

NAS (Non Acces- Stratum): El protocolo NAS se ejecuta entre UE y MME. Está en la cima de la RRC, se utiliza para la fijación de la red, la autenticación, la creación de portadoras, y gestión de la movilidad. Todos los mensajes de NAS son cifrados y protegidos por la integridad del MME al UE.

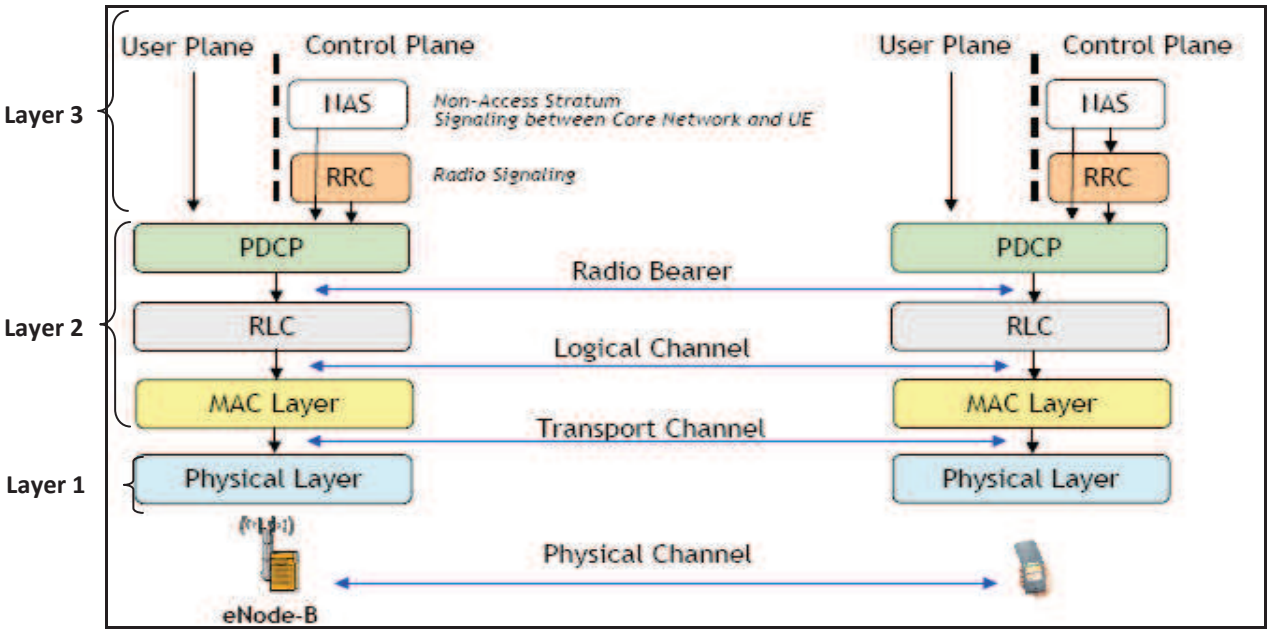


Figura 1.56 Comunicación entre capas de enlace desde el UE hacia el eNodeB y tipos de canal. [32]

1.6.2.6.3 Canales Utilizados en LTE [33]

Se tiene la siguiente estructura de canales:

- Canales Lógicos
- Canales de transporte
- Canales Físicos

[32]. - LTE RAN Radio Principles Description, Protocols Stack, pag. 84, Alcatel Lucent 2012.

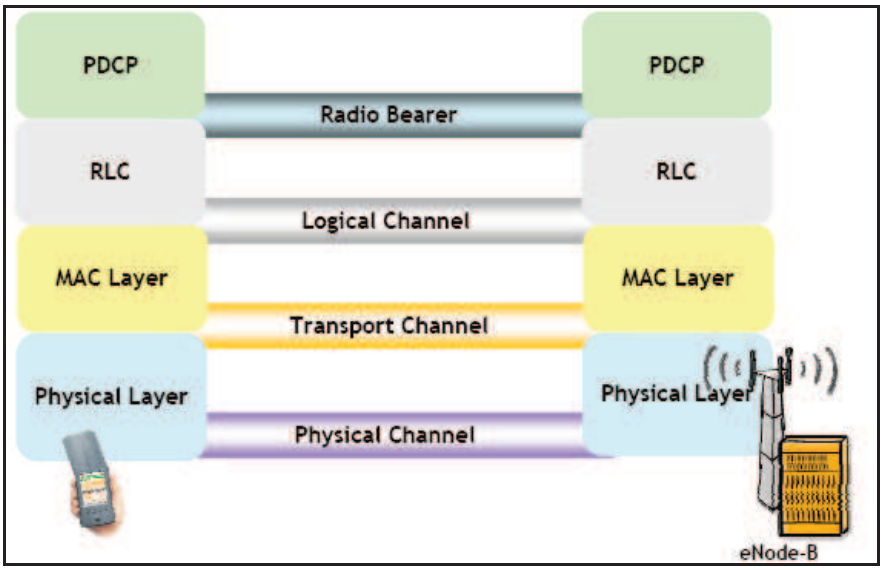


Figura 1.57 Estructura de tipos de canales vs protocolos entre UE y el eNodeB.[33]

1.6.2.6.3.1 Canales Lógicos [33]

Un canal lógico se define por el tipo de información que lleva. Los canales lógicos se clasifican en canales de control y de tráfico.

Los siguientes son definidos por el 3GPP, como canales lógicos de control:

- BCCH, (Broadcast Control Channel), utilizado para la transmisión de control del sistema y para información. Un UE necesita decodificarlo antes de solicitar una conexión.
- PCCH, (Paging Control Channel), este canal de control es utilizado para enviar mensajes a dispositivos móviles para alertar de una llamada telefónica entrante o para solicitar una sesión de comunicación de datos.
- CCCH, (Common Control Channel) el canal de control común es para transmitir información de control entre los UE y la red. Este canal se utiliza para UE's que no tienen conexión RRC (Radio Resource Control) con la red.
- DCCH, (Dedicated Control Channel) es un canal de control dedicado punto a punto bidireccional que transmite información de control dedicada entre un UE y la red como por ejemplo control de energía, handover, etc.
- MCCH, (Multicast Control Channel) transmite parámetros necesarios de identificación, acceso de los servicios y canales multicast.

[33].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Channels, pag. 97, Alcatel Lucent 2012.

Los siguientes son definidos por el 3GPP, como canales lógicos de tráfico:

- DTCH, (Dedicated Traffic Channel) es un canal de tráfico, punto a punto, dedicado a un UE, para la transferencia de información de usuario. Un DTCH puede existir tanto en enlace ascendente y el enlace descendente.
- MTCH, (Multicast Traffic Channel) es un canal punto-a-multipunto en el canal de enlace descendente para transmitir datos de tráfico desde la red al UE.

1.6.2.6.3.2 Canales de Transporte [33]

Un canal de transporte define cómo y con qué características se transmite la información por la interfaz de radio.

- Por ejemplo el tamaño de bloque de transporte TBS (Transport Block Size) y el intervalo de tiempo de transmisión TTI = 1 ms.

El formato de transporte, TF, define cómo los bloques deben estar para transmitirse:

- Tamaño de bloque de transporte, que depende de los MCS (Esquemas de Modulación y Codificación) y el número de PRB (Bloque de Recursos Físicos) asignados.
- Esquema de modulación.
- Mapeos de antenas.

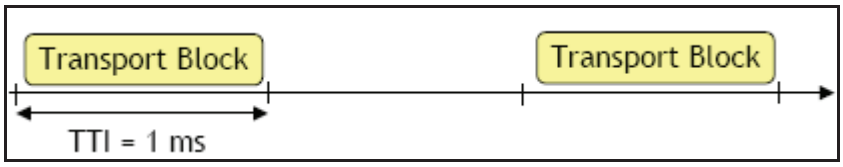


Figura 1.58 Intervalo TTI entre bloques de transporte para canales de transporte.[33]

Nota: En caso del sistema multi-antena, puede haber 2 TB's para cada TTI. Cada TTI (Intervalo de tiempo de transmisión), el Scheduler (planificador) decide que bloque asignar a qué usuario.

Los siguientes son definidos por el 3GPP, como canales de transporte en DL:

- BCH, (Broadcast Channel) transmite continuamente información del sistema además examina y mide intensidades de señal, controlando el

acceso a los dispositivos móviles que funcionan dentro del área de cobertura.

- DL-SCH, (Downlink Shared Channel) es un canal de comunicación que transmite datos desde el sistema (estación base) a los dispositivos móviles. La estación base asigna los slots de tiempo y canales de radio frecuencia para transmitir y recibir información (modulación, TB's) de los usuarios.
- PCH (Channel Paging) se utiliza para enviar mensajes de alerta al UE solicitud para establecer una comunicación de voz, servicio de mantenimiento, actualización de posición.
- MCH (Multicast Channel) que se caracteriza por: transmisión de información de uno a varios dispositivos (red multipunto) en el área de cobertura de la celda.

Los siguientes son definidos por el 3GPP, como canales de transporte en UL:

- UL-SCH (Uplink Shared Channel) caracterizado por el proceso de adaptación de enlace dinámico mediante la variación de la potencia de transmisión, los cambios de modulación y codificación para la asignación dinámica y semi-estática de recursos de radio en el enlace ascendente.
- RACH (Random Acces Channel) caracterizado por Información de control, datos sobre riesgo de colisión o para requerimientos de acceso aleatorio.

1.6.2.6.3.3 Canales Físicos

Un canal físico se define por los recursos físicos utilizados para transmitir los datos de usuario y control. La capa física utiliza bloques de recursos (por ejemplo, 12 sub portadoras con 6 o 7 símbolos OFDM) para transmitir la información codificada en binario, QPKS ,16QAM o 64QAM.

Los canales físicos determinan cómo se procesan los datos y a continuación son mapeados a través de programación dinámica en bloques de recursos. Así, los canales físicos también en E-UTRAN representan los recursos físicos disponibles. Como los canales de transporte, los canales físicos también son unidireccionales. Generalmente hay una vinculación fija entre tipos de canal de transporte y el tipo de canal físico utilizado para transmitir los bloques de transporte. Junto a los canales físicos que se utilizan para llevar los canales de transporte, también hay canales físicos que transportan datos de control de la capa física y las señales

físicas que se utilizan principalmente para fines de sincronización y medición. Los canales físicos DL son los siguientes:

- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel), se trata de un canal compartido utilizado para transportar datos de usuario, entre la red de radio y el núcleo, información del sistema (BCH, Channel Broadcast), mensajes a dispositivos de acceso personal, etc.
- PDCCH (Physical Downlink Control Channel), es un canal compartido de señalización para llevar a la asignación de los recursos (PDSCH) información de control de acceso.
- PBCH (Physical Broadcast Channel), Es el canal utilizado para transmitir la información del sistema de identificación y control.
- PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) sirve para transferir información que describe el tipo de modulación del canal.
- PHICH (Physical HARQ indicator Channel) sirve para informar un estado Hybrid ARQ.
- PMCH (Physical Multicast Channel) es utilizado para enviar información a varios usuarios (multicast) que se encuentran dentro del área de cobertura.

Los canales físicos de UL son los siguientes:

- PRACH (Physical Random Acces Channel), es un canal compartido usado para el procedimiento de acceso.
- PUSCH (Physical UL Shared Channel), se trata de un canal compartido utilizado para transportar datos de usuario, radio y núcleo de red en UL.
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel), es un canal compartido de señalización en el enlace ascendente para permitir que el UE solicite recursos en el PUSCH.

Entonces el mapeo entre canales de transporte y físicos, se realizará de la siguiente forma:

Los canales de transporte se asignan en los canales físicos que se envían sobre la interfaz aérea, un CRC se calcula y se anexa a cada trama. Esto permite al receptor detectar errores. Es utilizado por los mecanismos de retransmisión como HARQ.

- Dependiendo del formato de transporte y la calidad de radio, la TB (Bloque de transporte) es codificada e intercalada.
- El HARQ es un proceso que se ejecuta en el UE y en el eNodeB para permitir una rápida retransmisión en caso de errores.
- La secuencia de bits resultante es modulada y se asigna a las sub portadoras del bloque de recursos utilizados para la transmisión (uno o varios bloques de recursos).

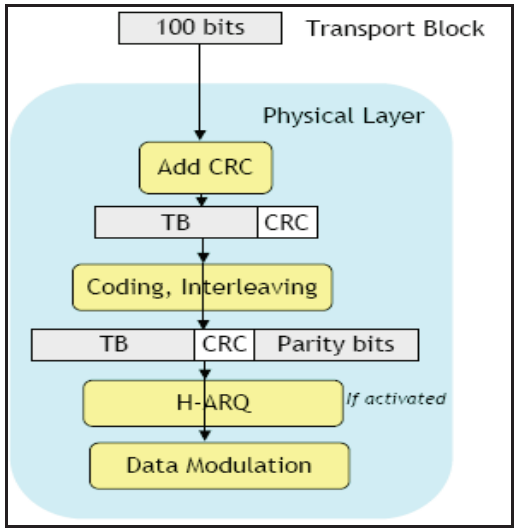


Figura 1.59 Procedimientos en la capa física y datos desde la capa transporte. [33]

Los datos son modulados y asignados en las sub-portadoras. La unidad base de tiempo versus frecuencia representa a un bloque de recursos.

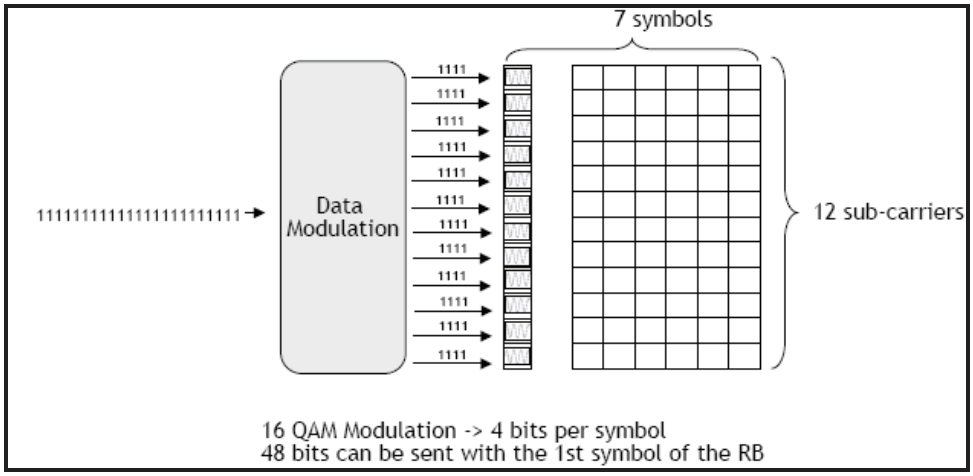


Figura 1.60 Modulación de datos y asignación a sub-portadoras. [33]

1.6.2.7 E-UTRAN (Envolved-UMTS terrestrial Radio Acces Network)

Es la red de acceso de radio del sistema EPS (Evolved Packet System), valga la aclaración el término LTE se definió en 3GPP para denominar una línea de trabajo interna cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso de UMTS denominada como UTRAN, formalmente la nueva red de acceso recibe el nombre de E-UTRAN aunque por costumbre se ha ido generalizando el término LTE lo cual es sinónimo de E-UTRAN.

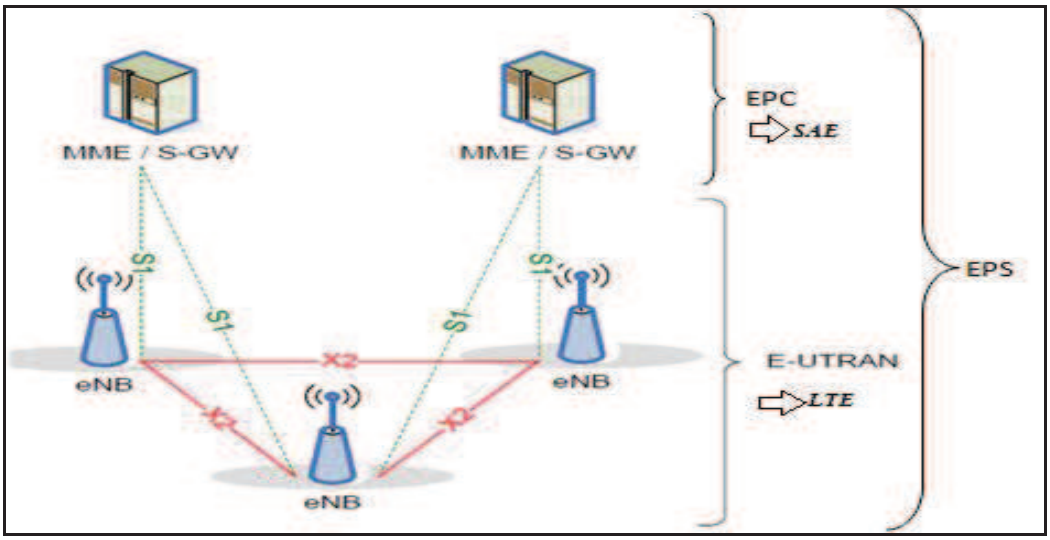


Figura 1.61 Arquitectura de E-UTRAN. [34]

La arquitectura de la red de acceso de radio de LTE está compuesta por una sola entidad de red denominada eNodeB, que constituye la estación base de E-UTRAN la cual integra las funciones de acceso y conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. El eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

1.6.2.7.1 Resumen de Procesos de la Conexión RRC

Cuando el UE está en operación, tiene que ser conectado al RRC (Radio Resource Control) para ser capaz de intercambiar datos de señalización con la red.

- Después de la conexión RRC, la red inicial permite establecer todas las portadoras para transportar los datos desde el UE a la Gateway.

[34].-http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/publicaciones/publicaciones/lte-nuevas-tendencias-en-comunicaciones-moviles-/

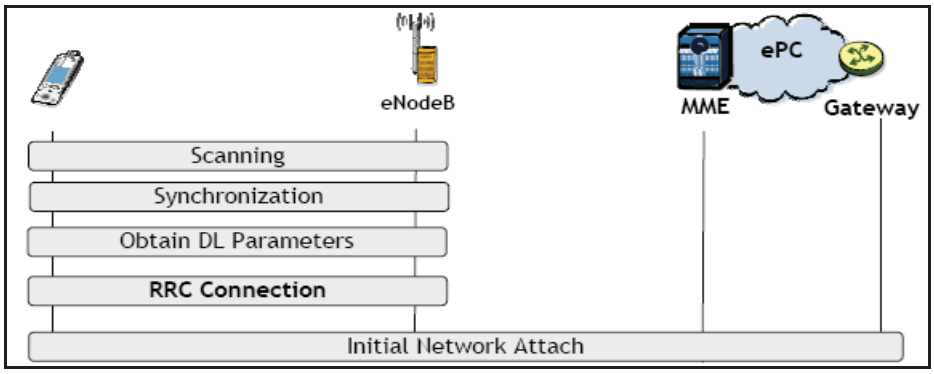


Figura 1.62 Procesos de la conexión RRC entre UE – eNodeB – EPC. [35]

Después de la conexión Radio Resource Conection (RRC), son establecidas las portadoras de señalización de radio (SRB, Bearer Radio Signaling).

- Un SRB es un portador de radio que sólo lleva la señalización: SRB1 lleva la señalización RRC.
  SBR2 lleva la señalización NAS, es decir, la señalización entre el core o la E-UTRAN y el UE.

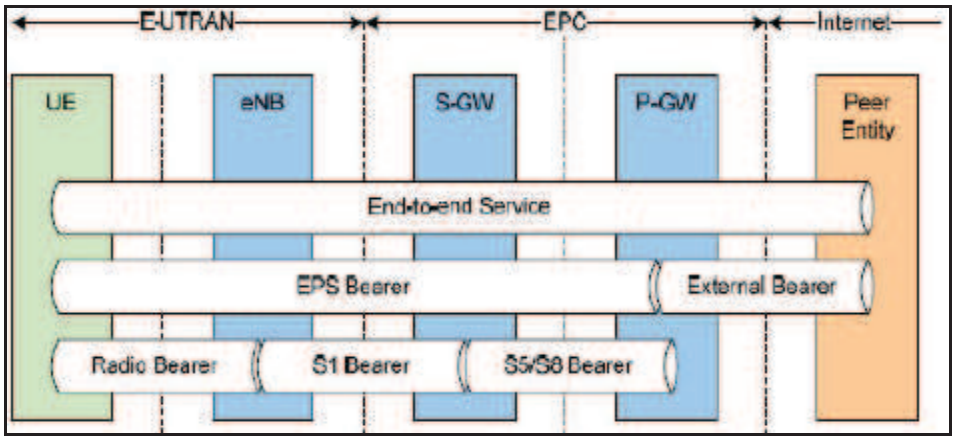


Figura 1.63 Tipos de Bearer (portador) entre entidades UE – ENODEB – SGW - PGW - RED EXTERNA. [35]

En la figura 1.63 se puede observar el proceso empleado por el Bearer:

- Un MME es seleccionado.
- El UE está autenticado.
- Una dirección IP es asignada al UE.
- S-GW y P-GW son seleccionados.
- Los bearers se establecen sobre la S1-U, S5/S8 y en la interfaz de aire.

[35].- LTE RAN Radio Principles Description, RRC Connection Scenarios, pag. 124, Alcatel Lucent 2012.

- La conexión RRC es reconfigurada para permitir el tráfico de datos de usuario.
- Al final de la conexión inicial, el UE es capaz de conectarse a las redes externas.

La conexión RRC se compone básicamente de dos pasos:

- Proceso de acceso aleatorio.
- Intercambio de señalización para establecer la conexión.

Cuando el UE solicita una conexión, y no se ha dedicado recursos para alcanzar el eNodeB, entonces se utiliza un canal de enlace ascendente común que es capaz gestionar la colisión entre dos equipos UE que soliciten el acceso al mismo tiempo.

1.6.2.7.1.1 Sincronización

Después de la conexión, el UE llega a conocer:

- La categoría del UE y su capacidad.
- La red PLMN (Public Land Mobile Network) definida.
- Los bearers.

El UE necesita saber:

- La sincronización de trama para ser capaz de decodificar la trama de radio DL.
- Los parámetros de la celda para ser capaz de solicitar una conexión.

El UE puede utilizar:

- El PSS: señal de sincronización primaria.
- El SSS: Señal de sincronización secundaria.
- El BCH, el canal de transmisión broadcast.

La señal de sincronización primaria (PSS):

- Se utiliza para la sincronización de ranura.
- Es el último símbolo OFDM de las ranuras 0 y 10 en la primera y sexta sub-tramas de cada marco
- Lleva una de los 3 identificadores de celda en la secuencia de grupo.

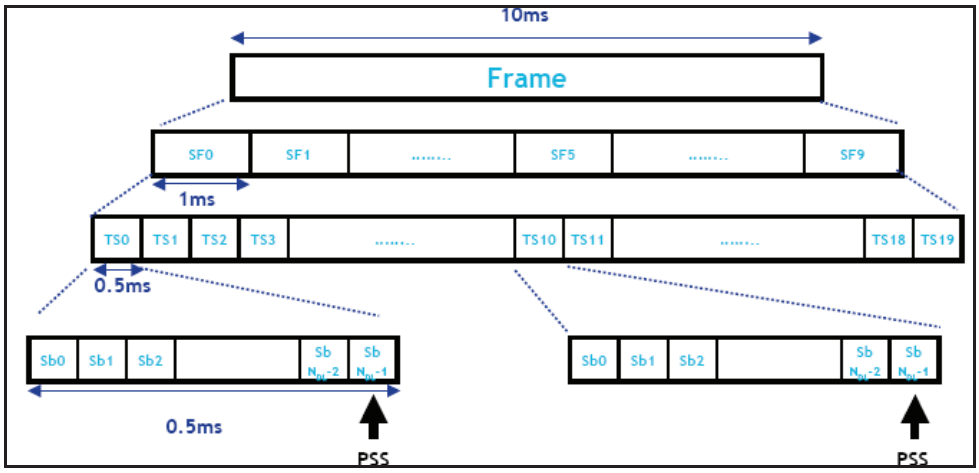


Figura 1.64 Ubicación del PSS en la trama de radio. [35]

La señal de sincronización secundaria (SSS):

- Se utiliza para la sincronización de trama.
- Está en la misma ranura de PSS.
- Es el último símbolo OFDM junto a la de las ranuras 0 y 10 en la primera y sexta sub-tramas de cada trama.
- Lleva uno de los 170 identificadores únicos de grupos celulares.

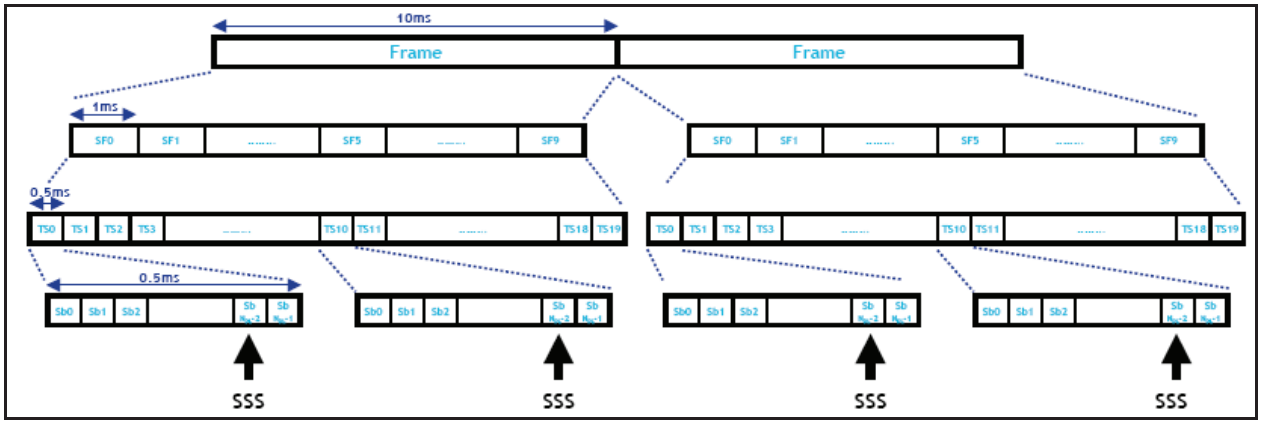


Figura 1.65 Ubicación del SSS en la trama de radio. [35]

La decodificación S-SCH: se codifica según una de las 168 secuencias posibles (que difieren en subtramas 0 y 5). El UE realiza la correlación de la secuencia conocida con las dos posibles ubicaciones y mantiene la mayor correlación, los límites de la trama son conocidos.

NID1 = 0 .. 167, son las señales recuperadas de los canales S-SCH y su secuencia decodificada.

N cellid se deriva de estos cálculos:

- Ncellid = 3 * NID1 +NID2

Ncellid, utilizado como entrada para la codificación de todos los canales El PSS, el SSS y el BCH usan máximo 6 bloques de recursos (RB) cualquiera que sea el ancho de banda.

- RBS 6 = 6 * 12 Sub-portadoras = 72 sub-portadoras

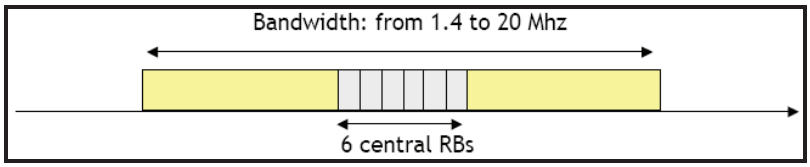


Figura 1.66 Ubicación de los bloques de recurso RB en el ancho de banda LTE.[35]

De esta manera, estas señales son independientes del ancho de banda y puede decodificar la señal sin saberlo.

1.6.2.7.2 Gestión de Radio

1.6.2.7.2.1 Portador EPS (Envolved Packet System)

El EPS es una red de transmisión orientado a la conexión y, como tal, requiere el establecimiento de un portador (bearer) "virtual" entre dos puntos finales (por ejemplo, un UE y PDN-GW):

- Esta conexión virtual se llama un "portador EPS"
- Se ofrece un "servicio portador", es decir, un servicio de transporte con calidad de servicio específico.

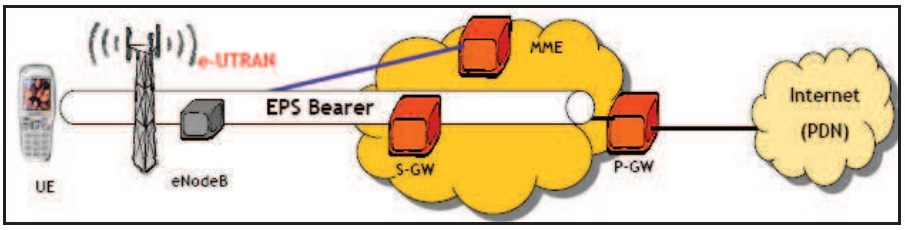


Figura 1.67 Conexión entre entidades de red LTE a través del EPS Bearer. [36]

- Una portadora de radio de datos transporta los paquetes de un portador EPS entre un UE y un eNodeB.

- Cuando existe un portador de radio de datos, no hay una asignación uno a uno entre la portadora de radio de datos y las EPS al portador / E-RAB.
- Un portador S1 transporta los paquetes de un E-RAB entre un eNodeB GW y una porción.
- Un portador S5/S8 transporta los paquetes de una portadora EPS entre GW y una porción PDN GW.
- Los parámetros de calidad de servicio asociados al portador son: QCI, ARP, GBR y AMBR.

A la baja prioridad de señalización se le denomina mensaje portador (SRB1)
Una alta prioridad de señalización se le denomina mensaje portador (SRB2)

1.6.2.7.2.2 Parámetros de Qos [36]

El identificador de clase de QoS (ICC) es un número que se utiliza como una referencia al acceso de parámetros específicos del nodo que controlan los reenvíos de paquetes.

- La asignación y prioridad de retención (ARP) permite decidir si una solicitud de establecimiento de portador puede ser aceptada o rechazado en caso de haber limitaciones de recursos.
- GBR = tasa de bits garantizada, la tasa de bits que se puede esperar a ser proporcionada por un portador GBR
- MBR = tasa de bits máxima
- Cada GBR es asociado con el nivel de portador de los parámetros de QoS :

1.6.2.7.2.3 Portadora de Radio

Hay 2 tipos de portadoras de radio (RB, radio bearer):

- Para realizar la señalización.
- Para llevar datos de usuario.

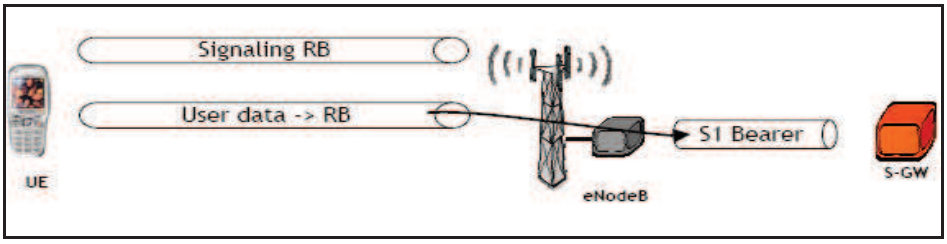


Figura 1.68 Tipos de Portadoras de Radio (RB) entre UE y el eNodeB. [36]

1.6.2.8 Tecnologías de Antena en LTE

1.6.2.8.1 Introducción

La técnica de antenas que se define para LTE se denomina MIMO (Multiple Input Multiple Output) con lo que aprovecha la propagación multi-trayecto para aumentar la tasa de transferencia de datos, la eficiencia espectral y multiplexación espacial. MIMO se estandarizo en el 3GPP Release 6 y se desarrollo más en el Release 7 con multiplexación espacial para HSPA+.

El principio consiste en utilizar varias antenas en transmisión y/o recepción para mejorar la robustez de la señal y en consecuencia la capacidad o cobertura.

1.6.2.8.2 Antena Simple SISO (Single Input, Single Output)

Es el canal de radio de modo de acceso más básico. Se usa sólo una antena transmisora y una antena receptora. SISO es la base sobre la cual toda las múltiples técnicas de antena se comparan.

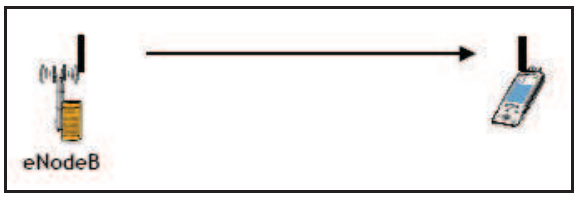


Figura 1.69 Tecnología de antena simple. [37]

1.6.2.8.3 Diversidad de Tx MISO (Multiple Input, Single Output)

Se utiliza 2 o más transmisores y un receptor. El MISO es más comúnmente conocida como transmisión de diversidad. Los mismos datos se envían en ambas antenas transmisoras pero codificadas de tal forma que, el receptor pueda identificar cada transmisor.

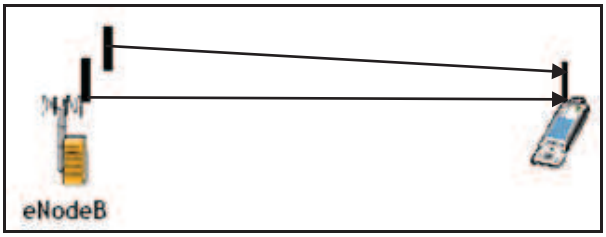


Figura 1.70 Tecnología de antena de diversidad de Tx (Multiples entradas) [37]

[36]. - LTE RAN Radio Principles Description, Bearer Management, pag. 143, Alcatel Lucent 2012.

1.6.2.8.4 Diversidad de Rx SIMO (Single Input, Multiple Output)

Se utiliza un transmisor y de 2 o más receptores. Se adapta particularmente bien para condiciones de baja SNR en el que una ganancia teórica de 3 dB es posible cuando se usan dos recepciones.

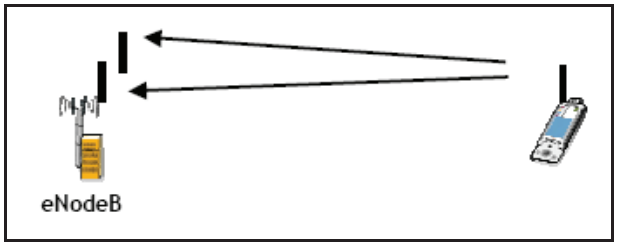


Figura 1.71 Técnica de antena de Diversidad TX/RX. [37]

1.6.2.8.5 MIMO (Multiple Input, Multiple Output)

- Dos o más transmisores y dos o más receptores.
- MIMO transmite varios rayos a diferencia de, SIMO o MISO transmiten sólo un rayo.
- Si hay N flujos, habrá al menos N antenas.
- MIMO requiere N antenas en el transmisor y en el receptor, de esta manera se puede transmitir secuencias de N en el mismo recurso de radio en el mismo tiempo. Actualmente N = 2 hay 2 antenas en el eNodeB y 2 antenas en el UE. Permite transmitir 2 TB (bloque de transporte) en la misma sub-trama para un determinado UE y por esto aumenta el rendimiento. Las transmisiones desde cada antena deben ser identificables únicamente por su receptor ya que puede determinar qué combinación de transmisiones se ha recibido. Esta identificación se hace generalmente con señales piloto, que utilizan patrones ortogonales para cada antena.
- Las señales se envían en el mismo tiempo, en la misma frecuencia. La señal de referencia de cada antena debe permitir que el UE pueda distinguirlos en tiempo y en frecuencia. Si el UE no es capaz de separar los TB 2, ya que las 2 vías de transmisión no son lo suficientemente diferentes o la condición de radio es mala, el transmisor envía el mismo TB en las 2 antenas.

[37]. - LTE RAN Radio Principles Description, MIMO and Beamforming, pag. 194, Alcatel Lucent 2012.
[38]. - http://mwrf.com/test-and-measurement/analyze-antenna-approaches-lte-wireless-systems&h.

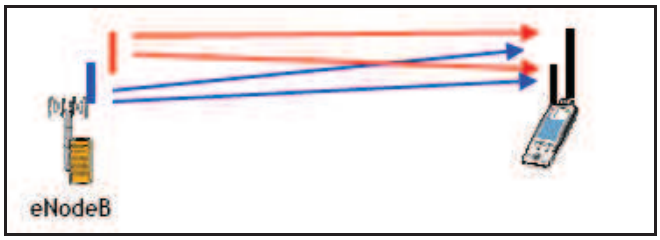


Figura 1.72 Técnica de antena MIMO. [37]

1.6.2.8.6 SU-MIMO, MU-MIMO [38]

SU-MIMO = Single User MIMO

Es la forma más común de MIMO. Cada usuario es servido por sólo una estación base (eNodeB) y ocupa exclusivamente el recurso incluyendo tiempo y frecuencia. Se puede aplicar en el enlace ascendente o descendente. El UE puede fácilmente tener 2 antenas en recepción, pero sólo 1 antena puede transmitir. En SU-MIMO el UE no requiere el gasto y el drenaje de potencia de 2 transmisores aunque la celda se beneficie del incremento de capacidad. El UE debe ser bien alineado a tiempo y potencia en el lado de RX en el eNodeB.

MU MIMO = *Multi user MIMO*

Es usado solo en el UL. No incrementa la tasa de datos individual pero ofrece ganancia en la capacidad de la celda, similar o mejor que el SU-MIMO. En UL, el UE no puede transmitir dos señales diferentes, ya que tiene un solo amplificador. Así que para tomar ventaja de las capacidades de la tecnología MIMO, el eNodeB puede asignar los mismos recursos de radio a dos UE's. De esta manera, el eNodeB aumenta la capacidad de UL.

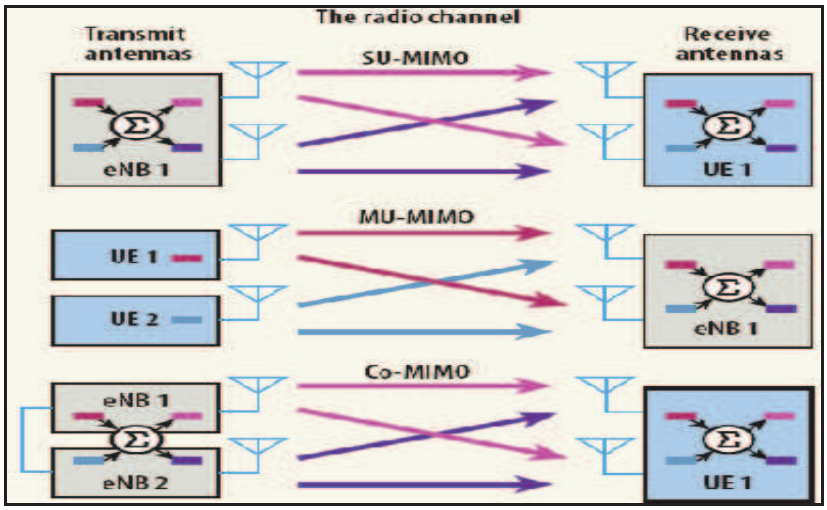


Figura 1.73 Tipos de técnicas de antena múltiple, por tipo de transmisión. [38]

2 CAPÍTULO II.- DISEÑO DE UNA CELDA BASE DE RED CELULAR CON TECNOLOGÍA 4G/LTE, PARA EL SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO.

2.1 INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN DE LA RED DE RADIO

Objetivo de la planificación de radio:

El propósito de la planificación de la red de radio es seleccionar ubicaciones de los sitios y configuraciones para crear ya sea una nueva red o para mejorar una red inalámbrica ya existente. Podemos distinguir tres tipos clave de planificación:

- El primero es el despliegue Greenfield donde se debe desarrollar toda la red desde cero.
- La segunda es una superposición de tecnologías en los que se añade una nueva tecnología a una red existente Overlay. La combinación de ubicaciones de los sitios existentes y nuevas ubicaciones del sitio que se utilizará.
- El tercer tipo es un diseño de relleno o de expansión para mejorar la cobertura o la capacidad de una red existente y/o para ampliar los límites de cobertura.

El objetivo es siempre una implementación eficiente de la red y reducir al mínimo los costos. Aspectos como el rendimiento de la red, por ejemplo la cobertura, la capacidad, debe cumplir con los requerimientos del mercado. Un buen diseño de la red asegura de que la red no está sobre-diseñada con demasiados sitios, porque esto significa innecesariamente costos altos para el despliegue y funcionamiento. Por otro lado, la red no debe estar sub diseñada con muy pocos sitios, porque esto conduce a agujeros de cobertura y por lo tanto a la pérdida del negocio. En el futuro debe ser fácil de actualizar y optimizar la red para mantener los costes en un mínimo. Sin embargo existen algunas limitaciones, por ejemplo se utiliza un modelo de propagación para evidenciar la forma en que las características como; frecuencias de radio y medio ambiente se ven afectadas o el comportamiento en si del modelo. Se utilizan aproximaciones para construir este modelo. El tráfico esperado en términos de número de usuarios y el volumen sólo se puede predecir en forma aproximada. Hay limitaciones con respecto a los

sitios que están disponibles en el mundo real. El proceso de planificación de la red de radio puede ser caracterizado por sus entradas, las fases de la red de radio y los resultados de la planificación como salidas.

- Datos de entrada que se deben tener en cuenta

  Se debe tener en cuenta en primer lugar la tecnología LTE, especialmente el interfaz de aire, la tecnología de radio acceso y las técnicas de antena múltiple.

  En segundo lugar, el mercado y los requisitos de ingeniería. Estos son por ejemplo el área a ser cubierta, las frecuencias que se utilizan, los perfiles de tráfico de los abonados específicos y servicios ofrecidos.

  Los parámetros como el entorno de topología, morfología, información de tráfico, las coordenadas de los sitios y características de antenas.

- La planificación de la red de radio tiene tres fases principales:
  1. La primera fase es el dimensionamiento de la red de radio que significa dimensionamiento celular. Las dimensiones de la celda dependerán de los niveles requeridos de recepción y la configuración de sitio para diferentes morfologías. Los niveles de recepción requeridos se basan en los presupuestos de enlace (Link Budget). La configuración del sitio incluye, por ejemplo, el número de soportes, el número máximo de abonados y características de radio. Resultados de esta fase es un diseño de la cantidad de sitios de acuerdo a la morfología.
  2. La segunda fase es la planificación de red de radio celular. Las salidas del presupuesto de enlace se proponen como resultados, en las ubicaciones geográficas de los sitios seleccionados.
  3. La tercera fase es la optimización de la planificación de redes de radio (RNP Radio Network Planning). Es un proceso cíclico que implica el dimensionamiento de la red y la planificación de radio para corregir y mejorar dimensiones de la celda y localizaciones de radio bases celulares.

[1].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 13, Alcatel Lucent, 2012.

Figura 2.1 Resumen de la Planificación de Radio en la red LTE. [1]

El conocimiento sobre la tecnología LTE es esencial para mapear las necesidades del mercado en la planificación detallada de parámetros. En primer lugar vamos a revisar las características principales de la interfaz de aire.

LTE soporta un ancho de banda flexible de 1,4 MHz a 20 MHz, y una amplia gama de bandas de frecuencias con la reutilización potencial del espectro desplegado. Esto ofrece a los operadores una gran flexibilidad para diseñar y ampliar la red para sus necesidades.

Los modos dúplex definidos en el estándar son Dúplex por División de Tiempo (TDD), Dúplex por División de Frecuencia (FDD). En este transcurso nos centraremos en FDD, pero en LTE existe mucha similitud entre FDD y TDD, al igual que longitud de la trama, tiempo de símbolo OFDM, prefijo cíclico y otros.

Aspectos a tenerse en cuenta:

Tecnología de acceso de radio a utilizar.

- Se basa en OFDM que proporciona velocidades de transmisión de datos y eficiencia espectral altas. En el enlace descendente se utiliza OFDMA y SC-FDMA en el enlace ascendente.
- Existen múltiples técnicas de antena son una característica importante de LTE para proporcionar una mejor cobertura y mayor rendimiento. Diversas técnicas utilizan múltiples antenas. La diversidad de transmisión mejora la fiabilidad de un solo flujo de datos bajo condiciones de radio desafiantes, tales como en el borde de la celda.
- Disponibilidad de servicios, la especificación LTE propone varios servicios, como el servicio de voz, diferentes velocidades de datos en modo de

paquetes. Cada uno de estos servicios requiere una calidad de radio diferente en términos de C/I y tendrá un impacto diferente en el diseño. En la mayoría de los casos, los servicios que se requieren son: Voz, PS64, PS128, PS384, PS500, PS1Mbps y PS2Mbps.

Las metas del diseño de la red de radio y los requisitos para la planificación dependerán de la comercialización y la estrategia de negocio. Se requiere conocer datos específicos de la configuración del sistema de la red como por ejemplo:

- Frecuencia que se usa y cuál es el ancho de banda.

Otro punto importante son los parámetros de tráfico:

- La cantidad de usuarios y el tipo de usuarios.
- Los usuarios de negocio con datos y necesidades de videoconferencia o usuarios con necesidades de voz, correo electrónico y de entretenimiento.

Servicios que se ofrecen:

- Voz, datos como el correo electrónico y navegación web, video o servicios en tiempo real.

Tipos de UE's (User Equipment) que se utilizarán:

- Los diferentes tipos de equipos tienen capacidades diferentes.

El área a ser cubierta:

- Las áreas residenciales, grandes ciudades o áreas remotas.
- La confiabilidad de la cobertura necesaria para todos los sectores o si se requiere una alta fiabilidad en un sector especifico, por ejemplo, para áreas de negocio se requiere una confiabilidad alta en comparación con un área residencial.

Tipo de movilidad que se tendrá, peatones, autopistas, urbano de baja velocidad.

Ya hemos visto que los servicios tienen una calidad diferente de los requisitos del servicio. Sin embargo, hay más aspectos relacionados con la calidad del servicio como por ejemplo, la cobertura a la que hay que llegar.

Los servicios y tarifas de datos que deben ser programados en los bordes celulares. Una cierta cobertura y confiabilidad de capacidad que deben ser garantizados. El nivel previsto de penetración de la señal en interiores, etc.

Para seleccionar los candidatos del sitio y para predecir la cobertura es importante conocer las características ambientales y de mercado.

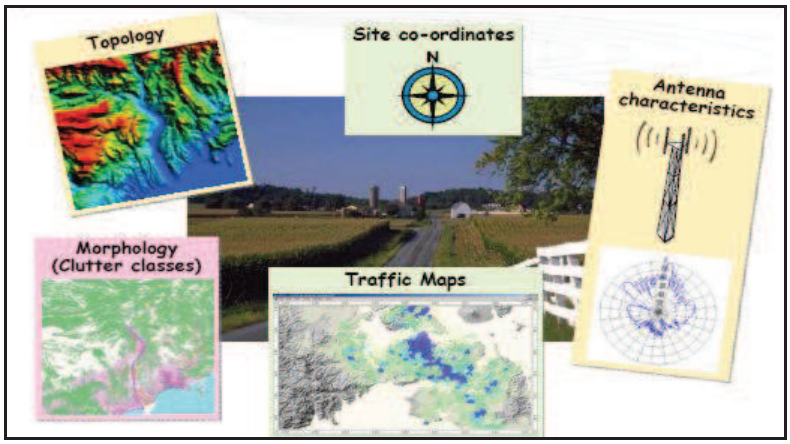


Figura 2.2 Parámetros ambientales y del medio físico en la red LTE. [1]

La topografía es plana o hay montañas, cuáles son las elevaciones y hay grandes lagos o un océano. También es importante saber las morfologías no clasificadas. Estos son los objetos que se encuentran en las áreas tales como edificios, árboles o carreteras que afectan a la propagación de la señal de radio.

Para mejorar la precisión del diseño de la red de radio dividimos la demanda global en áreas más pequeñas con características similares de propagación, para así unificar las morfologías. Ellas categorizan el tipo de terreno y la densidad por obstrucciones, así es más fácil diseñar una celda base la cual contiene características morfológicas y de propagación globales. Ejemplos típicos son urbano, denso urbano y rural.

Coordenadas de los lugares posibles, que pueden ser los sitios existentes que ya se utilizan en otro operador de red. Para predecir la cobertura, también es importante conocer las características de las estaciones bases existentes como altura de la antena, los patrones de radiación, inclinaciones de tilt y orientaciones o azimut.

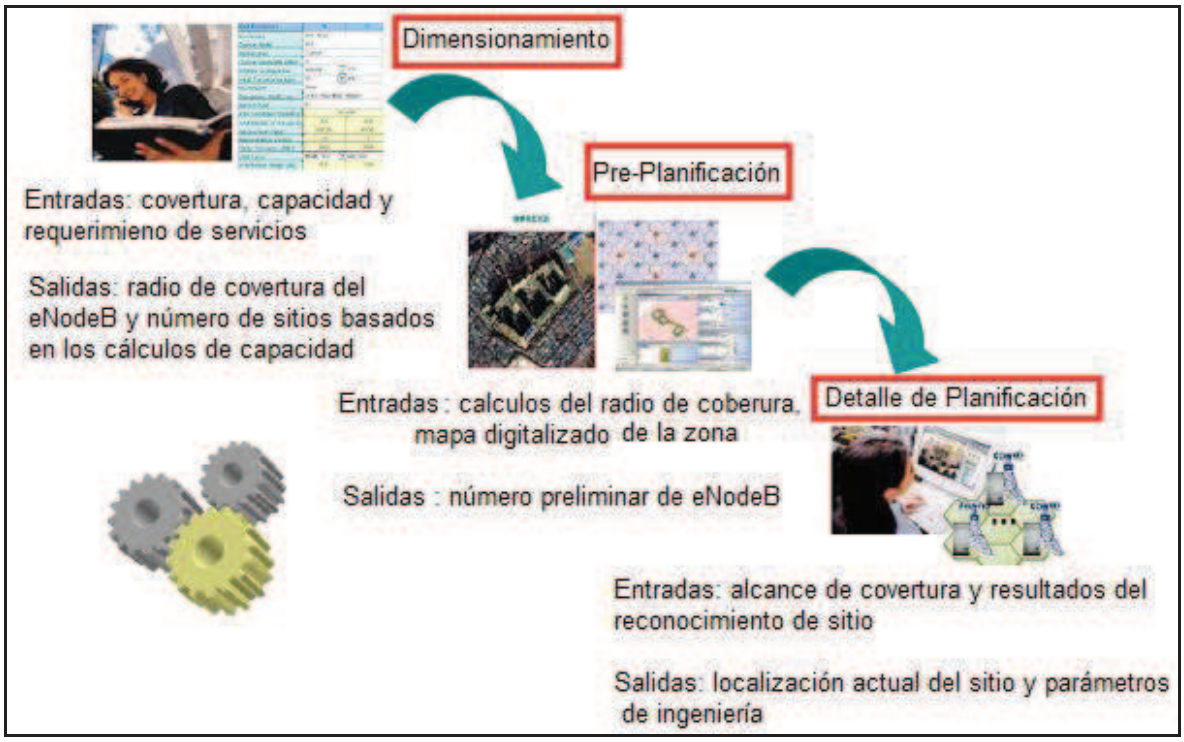


Figura 2.3 Principales pasos del proceso de planificación de Radio en la red LTE.[1]

El objetivo de dimensionamiento de red de radio es encontrar las dimensiones de la celda base. Ello depende de los niveles de recepción necesarios y de la configuración de sitio para diferentes morfologías. Los niveles de recepción requeridos se basan en el Link Budget o presupuesto de enlace. El presupuesto de enlace calcula la pérdida máxima permisible en el trayecto *(MAPL = Máximum Allowable Path Loss)* entre un transmisor y un receptor. A tomar en cuenta la morfología y las frecuencias utilizadas, un modelo de propagación tiene que ser seleccionado y sintonizado. El presupuesto del enlace y el modelo de propagación son los factores clave que determinan el tamaño de la celda.

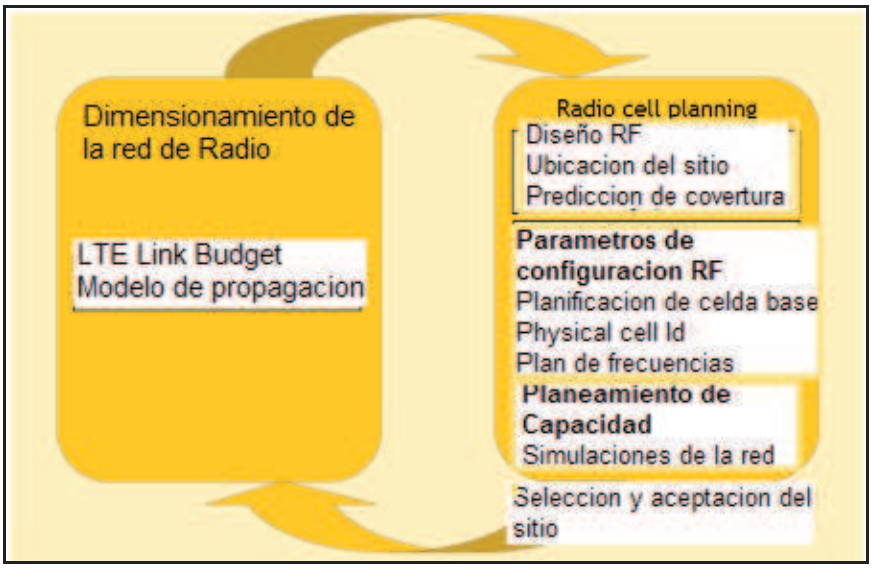


Figura 2.4 Detalle de las fases de planificación de Radio en la red LTE. [2]

Los resultados de esta fase es un recuento de la cantidad de sitios de las diferentes morfologías y áreas. Este paso proporciona el diseño inicial, que luego puede ser ajustado en la planificación de red de radio en pasos posteriores.

La planificación de Radio Celular contiene varios pasos:

- El primer paso es el diseño de RF. La salida del presupuesto de enlace se utiliza para colocar los sitios. El uso de una herramienta para la planificación de radio está previsto para revisar predicciones de cobertura y calidad, para cargas de tráfico fijas tanto para el enlace ascendente y descendente.
- El segundo paso es la configuración de los parámetros básicos de RF. Contiene la planificación de las vecindades de las celdas, las identidades físicas de celdas, la selección del sistema de reutilización de frecuencias y la asignación de frecuencias a las celdas.
- El siguiente paso es la planificación de la capacidad del interfaz de aire la cual tiene que ser planificada y verificada utilizando simulaciones. Se utilizan para modelar con mayor precisión el impacto de la distribución de tráfico y perfiles de uso de servicio. La naturaleza dinámica de las interacciones entre los usuarios se tiene en cuenta y se utiliza una distribución no uniforme del tráfico entre sitios.

[2].-Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Introduction, pág 26, Alcatel Lucen, 2010.

- Por último los sitios reales tienen que ser seleccionados. Hay una cantidad de factores que influyen en la elección para la ubicación de los sitios, como el impacto visual de las antenas, las limitaciones de espacio o edificio y las posibilidades de compartir el sitio con los sistemas de antena existentes. Las salidas de la planificación de radio celular son las ubicaciones y su configuración.
- La planificación de redes de radio es un proceso iterativo y cíclico para corregir y mejorar dimensiones de la celda, sus ubicaciones y parámetros de RF.

2.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE RADIO

2.2.1 PRESUPUESTO DE ENLACE LTE (LINK BUDGET)

El Link Budget ayuda a determinar la pérdida de trayectoria UL presente en una celda para un servicio dado, con una requerida calidad de la cobertura, en un ambiente dado, para una capacidad dada. Link Budget se utiliza con el fin de calcular el número de eNodeB para la zona analizada.

La distancia máxima entre el UE y el eNodeB define el radio de la celda, la señal transmitida se atenúa, pero debe ser recibida con la calidad suficiente para que la comunicación sea posible con un cierto nivel de calidad definido. Por lo tanto la atenuación de la señal que puede ser tolerado debe ser determinada. El cálculo del presupuesto del enlace considera todas las ganancias y pérdidas relevantes encontradas en el enlace entre el transmisor y el receptor.

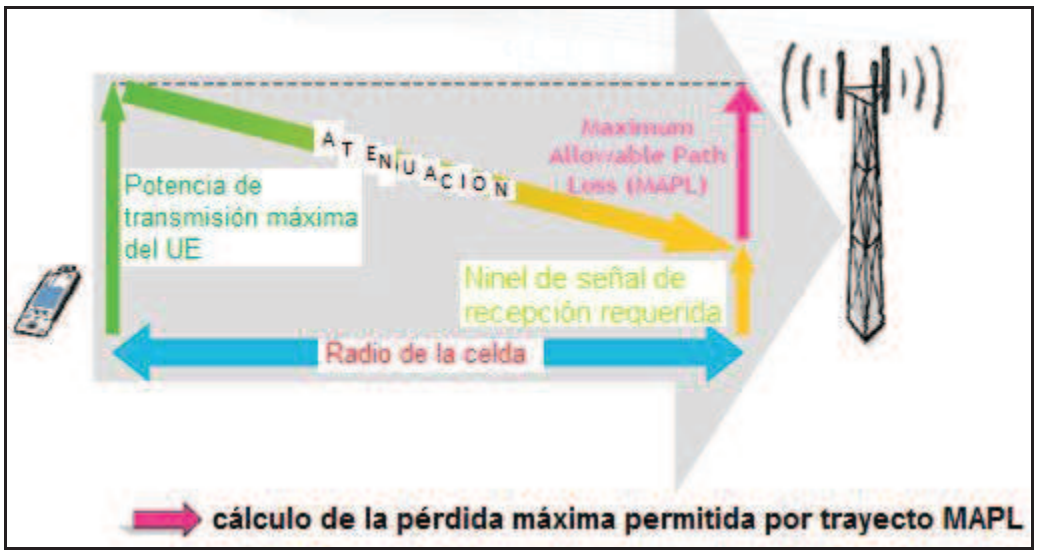


Figura 2.5 Concepto de Link Budget en la red LTE. [3]

En la figura 2.5 se presenta las variables que intervienen en el cálculo para el enlace ascendente, el enlace más crítico ya que el pico de potencia de TX del UE es mucho más pequeño que la potencia de transmisión del eNodeB. El presupuesto del enlace se calcula para un UE en el borde de la celda, que transmite con potencia máxima. Se debe calcular para cada servicio para encontrar el servicio más exigente. La salida de un presupuesto de enlace es la pérdida máxima permitida en el trayecto (MAPL). Morfologías diferentes dará lugar a diferentes distancias máximas entre transmisor y receptor.

La pérdida máxima admisible en el trayecto MAPL:

- Se inicia con la máxima potencia de transmisión UE, que depende de la clase de potencia del UE. Actualmente la máxima potencia se define con 23 dBm.
- La sensibilidad eNodeB se resta. Es el umbral en el que se recibe una señal con una calidad aceptable. Esto depende de la velocidad de datos dirigido en el borde de la celda, la calidad específica, las condiciones de radio, el medio ambiente del eNodeB, y las características del receptor. La sensibilidad del receptor del eNodeB puede ser derivada de la relación señal a ruido, para algunas condiciones ambientales dadas por radio y objetivos de calidad.
- Debido a la reutilización de frecuencia, la interferencia entre celdas tiene que ser tomada en cuenta. Por lo tanto, un margen de interferencia, se resta.
- Luego, otras pérdidas y márgenes se restan. Se trata de las pérdidas inducidas por cables, conectores y alimentadores en el receptor. La potencia recibida desde un UE dentro de una celda depende de las condiciones de shadowing (desvanecimiento) debido a obstáculos entre el UE y las antenas del eNodeB.
- Desde un punto de vista estadístico, la señal debe ser recibida con calidad suficiente, y con una probabilidad determinada. El margen de shadowing se utiliza para considerar este requisito, la probabilidad de cobertura.

[3].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Introduction, pag 26, Alcatel Lucent, 2010.

- Dependiendo del nivel de penetración en interiores, las pérdidas de penetración tienen que ser tomadas en cuenta. Esto depende de la concentración de estructuras el tipo de material y de la frecuencia.
- Dependiendo del servicio y por lo tanto el tipo de dispositivo móvil, las pérdidas pueden ser inducidas por el usuario. Este es llamado modo de perdida por cuerpo.

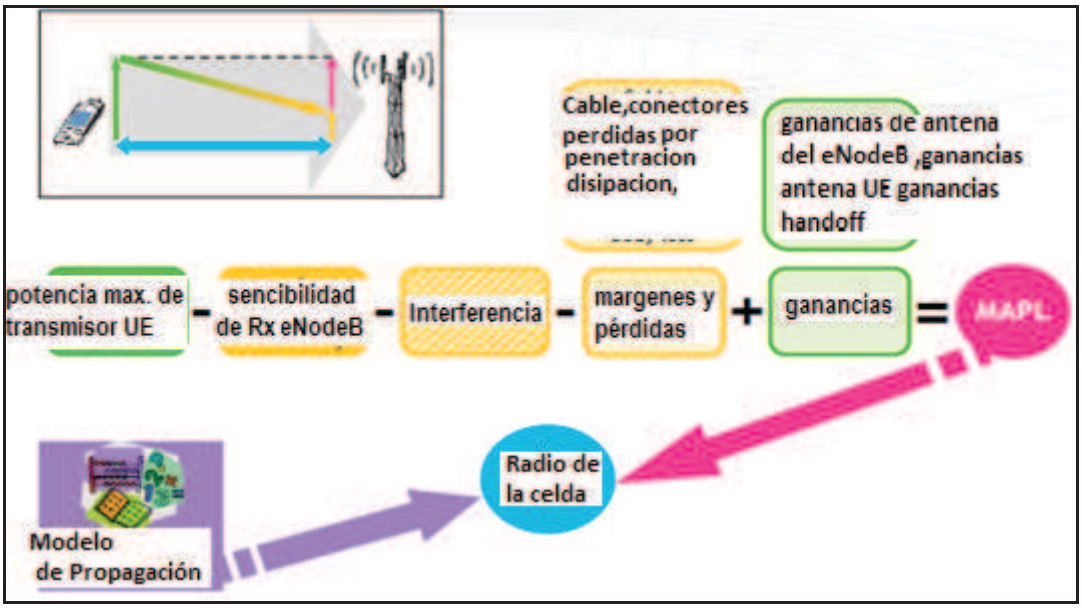


Figura 2.6 Cálculo del MAPL en el enlace Uplink Link Budget en la red LTE. [4]

- La ganancia de la antena en el eNodeB depende del fabricante. La ganancia de la antena del UE depende de la clase de potencia del UE, en la actualidad una clase de potencia se define en 0 dB de ganancia estándar. La ganancia de transferencia se usa para tener en cuenta de que un UE en el borde de la celda puede traspasar a una celda vecina con margen de shadowing más favorable y por lo tanto una pérdida de trayectoria inferior.
- Estos son algunos de los parámetros típicos que se usan para calcular la Pérdida Máxima Permisible en el trayecto. Dependiendo de los beneficios reales, situaciones adicionales y las pérdidas. Las cifras utilizadas por las ganancias y pérdidas dependen, entre otros factores, de la experiencia, los resultados de mediciones y el proveedor del equipo.

- La pérdida máxima permitida por sí sola no puede definir la distancia máxima entre el transmisor y receptor, debido a las características de propagación de radio que son diferentes en frecuencias y ambientes.
- Un modelo de propagación está diseñado para predecir el comportamiento de propagación de todas las señales similares en condiciones limitadas. Un modelo de propagación combinado con Pérdida Máxima Permisible del trayecto, predice el radio de cobertura de la celda.

2.2.1.1 Umbral del Receptor en el EnodeB

La sensibilidad eNodeB receptor es el nivel mínimo de señal requerido para alcanzar la calidad dada cuando se enfrentan sólo al ruido térmico. Se puede calcular mediante la adición de la SINR de destino y el ruido térmico.

$$\text{Sensitivity [dBm]} = \text{SINR\_Target} + \underbrace{\text{ThermalNoise}}_{\text{NoiseFigure\_eNB} + 10\cdot\log_{10}(\text{ThermalNoiseDensity}\cdot\text{NbrRB}\cdot\text{BandwidthRB})}$$

Figura 2.7 Umbral del receptor en el eNodeB en la red LTE. [4]

El parámetro SINR es la relación señal a interferencia de ruido por bloque de recursos, es lo que se requiere para alcanzar un determinado Physical Uplink Shared Channel, la velocidad de datos y la calidad. Depende del servicio y se deriva de simulaciones a nivel de enlace.

El objetivo SINR también depende de otros factores, como el rendimiento de los equipos del eNodeB, las condiciones de radio como el desvanecimiento por trayectos múltiples y la velocidad de UE, configuraciones de diversidad de la recepción y el esquema de modulación y codificación.

El ruido térmico es el nivel de ruido visto en el receptor del eNodeB en el ancho de banda requerido para alcanzar la tasa de datos asignada. La figura de ruido de eNodeB depende del proveedor. Un valor típico es 2,5 dB. La densidad de ruido térmico es un valor fijo.

[4].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Link Budget, pag 30, Alcatel Lucent, 2010.

El número de bloques de recursos que se requieren para alcanzar una determinada velocidad de datos depende del servicio. El ancho de banda de un bloque de recursos es 180 kHz. Las cifras SINR se han obtenido a partir de simulaciones del nivel de enlace que asumen condiciones ideales.
En realidad, se debe considerar una mezcla de condiciones de trayectos múltiples a través de una celda base típica, pero las peores condiciones para la evaluación de la cobertura del modelo considerado.

2.2.1.2 Margen de Interferencia IoT

Es el aumento de la interferencia más ruido térmico debido a la interferencia entre celdas adyacentes que utilizan el mismo bloque de recursos físicos al mismo tiempo entre los principales una misma frecuencia.

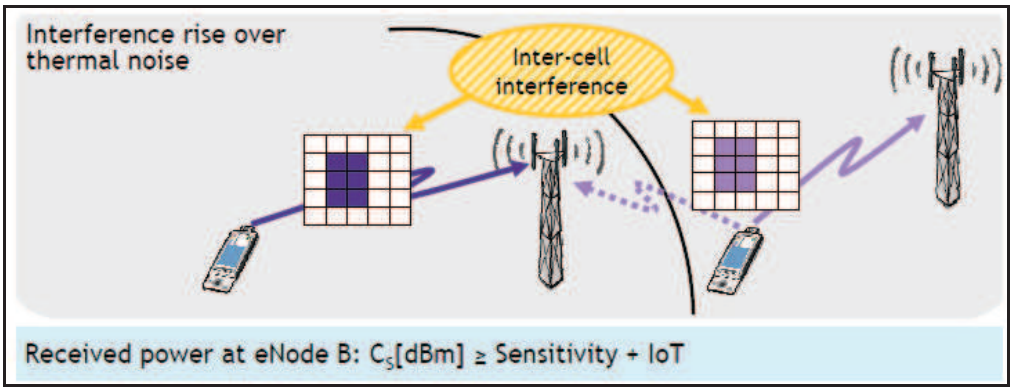


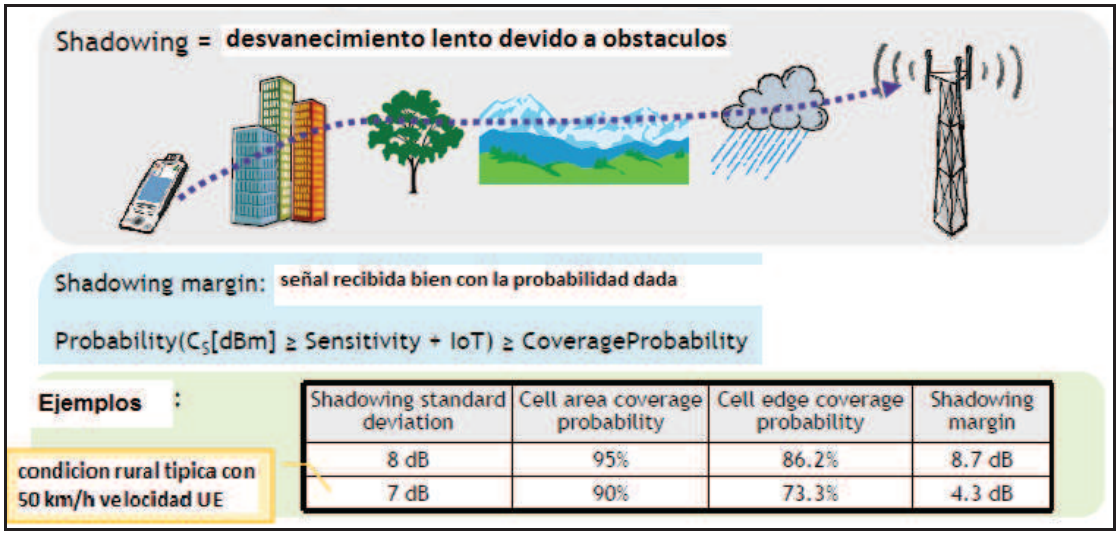
Figura 2.8 Margen de Interferencia IoT en la red LTE. [4]

Para la sensibilidad del eNodeB sólo se considera el ruido térmico. Sin embargo, en un análisis de presupuesto de enlace de interferencia real debe ser considerado también el margen de interferencia IoT. La interferencia por bloque de recurso depende de la probabilidad de que los bloques de recursos de la misma frecuencia sean utilizados simultáneamente en las celdas adyacentes. Esta probabilidad puede ser muy alta, porque LTE es probable que se implemente con reutilización de una frecuencia. Sin embargo, la interferencia puede ser afectada por la estrategia de control de potencia que se aplica, que depende de la configuración del eNodeB. La potencia recibida en el eNodeB debe ser mayor que la sensibilidad del eNodeB más el margen de interferencia.

El margen de interferencia media (IoT) depende de la velocidad de datos específica en el borde de la celda y por lo tanto de la relación SINR en el borde de la celda. Cuanto mayor sea la SINR objetivo, mayor es la IoT promedio.
Un valor típico para el margen de interferencia considerada en presupuestos de enlace LTE es 3 dB. Hay que tener en cuenta que la evaluación del margen de interferencia en LTE es totalmente diferente a la clásica relación entre la carga de la celda de enlace ascendente y el ruido que los sistemas de CDMA y W-CDMA comúnmente calculan.

2.2.1.3 Margen de Shadowing

La potencia recibida desde un UE dentro de la celda depende de las condiciones de desvanecimiento (shadowing) debido a obstáculos entre el UE y el ENodeB.
Un margen de shadowing se puede incluir en los cálculos de enlace de presupuesto. Se asegura de que la señal es recibida con una calidad suficiente con una probabilidad de cobertura dada.



Shadowing standard deviation	Cell area coverage probability	Cell edge coverage probability	Shadowing margin
8 dB	95%	86.2%	8.7 dB
7 dB	90%	73.3%	4.3 dB

Figura 2.9 Margen de Shadowing en la red LTE. [4]

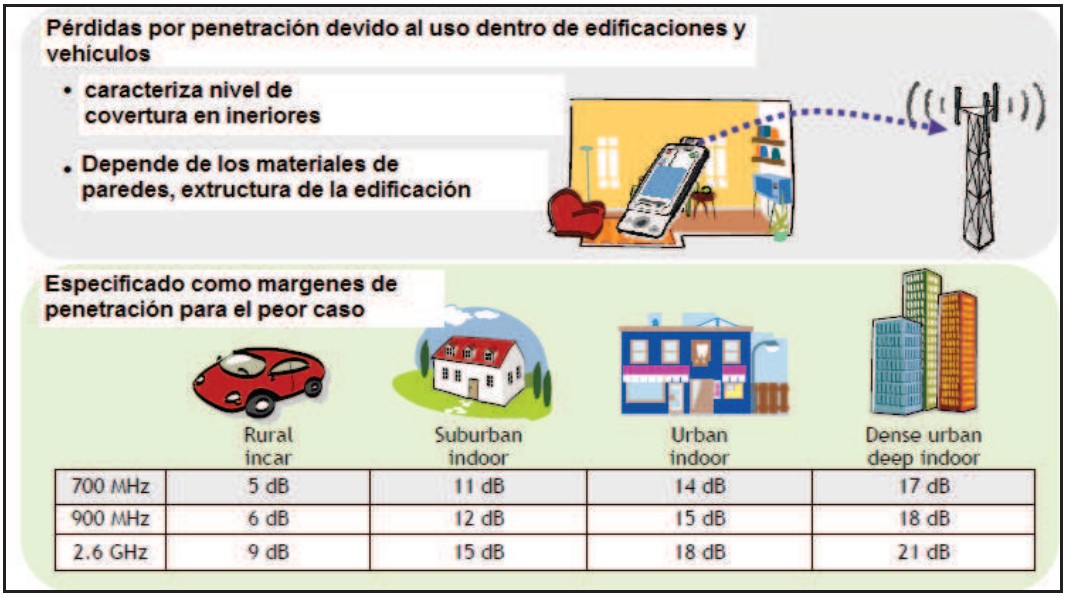
En la figura 2.9 se detallan los valores típicos de la probabilidad de área de cobertura que son de 95% en zonas urbanas densas, urbanas y suburbanas y el 90% en el medio rural, pero estos objetivos son dictados por la calidad de la cobertura del operador.
El valor puede ser modelado como una variable Gaussiana con media cero y una desviación estándar que depende del medio ambiente. Los valores típicos son

entre 5 y 10dB. La desviación estándar también refleja la incertidumbre en la predicción de la pérdida de trayectoria. Una reducción de la incertidumbre en la predicción reduce la desviación estándar y por lo tanto reduce el margen de shadowing. Las condiciones típicas de despliegue denso urbanas, urbanas y suburbanas son el 95% de la superficie celular como probabilidad de cobertura, 8 dB de desviación estándar en el shadowing y 3 km / h de velocidad UE.

Las condiciones típicas de las zonas rurales son el 90% de la superficie como probabilidad de cobertura, 7dB de desviación estándar del margen de shadowing y 50 Km/h en el UE, de velocidad. El cálculo del margen de shadowing se realiza en LTE al igual que en los sistemas de CDMA y W-CDMA.

2.2.1.4 Pérdidas de Penetración

Las pérdidas de penetración caracterizan el nivel de cobertura en interiores.



	Rural incar	Suburban indoor	Urban indoor	Dense urban deep indoor
700 MHz	5 dB	11 dB	14 dB	17 dB
900 MHz	6 dB	12 dB	15 dB	18 dB
2.6 GHz	9 dB	15 dB	18 dB	21 dB

Figura 2.10 Pérdidas por penetración en la red LTE. [4]

Las pérdidas de penetración se pueden especificar como una pérdida por penetración media con desviación estándar o si fuera el peor de los casos solo margen de penetración. El último se recomienda más. En la figura 2.10 se presentan algunos ejemplos de márgenes de penetración a 700 MHz, 900 MHz y 2,6 GHz.

2.2.1.5 Pérdidas por Cuerpo

La pérdida por cuerpo depende del diseño del dispositivo móvil, su antena y de la distancia entre el usuario y el dispositivo móvil. Sin embargo, también puede variar considerablemente de un usuario a otro.

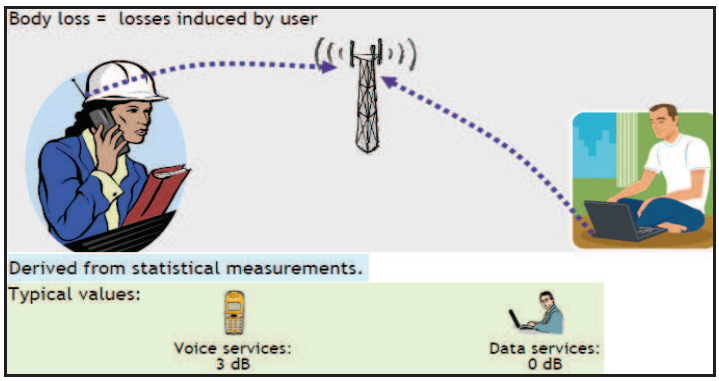
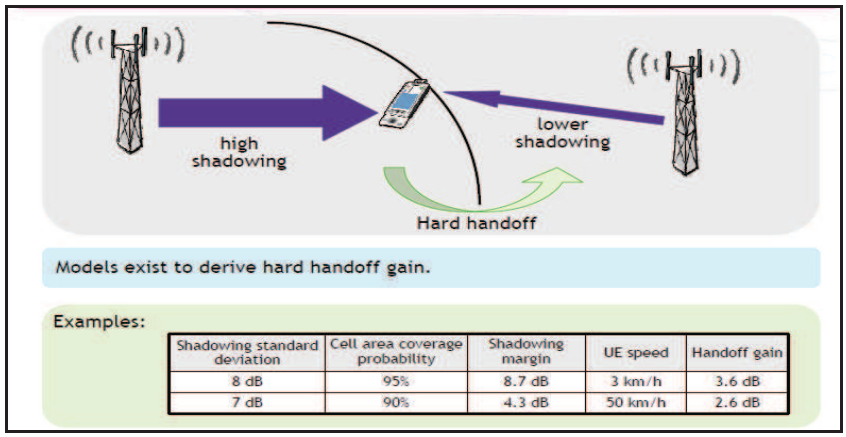


Figura 2.11 Pérdidas por cuerpo en el UE. [4]

La presencia del usuario reduce la potencia transmitida o recibida por un dispositivo móvil, ya que el cuerpo humano absorbe las ondas de radio. La relación de la potencia con y sin que el usuario intervenga, se llama pérdida por cuerpo.

Las pérdidas del cuerpo se derivan de mediciones estadísticas para varios usuarios en la propagación realista de ambientes. Para los servicios de voz por lo general se tiene una pérdida de 3 dB. Para los servicios de datos se considera típicamente 0 dB, porque aquí la posición del dispositivo móvil está lejos de la cabeza.

2.2.1.6 Ganancia de Handoff

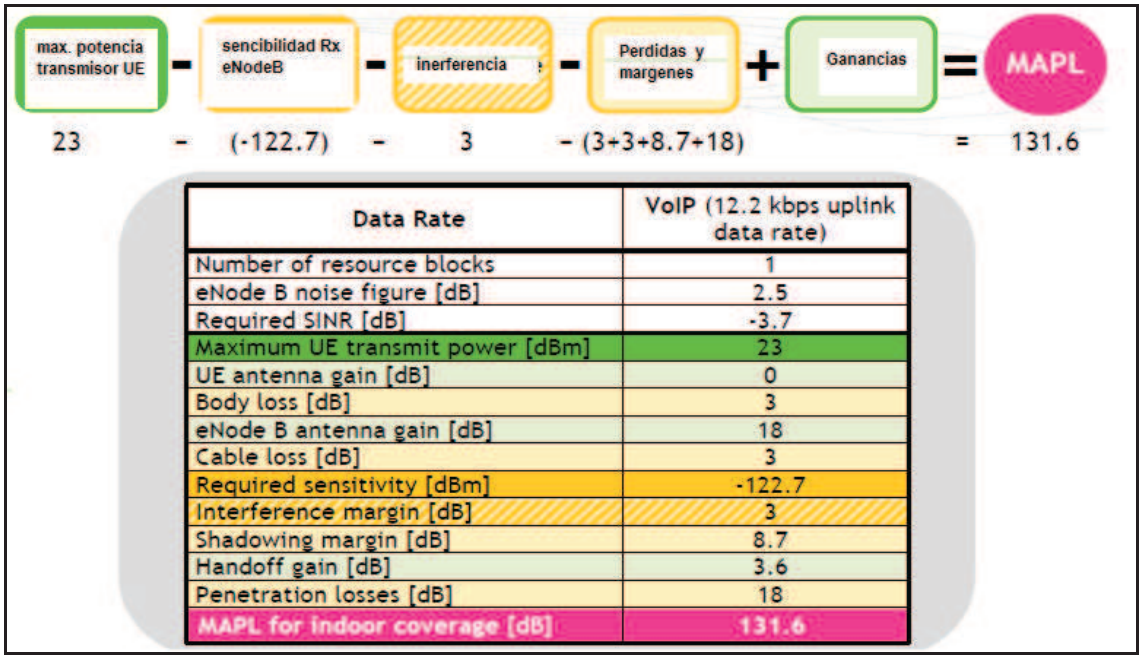


Shadowing standard deviation	Cell area coverage probability	Shadowing margin	UE speed	Handoff gain
8 dB	95%	8.7 dB	3 km/h	3.6 dB
7 dB	90%	4.3 dB	50 km/h	2.6 dB

Figura 2.12 Ganancia de Handoff. [4]

Un margen de shadowing ya ha sido considerado en el presupuesto de enlace. Sin embargo, se debería considerar varias celdas, debido a un UE en el borde de la celda y debido al traspaso a una celda vecina con margen de shadowing favorable y por lo tanto una pérdida de trayectoria inferior. En LTE no existe ninguna funcionalidad soft-handoff como en CDMA y sistemas W-CDMA.

En la figura 2.13, se muestran algunos valores típicos como ejemplo de cálculo para ambiente urbano y denso urbano de usuario.



Data Rate	VoIP (12.2 kbps uplink data rate)
Number of resource blocks	1
eNode B noise figure [dB]	2.5
Required SINR [dB]	-3.7
Maximum UE transmit power [dBm]	23
UE antenna gain [dB]	0
Body loss [dB]	3
eNode B antenna gain [dB]	18
Cable loss [dB]	3
Required sensitivity [dBm]	-122.7
Interference margin [dB]	3
Shadowing margin [dB]	8.7
Handoff gain [dB]	3.6
Penetration losses [dB]	18
MAPL for indoor coverage [dB]	131.6

Figura 2.13 Ejemplo de cálculo para ambiente urbano. [4]

En la figura 2.13 vamos a calcular el presupuesto del enlace para ver un ejemplo. Se trata de un servicio VoIP en un entorno urbano con la máxima velocidad UE. El UE transmite a una potencia máxima de 23 dBm.

La sensibilidad eNodeB se resta, que es -122,7 dBm. Después de un margen de interferencia de 3 dB. Luego se restan las pérdidas adicionales. Como la pérdida de cuerpo se considera 3 dB, debido a que es un servicio de VoIP. Además la pérdida de cable, conector y alimentador 3 dB. En cuanto al margen shadowing 8,7 dB. El margen de penetración se establece en 18 dB para el medio ambiente urbano.Finalmente se añaden las ganancias. La ganancia de la antena UE es 0 dB, la ganancia de la antena eNodeB es 3 dB y se asume la ganancia handoff de 3,6 dB. Esto lleva a una pérdida en el trayecto máximo permitido de 131,6 dB para este ejemplo.

2.2.1.7 Modelo de Propagación

La razón por la cual se realiza un presupuesto de enlace es para saber a qué distancia el transmisor y el receptor pueden estar ubicados. Como se ha verificado antes, la pérdida máxima permitida en el trayecto por sí sola no puede definir el radio de la celda, ya que también se necesita un modelo de propagación. Un modelo de propagación es una fórmula empírica matemática que caracteriza la propagación de ondas de radio que predice la pérdida de trayecto entre dos puntos, teniendo en cuenta su distancia. Otros factores importantes son, el tipo de terreno (Clutter), la frecuencia, la distancia entre eNodeB y UE y las alturas de antena. Existen diferentes modelos de propagación, dependiendo de la gama de frecuencias. Por ejemplo: Okumura-Hata, Hata COST-231 y Hata COST-231 modificado.

Para mejorar la eficiencia en el cálculo, los modelos de propagación tienen que estar sintonizados con el tipo de terreno específico, frecuencias, distancias y alturas. Estos contienen diversas variables que pueden ser ajustadas para adaptarse al medio ambiente local. Para la puesta a punto del modelo de propagación, se realiza un proceso iterativo donde la predicción de resultados se compara con los datos recogidos en la demanda del mercado. Entonces las variables se ajustan para obtener los resultados más cerca de lo proyectado. Se debe tener en cuenta el servicio más exigente con la más baja MAPL (Pérdida Máxima Permisible del trayecto), y el modelo de propagación que se puede utilizar para determinar el radio de la celda.

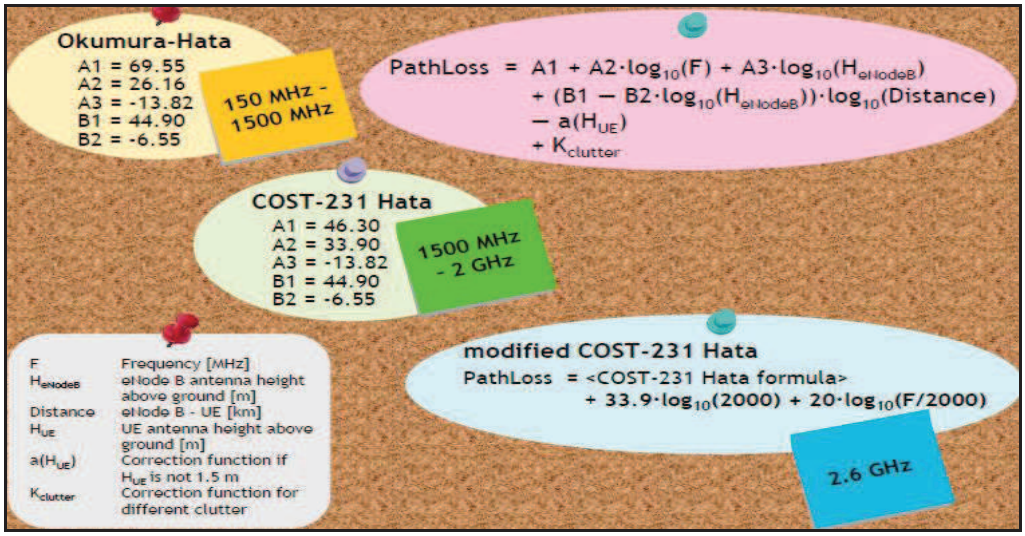


Figura 2.14 Modelos de propagación Okumara Hata. [5]

Descripción de los Modelos de Hata:

De la figura 2.14: Los Modelos de Propagación Okumura Hata y Cost Hata, tienen la fórmula básica que contiene la frecuencia, la altura de la antena del eNodeB y la distancia entre eNodeB y UE. Las constantes A1, A2, A3, B1 y B2 dependen de la frecuencia y los valores que deben ser definidos por el usuario.

Los modelos Hata son válidos para una altura de antena de 1,5m del UE, de lo contrario, con alturas de usuario diferente debe añadirse un factor de corrección. Los modelos Hata, en general, se adaptan bien a las regiones urbanas planas, pero puede ser ampliado a una variedad de terrenos pero debe añadirse una función de corrección. El modelo Okumura-Hata es adecuado para una gama de frecuencias entre 150MHz y 1500MHz .El modelo COST-231 Hata se puede utilizar para el intervalo de 1500MHz a 2GHz, la diferencia con el modelo Okumura-Hata está en las constantes A1 y A2. El modelo COST-231 Hata modificado puede ser utilizado para frecuencias superiores a 2 GHz. Este modelo, utiliza los mismos valores típicos para las constantes, además de un factor de corrección adicional para frecuencias superiores a 2 GHz.

2.2.1.8 Impacto del Uso de RRH y TMA

El presupuesto del enlace se puede mejorar con 2 tipos diferentes de equipo, una Cabeza de Radio Remota (RRH) y un Amplificador montado en torre (TMA).

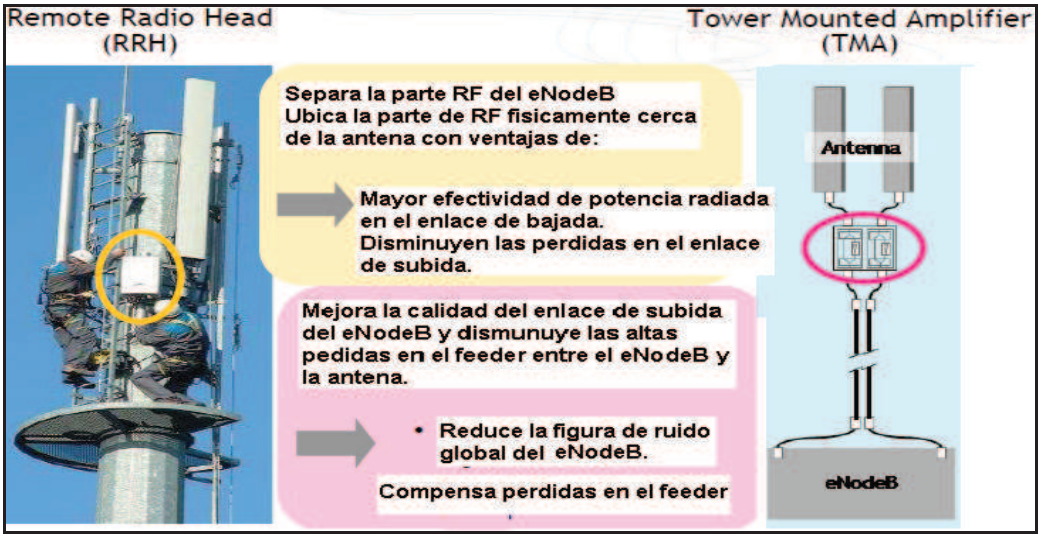


Figura 2.15 Impacto del uso de RRH y TMA. [5]

[5].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Propagation Model pag 41, Alcatel Lucent , 2010.

Una cabeza de radio remota se utiliza para separar la parte de radiofrecuencia de la banda base del eNodeB y ubicarlo físicamente cerca de la antena. Esto resulta en pérdidas inferiores de alimentación entre eNodeB y la antena, y por lo tanto en menores pérdidas en el enlace ascendente y una potencia radiada efectiva mejor en el enlace descendente. Dependiendo de donde la cabeza de radio remota se encuentra respecto a la antena, son menores las pérdidas que deben ser consideradas en el presupuesto del enlace ascendente.

El amplificador montado en torre también se le llama amplificador de mástil o torre superior del amplificador de bajo ruido. Se utiliza para mejorar la cobertura de enlace ascendente de eNodeB con pérdidas del alimentador entre la parte de RF y la antena del eNodeB. Esto permite minimizar el número requerido de sitios en el caso de cobertura limitada de escenarios. También permite maximizar la reutilización de las frecuencias de los sitios 2G, 3G al tiempo que ofrece mayores velocidades de datos que en 2G o 3G. Su impacto en el presupuesto del enlace es una cifra ligeramente menor que el ruido global y una compensación para el alimentador reflejada en una reducción de pérdidas.

2.2.1.8.1 Características del Equipo

El RRH (RADIO REMOTE HEAD) es el equipo, llamada cabeza remota de radio, el cual permite la reubicación de la parte de radio de la estación base a una más adaptada ubicación, ya que puede eliminar las principales pérdidas dentro de la cadena de Tx/Rx para las antenas.

Ventajas:

- Eficiente para cubrir las zonas cubiertas o al aire libre.
- Implementación más rápida y más barata, con menos pérdidas de alimentación en las guías de onda, cable coaxial y tarjetas.
- Distancia máxima del enlace de la fibra mono-modo es de hasta 10 km entre RRH y tarjetas de banda base digitales. Esto permite una gran flexibilidad en el posicionamiento de RRH, la separación para multimodal es factible, hasta 300 metros o 500 metros, según el proveedor.

[6].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 13, Alcatel Lucent 2012

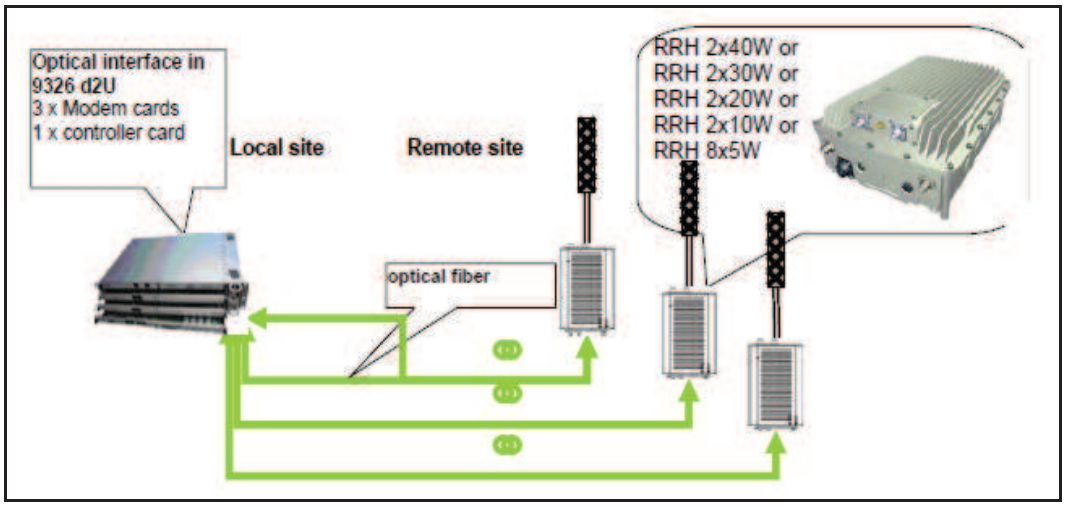


Figura 2.16 Descripción de la configuración d2U + RRH. [6]

Por bandas de frecuencia, se tienen los siguientes equipos:

Bandas de frecuencia	**RRH Potencia**	**Ancho de Banda soportado**	**Figura de Ruido**	**Versión**
2600MHz (3GPP banda 7)	2x40W	Hasta 20MHz	2dB	MB-RRH 2x40W ,Rx disponibilidad LA7.0 en 2013, Apoyo de d2u
1900MHz (3GPP banda 2)	4x40W	Hasta 25MHz	2.1dB	RRH 4x40W armario electrico Sprint soportado hasta RRH 2x60W,LA6.0 2012
850MHz (3GPP banda 5)	2x60W	Hasta 20MHz	2.1dB	RRH 2x60W, LA6.0 2012
800MHZ (3GPP bandas 20 y 26)	banda 20: 2x40W banda 26: 2x40W	Hasta 20MHz en cada banda	banda 20 : 2.1dB banda 26: 2.0dB	RRH banda 26 LA7.0 en 2013
700MHz (3GPP bandas 12,13,14 y 17)	2x40W	Hasta 15MHz en bandas bajas 20MHz para la banda de 700MHz	2.5dB	700MHz para la seguridad piblica 3GPP banda 14

Tabla 2.1 Caracteristicas del RRH por Banda de Frecuencia

2.3 HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN DE RADIO Y SU APLICACIÓN AL DISEÑO

- **Introducción a la Herramienta ATOLL V3.1(FORSK)**

En este proyecto se realizará el manejo y uso de la herramienta de planificación de redes de Radio Inalámbricas ATOLL V3.1, este programa consta de 3 partes principales:

- Plataforma Core o Funcionalidades Comunes de la radio base
- Plataformas integradas por tecnología inalámbrica (GSM/CDMA/WCDMA-UMTS FDD/ TD-SCDMA UMTS TDD/ WIMAX 802.16B-802.16D, y LTE)
- Módulo de planificación y optimización automática de redes (ACP).

Esta herramienta es capaz de usar datos digitales con exactitud y resolución de 20m, 10m, 5m en lo que respecta a mapas digitales de; terreno, clutter, vectoriales de calles o rutas y usando varias interfaces para convertirlo sea en extensión para MAPINFO, ARGIS, GLOBAL MAPPER, etc; además tiene una gran variedad de modelos de propagación para la aplicación en la banda de frecuencia a elegirse. De esta herramienta se obtienen resultados tanto matemáticos como gráficos.

En los cálculos matemáticos, se obtienen potencias de señal en la radio base y del usuario, además pueden sacar cálculos de pérdidas en el espacio libre, línea de vista entre 2 o varios puntos, perfil topográfico axial, vista 3D, valores de PIRE, verificaciones de vecindades y niveles de recepción.

En los resultados gráficos, se pueden obtener plots de predicciones de cobertura con cada tecnología, para potencias de señal, niveles de recepción, predicciones de calidad de señal, calidad de servicio, interferencias, velocidades de transmisión, throughput, relación señal a ruido SINR, C/N, mejores servidores, sobrelapamiento de señales por Handover, bifurcaciones de las vecindades establecidas, y finalmente simulaciones de tráfico estáticas y por muestreo.

Dentro de los módulos o plataformas especiales se tienen al ACP, que trata de la planificación automática de celdas en varias tecnologías inalámbricas, esto nos permite diseñar desde un determinado proyecto mediante datos de entrada iniciales establecidos y obtener un resultado sobre la cantidad de sitios requeridos, por cobertura o capacidad, y optimizando tiempo cuando se diseña una red desde cero, es decir, redes tipo Greenfield.

2.3.1 INGRESO DE DATOS DE ENTRADA

La planificación de red de radio es una tarea compleja iterativa y por lo tanto generalmente una herramienta de planificación de red de radio es más efectiva.

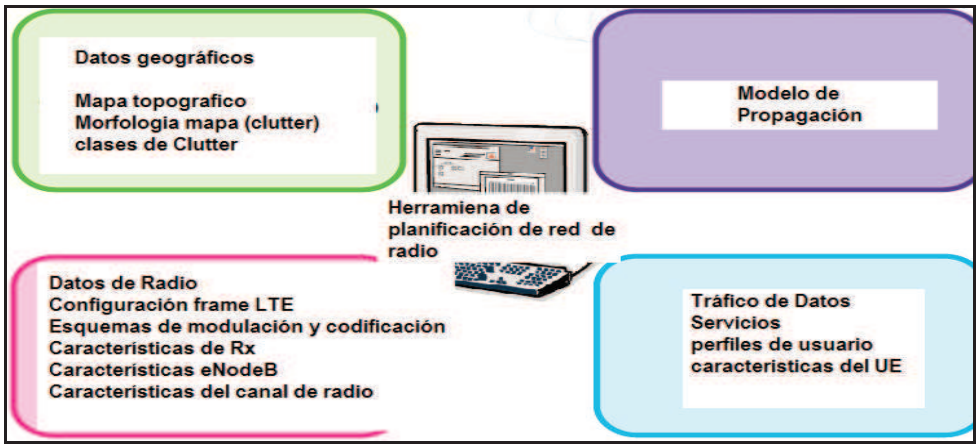


Figura 2.17 Datos de entrada en la herramienta ATOLL. [7]

La intención es tener una idea de cómo los datos se estructuran en la herramienta y cómo se presenta la salida, para proyectarlos en la realidad.

Datos de entrada necesarios para la herramienta de planificación de la red de radio.

- Los primeros datos geográficos que se necesita son mapas digitales con datos topográficos como alturas del terreno y datos morfológicos con los tipos de terreno (clutter).
- El mapa topográfico y el mapa morfo-gráfico deben tener la misma resolución que es típicamente 20 metros para las zonas de la ciudad y 50 metros de las zonas rurales. Para más exactitud de edificios, hay bases de datos adicionales y bases de datos de carreteras que pueden ser utilizados. También información adicional acerca de las clases de clutter que se define como la desviación estándar que se utiliza para calcular las pérdidas por shadowing.
- En segundo lugar, debe ser elegido un modelo de propagación de Cost-Hata y los valores de las constantes que deben ser ajustados.

[7].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool, pag 44, Alcatel Lucent, 2010.

- A continuación, los datos de radio que son necesarios. Esto incluye la configuración de la trama LTE con el tipo de prefijo cíclico. Se debe definir la modulación y esquemas de codificación que están disponibles y detalles sobre la recepción, características de las celdas y los UE.
- Finalmente deben ser dadas las características del eNodeB y el canal de radio, como la frecuencia y el ancho de banda que se utilizan. Los datos sobre el tráfico. Estos son los servicios que están disponibles en la red, perfiles de usuario que definen cómo se utilizan los servicios y las características de los UEs.

2.3.2 DATOS GEOGRÁFICOS, CLASES DE CLUTTER

Una clase de clutter describe la morfología de un cierto tipo de terreno y tiene un nombre descriptivo. Para cada clase de morfología se utiliza cálculos de las pérdidas por shadowing relacionando con una probabilidad de cobertura celular en el borde de la celda y la desviación estándar especifica. Para las pérdidas de cobertura interior se aplican a la pérdida de trayectoria.

Name	Standard Deviation (dB)	Indoor Loss (dB)	SU-MIMO Gain Factor (dB)	Additional Transmit Diversity Gain (dB)	Additional Receive Diversity Gain (dB)
open	6	0	0.2	3	3
inlandwater	8	0	0.2	3	3
residential	8	6	0.7	3	3
meanurban	8.5	9	0.9	3	3
denseurban	9	12	1	3	3
buildings	10	9	1	3	3
village	9	3	0.2	3	3
industiral	9	6	0.5	3	3
openurban	9	0	0.7	3	3
forest	8	3	0.8	3	3
parks	8	3	0.8	3	3

Figura 2.18 Datos geográficos, clases de clutter, desviación estándar, pérdidas y ganancias. [7]

El Single-User-MIMO, y su factor de ganancia define la ganancia de un solo usuario MIMO que se puede lograr para una clase de morfología. Se relaciona con la ganancia máxima de usuario utilizando MIMO que es posible para un tipo

de UE. Las ganancias de diversidad adicional se pueden lograr para una clase de clutter, si la diversidad de TX/RX es compatible por el UE y el eNodeB.

2.3.3 DATOS DE RADIO, TRAMA LTE

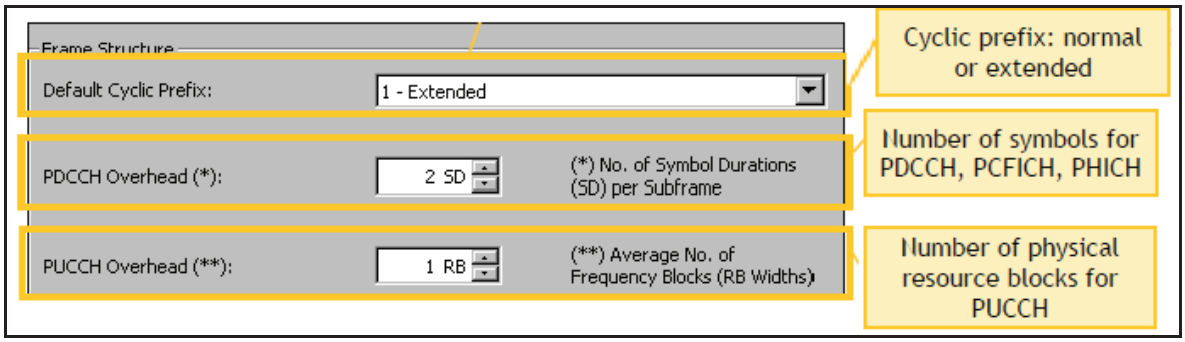


Figura 2.19 Datos de radio, Estructura de la trama LTE. [8]

El marco de LTE contiene parámetros globales que son comunes a todas las celdas en la red. El prefijo cíclico predeterminado normal o extendido puede ser seleccionado. La información de control de enlace descendente que es PDCCH, PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) y PHICH (Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel) puede tener hasta 3 símbolos en cada sub-trama. El número de símbolos de señalización depende de las necesidades que se tenga.

2.3.4 DATOS DE RADIO, BEARER LTE

El portador (Bearer) LTE define la modulación y esquemas de codificación que se puede utilizar. Su nombre describe la modulación como 16QAM, 64QAM o QPSK y la tasa de codificación que se utilizan.

- La tasa de codificación exacta se da en el tipo de codificación de canal.
- El índice de radio Bearer se utiliza para identificar el portador en otras tablas.
- La eficiencia del Bearer contiene el número de bits útiles que se pueden tener en un solo símbolo, como resultado del esquema de modulación y codificación.

[8].-Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Too - Radio Data Frame LTE, pag 47, Alcatel Lucent , 2010.

2.3.5 DATOS DE RADIO, EQUIPAMIENTO LTE

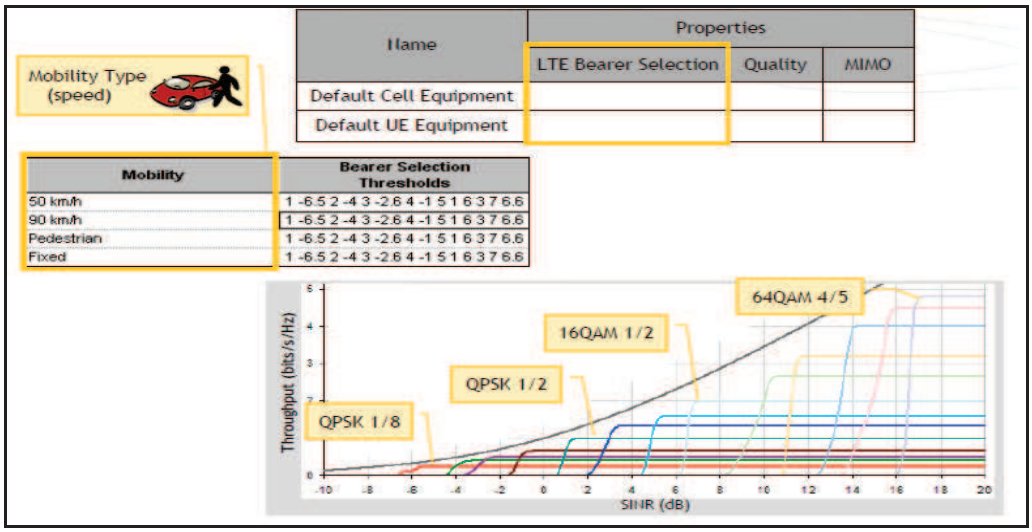


Figura 2.20 Datos de radio, Equipos usados para LTE. [9]

En la selección de portador LTE debe ser definido la SINR en el que un portador tiene un umbral determinado y por lo tanto un esquema de modulación y codificación que deben ser usados. Los requisitos SINR para los portadores de radio diferentes dependen principalmente de la velocidad del UE, ya que un UE al tener una alta velocidad de datos experimenta una mayor atenuación a lo largo del trayecto.

En la figura 2.20 cada portadora se muestra en otro color que para cada portador hay un umbral SINR en que el uso de este portador conduce a un mayor rendimiento en comparación con el portador anterior.

En otras palabras una conexión LTE se puede establecer incluso en condiciones de radio muy malas.

[9].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Radio LTE equipment, pag 49, Alcatel Lucent , 2010.

2.3.6 DATOS DE RADIO, TRANSMISORES LTE

Un transmisor es el equipo de radio de un eNodeB que usa antenas y equipos opcionales, como amplificadores montados en la torre.

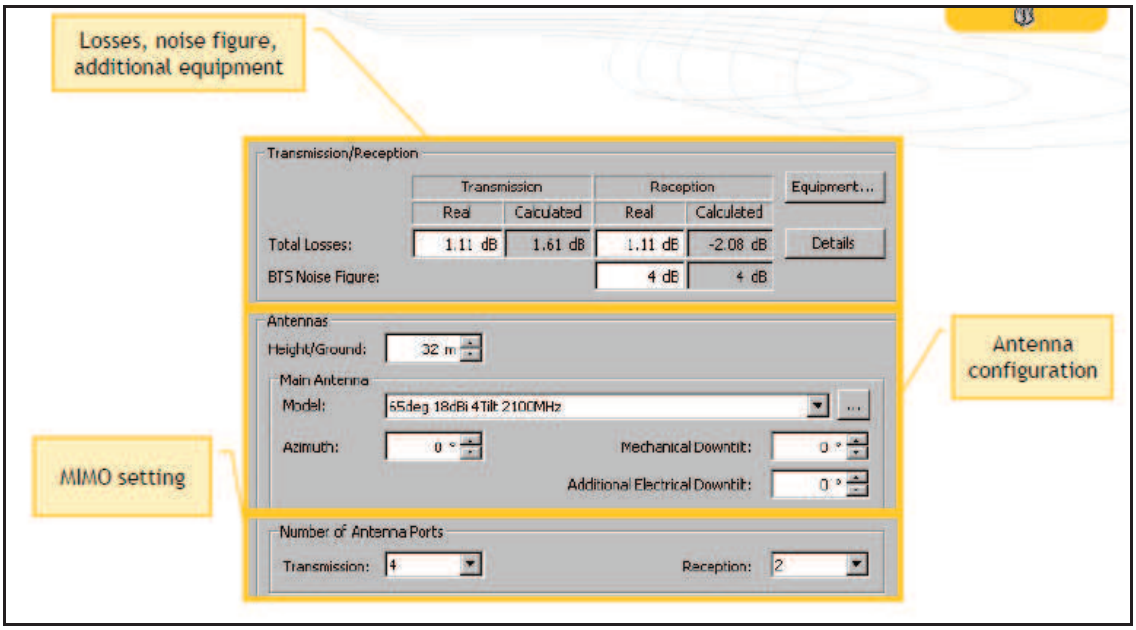


Figura 2.21 Datos de radio, Características de los Transmisores para LTE. [10]

En la primera parte se definen las pérdidas del eNodeB y su factor de ruido. La sección siguiente contiene la configuración de la antena como el tipo de antena, su altura por encima del suelo, su azimut y la inclinación hacia abajo mecánica y eléctrica.

Por último, se puede seleccionar el número de puertos de la antena que se utilizan para usar técnicas MIMO para la transmisión y recepción.

[10].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Transmiters, pag 52, Alcatel Lucent, 2010.

2.3.7 DATOS DE RADIO, CELDAS LTE

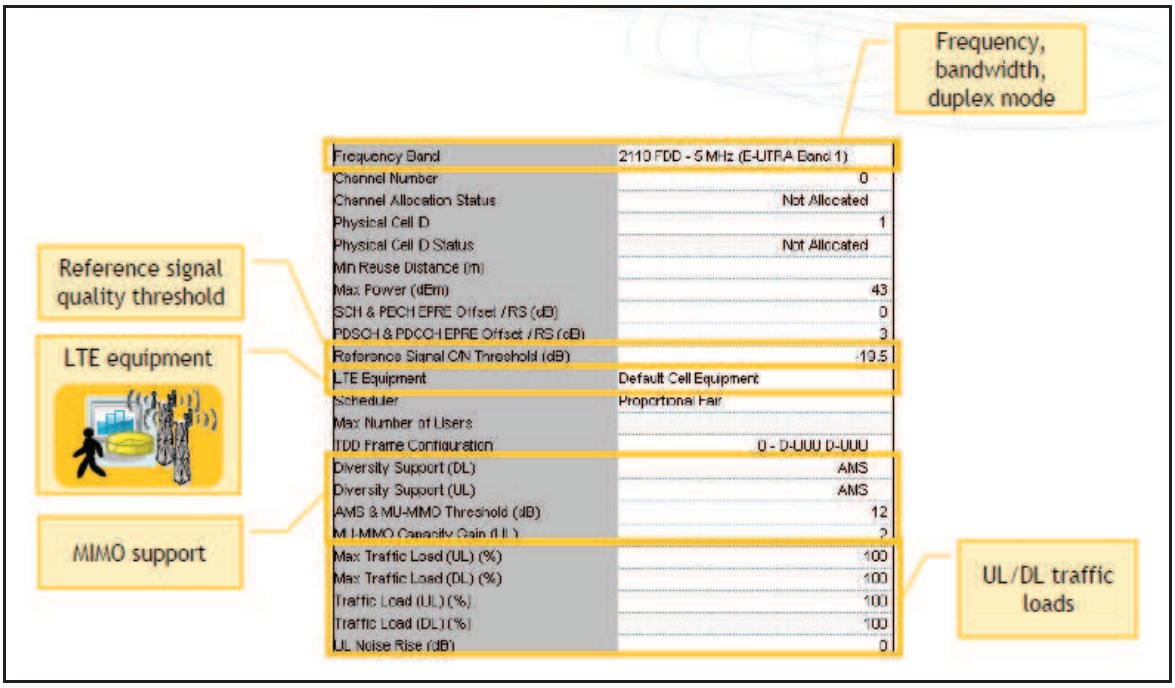


Figura 2.22 Datos de radio, características de las Celdas LTE. [11]

Una celda define un canal de RF (radio frecuencia) de un transmisor con todas sus características.

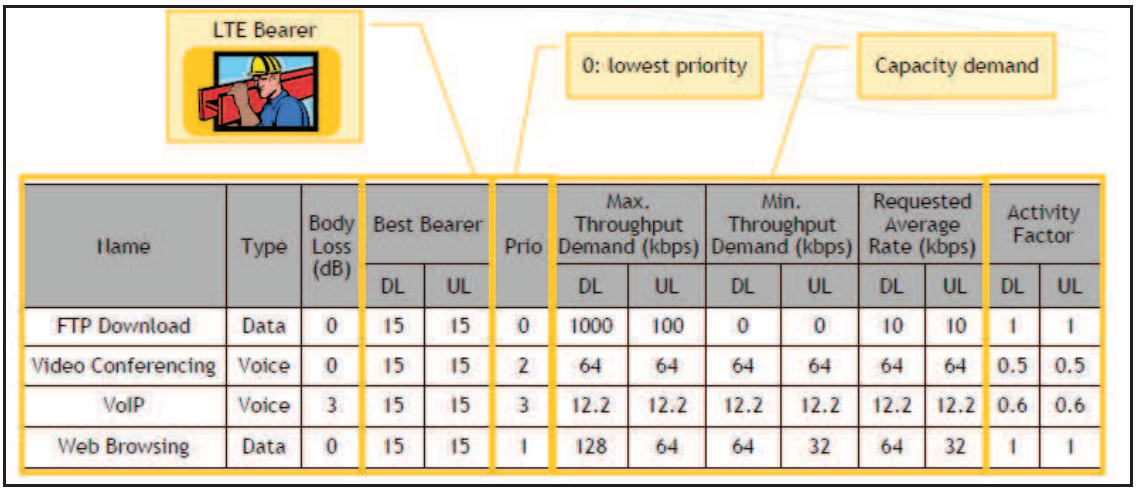
Los parámetros más importantes son:

- La banda de frecuencia define la frecuencia, el ancho de banda y el modo dúplex que se utiliza. En el ejemplo de la figura 2.22 se usa un canal de 5 MHz en el modo FDD, a partir del enlace descendente a 2110 MHz.
- El umbral de la señal de referencia define la mínima señal de referencia de señal-a-ruido requerida para que un usuario se conecte a la celda. Esta se utiliza para definir el límite de la cobertura celular.
- También puede ser definido el equipo LTE, que se utilizará. En el ejemplo, es el equipamiento de la celda por default. Se utiliza para seleccionar el esquema de modulación y codificación y para obtener los indicadores de calidad y las ganancias MIMO.

[11].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Cells, pag 53, Alcatel Lucent, 2010.

- La Ganancia de Diversidad contiene el tipo de esquema MIMO, que es proporcionado por la celda en el enlace ascendente y enlace descendente. Ejemplos de ello son la diversidad de transmisión, de un solo usuario MIMO, multi-usuario MIMO y MIMO adaptativo con conmutación AMS. El AMS y el Umbral multiusuario MIMO" definen cuándo usar esquemas MIMO.
- Finalmente se pueden definir las cargas de tráfico para uplink y downlink. Esos valores pueden tomarse en cuenta durante las predicciones de cobertura y las simulaciones de red. El Noise Rise en UL es la medida para la interferencia en el UL debido a los UEs de alrededor.

2.3.8 DATOS DE TRÁFICO, SERVICIOS EN LTE



Name	Type	Body Loss (dB)	Best Bearer		Prio	Max. Throughput Demand (kbps)		Min. Throughput Demand (kbps)		Requested Average Rate (kbps)		Activity Factor	
			DL	UL		DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
FTP Download	Data	0	15	15	0	1000	100	0	0	10	10	1	1
Video Conferencing	Voice	0	15	15	2	64	64	64	64	64	64	0.5	0.5
VoIP	Voice	3	15	15	3	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	0.6	0.6
Web Browsing	Data	0	15	15	1	128	64	64	32	64	32	1	1

Figura 2.23 Datos de tráfico, parámetros en UL/DL de servicio en la red LTE. [12]

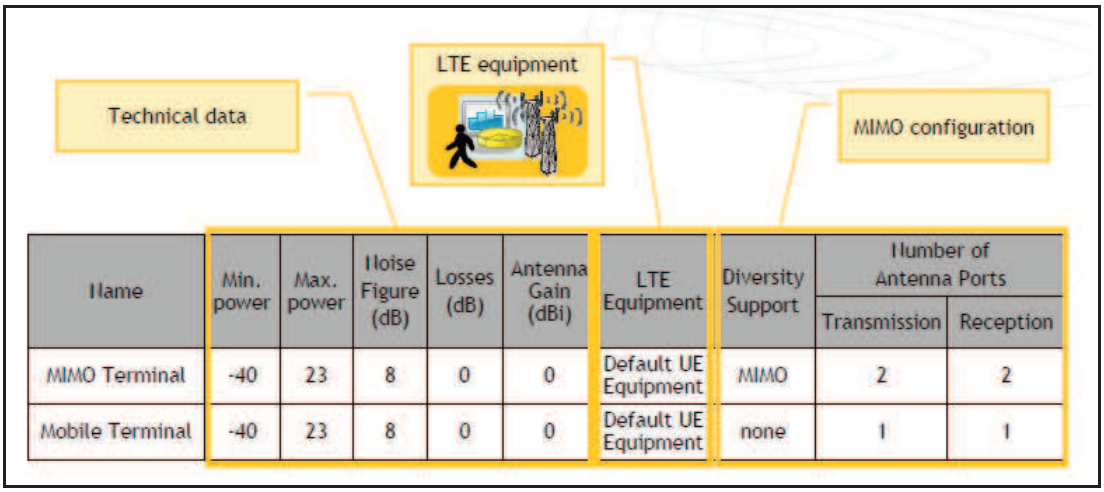
Para modelar el tráfico en la red se debe ingresar una lista de servicios que se necesita que estén disponibles para los usuarios. Cada servicio tiene un nombre descriptivo y un tipo que especifica si se trata de voz o un servicio de datos. Cada servicio tiene también una pérdida específica de cuerpo. Por ejemplo, en una conexión de voz pura la pérdida por cuerpo se estima en 3 dB, debido a la proximidad del UE y de la cabeza del usuario.

[12].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Services, pag 54, Alcatel Lucent, 2010.

El mejor Bearer (portador) LTE define el mayor esquema de modulación y de codificación que puede ser utilizado para el servicio en el enlace ascendente y el enlace descendente. Cada servicio tiene una prioridad en la que '0' es la prioridad más baja. Un servicio con una prioridad más alta obtiene recursos antes que un servicio con una prioridad más baja. Las demandas de capacidad de un servicio se define por el mayor rendimiento que puede exigir, una tasa mínima que se requiere para que el servicio esté disponible y la tasa de datos media requerida se cumpla. Estas demandas de capacidad se definen por separado para el enlace descendente y el enlace ascendente.

El enlace ascendente y descendente tiene factores de actividad definidos cómo la ocupación de servicio para una conexión. Por ejemplo, el factor de actividad de 0,6 para VoIP en el enlace ascendente significa que el 60% de las veces el usuario está hablando. El restante 40% es el momento en que escucha. Los perfiles de usuario son diferentes para los distintos operadores en diferentes países, por lo que no pueden ser valores típicos estándar predefinidos.

2.3.9 DATOS DE TRÁFICO, TERMINAL EN LTE



Name	Min. power	Max. power	Noise Figure (dB)	Losses (dB)	Antenna Gain (dBi)	LTE Equipment	Diversity Support	Number of Antenna Ports	
								Transmission	Reception
MIMO Terminal	-40	23	8	0	0	Default UE Equipment	MIMO	2	2
Mobile Terminal	-40	23	8	0	0	Default UE Equipment	none	1	1

Figura 2.24 Datos de tráfico, parámetros técnicos, de equipo y configuración MIMO en el terminal de usuario de LTE. [13]

[13].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – LTE Terminal UE, pág 55, Alcatel Lucent, 2010

Un terminal es el equipo de usuario que se utiliza en la red. Ejemplos son un teléfono móvil, un ordenador portátil etc. Para los terminales de datos cada uno tiene técnicas para el control de potencia, además son definidas las ganancias y pérdidas. Por último se define qué tipo de diversidad es soportado por el terminal y el número de puertos de antena disponibles.

2.3.10 DATOS DE TRÁFICO, PERFIL DE USUARIO EN LTE

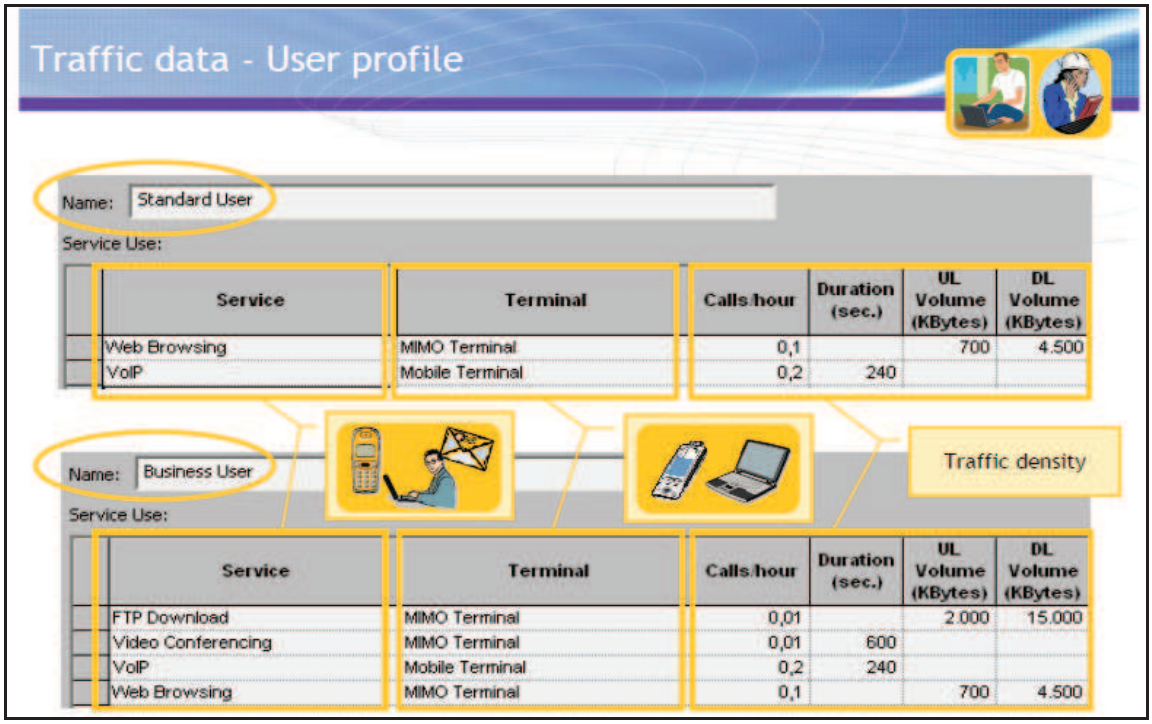


Figura 2.25 Datos de tráfico, perfil de usuario en el terminal de abonado LTE. [14]

Un perfil de usuario define un tipo de usuario. Esto refleja el comportamiento típico de este tipo de usuario. Cada perfil de usuario tiene un nombre y define qué servicios son utilizados por este tipo de usuario.

Finalmente, la densidad del tráfico de cada servicio que se ofrece contiene las llamadas o solicitudes de servicio por hora y la duración de VoIP o el volumen en el enlace ascendente y descendente para los servicios de paquetes.

Los perfiles de usuario serán diferentes para los distintos operadores en diferentes países, por lo que no pueden ser típicos predefinidos.

[14].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – User Profile, pág 56, Alcatel Lucent, 2010.

2.3.11 RESUMEN DE PROCESOS CONCATENADOS A LA PLANIFICACIÓN DE RADIO USANDO LA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN

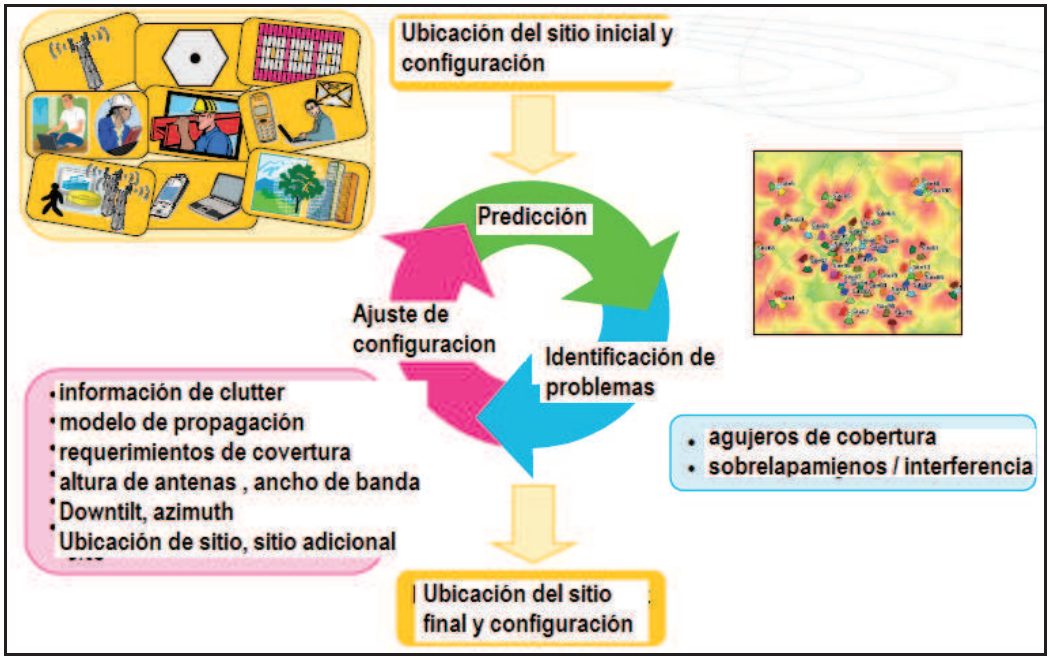


Figura 2. 26 Resumen de pasos en el ciclo de la planificación de radio de la red LTE a través de la herramienta de planeación. [15]

- Se tienen los resultados del cálculo del presupuesto del enlace de la red de radio, la perdida máxima permisible y el número de celdas conocidas. Ahora, las celdas tienen que ser colocadas o ubicadas geográficamente dentro de la zona de planificación y una configuración inicial tiene que ser realizada en la herramienta de planificación de la red de radio utilizando las estructuras de datos de acuerdo a lo estudiado anteriormente.
- A continuación se crea una predicción de la cobertura, la cual se puede inspeccionar visualmente para verificar problemas como agujeros de cobertura, bajo alcance de cobertura o áreas de sobre cobertura que conducen a interferencias, y los cuales deben ser identificados. Además la herramienta de planificación de red ofrece la posibilidad de crear listas de celdas vecinas, para planificar los identificadores físicos de las celdas y la asignación de frecuencias a las celdas.

[15].-Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, RF Design, pag 59, Alcatel Lucent, 2010.

- Se utiliza simulaciones de tráfico para planificar y optimizar la capacidad de la red y la cobertura, teniendo en cuenta distribución de usuarios reales y escenarios de demanda de tráfico.
- En las opciones de configuración, los siguientes pasos serán cambiar los parámetros físicos y lógicos ingresados para resolver los problemas presentados.

Consideraciones:

En primer lugar, se debe comprobar si la información es correcta para el tipo de morfología de esta zona y si el modelo de propagación está correctamente afinado. Para agujeros de cobertura también es importante decidir si el área tiene que ser cubierta o no. Un terreno de agricultura o campo puede dejarse descubierta, mientras que una zona urbana debe ser cubierta en su totalidad. Las posibles acciones correctivas que por lo general son implementadas es: Revisar alturas de antena y anchuras de haz. Y para disminuir la interferencia en zonas críticas deberían estar afinados los apuntamientos en downtilt y azimut.

También debe estar considerado mover los sitios o la adición de sitios. Después de que se hayan tomado todas las acciones correctivas del caso, una nueva predicción debe realizarse en la herramienta para verificar los cambios, y sus resultados. Si los objetivos de planificación se cumplen, el diseño está completo y la colocación final de los sitios y su configuración es alcanzada. De lo contrario un nuevo ciclo se inicia. Resultados de la herramienta de planificación de la red de radio.

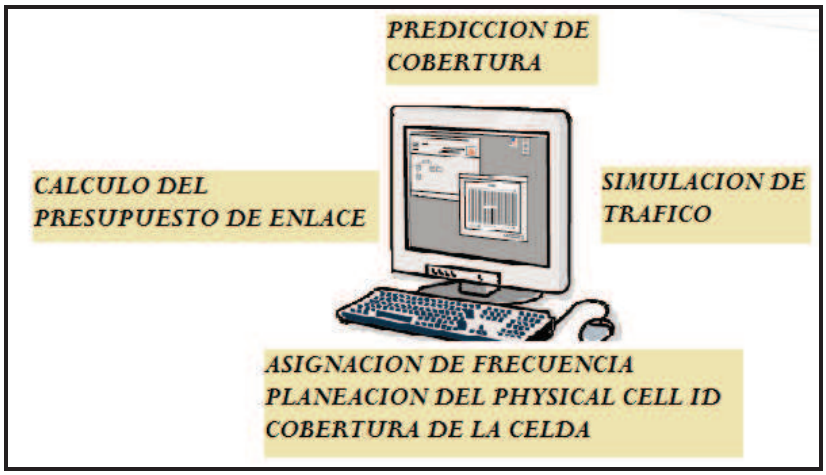


Figura 2.27 Resultados de la planificación de radio de la red LTE. [15]

DATOS DE SALIDA:

- Plots de cobertura, tráfico, calidad y simulaciones de tráfico.
- Rango de la celda, Pathloss, detalles de Pérdidas en espacio libre, intensidad de la potencia de salida en el eNodeB, potencia en el UE, PIRE.

Otros parámetros del Link Budget, además de la calidad de servicio.

2.3.12 PREDICCIÓN DE COBERTURA USANDO LA HERRAMIENTA DE PLANEACIÓN

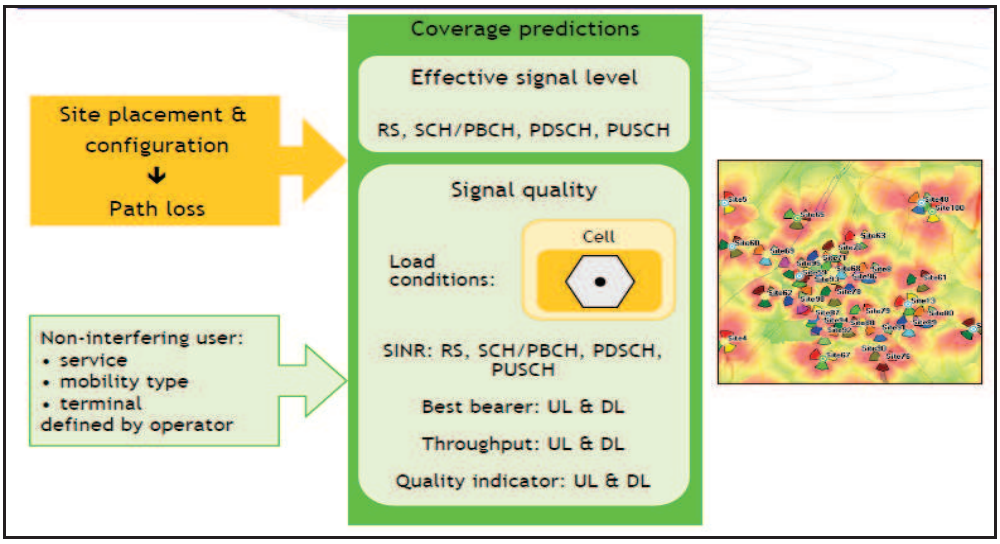


Figura 2.28 Resumen de pasos para la predicción de coberturas de la red LTE a través de la herramienta de planeación. [15]

Para obtener y calcular la pérdida de trayectoria, se necesita realizar una predicción de la cobertura luego de realizado la colocación y configuración del sitio. La pérdida de trayectoria y el tipo de predicción son la base para predecir la cobertura para cada punto en el mapa. La carga de tráfico uniforme, es un supuesto a tomarse en cuenta.

En la Herramienta de Planificación de Red de Radio existen dos tipos de predicciones de cobertura LTE que están disponibles.

- Las predicciones de cobertura que se utilizan para analizar los niveles de señal eficaces.
- Las predicciones de cobertura utilizados para analizar la calidad de la señal.

Cada punto en el mapa se considera un usuario que no interfiere, el cual está asignado con un servicio, un tipo de movilidad y un terminal definido por el operador. Las predicciones de cobertura de las señales eficaces pueden ser utilizadas para analizar diferentes tipos de señal como las de referencia, de sincronización de canal, las de canal de difusión (Broadcast) y los canales compartidos de enlace descendente y enlace ascendente.

Algunos ejemplos son predicciones basadas en los niveles de SINR de diferentes señales, análisis del mejor bearer, el análisis de rendimiento y de predicciones basadas en indicadores de calidad para el enlace ascendente y descendente. El resultado de la predicción se muestra en el mapa.

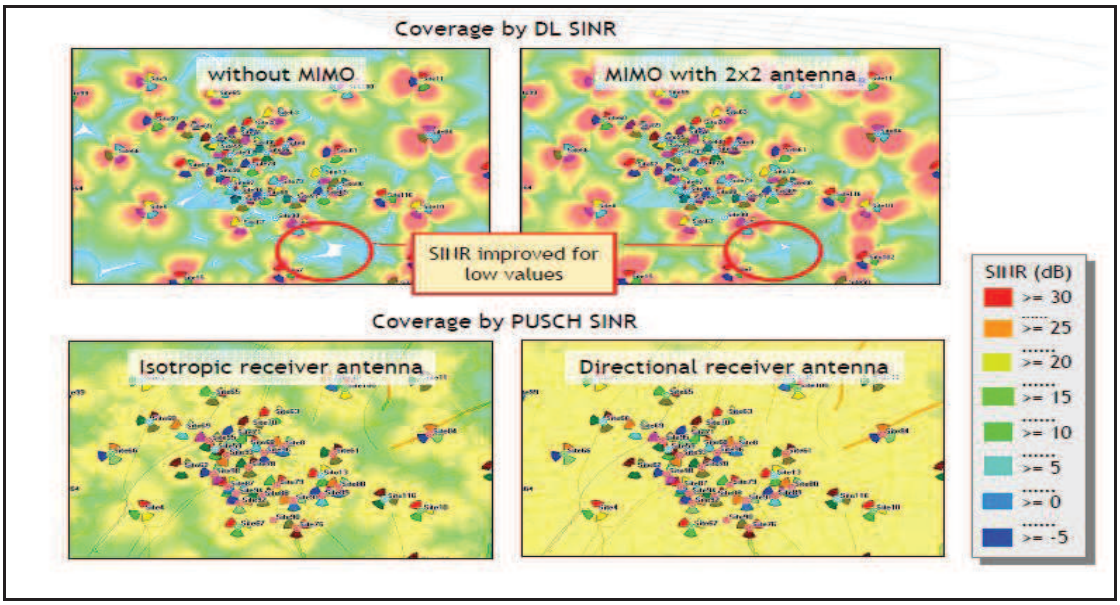


Figura 2.29 Ejemplos de predicción de coberturas de la red LTE a través de la herramienta de planeación. [15]

El primer ejemplo de la figura 2.29 muestra dos predicciones de cobertura basado en los niveles descendentes SINR. Se compara un escenario sin MIMO con un escenario en el que se utiliza MIMO 2x2.

El segundo ejemplo muestra dos predicciones de cobertura sobre la base de los niveles de PUSCH SINR. Se compara un escenario con las antenas del receptor isotrópico y un escenario con antenas direccionales.

En ambos ejemplos, se puede ver que el uso de MIMO mejora el nivel de SINR para valores bajos.

A continuación se describen algunas figuras de capacidad del eNodeB versus anchos de banda en LTE:

Bandwidth	UL Config. Name	VoIP AMR12.2 C_{VoIP_UL}	VoIP AMR 5.9 C_{VoIP_UL}	Spectral Efficiency	Data, $C_{Data\ UL}$
5 MHz	2RxDiv	168 Erl	235 Erl	0.61 bps/Hz	3.1 Mbps
10 MHz	2RxDiv	335 Erl	469 Erl	0.62 bps/Hz	6.2 Mbps
20 MHz	2RxDiv	670 Erl	939 Erl	0.64 bps/Hz	12.7 Mbps
5 MHz	4RxDiv	215 Erl	301 Erl	0.79 bps/Hz	3.9 Mbps
10 MHz	4RxDiv	431 Erl	603 Erl	0.80 bps/Hz	8.0 Mbps
20 MHz	4RxDiv	860 Erl	1204 Erl	0.82 bps/Hz	16.3 Mbps

Tabla 2.2 Figuras de capacidad del eNodeB (FDD): enlace UL. [16]

Bandwidth	DL Config. Name	VoIP AMR12.2 C_{VoIP_DL}	VoIP AMR5.9 C_{VoIP_DL}	Spectral Efficiency	Data, C_{Data_DL}
5 MHz	SIMO 1x2	272 Erl	381 Erl	1.33 bps/Hz	6.7 Mbps
10 MHz	SIMO 1x2	548 Erl	767 Erl	1.36 bps/Hz	13.6 Mbps
20 MHz	SIMO 1x2	1072 Erl	1501 Erl	1.36 bps/Hz	27.1 Mbps
5 MHz	MIMO 2x2	283 Erl	396 Erl	1.48 bps/Hz	7.4 Mbps
10 MHz	MIMO 2x2	558 Erl	781 Erl	1.48 bps/Hz	14.8 Mbps
20 MHz	MIMO 2x2	1092 Erl	1528 Erl	1.48 bps/Hz	29.6 Mbps

Tabla 2.3 Figuras de capacidad del eNodeB (FDD): enlace DL. [16]

2.4 LINEAMIENTOS PRINCIPALES RECOMENDADOS PARA CELDAS 4G LTE

Este punto describe las principales recomendaciones a seguir durante la fase de despliegue, las cuales permitirán obtener el mejor diseño de la red RF. De todos modos el tema diseño de RF utiliza exactamente los mismos objetivos que las que se detallan en esta parte, la diferencia principal es la actividad de campo y RNP (radio network planning) de mayor precisión que son menos investigadas ya que no están fijadas como objetivo en nuestro diseño de RF.

2.4.1 ADQUISICIÓN DE SITIO, CELDA BASE

Los problemas de adquisición del sitio deben ser tomados en cuenta en el inicio de la planificación de radio, los sitios analizados deben corresponder a los que se va a aplicar en el campo. Generalmente, el cliente deberá proporcionar los sitios de GSM / UMTS existentes que pueden volver a utilizarse en lugar de tener un nuevo sitio implementado sólo para LTE, debido a que los costos son mayores cuando se construyen sitios nuevos.

[16].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 22, Alcatel Lucent 2012.

2.4.2 RECONOCIMIENTO DE SITIO (SITE SURVEY)

Se deben verificar las posiciones de los sitios propuestos por el cliente, el cual debe ser analizado y validado por los proveedores. La búsqueda de sitio y la validación es un paso importante en la planificación de la red de radio LTE y la implementación, esto permite identificar:

- Si un sitio es bueno para la cobertura requerida, mediante la detección de algunas obstrucciones (como edificios, o los árboles) que no se han visto con la herramienta de planificación de radio.
- Detección del riesgo de patrón de distorsión debido al ambiente y la estructura cercana a la antena, análisis de la altura de la antena en comparación con el entorno más próximo. Un sitio no debe ser demasiado alto en relación con su entorno, ya que aumenta innecesariamente las celdas con interferencias.
- Encontrar sitios es una cuestión vital para los proyectos LTE ya que la evolución de GSM apunta a eso y los sitios disponibles son muy limitados en la mayoría de las ciudades. La elección del sitio de construcción es muy importante.

De acuerdo a estos lineamientos se ha procedido a realizar la inspección en sitio (Site Surver) o reconocimiento de campo del espacio que se eligió para levantar el diseño de la celda base, el cual está incluido en el Anexo 2.

2.4.3 ANTENAS

Para evitar interferencias las antenas no se debe colocar en la parte superior del techo o torres cuyas alturas son excedidas en comparación con la altura media de un entorno en el que se colocan.

- Criterio de selección de alturas: se la hace respecto al promedio de las normas de altura de antena, a continuación algunos valores predeterminados mediante un rango de la altura de la antena según el tipo de medio ambiente. Estos valores son solo indicio que las alturas de las antenas colocadas en la parte superior del techo de ambientes denso y urbano, depende esencialmente de la altura de los edificios.

Denso urbano: 30m <= altura de la antena <40m

Urbano: 20m <= altura de la antena <30m

Suburbano: 15m <= altura de la antena <25m

Rural: 25m <= altura de la antena <45m

- Altura mínima de antena en la terraza:

  Hay una altura mínima que respetar cuando una antena se instala en un tejado o terraza. En cualquier caso, el mínimo valor es 5m para antenas co-ubicadas en terrazas, y no debe ser inferior en promedio a la altura de la terraza y a su vez para evitar el efecto de obstrucciones cercanas: Mínima altura de antena = Tangente (valor máximo de inclinación + 5 °) * máxima distancia entre la antena y la azotea de borde.

  [Ref. Lineamientos de diseño RF LTE, Alcatel-Lucent, 2011).]

Características de la antena*:*

Las reglas básicas para la selección de antena se resumen en los siguientes puntos:

- La relación de onda estacionaria de voltaje (VSWR) (Voltage Stationary Wave Relation), permite la estabilidad en la banda de frecuencia. Polarización: Las dos opciones principales son de doble polarización de antenas en + / - 45°, es decir, polarización cruzada o antenas de polarización vertical. Dos antenas lineales deben estar separadas por un mínimo de 0,5 metros.
- Directividad de antena tipo: omni-direccional o sectorial.
- Para las celdas tipo macro, se utiliza las antenas sectoriales, instaladas para cada uno de los sectores a cubrir, ya que permite una mejor eficiencia para gestionar interferencias, con el azimut e inclinación.
- Las antenas omnidireccionales no tienen un patrón de inclinación variable.

2.4.4 COEXISTENCIA DE LTE CON OTRAS TECNOLOGÍAS

- Coexistencia LTE con GSM/CDMA/W-CDMA/ WIMAX

Varias reglas han sido estudiadas con el fin de ser capaz de tener co-ubicaciones entre las distintas tecnologías sin tener problemas de interferencias.

Se debe garantizar un aislamiento mínimo entre tecnologías. Este aislamiento depende de la tecnología. Para tecnologías UMTS LTE vs, CDMA o GSM, el requisito mínimo es de 30 dB de aislamiento, teniendo en cuenta que están en

una banda de frecuencia diferente. Las siguientes tablas muestran el aislamiento requerido entre LTE y las diferentes tecnologías.

Los rendimientos de los productos LTE son similares entre las bandas de frecuencia, por lo que la tabla 2.4, contiene el aislamiento recomendado para 700MHz, 900MHz, 1800MHz, AWS, 2600MHz LTE.

Final isolation values recommended												
	UMTS850/900		UMTS1800/2100		GSM850/900		GSM1800/1900		CDMA850	CDMA1900	WiMAX 2300/2500	
	Standard compliant	ALU product	Standard compliant	ALU product	Standard compliant	ALU product	Standard compliant	ALU product	ALU product	ALU product	Standard compliant	ALU product
LTE 700/2600 ALU product	45dB (criterion 4)	33dB (criterion 1)	45dB (criterion 4)	33dB (criterion 1)	48dB (criterion 4)	33dB (criterion 4)	56dB (criterion 4)	33dB (criterion 4)	33 dB (criterion 4)	33 dB (criterion 4)	111.6dB (Criterion 4)	74dB (Criterion 1)
Antenna isolation implementation solution	Site engineering solution	Antenna sharing possible	Site engineering solution	Antenna sharing possible	Site engineering solution	Antenna sharing possible	Site engineering solution	Antenna sharing possible	Antenna sharing possible		Site engineering solution+ additional filtering	Site engineering solution(eg. 1m vertical separation)

Tabla 2.4 Criterios de aislamiento entre antenas de diferentes tecnologías y bandas con respecto a LTE. [17]

Coexistencia LTE vs GSM y UMTS en las mismas bandas

TX		RX	
		GSM	UMTS
LTE	Standard	56 (criterion 4)	45 (criterion 4)
	ALU Product	33 (criterion 1)	30 (criterion 4)
RX		TX	
		GSM	UMTS
LTE	Standard	33 (criterion 1)	35 (criterion 1)
	ALU Product	33 (criterion 4)	33 (criterion 1)
Antenna isolation implementation solution		Site engineering solution	Site engineering solution

Tabla 2.5 Aislamiento entre diferentes tecnologías y mismas bandas. [17]

[17].- LTE RF Design Guidelines, Aislamiento entre estación LTE y otras tecnologías, pag. 34, Alcatel Lucent 2012.

2.4.4.1 Solución para Aplicar Aislamiento Requerido

Este aislamiento se puede conseguir por varias formas. La más común es la disociación de doble antena polar que es de alrededor de 30 dB entre dos antenas en la misma banda de frecuencia. Para otros casos, algunos módulos de filtros son necesarios, o una segunda antena debe ser implementada en la parte superior del techo con una distancia de separación significativa para asegurar el aislamiento necesario.

2.5 DISEÑO DE RADIO FRECUENCIA (RF)

2.5.1 ENTRADAS

- Bases de Datos Geográficas:

Este apartado proporciona algunas reglas fundamentales para seleccionar, ordenar o verificar el tipo de base de datos correcta que corresponde a nuestra necesidad. Se puede analizar dos categorías de bases de datos geográficas:

- Base de datos de Altitud: Modelo Digital del Terreno.
- Base de datos para el Medio Ambiente: Tipos de clutter.

- Modelo Digital del Terreno (DTM):

Contiene valores de altitud de la región caracterizada por una latitud y la longitud, más la precisión de una resolución que está directamente relacionada con fotografías y scanners satelitales, o los datos topográficos que se proporcionan con una escala señalada. Esta escala garantiza la resolución efectiva de la base de datos, hay dos tipos de base de datos morfológicos, los contornos de mapa de bits y la creación del Raster (es una unidad mediante la cual se puede escanear satelitalmente las alturas y elevaciones del terreno), incluye la distribución del entorno geográfico.

- Tipos de Clutter:

Describe la morfología de los ambientes naturales: ríos, bosque, áreas selváticas, densa urbana, urbana, rural. A continuación un ejemplo de la diferencia en detalles de clutters debido a la escala original de datos.

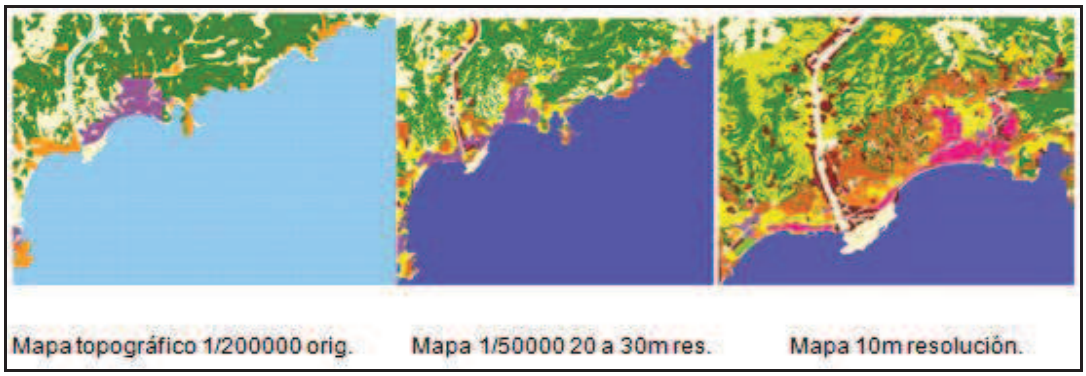


Figura 2.30 Mapas, tipos y sus resoluciones digitales. [18]

30 metros es el tamaño máximo lo suficientemente preciso para las ciudades, la resolución recomendada es de entre 15 y 25 m.

Métodos de extracción:

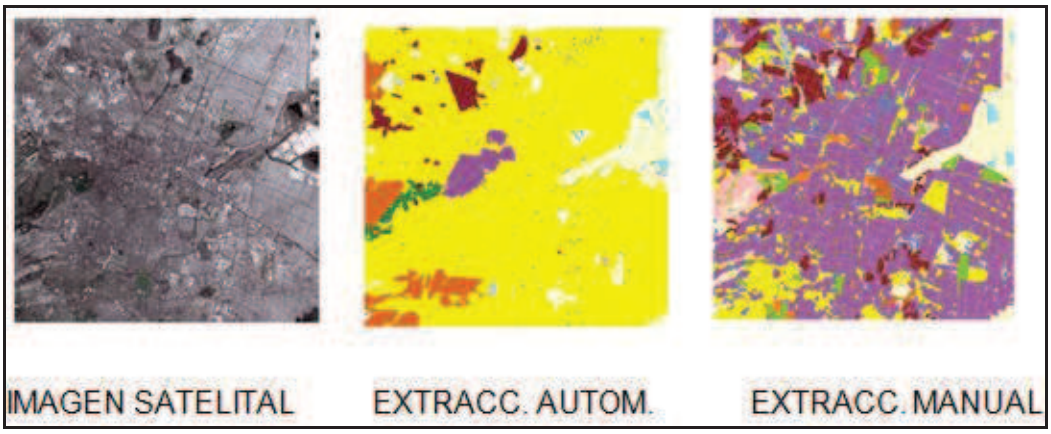
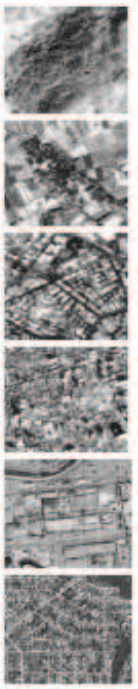


Figura 2.31 Mapas, tipos y sus resoluciones digitales, tipos de morfología. [18]

- Recomendaciones para uso de Base de Datos:

Bases de datos de mapa de bits con una resolución de 10 metros dependiendo del presupuesto para obtenerlo. Para las ciudades pequeñas bases de datos de mapa de bits con una resolución de 25 m. Para las áreas rurales: Raster con bases de datos con una resolución de 50m. Cada base de datos debe tener al menos 12 tipos de clutter, con por lo menos 8 diferentes tipos de terreno.

[18].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – RF Design, pag 62, Alcatel Lucent, 2010.



Forest	Terreno con vegetales denso y esparsido con arboles
Villages	Area de pequenas construcciones en alrededores rurales.
Mean_urban	Zonas residenciales, comerciales, e industriales en ambiente suburbano
Dense_urban	Areas de desarrollo denso dentro de perimetro urbano
Industrial	Areas fuera del perimetro urbano incluyendo construcciones con amplios y bajos calzadas,separadas por amplias calles.
Residential	Casas en ambiente suburbano. Tipicamente de densidad suburbana envueltos en calles visibles, lots podrian ser pequenos 30x30m, pero son tipicamente mas amplios e incluyen cobertura de vegetacion.

Figura 2.32 Tipos de Clutter disponibles en la herramienta de planeación. [18]

2.5.1.1 Modelo de Propagación

El objetivo de una simulación de la cobertura de radio, basado en un modelo de propagación, es proporcionar una predicción del área de cobertura, la cual tiene que ser lo más cercano posible a la realidad. Es muy importante para calibrar un modelo de propagación de forma exacta, asegurar el acercamiento a la realidad de las predicciones de radio y de calidad de señal en la herramienta de RNP (Radio Network Planning). Al final, el objetivo es tener una fiabilidad en la cobertura, un valor adecuado de C/I (relación portadora sobre interferencia), una buena planificación de identificadores físicos de celda (Physical Cell ID) y el plan de vecindades (Neighbours) adecuado, ya que todos los aspectos se basan en la precisión de la predicción de cobertura y del cálculo de la pérdida en el trayecto.

Si se garantiza una buena afinación y aproximación del modelo, se tendría: Un buen diseño de RF en términos de posición de sitio, azimut, inclinación, un buen análisis de interferencia, y una alta calidad en la simulación, para los comportamientos de tráfico y coberturas de LTE.

El modelo de propagación estándar SPM (Standard Propagation Model), y la calibración del mismo; se lo hace automáticamente en la herramienta. También,

existe modelos ya afinados y han sido probados y validados en todos los tipos de bases de datos.

El dominio de la frecuencia de los parámetros de SPM por defecto es de 300 MHz a 2 GHz. La validez de estos modelos depende del rango de medición de distancia, y altura de la antena sobre la que se ha calibrado. Por defecto hay modelos recomendados de macro-celdas SPM ya ajustados.

Para macro-celdas en caso de no haber modelo sintonizado que esté disponible, y no hay tiempo para hacer mediciones externas de portadora CW (Continuous Wave) y calibrarlo, algunos modelos están disponibles por defecto en estos SPM en la herramienta de RNP y en los archivos de extensión .atl que maneja la herramienta Atoll. Estos modelos se han ajustado en las mediciones de todo el mundo, con su desempeño de funcionamiento probados.

Los modelos predeterminados se han especificado, pero sólo los valores de K1 a K5 son fijos, el usuario tiene que establecer los valores del factor de clutter K.

2.5.1.2 Márgenes de Ingeniería

Todas las entradas deben haber sido validadas por el cliente. El objetivo de la revisión del presupuesto de enlace ascendente (Link Budget) es la validación de los umbrales de los clientes para el diseño y para la aceptación. Si el presupuesto de enlace con supuestos clientes es más restrictivo, no tendrá alguna reserva sobre los compromisos de KPI (Key Performance Indicator), indicadores clave de desempeño o zonas de exclusión.

Estas entradas son las siguientes:

- Todos los márgenes y objetivos de ingeniería.
- Supuestos de tráfico, de carga de red, dimensionamiento del servicio.

En las siguientes partes los parámetros detallados son utilizados actualmente, pero pueden ser modificados después de discusión con el cliente. Estos parámetros son fijados por las normas o por el cliente de acuerdo con su experiencia de campo.

Pérdidas por cuerpo para aplicaciones de voz	3 dB
Pérdidas por cuerpo para aplicaciones de datos	0 dB
MS ganancia de antena	0 dBi@1800-2100MHz & 700-900MHz
Antena macro celda standard	18 dBi, H beam width 65°@1800MHz; 1900MHz; 2100MHz; 2600MHz
	16.5-17dBi, H beam width 65°@700MHz; 850MHz; 900MHz
	15dBi H beam width 65°@700MHz
Pérdidas en cable standard	depends on average site height, default cable used is 7/8" with 7dB/100m loss@2100MHz 6,7dB@1900MHz/1800MHz 3.7dB/100m@900MHz/850MHz 3,5dB/100m@700MHz

Tabla 2.6 Pérdidas, ganancias y márgenes principales en la herramienta de predicción [*especificaciones 3GPP, valores estándares de fabricantes*].

2.5.1.3 Margen de Shadowing y Ganancia de Soft Handover

El margen de shadowing en la celda puede ser obtenido basándose en la desviación estándar y teniendo en cuenta el porcentaje de fiabilidad de cobertura en el área requerida, a diferencia de WCDMA o CDMA, no hay ganancia de Soft Handover que se deba considerar para LTE.

La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de la ganancia y margen de shadowing para el Handover. Verificándose los objetivos de probabilidad y desviaciones estándar del shadowing.

Shadowing Standard Deviation	Cell Area Coverage Probability	Cell Border Coverage Probability	Shadowing Margin without HO Gain (dB)	SHO Gain (for info)	UE Speed	HHO Gain
9 dB	95%	87.7%	11.7 dB	*5.0 dB*	3km/h	4.1 dB
					50km/h	3.8 dB
					120km/h	3.4 dB
	90%	77.7%	7.7 dB	*4.7 dB*	3km/h	3.9 dB
					50km/h	3.6 dB
					120km/h	3.3 dB
8 dB	95%	86.2%	8.7 dB	*3.9 dB*	3km/h	3.6 dB
					50km/h	3.3 dB
					120km/h	3 dB
	90%	75.1%	5.4 dB	*3.6 dB*	3km/h	3.4 dB
					50km/h	3.1 dB
					120km/h	2.8 dB
7 dB	95%	84.9%	7.2 dB	*3.4 dB*	3km/h	3.1 dB
					50km/h	2.8 dB
					120km/h	2.6 dB
	90%	73.3%	4.3 dB	*3.1 dB*	3km/h	2.8 dB
					50km/h	2.6 dB
					120km/h	2.4 dB
6 dB	95%	83.9%	5.9 dB	*2.6 dB*	3km/h	2.5 dB
					50km/h	2.2 dB
					120km/h	2 dB
	90%	70.9%	3.3 dB	*2.7 dB*	3km/h	2.3 dB
					50km/h	2.1 dB
					120km/h	2 dB

Tabla 2.7 Probabilidad de cobertura vs Márgenes de shadowing, ganancias de HHO, velocidades del usuario y desviación estándar. [18]

Basándose en estos resultados de la tabla 2.6, una ganancia handoff 3.6dB puede ser asumida como valor típico para ambientes DU (Dense Urban), U (Urban) y despliegue SU (Sub-urban), con condiciones (95% de confiabilidad en cobertura de la zona, 8dB de desviación estándar en el shadowing y 3 km / h de movilidad) y en 2.6dB de valor típico para ambientes rural con condiciones (90% de confiabilidad en cobertura de la zona, 7dB de desviación estándar shadowing y 50km/h de movilidad).

Las ganancias calculadas para las ubicaciones de HO (HandOver) entre el UE, eNodeB y el borde celular. Se debe tener en cuenta que este es un ejemplo para el mismo supuesto que se muestra en la tabla 2.6 para una desviación estándar de 8 dB y 95% fiabilidad de la cobertura. (Aplica a ambientes urbano, denso urbano, y suburbano, estos valores son recomendaciones del proveedor Alcatel Lucent).

2.5.1.4 Perdidas de Penetración Indoor

Los valores de pérdida de penetración se detallan en la tabla 2.7. Estos valores incluyen un margen calculado basado en la desviación estándar de 6 dB, el factor de penetración.

Environment	*Penetration Losses (dB)*			
Frequency Band:	*700MHz*	*850/900MHz*	*1700/1800/1900, 2100MHz*	*2600MHz*
Dense Urban	17	18	20	21
Urban	14	15	17	18
Suburban	11	12	14	15
Suburban & Rural in car	5	6	8	9

Tabla 2.8 Pérdidas de penetración de acuerdo al tipo de ambiente y la banda de frecuencia. [18]

2.5.1.5 Márgenes UL (Uplink)

Por lo general, todos los sitios están integrados con amplificador montado en la cabeza (MHA, Mast Head Amplifier) con el fin de mejorar la potencia en el enlace UL. El rendimiento del eNodeB en las condiciones de radio en el enlace ascendente se caracteriza principalmente por dos parámetros, la figura de ruido

C/I (relación portadora sobre interferencia) y los valores de SINR (relación señal sobre interferencia de ruido).

Un valor típico de la IOT (es el margen de interferencia, tomado del Link Budget), tomado en cuenta en los presupuestos de enlace LTE es 3dB. (Valor recomendado por proveedor Alcatel Lucent).

2.5.1.6 Frecuencia Selectiva

La forma en que el sistema de LTE puede gestionar y controlar mejor la potencia de los canales uplink y downlink, es a través de la programación selectiva de frecuencia en el canal. Esto se logra planificando de mejor forma los grupos de RBS (bloques de recursos) a UEs individuales de acuerdo con las condiciones de canal para los UEs específicos (programación selectiva de frecuencia).

La siguiente tabla resume los criterios de ganancias de la programación selectiva de frecuencia, derivados de simulaciones, para dos puntos de operación HARQ (petición de repetición automática hibrida) y tres modelos diferentes de canal. Estas ganancias son generalmente alcanzables para cualquier condición buena del ambiente de radio.

Channel Model	1% BLER after 4 HARQ Tx (high initial BLER)	10% BLER for 1st HARQ Tx (low initial BLER)
VehA3	0.5 dB	1.8 dB
VehA50	0.0 dB	0.0 dB
VehA120	0.0 dB	0.0 dB

Tabla 2.9 Ganancia del FSS (Frecuency Selective Scheduling = programación selectiva de frecuencia). [18]

Basándose en la tabla 2.8 la programación selectiva de frecuencia tiene un interés solamente para la velocidad menor que 50km / h. Con condiciones de 10% inicial BLER (Block Error Rate) como punto de trabajo HARQ, VehA3 como condiciones de canal y la ganancia FSS = 1.8dB.

El proveedor lo calcula utilizando la condición de movilidad Vehicular A 3 km/h (VA 3), Vehicular A 50km/h, y 120 km/h dentro de los perfiles de usuario. Todos estos valores se incluyen en el Link Budget, y la herramienta de RNP.

La asignación del número de bloques de recursos (RB) en el canal PUCCH, para las versiones de plataformas de acceso LTE se presenta a continuación en la tabla 2.9.

FDD	
Bandwidth	min #RB reserved for PUCCH
5 MHz	4 RB
10 MHz	6 RB
20 MHz	8 RB

Tabla 2.10 Ancho de banda vs. Bloques de recursos para el PUCCH, LTE FDD.

2.5.2 DIMENSIONAMIENTO DE SERVICIO Y SUPUESTOS DE TRÁFICO

2.5.2.1 Introducción a la Herramienta Utilitaria Link Budget

Para esta parte del proyecto se usará como herramienta una Macro en Excel desarrollada por Alcatel Lucent. Esta Macro, trabaja con datos de entrada sencillos y de acuerdo a la información entregada y mediante fórmulas desarrolladas y avanzadas, realiza el cálculo matemático para dar como resultados datos de salida por tipo de clutter, de acuerdo a la frecuencia, ancho de banda y perfiles de servicio mínimos.

Los datos de entrada a tenerse en cuenta son:

- Modo Dúplex FDD o TDD.
- Banda de frecuencia de trabajo.
- Ancho de Banda.
- Figura de ruido del eNB.
- Pérdidas en cable, conectores, etc.
- Márgenes de penetración indoor por clutters.
- Modelo del canal multitrayecto, es decir, movilidad del usuario.
- Tasa de datos en el borde de la celda mínimo en Uplink.
- Tipo de diversidad en el eNodeB.
- Tipo de RRH usada.
- Margen de Interferencia en Uplink.
- Altura del eNB, y el usuario promedio.
- Márgenes de penetración.

- Probabilidad de cobertura.
- Área de cobertura.
- Desviaciones estándares y Otras Pérdidas.

Los datos de salida son:

- MAPL o pedida total máxima permisible.
- Rango de la celda
- Porcentaje de cobertura
- Tasa de datos mínima en el borde de la celda.

Como se puede observar en la figura 2.33 dentro de la macro Excel Link Budget se tiene a modo gráfico los parámetros que se puede ir variando según los requerimientos planteados por ejemplo: modo de duplexión, banda de frecuencia, ancho de banda, modelo de propagación, movilidad del usuario, tipo de RRH usada y algunos valores que vienen pre configurados por defecto ya que se trata de una herramienta propietaria de Alcatel contiene ya los valores característicos correspondientes a los equipos de la marca Alcatel-Lucent y los cuales se aplican a nuestro diseño.

Duplex Mode	FDD
Frequency Band	700 MHz
Bandwidth	20,0 MHz (100 RB)

Frequency Band Dependent Parameters

Frequency band (MHz)	FDD Band	TDD Band	UL Frequency	DL Frequency	FDD eNode-B Noise Figure	TDD eNode-B Noise Figure	UE Noise Figure	Propagation Model: DU_U	Propagation Model: SU_RU	3-sector Antenna Gain	Cable Losses (Tower RF Module)	Cable Losses (Base RF Module)	Penetration Margin: Dense Urban	Penetration Margin: Urban	Penetration Margin: Suburban Indoor	Penetration Margin: Sub In
400 MHz	PMR_1		382,5 MHz	392,5 MHz	4,0 dB	4,5 dB	8,0 dB	Hata	Hata	12,0 dBi	0,5 dB	2,0 dB	16 dB	13 dB	10 dB	
700 MHz	**17**		**710,0 MHz**	**740,0 MHz**	**2,5 dB**	3,0 dB	**8,0 dB**	Hata	Hata	**15,0 dBi**	**0,5 dB**	**0,5 dB**	**17 dB**	**14 dB**	**11 dB**	5
800 MHz	18		822,5 MHz	867,5 MHz	2,1 dB	2,6 dB	8,0 dB	Hata	Hata	16,0 dBi	0,5 dB	2,0 dB	17 dB	14 dB	11 dB	
850 MHz	5		836,5 MHz	881,5 MHz	2,1 dB	2,6 dB	8,0 dB	Hata	Hata	17,0 dBi	0,5 dB	2,0 dB	18 dB	15 dB	12 dB	
900 MHz	8		897,5 MHz	942,5 MHz	2,1 dB	2,6 dB	8,0 dB	Hata	Hata	17,0 dBi	0,5 dB	2,0 dB	18 dB	15 dB	12 dB	
1800 MHz	3		1747,5 MHz	1842,5 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
1900 MHz	2	39	1880,0 MHz	1960,0 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
AWS	4		1732,5 MHz	2132,5 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
2000 MHz		34			2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
2100 MHz	1		1950,0 MHz	2140,0 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
2300 MHz		40			2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231 Modified	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	20 dB	17 dB	14 dB	
2600 MHz	7	38	2535,0 MHz	2655,0 MHz	2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231 Modified	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	21 dB	18 dB	15 dB	
3500 MHz		42			2,0 dB	2,5 dB	8,0 dB	COST-231	COST-231 Modified	18,0 dBi	0,5 dB	3,0 dB	21 dB	18 dB	15 dB	

LTE Band Definition & Supported RF Modules

E-UTRA Band	Uplink (UL)			Downlink (DL)			Duplex Mode	Associated Band	FDD RF Modules: TRDU 2x40	RRH 2x40	RRH 2x30	RRH 1x60	TRDU 2x60	RRH 2x60	MC-R
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{UL_middle}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	F_{DL_middle}									
1	1920,0 MHz	1980,0 MHz	1950,0 MHz	2110,0 MHz	2170,0 MHz	2140,0 MHz	FDD	2100 MHz							
2	1850,0 MHz	1910,0 MHz	1880,0 MHz	1930,0 MHz	1990,0 MHz	1960,0 MHz	FDD	1900 MHz						x	
3	1710,0 MHz	1785,0 MHz	1747,5 MHz	1805,0 MHz	1880,0 MHz	1842,5 MHz	FDD	1800 MHz							
4	1710,0 MHz	1755,0 MHz	1732,5 MHz	2110,0 MHz	2155,0 MHz	2132,5 MHz	FDD	AWS		x			x	x	
5	824,0 MHz	849,0 MHz	836,5 MHz	869,0 MHz	894,0 MHz	881,5 MHz	FDD	850 MHz						x	

Hist | 1. Freq. Params | 2. LKB Params | 3. Summary | DU | U | SUid | SUic | RU

4. Adjust Morpho Dependent and Other Parameters

Morphology Specific Parameters

Morphology Name	Multipath Channel Model	All Services At Cell Edge	UL Cell Edge Rate Target	Tower Mounted RF Module	TMA	UE Configuration	# UL Receive Diversity	# DL Transmit Paths	FDD RF Module	TDD RF Module	Max PA Power	Rec. PA Power	Manually Define Custom PA Power	Custom PA Power	Considered PA Power	RS EPRE	Isolated Cell	UL Interference Margin
Dense Urban	VehA 3km/h	Yes	PS 1000	No	No	Indoor - 0 dBi - Omni	4 RxDiv	4 TxDiv	RRH 2x40	RRH 2x40	40,0 W	20,0 W	No	30,0 W	40,0 W	18,0 dBm	No	2,0 dB
Urban	VehA 3km/h	Yes	PS 1000	No	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 RxDiv	2 TxDiv	RRH 2x40	RRH 2x40	40,0 W	40,0 W	No	30,0 W	40,0 W	18,0 dBm	No	3,0 dB
Suburban Indoor	VehA 3km/h	Yes	PS 1000	No	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 RxDiv	2 TxDiv	RRH 2x40	RRH 2x40	40,0 W	40,0 W	No	30,0 W	40,0 W	18,0 dBm	No	3,0 dB
Suburban Incar	VehA 50km/h	Yes	PS 1000	No	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 RxDiv	2 TxDiv	RRH 2x40	RRH 2x40	40,0 W	40,0 W	No	30,0 W	40,0 W	18,0 dBm	No	3,0 dB
Rural Incar	VehA 50km/h	Yes	PS 1000	No	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 RxDiv	2 TxDiv	RRH 2x40	RRH 2x40	40,0 W	40,0 W	No	30,0 W	40,0 W	18,0 dBm	No	3,0 dB

UE Configuration

Config Name	UE Ant. Height	UE Ant. Gain	Directional Ant.	Outdoor
Outdoor - 2 dBi - Omni	5,0 m	2 dBi	No	Yes
Outdoor - 4 dBi - Omni	5,0 m	4 dBi	No	Yes
Outdoor - 4 dBi - Direc.	5,0 m	4 dBi	Yes	Yes
Outdoor - 6 dBi - Direc.	5,0 m	6 dBi	Yes	Yes
Outdoor - 8 dBi - Direc.	5,0 m	8 dBi	Yes	Yes
Outdoor - 10 dBi - Direc.	5,0 m	10 dBi	Yes	Yes
Indoor - 0 dBi - Omni	1,5 m	0 dBi	No	No
Indoor - 2 dBi - Omni	1,5 m	2 dBi	No	No
Indoor - 4 dBi - Omni	1,5 m	4 dBi	No	No

Note: For all Outdoor UE Configurations --> Antenna Gain = Nominal Antenna Gain - Feeder Losses

<-- Default Configuration

UE Characteristics

Max Transmit Power for VoIP	23 dBm
Max Transmit Power for Data	23 dBm

Body Losses

Body Loss for VoIP	3 dB
Body Loss for Data	0 dB

Intersite Distance = 3/2 x Cell Range

Hist | 1. Freq. Params | 2. LKB Params | 3. Summary | DU | U | SUid | SUic | RU

Figura 2.33 Datos de entrada para la MACRO LINK BUDGET en Excel.

Como datos de salida tenemos:

- MAPL o pedida total máxima permisible.
- Rango de la celda
- Porcentaje de cobertura
- Tasa de datos mínima en el borde de la celda.

Para el UPLINK:

En la figura 2.34 y 2.35 se tiene las correspondientes tablas de salida generadas por la macro Excel Link Budget, tanto de uplink como de downlink, valores como la pérdida total máxima permisible, porcentaje de cobertura, tasa de datos mínima en el borde de la celda son los indicados para proceder a ingresar en la siguiente fase de diseño la cual indica los plots (planos) de cobertura de la celda base diseñada, mediante la herramienta ATOLL.

Alcatel-Lucent

FDD - UL BUDGET - Dense Urban - 700 MHz - 20 MHz BW

Dense Urban		PUSCH (ACK)	PUCCH (ACK)	PUCCH (8 bit CQI)	Attach Procedure	AMR NB 12.2	AMR NB 12.2 MCS/PRB	AMR NB 12.2 / WB 12.65 TTI-B	PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000
Guaranteed at Cell Edge		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Physical Channel		PUSCH	PUCCH	PUCCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH
UL Receive Diversity		4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	1% pBLER	1% pBLER	1% pBLER	10% iBLER	1% pBLER	1% pBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
# Resource Blocks Required	#	1 RB	1 RB	1 RB	2 RB	1 RB	2 RB	1 RB	3 RB	4 RB	5 RB	10 RB	15 RB	16 RB	25 RB	64 RB	80 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 0	MCS 0	MCS 0	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 6	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 5	MCS 6	MCS 8
Transport Block Size	bit	16 bit	16 bit	16 bit	104 bit	136 bit	120 bit	328 bit	144 bit	328 bit	424 bit	568 bit	872 bit	1128 bit	2216 bit	6712 bit	11064 bit
Average Eff. Data Rate	kbps	15 kbps	2 kbps	8 kbps	42 kbps	17 kbps	17 kbps	16 kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps	5700 kbps	10000 kbps
Target UL SINR	dB	-4,2 dB	-8,3 dB	-5,4 dB	-6,3 dB	3,9 dB	-5,1 dB	-5,7 dB	-2,3 dB	-0,6 dB	0,0 dB	-2,3 dB	-2,8 dB	-2,1 dB	-1,6 dB	-0,8 dB	1,2 dB
eNode-B Noise Figure	dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB
Used Bandwidth	KHz	180 kHz	180 kHz	180 kHz	360 kHz	180 kHz	360 kHz	180 kHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1800 kHz	2700 kHz	2880 kHz	4500 kHz	11520 kHz	14400 kHz
eNode-B Sensitivity	dBm	-123,2 dBm	-127,2 dBm	-124,4 dBm	-122,8 dBm	-115,0 dBm	-121,0 dBm	-124,6 dBm	-116,4 dBm	-113,5 dBm	-112,0 dBm	-111,2 dBm	-110,0 dBm	-109,0 dBm	-106,6 dBm	-101,7 dBm	-98,7 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	3 dB	3 dB	3 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB
Shadowing Margin	dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	1,8 dB	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	1,8 dB	0,4 dB	0,0 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Fixed IoT	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm
MAPL	dB	138,2 dB	140,5 dB	137,7 dB	136,1 dB	127,1 dB	131,8 dB	134,9 dB	131,5 dB	128,5 dB	127,0 dB	126,3 dB	125,0 dB	124,0 dB	121,7 dB	116,8 dB	113,8 dB
UL Cell Range	km	2,96 km	3,45 km	2,85 km	2,58 km	1,40 km	1,92 km	2,38 km	1,89 km	1,55 km	1,40 km	1,33 km	1,22 km	1,14 km	0,98 km	0,70 km	0,58 km
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Hist / 1. Freq. Params / 2. LKB Params / 3. Summary / DU / U / SUld / SUlc / RU

Figura 2.34 Datos de Salida para los parámetros del LINK BUDGET en UL.

Para el DOWNLINK:

Dense Urban		PUSCH (ACK)	PUCCH (ACK)	PUCCH (8 bit CQI)	Attach Procedure	AMR NB 12.2	AMR NB 12.2 MCS/PRB	AMR NB 12.2 / WB 12.65 TTI-B	PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000
# Resource Blocks	#	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB
Used Bandwidth	KHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
DL Cable & Connector Losses	dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	3 dB	3 dB	3 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional DL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Shadowing Margin	dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB	8,8 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
SINR Shadowing Margin	dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB
Limiting UL Cell Range	km	2,96 km	3,45 km	2,85 km	2,58 km	1,40 km	1,92 km	2,38 km	1,89 km	1,55 km	1,40 km	1,33 km	1,22 km	1,14 km	0,98 km	0,70 km	0,58 km
# DL Tx Paths	paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths
Energy Per Resource Element (RS)	dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
Adjacent Cell Loading	%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
UL Service Cell Range	km	2,96 km	3,45 km	2,85 km	2,58 km	1,40 km	1,92 km	2,38 km	1,89 km	1,55 km	1,40 km	1,33 km	1,22 km	1,14 km	0,98 km	0,70 km	0,58 km
DL Path Loss @ UL Cell Edge	dB	138,7 dB	141,0 dB	138,1 dB	136,6 dB	127,5 dB	132,3 dB	135,4 dB	132,0 dB	129,0 dB	127,5 dB	126,7 dB	125,5 dB	124,5 dB	122,1 dB	117,2 dB	114,2 dB
DL Geometry Percentile	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
DL Geometry	dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB
PDSCH Rx. Power / RE	dBm	-131,4 dBm	-133,7 dBm	-130,8 dBm	-129,3 dBm	-123,2 dBm	-128,0 dBm	-131,1 dBm	-124,7 dBm	-121,7 dBm	-120,2 dBm	-119,5 dBm	-118,2 dBm	-117,2 dBm	-114,8 dBm	-110,0 dBm	-106,3 dBm
PDSCH Avg. Interf. Power / RE	dBm	-123,9 dBm	-126,2 dBm	-123,3 dBm	-121,8 dBm	-115,7 dBm	-120,4 dBm	-123,6 dBm	-117,2 dBm	-114,2 dBm	-112,7 dBm	-111,9 dBm	-110,7 dBm	-109,7 dBm	-107,3 dBm	-102,4 dBm	-99,4 dBm
UE Noise Figure	dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB
Noise / RE	dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm
PDSCH SINR	dB	**-3,3 dB**	**-4,6 dB**	**-3,1 dB**	**-2,5 dB**	**-1,1 dB**	**-2,0 dB**	**-3,2 dB**	**-1,3 dB**	**-0,9 dB**	**-0,8 dB**	**-0,7 dB**	**-0,7 dB**	**-0,6 dB**	**-0,6 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**
PDCCH SINR (target = 0,8dB)	dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB
RS SINR	dB	-7,4 dB	-8,6 dB	-7,1 dB	-6,5 dB	-5,1 dB	-6,0 dB	-7,2 dB	-5,3 dB	-4,9 dB	-4,8 dB	-4,8 dB	-4,7 dB	-4,7 dB	-4,6 dB	-4,5 dB	-4,5 dB
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
Spatial Multiplexing Gain		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Optimal DL MCS Index	#	MCS 3	MCS 2	MCS 3	MCS 4	MCS 5	MCS 4	MCS 3	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5
Initial BLER	%	8,1%	8,1%	6,7%	9,2%	7,5%	6,9%	7,4%	8,7%	6,6%	6,0%	5,7%	5,4%	5,2%	4,9%	4,5%	4,5%
Data Rate at UL Service Cell Edge	kbps	5151 kbps	4088 kbps	5228 kbps	6384 kbps	7884 kbps	6543 kbps	5189 kbps	7786 kbps	7961 kbps	8017 kbps	8038 kbps	8068 kbps	8086 kbps	8115 kbps	8143 kbps	8150 kbps

Hist / 1. Freq. Params / 2. LKB Params / 3. Summary / DU / U / SUld / SUlc / RU

Figura 2.35 Datos de Salida para los parámetros del LINK BUDGET en DL.

2.5.2.2 Dimensionamiento de Servicio

El proceso de diseño se basa en los requisitos de cobertura del peor valor de RSSI (Reception Signal Strenght Intensity), RSRP (Reference Signal Reception Power), del Link Budget en el enlace ascendente.

Los servicios recomendados en el enlace UL por usuario se resumen en: PS128 (Packet Switching a 128 Kbps mínimo), PS256 (Packet Switching a 256 Kbps mínimo) y PS512 (Packet Switching a 512 Kbps mínimo). Con un margen de interferencia de 3 dB aplicado a la red existente y con el criterio de reusar los sitios existentes sólo si la banda de frecuencias LTE es designado y provisto al operador a través de la SUPTEL.

La pérdida máxima permisible en el enlace UL ha sido calculada en el Link Budget con los ajustes de los parámetros validados.

2.5.2.3 Supuestos de Tráfico

El análisis de tráfico es la segunda etapa de la simulación. La carga de tráfico debería definirse por el cliente. A continuación se presentan en detalle la

información de servicio y tráfico necesario para completar el diseño. El supuesto de tráfico tiene un gran impacto en el número de celdas y de los resultados de radio planificación.

Los supuestos de tráfico pueden ser definidos de diferentes maneras:

- Un valor en porcentaje de la carga de tráfico o la potencia total usada especifica, de acuerdo a los criterios empíricos usados por los proveedores y operadores es de tener una carga supuesta de 50% o del 100% de la carga total, como valores típicos mínimo y máximo, incluyendo canales comunes pero de acuerdo con el cliente este valor puede cambiar a un 60%, 75 %. Esto se tiene en cuenta en la herramienta de predicción, mediante el establecimiento de celdas en la tabla, la columna de carga de tráfico.
- Un tráfico mixto es propuesto para redes con carga reales. Este tráfico mixto se basa en un perfil de llamada de usuario que contiene cada actividad de servicio y su duración o el volumen de datos transmitidos durante una hora pico. En primer lugar es necesario determinar todos los servicios que la red va a tener. Un servicio es la conjunción de un tipo de datos (voz o datos), un modo de transporte (conmutación de circuitos o conmutación de paquetes), y una velocidad de datos.

Los servicios que comúnmente pueden ser utilizados para supuestos de tráfico repartidas en toda la red ponderada con los coeficientes de actividad de usuario, son los siguientes:

Voz PS128 (Packet Switching a 128 Kbps mínimo), PS256 (Packet Switching a 256 Kbps mínimo), PS512 (Packet Switching a 512 Kbps mínimo), PS1000 (Packet Switching a 1000 Kbps mínimo), PS2000 (Packet Switching a 2000 Kbps mínimo). La zona en la que cada servicio tiene que estar siempre claramente definido, por ejemplo: una alta velocidad de datos es necesaria en el centro urbano del sector Iñaquito al cual va enfocado el diseño.

Estas zonas se definen generalmente según el tipo de entorno, pero también el tráfico puede ser definido por servicio y según el tipo de usuario y por sector. De hecho, el C/I (Relación portadora interferencia) para un servicio dado en un entorno de radio dado puede ser diferente de acuerdo con el perfil del usuario.

2.5.2.3.1 Objetivos de Diseño en RF

Con base en los servicios a dimensionarse y los supuestos de tráfico, el diseño de RF para el sector de Iñaquito se precisa a continuación.

El primer paso para seleccionar los sitios candidatos correctos son los que cumplen los criterios de QoC (calidad de cobertura) y QoS (calidad de servicio) por área. Durante el diseño, es importante tener en cuenta que una red LTE en el modo de re-uso de frecuencia de factor uno es generalmente un sistema de interferencia limitada, y que en tales casos, los sitios deberían colocarse de tal manera que se limite la interferencia inter celda.

Por lo tanto, los lugares o sitios altos o en las cimas de colinas o montañas deben ser evitados, los sitios deben ser regularmente colocados sobre áreas homogéneas, el tilt eléctrico estará basado en la altura del emplazamiento y las características de la celda. A fin de garantizar una buena red, seguiremos los criterios mencionados. Las modificaciones en RF de los sitios se analizan con la herramienta Atoll, utilizando los archivos de las predicciones y los módulos de simulación para LTE.

2.5.2.3.2 Objetivo RSRP (Potencia de Referencia de la Señal de Referencia)

Este criterio está definido por el 3GPP y debe ser la referencia para el análisis de la cobertura. De acuerdo al 3GPP, la definición de RSRP es; la potencia de referencia de la señal recibida (RSRP), que se determina para una celda, considerada como el promedio lineal sobre las contribuciones de energía en [W] de los elementos que llevan información específica en las señales de referencia dentro del ancho de banda de frecuencia considerado.

El objetivo de RSRP depende del dimensionamiento del servicio. El porcentaje de confiabilidad de cobertura en campo es del 95%, excepto en las zonas rurales, donde es del 90%.

Los valores objetivos del RSRP para su uso, se calculan en la herramienta de presupuesto del enlace de acuerdo con las entradas. En la herramienta de presupuesto de enlace todas las entradas se pueden ajustar en los parámetros de la hoja Link Budget en tablas 2.10 y 2.11.

Morphology Name	Multipath Channel Model	UL Cell Edge Rate Target	Tower Mounted RF Module	TMA	UE Configuration	# DL Transmit Paths	UL Interference Margin	DL Adjacent Cell RB Loading	eNode-B Antenna Height	Shadowing Standard Deviation
Dense Urban	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	25 m	8 dB
Urban	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	8 dB
Suburban Indoor	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	8 dB
Suburban Incar	VehA 50km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	7 dB
Rural Incar	VehA 50km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	40 m	7 dB

Tabla 2.11 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE. [19]

RNP Inputs Computation 2x40W 10MHz

RNP Inputs for LKB MAPL Validation

RNP Module	LTE	for usage with 9955 b3674 and beyond
Prediction Type	RSRP	

	Dense Urban	Urban	Suburban Indoor	Suburban Incar	Rural Incar
# DL Transmit Paths	2 paths	2 paths	2 paths	2 paths	2 paths
RS EPRE (for 9955)	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm
RS Power (for 9955)	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm
eNode-B Antenna Gain	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
DL Cable Losses	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
DL EIRP(RS)	38.5 dBm	38.5 dBm	38.5 dBm	38.5 dBm	38.5 dBm
Uplink Frequency	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz
Downlink Frequency	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz
UL/DL PL Correction Factor	-0.4 dB	-0.4 dB	-0.2 dB	-0.2 dB	-0.2 dB
RNP/ACP Design Level	-110.6 dBm	-110.5 dBm	-110.3 dBm	-109.0 dBm	-111.6 dBm
Outdoor Acceptance Level	-94.6 dBm	-97.6 dBm	-100.4 dBm	-104.4 dBm	-104.4 dBm

Tabla 2.12 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE, para ser tomado en cuenta en la herramienta de predicción para el RSRP. [19]

En resumen el usuario puede especificar si el objetivo es RSRP o RS-RSSI. El objetivo RS-RSSI (Intensidad de la señal más fuerte de la señal de referencia). Este criterio no está definido en 3GPP, pero puede ser un buen criterio para analizar y comparar el umbral de cobertura con el RSCP (Rx Signal Channel Power) de las redes UMTS como potencia de la señal de referencia sobre el ancho de banda, muy cercano al valor de la potencia piloto en UMTS (mayor o igual a 33 dBm).

RS-RSSI: potencia total transmitida dedicada para la señal de referencia durante una duración del símbolo OFDM.

Los valores objetivos de RS-RSSI para poder ser usado en la herramienta de RNP se calculan del LINK BUDGET.

Morphology Name	Multipath Channel Model	UL Cell Edge Rate Target	Tower Mounted RF Module	TMA	UE Configuration	# DL Transmit Paths	UL Interference Margin	DL Adjacent Cell RB Loading	eNode-B Antenna Height	Shadowing Standard Deviation
Dense Urban	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	25 m	8 dB
Urban	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	8 dB
Suburban Indoor	VehA 3km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	8 dB
Suburban Incar	VehA 50km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	30 m	7 dB
Rural Incar	VehA 50km/h	PS 128	Yes	No	Indoor - 0 dBi - Omni	2 paths	3.0 dB	50%	40 m	7 dB

Tabla 2.13 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE. [19]

RNP Inputs Computation 2x40W 10MHz

RNP Inputs for LKB MAPL Validation

RNP Module: LTE — for usage with 9955 b3674 and beyond

Prediction Type: RS-RSSI — Warning: RS-RSSI should not be used as a design level with ACCO as RSRP is assumed for coverage design levels

	Dense Urban	Urban	Suburban Indoor	Suburban Incar	Rural Incar
# DL Transmit Paths	2 paths	2 paths	2 paths	2 paths	2 paths
RS EPRE (for 9955)	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm	21.0 dBm
RS Power (for 9955)	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm	41.0 dBm
eNode-B Antenna Gain	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
DL Cable Losses	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
DL EIRP(RS)	61.5 dBm	61.5 dBm	61.5 dBm	61.5 dBm	61.5 dBm
Uplink Frequency	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz	2535.0 MHz
Downlink Frequency	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz	2655.0 MHz
UL/DL PL Correction Factor	-0.4 dB	-0.4 dB	-0.2 dB	-0.2 dB	-0.2 dB
RNP/ACP Design Level	-87.6 dBm	-87.5 dBm	-87.3 dBm	-86.0 dBm	-88.6 dBm
Outdoor Acceptance Level	-71.6 dBm	-74.6 dBm	-77.4 dBm	-81.4 dBm	-81.4 dBm

Tabla 2.14 Tablas de ingresos de la herramienta de dimensionamiento LINK BUDGET LTE, para ser tomado en cuenta en la herramienta de predicción el RSSI. [19]

El objetivo RSRQ (Calidad de Recepción en la Señal de Referencia) RSRQ = N * RSRP / RSSI donde RSSI es toda la potencia recibida a través de los recursos de ancho de banda N bloques durante el mismo período de tiempo en que se mide RSRP.

RSRQ depende de:

- Carga de tráfico.
- Valores de configuración de energía.
- Número de antenas Tx.
- Fiabilidad en el área.

La Tabla 2.14 muestra información detallada sobre todos los objetivos recomendados en función del número de antenas TX y fiabilidad área.

RSRQ targets for FDD LA3.x/LA4.x /LA5.x						
Area reliability required	1Tx antenna		2 Tx antennas		4 Tx antennas	
	50% Load	100% Load	50% Load	100% Load	50% Load	100% Load
90%	-12.5	-14.5	-14.5	-16.5	-16.5	-18.5
92%	-13	-15	-15	-17	-17	-19
95%	-13.5	-15.5	-15.5	-17.5	-17.5	-19.5
97%	-14.5	-16.5	-16.5	-18.5	-18.5	-20.5
99%	-16.5	-18.5	-18.5	-20.5	-21.5	-23.5

Tabla 2.15 Objetivos RSRQ vs. Porcentajes de confiabilidad de cobertura, para plataformas de acceso versiones 3,4 y 5. [19]

2.5.2.3.3 DL RS-SINR, PDSCH SINR Y SINR PDCCH

DL RS-SINR (Relación Señal a Ruido e Interferencia, de la Señal de Referencia) Este criterio no está definido en el 3GPP, y se puede calcular sobre la base de diferentes enfoques. La Tabla 2.15 muestra información detallada sobre los objetivos recomendados del RS SINR, en función del número de antenas de TX y el porcentaje de confiabilidad del área de cobertura.

RS-SINR targets for FDD LA3.x/LA4.x /LA5.x						
Area reliability required	1Tx antenna		2 Tx antennas		4 Tx antennas	
	50% Load	100% Load	50% Load	100% Load	50% Load	100% Load
90%	2.5	-0.5	-0.5	-3.5	-3.5	-6.5
92%	2	-1	-1	-4	-4	-7
95%	1	-2	-2	-5	-5	-8
97%	-1.5	-3.5	-3.5	-6.5	-6.5	-9.5
99%	-2.5	-5.5	-5.5	-8.5	-8.5	-11.5

Tabla 2.16 Objetivos RS-SINR vs. Porcentajes de confiabilidad de cobertura, para plataformas de acceso versiones 3,4 y 5. [19]

PDSCH SINR (Relación Señal a Ruido de Interferencia del Canal PDSCH). Los objetivos que se especifican a continuación se refieren al rehúso de frecuencia.

El valor objetivo de SINR PDSCH depende de la carga de tráfico, y no se ve afectada por el número de antenas de transmisión cuando todas las celdas de un mismo grupo tienen el mismo número de antenas, lo cual es altamente recomendado.

Los objetivos recomendados para las zonas limitadas por interferencia esencialmente lo que representa una probabilidad del 95% de cobertura, en las condiciones en las que se implementa una red. Así tenemos que:

95% de la zona de campo debe tener una SINR ≥-5dB, con carga DL 100%. 95% de la zona de campo debe tener una SINR ≥-2dB, con carga DL 50%. La fiabilidad de cobertura en la zona, recomendada por proveedor es del 95%, pero algunos clientes pueden requerir otros valores.

Area reliability required	PDSCH SINR Targets (dB) Not number of Tx antennas dependant	
	50% Load	100% Load
90%	-0.5	-3.5
92%	-1	-4
95%	-2	-5
97%	-3.5	-6.5

Tabla 2.17 Objetivos PDSCH SINR vs áreas de confiabilidad. [19]

- *Área contaminada y superposición de coberturas en análisis.*

El objetivo es optimizar la inclinación a fin de reducir el número de servidores que cubre la misma área, con lo cual se minimiza la interferencia sin afectar a la cobertura, la calidad y mejora al mismo tiempo la SINR.

- *Análisis de rebasamiento y post azimut / tilt.*

Este análisis debe hacerse después de la optimización de inclinación y azimut, realizando varias iteraciones para alcanzar la calidad y la cobertura de los objetivos superpuestos, y este mismo análisis debería hacerse antes de que se examine las vecindades y asignación del identificador de celda.

Este análisis consiste en la verificación de los siguientes aspectos del área que ha sido optimizada.

- Asegurarse de que la mejor área de servicios sea continua y no haya interrupción de una celda vecina que tenga una mayor intensidad de la señal en la mejor zona de servicio.
- Verificar que todos los objetivos, se respeten y traten de mejorar de forma manual en las zonas donde sea el caso.
- Compruebe que los sitios más lejanos que crean cierta interferencia tengan el valor máximo de downtilt aplicado.

2.6 ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE RADIO FRECUENCIA DE LA RED DE ACCESO LTE EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

2.6.1 INTRODUCCIÓN

El contenido de las siguientes secciones demuestra las razones de por qué el proyecto de titulación ofrece la mejor solución posible para cumplir los requerimientos reales y a futuro que pueda tener cualquier operador de telefonía móvil. La estrategia propuesta toma en consideración la necesidad de permitir el camino de evolución más óptimo que conducirá al proyecto a cumplir las expectativas de cobertura y capacidad.

Las partes claves de esta sección del capítulo 2 referente a Metodología de Diseño RF de la red LTE, incluye lo siguiente:

- Resumen del Diseño de Red: en este punto se hace una descripción del proceso de diseño para la red LTE, se incluye las funcionalidades iniciales de los eNodeB. Se presenta además el resumen de los indicadores globales y estrategias para optimizar la cobertura y capacidad, describe los principales aspectos y entradas consideradas para el dimensionamiento de la red.
- Planificación de Cobertura: en esta parte, se presentan las entradas, consideraciones, los cálculos del LINK BUDGET y los resultados del proceso de planificación de cobertura considerado para el área del proyecto sector Iñaquito de la ciudad de Quito.
- Planificación de Capacidad; en esta sección, se detalla las entradas, criterios asumidos, perfiles de tráfico y resultados del proceso de planificación de capacidad, considerado para el proyecto.
- Configuración de las estaciones base.

2.6.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

2.6.2.1 Resumen del Proceso de Planificación

El diseño de la red de acceso inalámbrico LTE, consiste de 4 pasos principales:

1. Recolección de Información: obtención de todos los datos requeridos para el diseño de la red.
2. Análisis de Cobertura: determinación de los rangos de las celdas para los objetivos de servicios requeridos en el Uplink y el Downlink. Esto puede incurrir a que la Planificación de Red de Radio, redefina la cantidad de sitios planificados.
3. Análisis de Capacidad: determinación de los requerimientos de ancho de banda y luego del correspondiente número de suscriptores que pueden ser manejados por la celda, de allí, también se realizará la identificación de las nuevas funcionalidades necesarias o de incrementar la capacidad de acuerdo a los sitios que se manejen en el diseño.
4. Dimensionamiento de los elementos de Red: Una vez detallado la lista de sitios conocidos, entonces es posible determinar el número de sitios y sus configuraciones.

DATOS DE ENTRADA:

Entradas de Cobertura:

- Tipo de área a ser cubierta: área DU (Dense Urbane), U (Urbane), ubicación ciudad.
- Servicios requeridos en el borde de la celda.
- Nivel de penetración indoor.
- Tipo de terreno: mapa de tráfico, morfología, topología.
- Coordenada de sitios, configuraciones de altura, tilts, patrón de antenas, azimuts.
- Modelo de propagación elegido.

Información de Red:

- Información de la red actual.
- Frecuencia LTE.
- Ancho de Banda máximo.
- Espectro, tipo de duplexión, tipo de operador y tipo de red a implementarse Overlay o Greenfield.

Entradas de Tráfico:

- Número de suscriptores, densidad de suscriptores.
- Perfil de tráfico por suscriptor, volumen de tráfico.
- Servicios a ofrecer con perfiles en UL/DL.
- Tasas de bits de los servicios.

Requerimientos de QoS:

- BLER.
- Bloqueo.
- Probabilidad de cobertura.

RESULTADOS DE SALIDA:

Configuración del eNodeB:

- Número de sitios y sectores.
- Ancho de banda LTE.
- Esquema MIMO.
- Potencia de Salida.

Mediante las figuras 2.36 y 2.37 se aprecian gráficamente las fases de diseño o el proceso de dimensionamiento con el cual se podría obtener una configuración de red de radio óptima que proporciona continuidad y calidad en la cobertura de servicio.

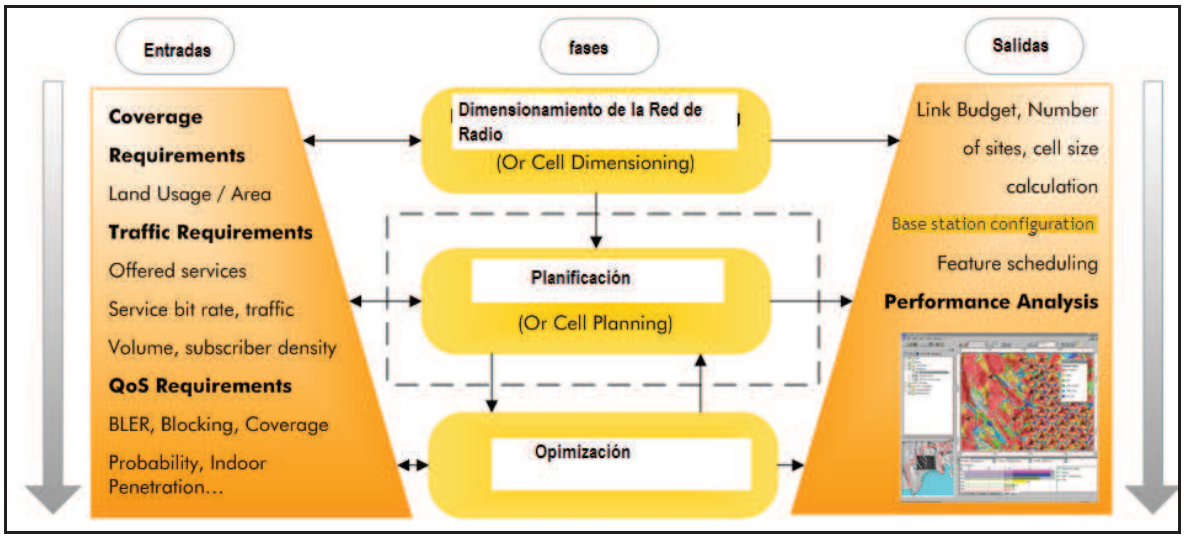


Figura 2.36 Resumen del proceso de diseño de red de radio. [20]

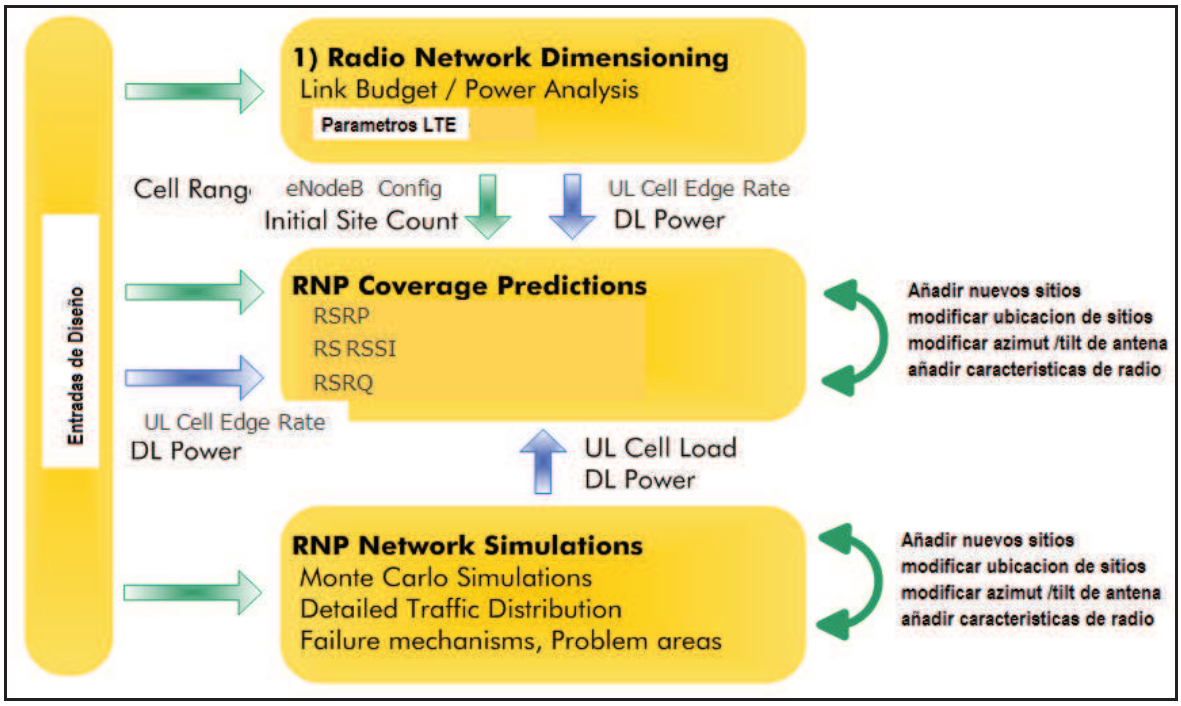


Figura 2.37 Resumen del proceso de diseño de red de radio para LTE. [20]

Dentro del proceso de planificación se puede realizar nuevas adaptaciones de sitios lo cual nos ubica dentro del proceso en un redimensionamiento que implica modificación de localizaciones, modificación de antenas apuntamientos en azimut y tilts, nuevas consideraciones a frecuencias y ancho de banda.

2.6.2.2 Factores de Diseño

La identificación de los factores de diseño para el presente proyecto fue derivado de los principios de radio planteados al inicio de este capítulo.

La información requerida incluye los aspectos regulatorios tales como banda de frecuencia, ancho de banda disponible, esquemas de re-usos, tecnología, co-ubicación de sitios, limitaciones de planificación, aspectos de interferencias, la morfología a ser cubierta o áreas geográficas exactas, juntamente con los perfiles de usuario y las tasas de penetración para varias fases del desarrollo de la red LTE.

[20].- Radio Network Planning Process, pág. 5, Alcatel Lucent, 2010.

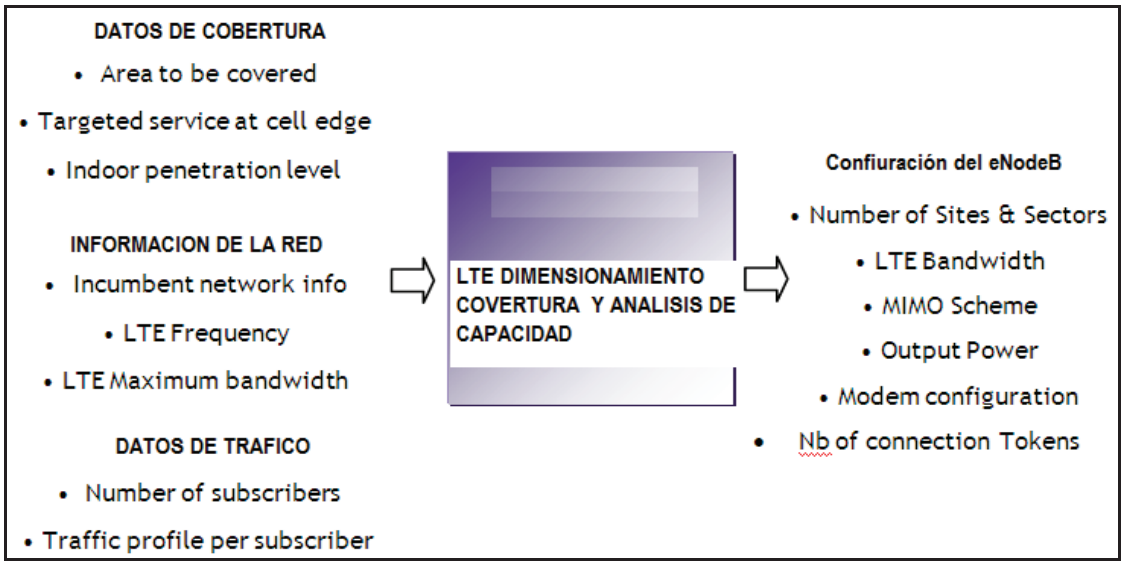


Figura 2.38 Resumen de proceso de dimensionamiento de cobertura y tráfico. (Inputs y outputs). [21]

En relación a este diseño, se observa que los siguientes factores son de vital importancia para el proyecto:

- Existe factibilidad de que tengamos el uso de FDD en la banda de 700MHz/850MHz/1900MHz/2100MHz/2300MHz/2600MHz/AWS.
- El desarrollo es efectivamente un OVERLAY LTE desarrollado en una red 3G existente, en las operadoras CLARO/MOVISTAR/CNT.
- Un fuerte enfoque se realiza en la maximización del rango de la celda y la minimización de la cantidad de sitios a fin de minimizar costos del lanzamiento de la red inicial.
- Una alta demanda de suscriptores y de Tráfico se pronostica para subsecuentes fases en desarrollo. Esto refleja la importancia en el diseño, que el equipo eNodeB ofrezca escalabilidad en la capacidad.

2.6.2.3 Consideraciones y Criterios Asumidos en el Diseño

Los siguientes subcapítulos resumen las principales entradas y consideraciones usadas en el proceso de diseño de la red LTE. Más adelante se detalla los datos de entrada asumidos, los cuales están asociados con el análisis de cobertura y de capacidad.

[21].- LTE Preliminary Network Design, pág. 8, Alcatel Lucent, 2010.

2.6.2.3.1 Verificación de Información Recolectada

- Bandas LTE disponibles :

  700MHz (3GPP Banda 12,13 y 17), 850 MHz (Bandas asignadas a Operadores locales), 1900 MHz (Bandas asignadas a Operadores locales), AWS (1700/2100 MHz) (3GPP Banda 4), 2100 MHz (3GPP Banda 1), 2300 MHz (3GPP Banda 34), 2500/2600 MHz (3GPP Banda 7 y 34).

- Espectro LTE y Ancho de Banda disponible:

  Para AWS 1700/2100 MHz se tiene un ancho de banda de 65 MHz no asignado.

  Para 850 MHz, tenemos que CLARO/MOVISTAR tienen 25MHz asignados.

  Para 1900 MHz, tenemos que CLARO/MOVISTAR/CNT tienen 10 MHz asignados.

  Para AWS 2100/2300/2500/2600, no hay todavía marco regulatorio ni asignación de ancho de banda.

  Para 700 MHz, el espectro está ocupado con señales analógicas de TV que están siendo removidas.

Nombre3GPP	Espectro total	*Uplink* [MHz]	*Downlink* [MHz]
2100	2 x 60 MHz	1920-1980	2110-2170
1900	2 x 60 MHz	1850-1910	1930-1990
1800	2 x 75 MHz	1710-1785	1805-1880
1700/2100	2 x 45 MHz	1710-1755	2110-2155
850	2 x 25 MHZ	824-849	869-894
800	2 x 10 MHz	830-840	875-885
2600	2 x 70 MHz	2500-2570	2620-2690
900	2 x 35 MHz	880-915	925-960
1700	2 x 35 MHZ	1750-1785	1845-1880
1500	2 x 25 MHz	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9

Tabla 2.18 Bandas de frecuencia definidas por 3GPP.

- Selección de duplexión :

  FDD: Duplexión por división de frecuencia, 2 frecuencias usadas, se han implementado ya en países latinoamericanos, europeos, por su facilidad de implementación y disponibilidad de equipos.

  TDD: Duplexión por división de tiempo, 1 frecuencia usada, lo han usado pocos países de Latinoamérica para acceso fijo de banda ancha, y en

combinación con FDD. Además países como China, han implementado el TD LTE a gran escala.

- Selección de operador: Existen información de sitios existentes por tener una red implementada 2G GSM y 3G WCDMA con CLARO, MOVISTAR y CNT en Ecuador.
- Verificación de tipo de red a usar es Greenfield (sitios totalmente nuevos) u Overlay (sobre sitios existentes reusando espacio físico en torre y estación, redes existentes).
- Anchos de banda disponible: 5, 10, 15, 20 MHz con equipos disponibles para FDD/TDD.
- Ubicación geográfica, será tomado del site survey RF en el área considerada.
- Área considerada: Sector Iñaquito / La Mariscal, Quito, Ecuador. CIRCUNVALACION AV. NACIONES UNIDAS, ELOY ALFARO, REPUBLICA, AMAZONAS Y LA REPUBLICA.
- Equipo eNodeB distribuido con modulo remoto RF (Radio Frecuencia, RRH Radio Remote Head), modulo de banda base digital BBU (Base Band Unit).
- Selección del modelo de propagación, Cost Hata, Estándar modificado BANDAS ALTAS, Okumura Hata BANDAS BAJAS.
- Documentación de los objetivos de cobertura, co-ubicación física y verificación de interferencias con antenas existentes, serán considerados de acuerdo al Site Survey RF, en Anexos.
- Selección de tipo de antenas, las antenas se seleccionarán por la banda de frecuencia de trabajo, ganancias, polarización, sectorización, apertura vertical y horizontal del haz, relación frente espalda, rangos de tilts eléctricos y mecánicos.
- Selección de alturas de antenas, se lo hace de acuerdo a las recomendaciones de los lineamientos generales de radio RF:
  30m < DU< 40m, 20m < U < 30m, 15m<SU<25m, 25m<RU<45m.
- Re uso de frecuencia 1, es usado con configuración por default, para proveer el mejor uso mejorable del espectro disponible.

2.6.2.3.2 Datos de Entrada Asumidos

- Bandas LTE disponibles :

  Se seleccionaron las bandas de 700MHz (3GPP Banda 12,13 y 17) por ser bandas de frecuencia baja, tienen mayor cobertura al tenerse un sitio con ventaja geográfica, se logra cubrir el área objetivo.
- Espectro LTE y Ancho de Banda disponible:

  La disponibilidad de la banda de 700 MHz está pendiente hasta que toda la señal analógica de televisión migre a tecnología digital (apagón analógico), y respecto a la banda de 850 MHz se deben migrar las tecnologías 2G o 3G de los operadores que ya tienen asignados ancho de banda.
- Selección de duplexión: Duplexión FDD, en el proyecto se considera esta técnica de duplexacion, ya que a nivel de proyectos desarrollados en Norte América y Latino América (Puerto Rico, Venezuela, México, Brasil); es la técnica más comúnmente desarrollada y estandarizada, además de tener equipos con esta técnica mayormente disponibles.
- Selección de operador: Se hará referencia a las ubicaciones de radio bases en tecnologías 2G GSM y 3G WCDMA con CLARO, MOVISTAR y CNT para la ciudad de Quito en el área objetivo de cobertura, verificando la mejor cobertura vs mejor ubicación geográfica.
- En este caso por optimizar recursos se debería optar por un sitio Overlay 2G/3G/CDMA/WIMAX de cualquiera de los operadores según la ubicación geográfica seleccionada y el survey de RF realizado. Tomando en cuenta con que tecnologías se va a estar conviviendo y las medidas para aislar interferencias.
- Anchos de banda disponible: se eligió de 20 MHz para la mejor selección de velocidades de transferencia en UL/DL.
- Ubicación geográfica: de acuerdo a la selección del mejor sitio por cobertura que será tomado del site survey RF en el área considerada (Overlay).
- Áreas consideradas: Sector Iñaquito, un área aproximada de 1,94 Km^2.

- Equipamiento usado: equipo ALCATEL LUCENT tecnología FDD, versión LA4.0, RRH y BBU D2U, con capacidad de 2 portadoras de potencia 40W, modelo 9326 d2U (enodeB distribuido), ver anexos de hoja de datos fabricante Alcatel Lucent equipo eNodeB.
- Selección del modelo de propagación: para la realización del LINK BUDGET o dimensionamiento de la Red se eligió por default el modelo OKUMURA HATA, y para la planificación de radio con la herramienta de predicción, se eligió el modelo de propagación estándar (SPM = Estándar Propagation Model) con parámetros empíricos en la banda de frecuencia 700MHz, validados en campo y con alta eficiencia en su uso.
- Documentación de los objetivos de cobertura, co-ubicación física y verificación de interferencias con antenas existentes:

  Las fotos panorámicas que se tomaron de acuerdo a las opciones de ubicación geográfica por tener mejor cobertura en el área, se encuentran en los anexos.

  Para la co-ubicación física se tomaron en cuenta los criterios de separación física vertical y horizontal entre antenas de diferente banda e igual banda, entre tecnologías, para ser implementadas en la misma torre, mono-polo, terraza. Al tenerse esta separación, habrá un desacoplamiento en frecuencia, lo que mejorara el control de interferencias.
- Selección de tipo de antenas, las antenas seleccionadas son las ZDA DJ700-14-60 por tener características amplias en ganancias, tilts, y apertura de haz.
- Selección de alturas de antenas, en este caso por ser un terreno a cubrir de tipo DU, se seleccionara una altura entre 30 y 40m, dependiendo del reconocimiento de sitio (site survey RF).
- Re uso de frecuencia 1, en este caso por ser una celda base, no aplicaría este criterio. El criterio de distancia debería corresponder a 3.5 veces el radio de la celda, lo cual provee la distancia mínima de rehúso bajo ambientes urbano y denso urbano.

2.6.3 ANÁLISIS DE COBERTURA

2.6.3.1 Link Budget y Modelo de Propagación

El análisis del Link Budget está incluido para soportar el dimensionamiento de la red de radio. Los resultados de este análisis incluyen:

- El análisis del rango de celdas a ser usado estima el número de sitios requeridos que satisfacen los requerimientos de cobertura.
- Las pérdidas máximas aceptables del trayecto son usados para el cálculo de las predicciones de cobertura en la planificación de las celdas de la red de radio.

Se examina los resultados en Downlink y Uplink para determinar las condiciones limitantes en cada diseño. Los parámetros considerados en el Link Budget son resumidos en la siguiente tabla junto con los datos recolectados y los valores asumidos:

Parámetro	Valor asumido	Fuentes
Ancho de banda de portadora	10 MHz, 20 MHz	OPERADOR/CLIENTE
Técnica de antenna	2x2 MIMO	OPERADOR/CLIENTE
Modelo de canal multitrayecto	EVehA3	PROVEEDOR
Modelo de propagación	Okumura – Hata	PROVEEDOR
Potencia total DL	40W / Tx Path	PROVEEDOR
$EPRE_{DL-RS}$	17dBm	PROVEEDOR
Transmit Power / Carrier	30 dBm	PROVEEDOR
Frecuencia de portadora	700 MHz / 850 MHz	OPERADOR/CLIENTE
Probabilidad de cobertura confinable	DU/U/SU : 95% RU : 90%	PROVEEDOR
Uplink IoT	3 dB	PROVEEDOR
Carga promedio del RB en DL	50%, 100%	PROVEEDOR
Desviación estándar del Shadowing y Margen de Shadowing	8dB, 8,7dB.	PROVEEDOR
Pérdidas por penetración interna	Ver Tabla 2.22	PROVEEDOR

Parámetro	Valor asumido	Fuentes
Altura de la antena del eNodeB	DU & U = 30m, SU = 30m, RU = 40m	PROVEEDOR
UE Antenna Height	1.5m	PROVEEDOR
Perdida por longitud de cable RF.	0.5dB loss tower RF module (RRH)	PROVEEDOR
Tasa de datos máxima en el borde en DL.	1000 kbps (UL), 4000 / 8000 kbps(DL).	OPERADOR/CLIENTE PROVEEDOR

Tabla 2.19 Parámetros de Diseño del LinK Budget. Ref [“LTE Preliminary Network Design, pág. 12 Alcatel Lucent, 2010”]

2.6.3.1.1 Márgenes de Planificación

Los márgenes de planificación aplicados en este diseño se basan en la orientación del RFP (Radio Frecuency Planning) descrito anteriormente a continuación los parámetros identificados para el diseño:

2.6.3.1.1.1 Margen de Shadowing

La tabla 2.19 resume los márgenes de shadowing y las ganancias de transferencia de llamadas que se aplican en este diseño. Estos márgenes y las ganancias dependen de la probabilidad de cobertura específica y área bajo la curva de la desviación normal estándar del shadowing.

Morphology	Urban	Suburban	Rural
Cell Area Coverage Probability	95%	95%	90%
Cell Edge Coverage Probability	86%	85%	71%
Standard Deviation	8 dB	7 dB	7 dB
Shadowing margin	8.6 dB	7.2 dB	4.4 dB
Handoff gain	3.6 dB	2.8 dB	2.6 dB

Tabla 2.20 Tabla de Márgenes de Shadowing por morfología. Ref [“LTE Preliminary Network Desing, pag 9, Alcatel Lucent, 2010”]

2.6.3.1.1.2 Margen de Penetración de Interiores e Interferencia (IoT)

Esto también se conoce como pérdida de penetración en interiores o solo pérdidas. El desempeño en el Uplink o enlace ascendente de un sistema LTE

está limitado por una combinación de las características de los equipos, el ruido térmico y la interferencia de UE's en las celdas adyacentes. La contribución de interferencia se representa en presupuestos de enlace por el margen de interferencia (IoT), que es el aumento de la interferencia sobre el de ruido térmico debido a la interferencia entre celdas. El margen de interferencia depende de una serie de factores tales como el número de sectores, técnicas de coordinación de interferencia, ancho de haz de antena, etc. Sin embargo, una consideración clave es la velocidad de datos en el borde de la celda. Los márgenes de interferencia que se consideran más adecuados para los supuestos de diseño específicos que se utilizan para este proyecto se presentan en la siguiente tabla.

Morphology	Urban	Suburban	Rural
Interference Margin (IoT)	3 dB	3 dB	3 dB

Tabla 2.21 Tabla de Márgenes de Interferencia por morfología.

2.6.3.1.2 Uplink Budget

El presupuesto de enlace ascendente se formula mediante el cálculo del MAPL que puede ser sostenido por el enlace entre un UE en el borde de la celda y el eNodeB, mientras que se requiere satisfacer un nivel mínimo de sensibilidad en el eNodeB que es una característica del equipo como se ilustra en la Figura 2.39. Los cálculos del presupuesto de enlace ascendente consideran todas las ganancias y pérdidas relevantes encontradas en el enlace entre UE y el eNodeB.

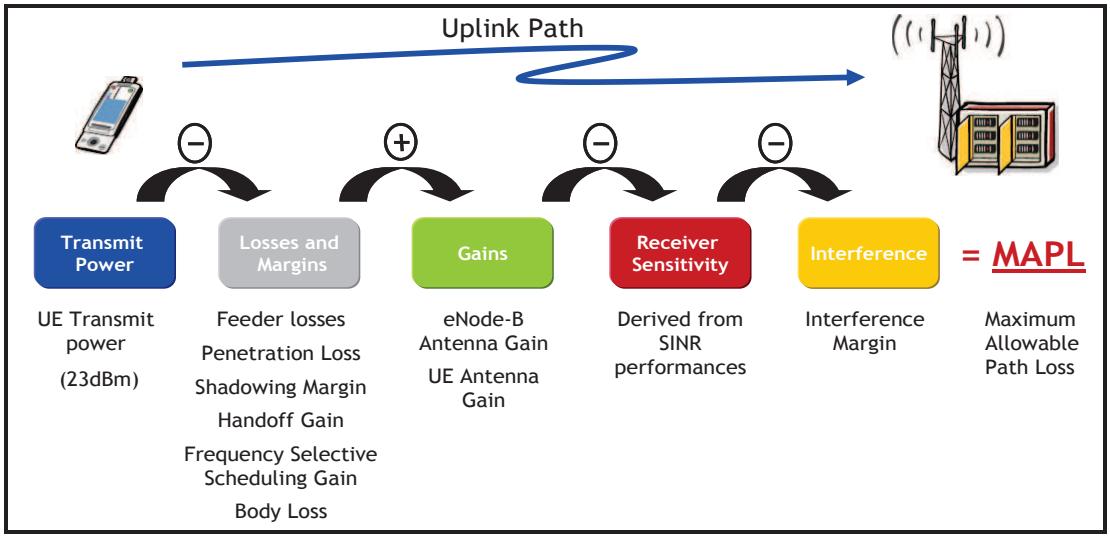


Figura 2.39 Cálculo del presupuesto de enlace ascendente. [21]

La Tabla 2.21 resume un presupuesto de enlace ascendente, en base a los supuestos que se detallaron en las Tablas 2.17 2.18 2.19 2.20, para una morfología urbana densa.

FDD - UL BUDGET - Dense Urban - 700 MHz - 10 MHz BW

Dense Urban		PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000	PS 20000
Guaranteed at Cell Edge		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Physical Channel		PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH
UL Receive Diversity		4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
# Resource Blocks Required	#	3 RB	4 RB	5 RB	10 RB	15 RB	16 RB	25 RB	40 RB	40 RB	45 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 5	MCS 10	MCS 15	MCS 23
Transport Block Size	bit	144 bit	328 bit	424 bit	568 bit	872 bit	1128 bit	2216 bit	6968 bit	11448 bit	22920 bit
Average Eff. Data Rate	kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps	5700 kbps	10000 kbps	20000 kbps
Target UL SINR	dB	-2,3 dB	-0,6 dB	0,0 dB	-2,3 dB	-2,8 dB	-2,1 dB	-1,6 dB	2,5 dB	7,7 dB	14,2 dB
eNode-B Noise Figure	dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB
Used Bandwidth	KHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1800 kHz	2700 kHz	2880 kHz	4500 kHz	7200 kHz	7200 kHz	8100 kHz
eNode-B Sensitivity	dBm	-116,4 dBm	-113,5 dBm	-112,0 dBm	-111,2 dBm	-110,0 dBm	-109,0 dBm	-106,6 dBm	-100,4 dBm	-95,3 dBm	-88,3 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB
Shadowing Margin	dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Fixed IoT	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm
MAPL	dB	130,1 dB	127,1 dB	125,6 dB	124,9 dB	123,6 dB	122,6 dB	120,3 dB	114,1 dB	108,9 dB	101,9 dB
UL Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,53 km	0,38 km	0,24 km
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 2.22 Generada para Uplink Budget (10MHz, 700 MHz, DenseUrban DU)

2.6.3.1.3 Downlink Budget

La figura 2.40 ilustra el enlace downlink con el enfoque del link budget utilizado por el proveedor. Se describe la metodología utilizada para calcular el rango de celdas para los diferentes servicios de enlace ascendente. Algunos ejemplos de tales servicios y sus rangos de celdas relativas se ilustran en azul. También se muestran las estimaciones de velocidad de datos de enlace descendente, ilustrados en púrpura, correspondientes a los rangos de celdas de las diferentes tasas de datos de enlace ascendente.

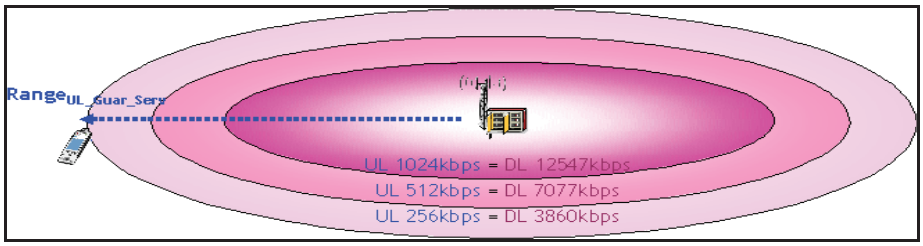


Figura 2.40 Ilustración del proceso de adaptación de enlace en el downlink. [21]

El MAPL limita el Link Budget del enlace ascendente el cual determina el rango de celdas para el análisis del enlace descendente. Dentro de los rangos de celdas correspondientes de enlace ascendente, se hacen estimaciones de los rendimientos alcanzables en el enlace descendente.

La figura 2.40 muestra el efecto de seleccionar un servicio de UL-1 Mbps en el borde de la celda y la motivación tenía que cambiar a 512Kbps. Es importante reconocer los efectos de borde de la celda mediante la comparación del rendimiento correspondiente al DL accesible, para el servicio con UL: 512Mbps se considera como servicio celular en el borde; para este caso, el máximo rendimiento alcanzable DL es de alrededor de 4 Mbps dentro de un rango de alrededor de 1,07 kilómetros en un ambiente denso urbano. Por el contrario, la propuesta de ALCATEL LUCENT incluye un servicio de borde de la celda de 512Kbps. Por esta condición, UL: 1024Kbps servicio que sigue siendo posible dentro de un rango de 0,93 kilómetros (muy similar al escenario previo), un rendimiento real y mejor que se puede lograr para el enlace descendente en este caso, el abonado puede tener hasta 8095 Kbps.

El proveedor recomienda este escenario ya que proporcionará una mejor eficiencia espectral global y mucha más capacidad de toda la red, sin sacrificar la cobertura.

A continuación los resultados con:

- **AB 20 MHz, FRECUENCIA 700 MHz :**

FDD - UL BUDGET - Dense Urban - 700 MHz - 20 MHz BW														
Dense Urban		PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000	PS 20000	PS 30000	PS 40000	PS 50000
Guaranteed at Cell Edge		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Physical Channel		PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH
UL Receive Diversity		4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
# Resource Blocks Required	#	3 RB	4 RB	5 RB	10 RB	15 RB	16 RB	25 RB	64 RB	80 RB	80 RB	80 RB	90 RB	90 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 5	MCS 6	MCS 8	MCS 15	MCS 20	MCS 23	MCS 26
Transport Block Size	bit	144 bit	328 bit	424 bit	568 bit	872 bit	1128 bit	2216 bit	6712 bit	11064 bit	22920 bit	34008 bit	45352 bit	55056 bit
Average Eff. Data Rate	kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps	5700 kbps	10000 kbps	20000 kbps	30000 kbps	40000 kbps	50000 kbps
Target UL SINR	dB	-2,3 dB	-0,6 dB	0,0 dB	-2,3 dB	-2,8 dB	-2,1 dB	-1,6 dB	-0,8 dB	1,2 dB	7,7 dB	11,8 dB	14,2 dB	17,1 dB
eNode-B Noise Figure	dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB
Used Bandwidth	KHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1800 kHz	2700 kHz	2880 kHz	4500 kHz	11520 kHz	14400 kHz	14400 kHz	14400 kHz	16200 kHz	16200 kHz
eNode-B Sensitivity	dBm	-116,4 dBm	-113,5 dBm	-112,0 dBm	-111,2 dBm	-110,0 dBm	-109,0 dBm	-106,6 dBm	-101,7 dBm	-98,7 dBm	-92,3 dBm	-88,1 dBm	-85,2 dBm	-82,3 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB
Shadowing Margin	dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Fixed IoT	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm
MAPL	dB	**130,1 dB**	**127,1 dB**	**125,6 dB**	**124,9 dB**	**123,6 dB**	**122,6 dB**	**120,3 dB**	**115,4 dB**	**112,4 dB**	**105,9 dB**	**101,8 dB**	**98,9 dB**	**96,0 dB**
UL Cell Range	km	**1,52 km**	**1,25 km**	**1,13 km**	**1,08 km**	**0,99 km**	**0,93 km**	**0,80 km**	**0,58 km**	**0,48 km**	**0,31 km**	**0,24 km**	**0,20 km**	**0,16 km**
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 2.23 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO LINK BUDGET EN UL, 700 MHz FREC, 20 MHz AB.

Dense Urban		FDD - DL BUDGET - Dense Urban - 10% iBLER - 700 MHz - 20 MHz BW												
		PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000	PS 20000	PS 30000	PS 40000	PS 50000
# Resource Blocks	#	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB
Used Bandwidth	KHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
DL Cable & Connector Losses	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional DL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Shadowing Margin	dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
SINR Shadowing Margin	dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB
Limiting UL Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,58 km	0,48 km	0,31 km	0,24 km	0,20 km	0,16 km
# DL Tx Paths	paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths
Energy Per Resource Element (RS)	dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
Adjacent Cell Loading	%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
UL Service Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,58 km	0,48 km	0,31 km	0,24 km	0,20 km	0,16 km
DL Path Loss @ UL Cell Edge	dB	130,6 dB	127,6 dB	126,1 dB	125,3 dB	124,1 dB	123,1 dB	120,7 dB	115,8 dB	112,8 dB	106,4 dB	102,2 dB	99,3 dB	96,4 dB
DL Geometry Percentile	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
DL Geometry	dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB
PDSCH Rx. Power / RE	dBm	-124,7 dBm	-121,7 dBm	-120,2 dBm	-119,5 dBm	-118,2 dBm	-117,2 dBm	-114,8 dBm	-110,0 dBm	-106,9 dBm	-100,5 dBm	-96,4 dBm	-93,4 dBm	-90,5 dBm
PDSCH Avg. Interf. Power / RE	dBm	-117,2 dBm	-114,2 dBm	-112,7 dBm	-112,0 dBm	-110,7 dBm	-109,7 dBm	-107,3 dBm	-102,5 dBm	-99,4 dBm	-93,0 dBm	-88,9 dBm	-86,0 dBm	-83,0 dBm
UE Noise Figure	dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB
Noise / RE	dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm
PDSCH SINR	dB	**-1,3 dB**	**-0,9 dB**	**-0,8 dB**	**-0,7 dB**	**-0,7 dB**	**-0,6 dB**	**-0,6 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**
PDCCH SINR (target = 0,8dB)	dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB
RS SINR	dB	-5,3 dB	-4,9 dB	-4,8 dB	-4,7 dB	-4,7 dB	-4,6 dB	-4,6 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
Spatial Multiplexing Gain		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Optimal DL MCS Index	#	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5
Initial BLER	%	8,6%	6,5%	5,9%	5,6%	5,3%	5,1%	4,8%	4,4%	4,4%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%
Data Rate at UL Service Cell Edge	kbps	**7794 kbps**	**7970 kbps**	**8025 kbps**	**8047 kbps**	**8076 kbps**	**8095 kbps**	**8124 kbps**	**8152 kbps**	**8157 kbps**	**8160 kbps**	**8160 kbps**	**8161 kbps**	**8161 kbps**

Tabla 2.24 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO LINK BUDGET EN DL, 700 MHz FREC, 20 MHz AB.

2.6.3.1.4 Modelo de Propagación utilizado para Link Budget

K1 y K2 caracterizan el modelo de propagación. Para estimar el Link Budget de la cobertura macro celda, los siguientes modelos de propagación fueron usados:

- $Losses_{Propagation}(R_{km}) = K_1 + K_2 \cdot Log_{10}(R_{km})$
- Para 700, 850 o 900 MHz, el modelo de Okumura-Hata es usado:
  - $K_1 = 69.55 + 26.16 \cdot Log_{10}(F_{Mhz}) - 13.82 \cdot Log_{10}(H_b) - a(H_m) + K_c$
- Para AWS, 1.9GHz o 2.1GHz band, el modelo COST-231 Hata es usado:
  - $K_1 = 46.3 + 33.9 \cdot Log_{10}(F_{Mhz}) - 13.82 \cdot Log_{10}(H_b) - a(H_m) + K_c$
- Para 2.6GHz, a un modelo modificado de COST-231 Hata es usado:
  - El modelo COST 231 HATA es limitado para frecuencias entre 1.5 y 2 GHz. Basado en mediciones en alta frecuencia (3.5 y 2.5 GHz), se tiene la siguiente formula modificada :
    - $K_1 = 46.3 + 33.9 \cdot Log_{10}(2000) + 20 \cdot Log_{10}\left(\frac{F_{MHz}}{2000}\right) - 13.82 \cdot Log_{10}(H_b) - a(H_m) + K_c$

      donde:
  - $K_2 = 44.9 - 6.55 \cdot Log_{10}(H_b)$
  - $a(H_m) = [1.1 \cdot Log_{10}(F_{MHz}) - 0.7] \cdot H_m - [1.56 \cdot Log_{10}(F_{MHz}) - 0.8]$ for $K_c > -5$
  - $a(H_m) = 3.2 \cdot [(Log_{10}(11.75\ xH_m)]^2 - 4.97$ for $K_c \leq -5$
  - F_{MHz} representa la frecuencia de operación en MHz.
  - H_b es la altura de la antena del ENODEB en metros.
  - H_m es la altura de la antena del UE en metros, típicamente 1.5m.
  - a(Hm), ecuación en función de Hm , frecuencia que depende de Kc.

Un factor de corrección morfológico K_c, es usado dependiendo del tipo de morfología, por ejemplo, denso urbano, urbano, suburbano, rural. Se tienen en la figura valores típicos de campanas de medición de la calibración de modelos de propagación.

Para nuestro caso se eligió los modelos en 700MHz, el modelo de Okumura-Hata:

- $K_1 = 69.55 + 26.16 \cdot Log_{10}(F_{Mhz}) - 13.82 \cdot Log_{10}(H_b) - a(H_m) + K_c$

	Losses (dB)
0 - unclassified (0m)	0
1 - dense_urban (0m)	1,5
2 - urban (0m)	-1
3 - low_urban (0m)	-3
4 - high_residential (0m)	-4,5
5 - low_residential /village (0m)	-9
6 - industrial_areas (0m)	-4,5
7 - park (0m)	-7
8 - semi_open_areas (0m)	-1
9 - open_areas (0m)	-5
10 - open_wet_areas (0m)	-5
11 - dense_forest (0m)	-2
12 - sparse_forest (0m)	-2
13 - agriculture (0m)	-2
14 - inland_water (0m)	-15
15 - airports (0m)	-1
16 - river (0m)	-15
17 - sea (0m)	-15

Tabla 2.25 Factores de corrección de los Clutters para DU en la banda elegida.

2.6.4 PLANIFICACIÓN DE CELDAS EN LA RED DE RADIO

2.6.4.1 Diseño de RF y Procedimiento con la Herramienta de Predicción

Luego de haber realizado el dimensionamiento de red a través del LINK BUDGET, ahora se usarán estos datos y otros datos de entrada, para poder realizar la planificación de radio RF de la celda base, esto se lo realizará a través de la herramienta de planificación ATOLL.

2.6.4.1.1 Inputs: Datos de Radio, datos de trafico y resultados obtenidos

Los datos de mapas geográficos digitales de tipo de terreno o clutter, de alturas o topográficos, y vectores correspondientes a la ciudad de Quito, se tuvieron como base para configuración en el ATOLL.

Basado en mapas digitales de resolución 20m de Ecuador, colaboración Alcatel Lucent.

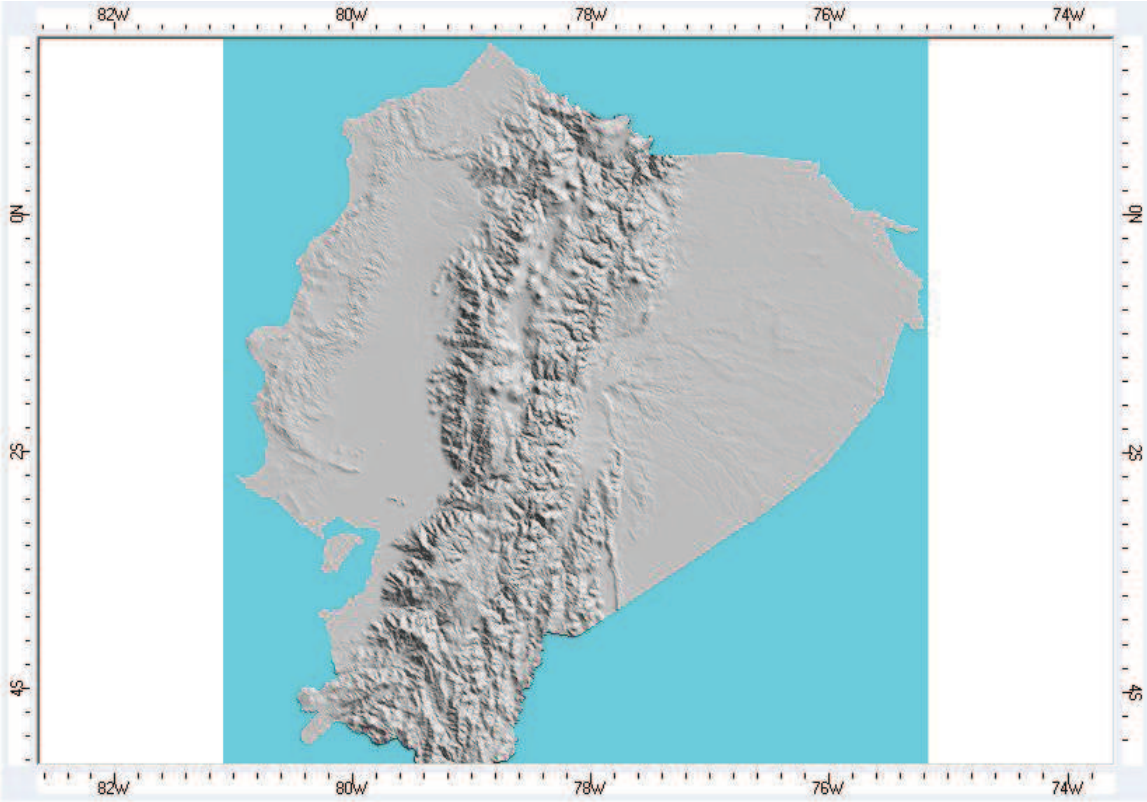


Figura 2.41 Mapa digital de terreno, resolución 20m.

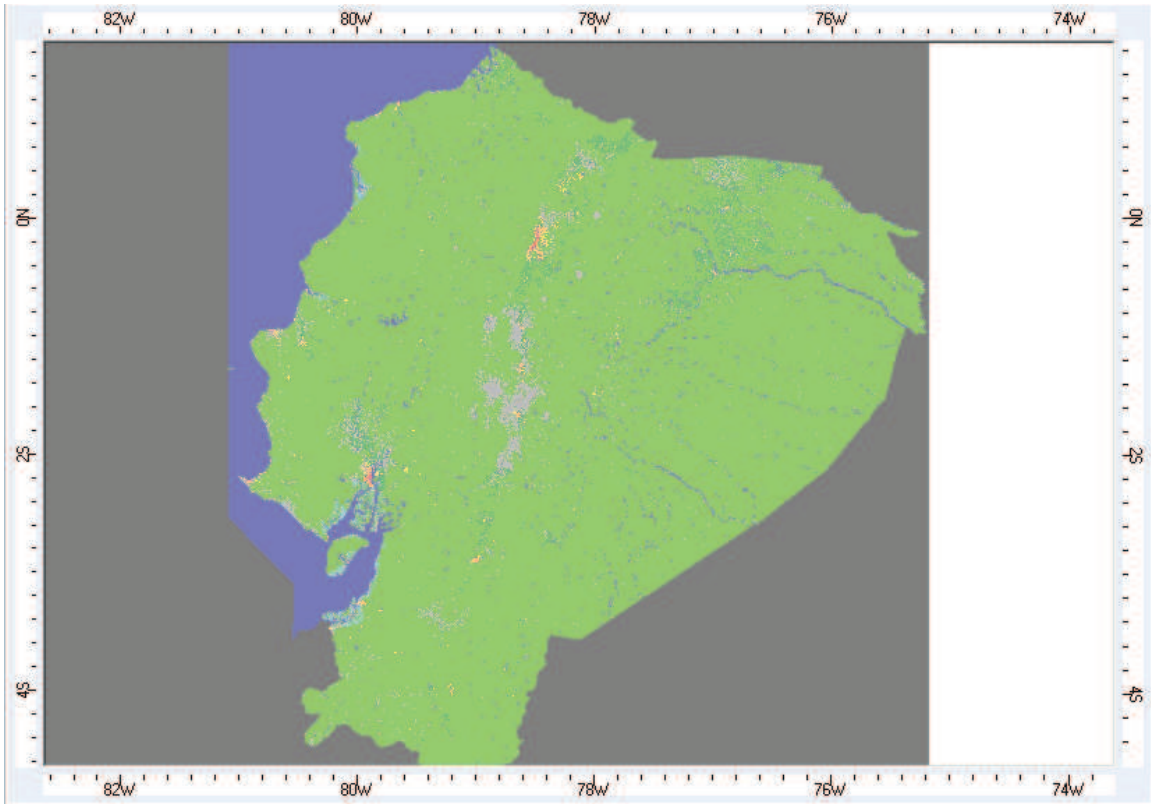


Figura 2.42 Mapa digital de clutter, resolución 20m.

Leyenda:

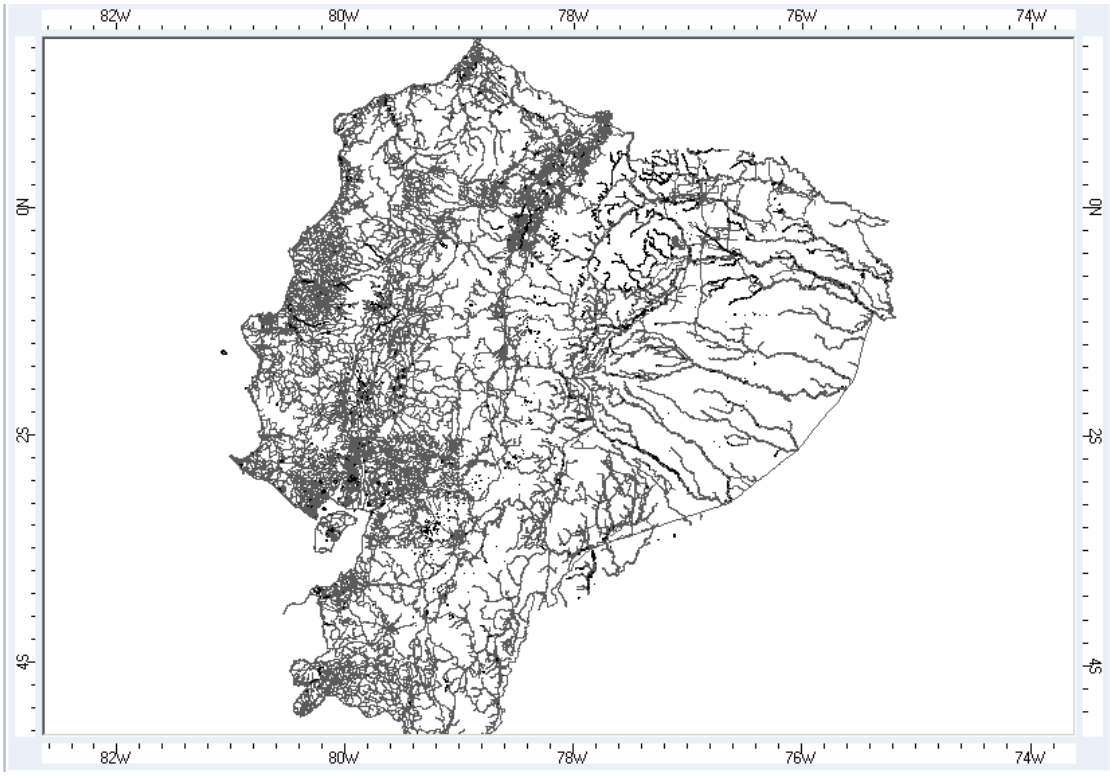


Figura 2.43 Mapa digital de vectores.

2.6.4.1.2 Predicciones de Cobertura

De acuerdo a las recomendaciones de predicciones posibles en la herramienta y en la que sus resultados muestren significativamente la calidad del diseño RF, se tienen los siguientes plots de cobertura:

- Coverage by Signal Level
- Best RSRP (RS EPRE level)

- RSSI coverage
- Coverage by transmitter
- RSRQ
- RS-SINR
- PDSCH SINR
- UL SINR
- Overlapping Zones

El procedimiento para realizar cada una de estas predicciones, es:

- Best RSRP (RS EPRE level, Reference Signal Reception Power):

  Se selecciona el estudio de predicción general Effective Signal Analysis DL, y luego se sub-selecciona RSRP DL.

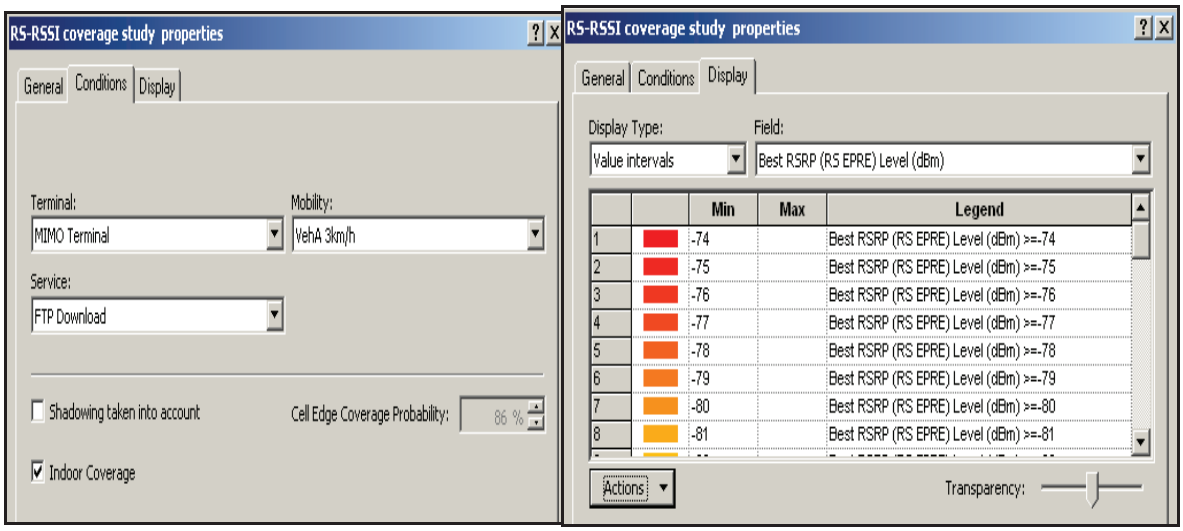
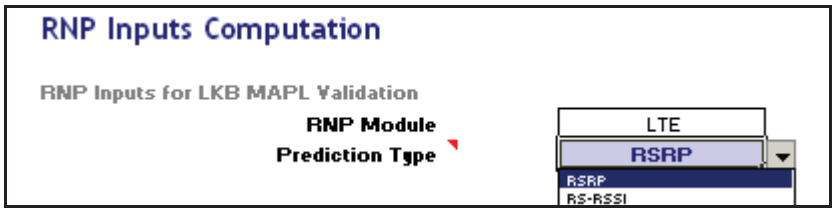


Figura 2.44 Ingresos en la herramienta de predicción para RSRP.

Y tomar en cuenta para comprobaciones el nivel de aproximación del LINK BUDGET RSRP.



- RSSI.- (Reception Signal Strength Intensity), covertura: Se selecciona el estudio de predicción general Effective Signal Analysis DL, y luego se sub selecciona Best Reference Signal Level DL.

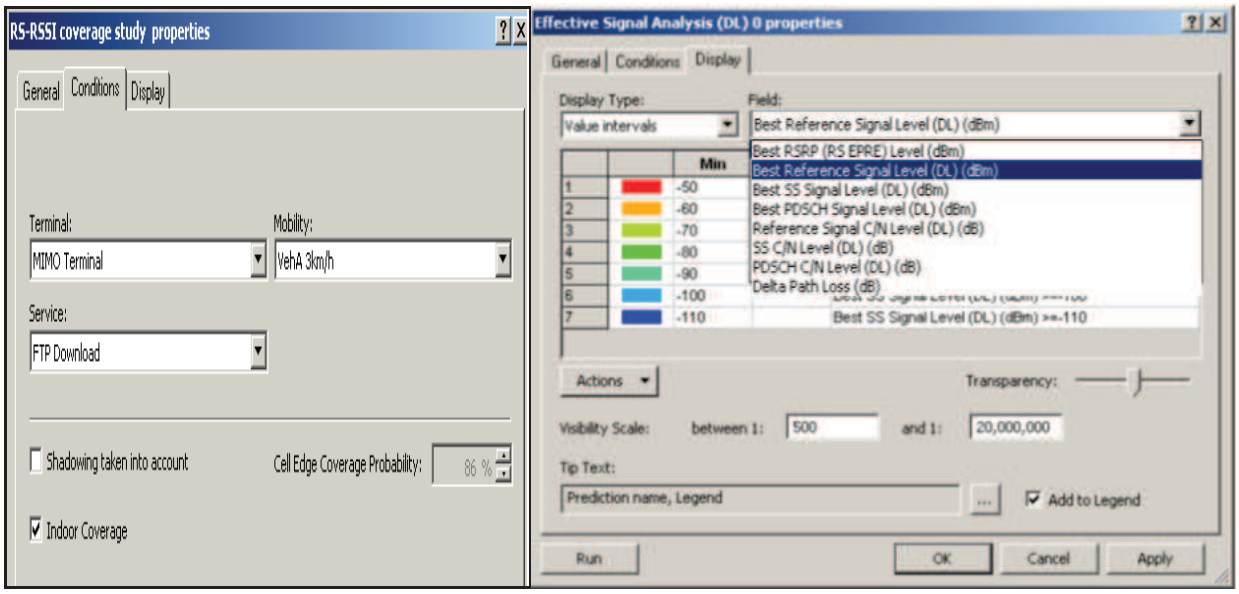


Figura 2.45 Ingresos en la herramienta de predicción para RSSI.

Y tomar en cuenta para comprobaciones el nivel de aproximación del LINK BUDGET, RS RSSI.

- Cobertura por transmisor:

  Se selecciona el estudio de predicción general Coverage by transmitter.

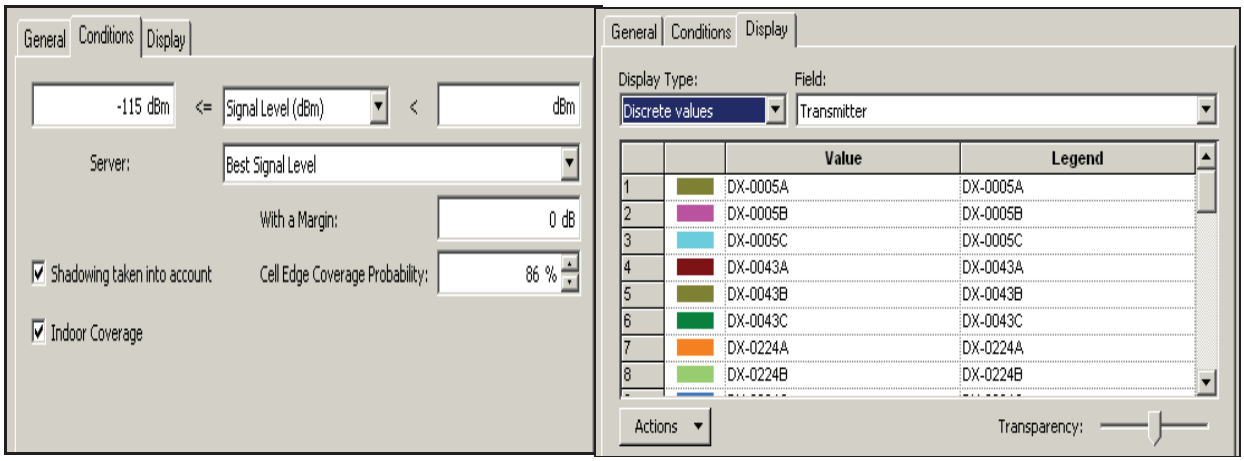


Figura 2.46 Ingresos en la herramienta de predicción para cobertura por transmisor.

- RSRQ: (Calidad de Rx de la señal de Referencia)

Seleccionar el estudio general Coverage by C/(I+N) level DL y subseleccionar RSRQ.

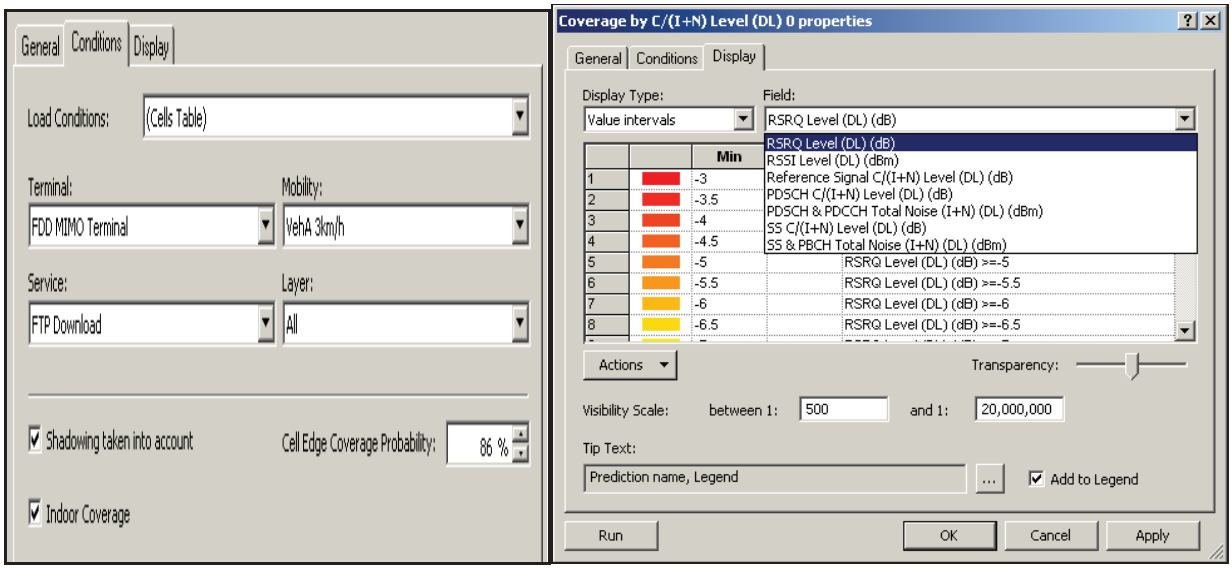


Figura 2.47 Ingresos en la herramienta de predicción para RSRQ.

- **RS-SINR:** Seleccionar el estudio general "Coverage by C/(I+N) level DL, y luego sub seleccionar Reference Signal C/(I+N) level DL.

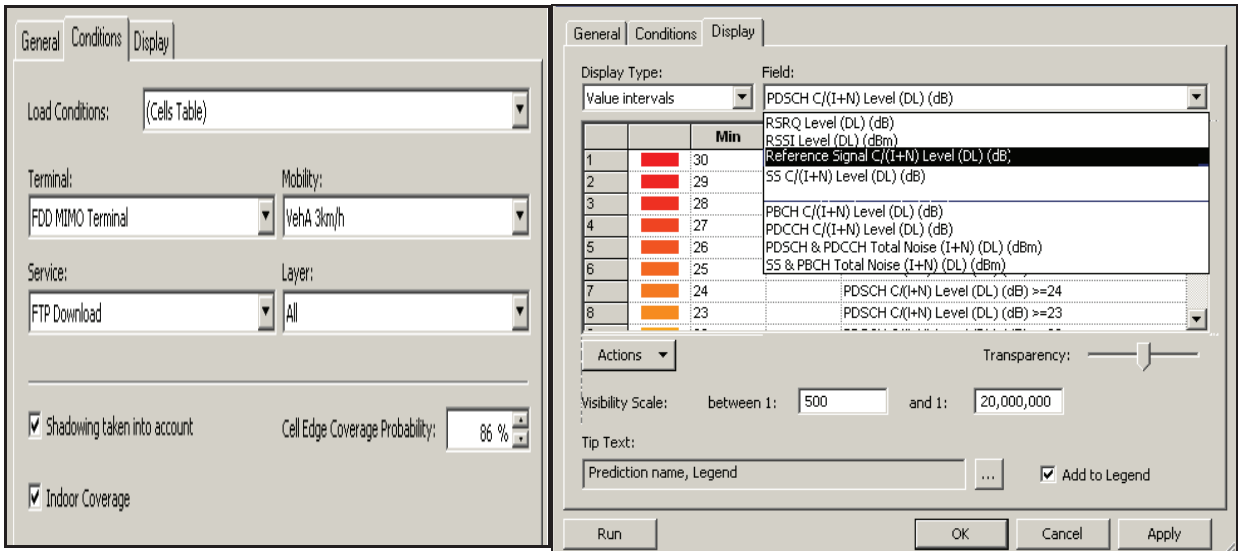


Figura 2.48 Ingresos en la herramienta de predicción para RS SINR.

- PDSCH SINR: Seleccionar el estudio general "Coverage by C/(I+N) level DL, y luego sub seleccionar PDSCH C/(I+N) level DL.

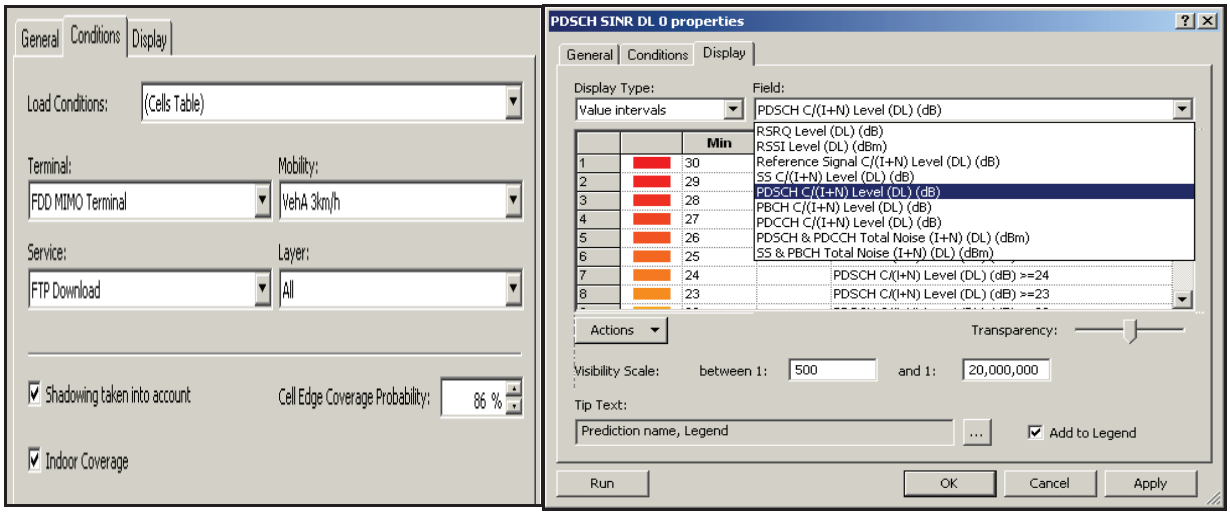


Figura 2.49 Ingresos en la herramienta de predicción para PDSCH SINR.

- **UL SINR:** Seleccionar el estudio general "Coverage by C/(I+N) Level UL, luego sub-seleccionar el estudio PUSCH & PUCCH C/ (I+N) level UL.

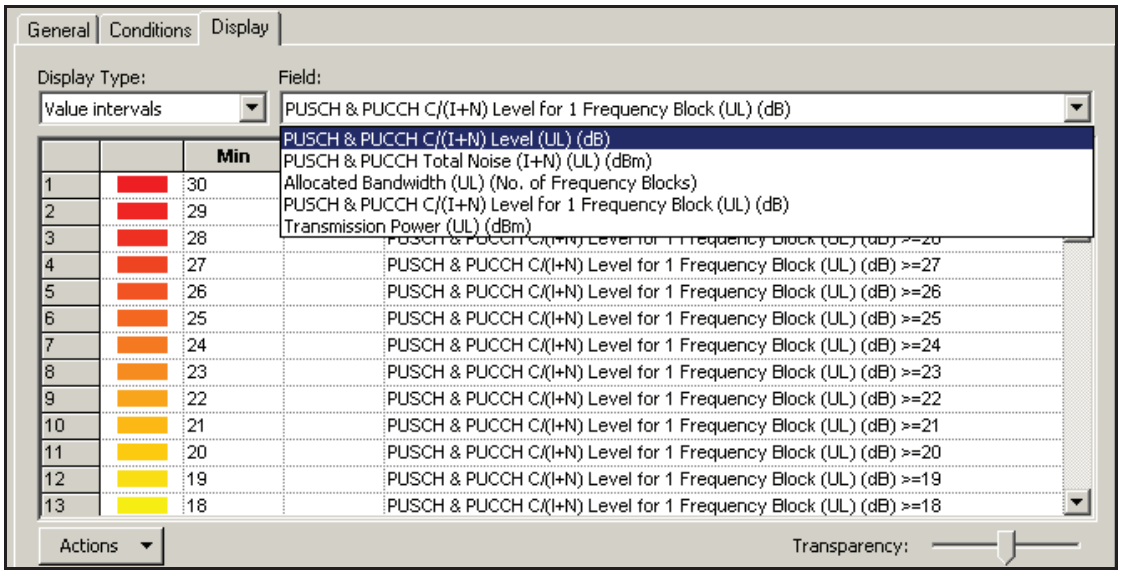


Figura 2.50 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P1

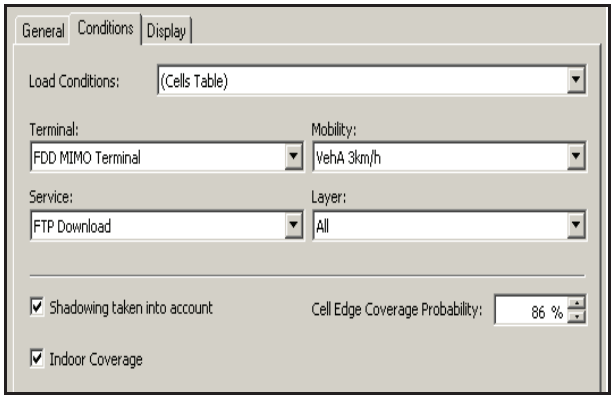


Figura 2.51 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P2

- Overlapping Zones: Seleccionar el estudio general Overlapping Zones.

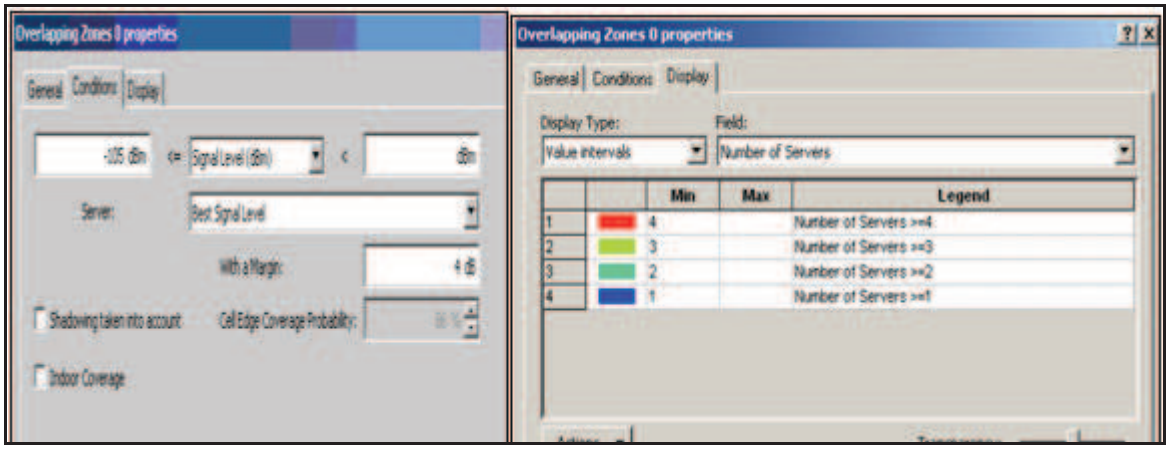


Figura 2.52 Ingresos en la herramienta de predicción para UL SINR.P1

2.6.4.2 Resultados de la Planificación de la Red de Radio

2.6.4.2.1 Ubicación de Sitios y configuración

Se tienen los siguientes resultados en MAPINFO y ATOLL:

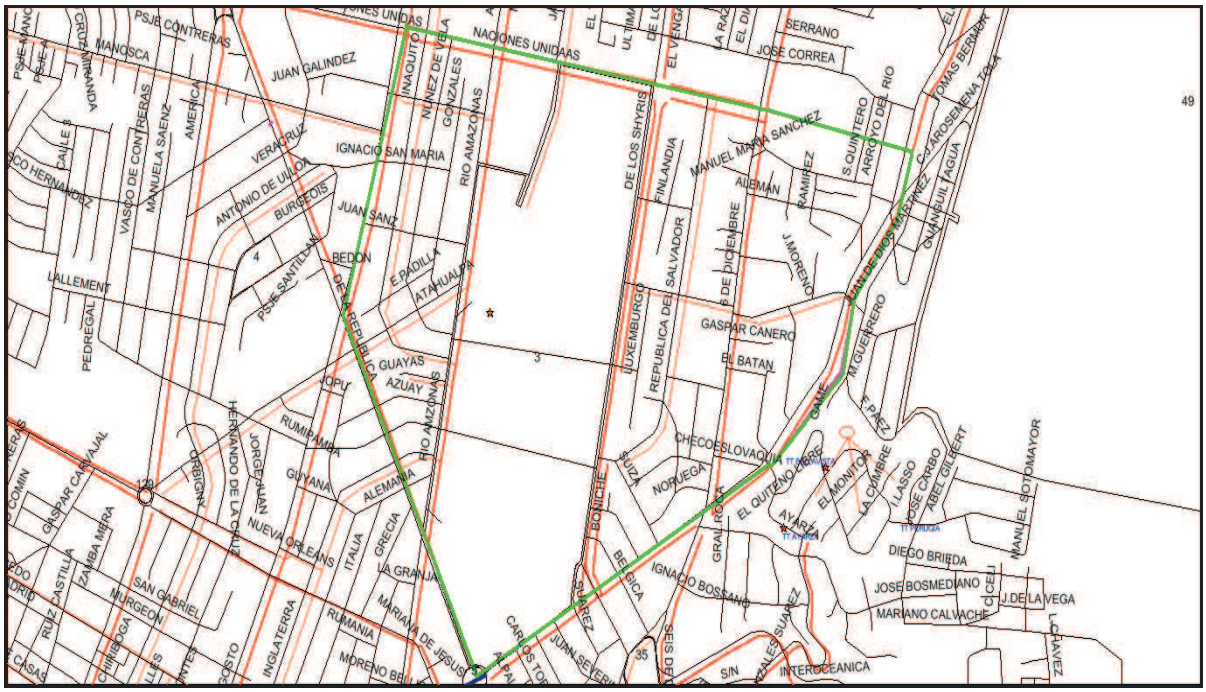


Figura 2.53 Ubicación del área geográfica de cobertura (VERDE) y alrededores, calles y avenidas, en MAPINFO.

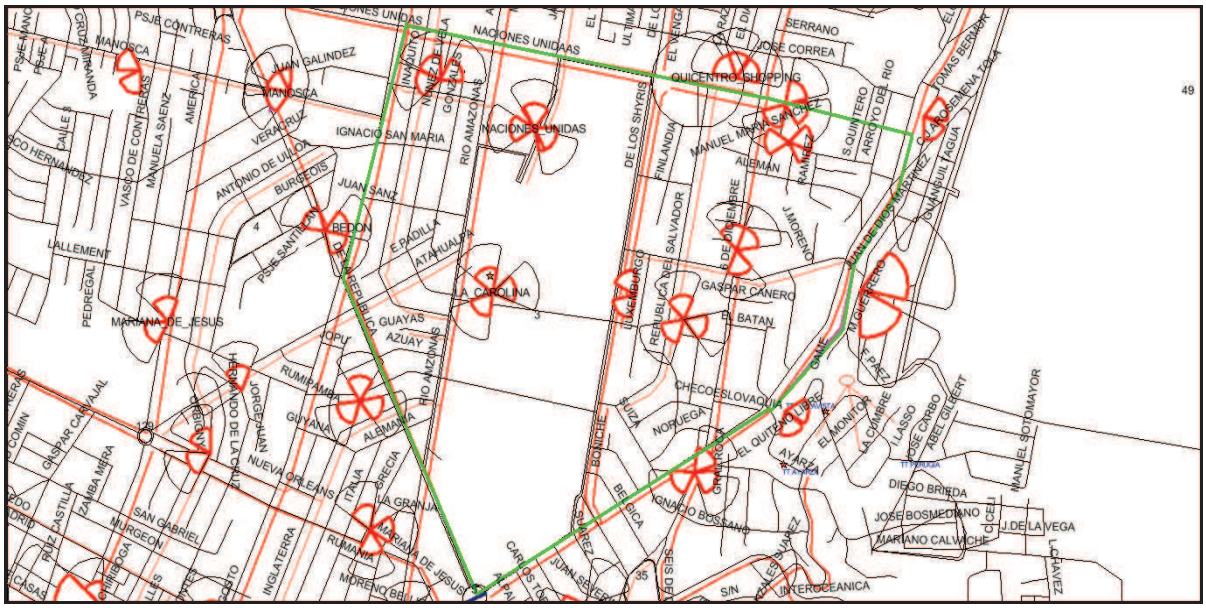


Figura 2.54 Ubicación del área geográfica de cobertura (verde) y alrededores, sitios co-ubicados operador TELEFONICA /CLARO, en MAPINFO.

El sitio seleccionado fue por requisitos de overlay, sitio céntrico y de mejor área de cobertura, y finalmente dentro del clutter DU.

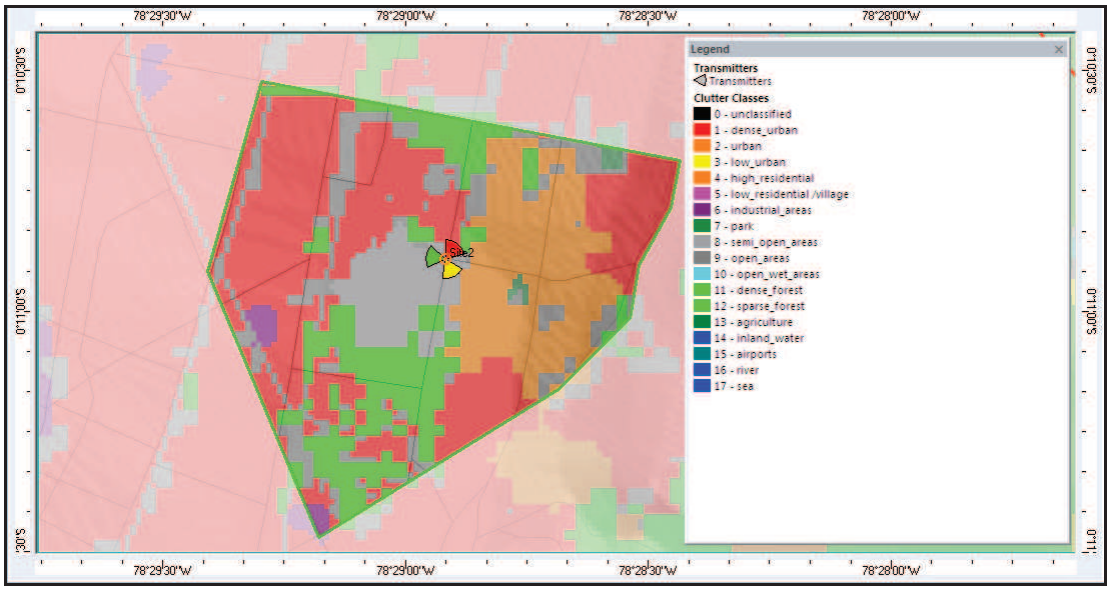


Figura 2.55 Ubicación geográfica del área de cobertura y el sitio seleccionado el área en Colores es el área por tipo de clutter en ATOLL.

Este es un mapa de clutters, es decir cada color representa un tipo de terreno que pueden ser Denso urbano, Urbano, Suburbano, Rural, Carreteras y todos sus derivaciones y subclases, para el área objetivo.

2.6.4.2.2 Resultados de Predicciones de Cobertura

Se tuvieron los siguientes plots de cobertura, en la banda de 700 MHz, AB 20 MHz, Técnica de antenas MIMO 4X4. Duplexión FDD.

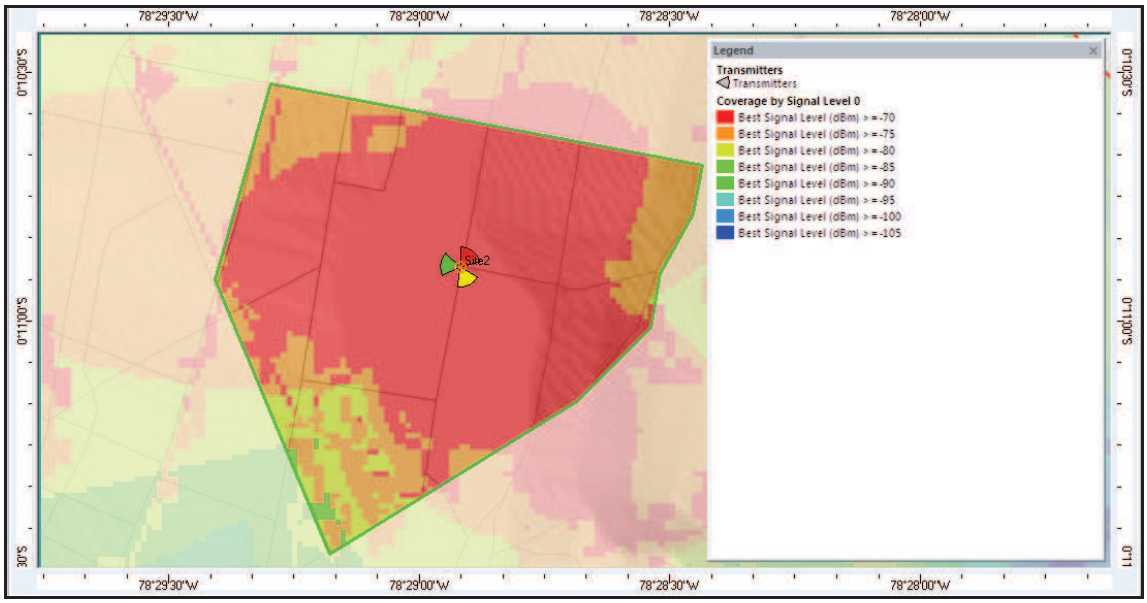


Figura 2.56 Cobertura por nivel de señal.

Plots de BEST RSRP (RS EPRE) DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

En los plots RSRP de la figura 2.57, se verifican la huella de cobertura mediante los niveles de recepción promedio de la señal de referencia de los usuarios, de color rojo las señales con mayor intensidad menores que -65.6 dBm, las señales de amarillo con menor intensidad hasta -78,6 dBm, la señal en verde una intensidad menor a -88.6 dBm, la celeste menor a -98.6 dBm y la azul oscuro menores a -108.6 dBm.

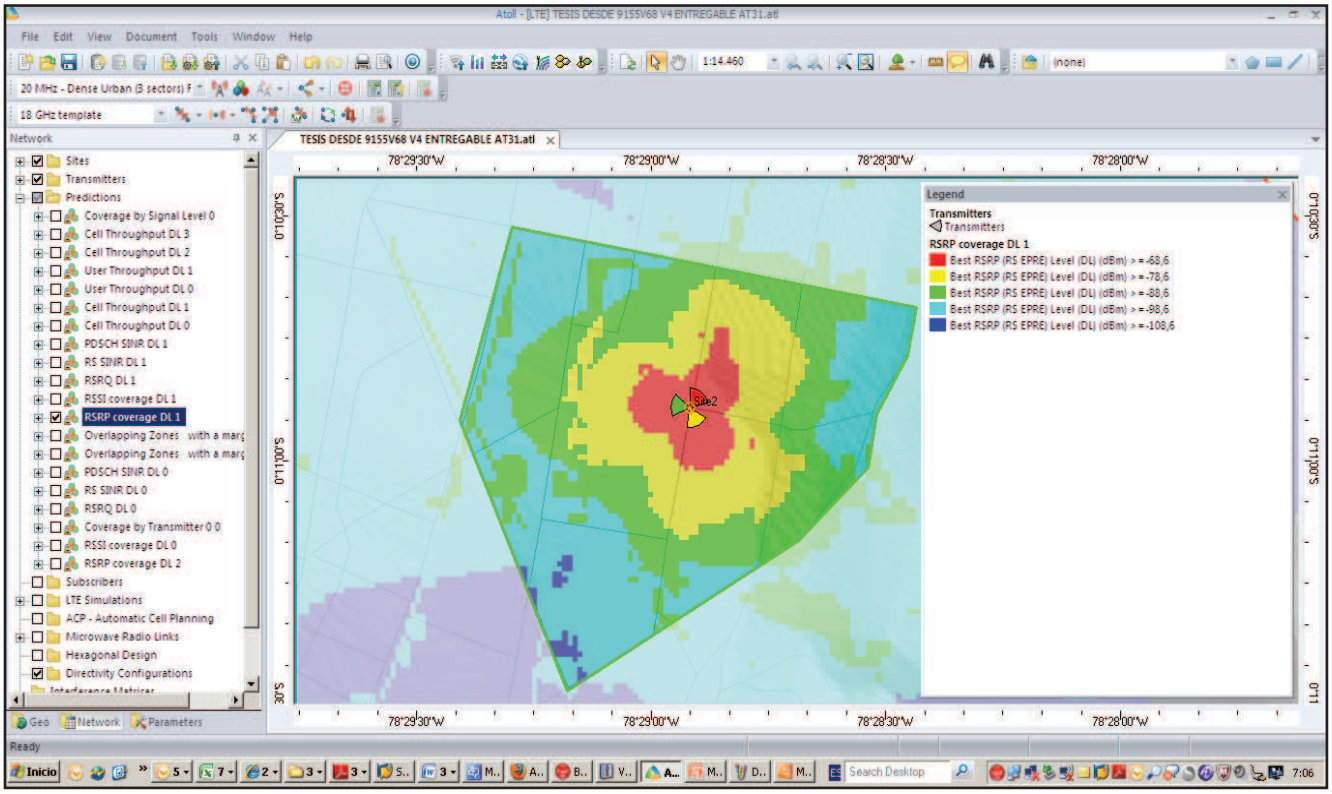


Figura 2.57 BEST RSRP (RS EPRE) DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4.

En los plots RSSI de la figura 2.58, se verifican la huella de cobertura mediante los niveles de mínima recepción de los usuarios de la señal de referencia alrededor, de color rojo las señales con mayor intensidad mayores que -58.3 dBm, las señales de amarillo con menor intensidad entre -58.3 y -64.3 dBm, la señal en verde una intensidad entre -64.3 y -70.3 dBm, la celeste con señales entre -70.3 y -76.3 dBm y la azul oscuro con las señales más bajas, menores a -82.3 dBm. A mayor distancia de la estación, el valor de esta señal se reduce.

Plots de RSSI DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP (descarga de archivos de internet).

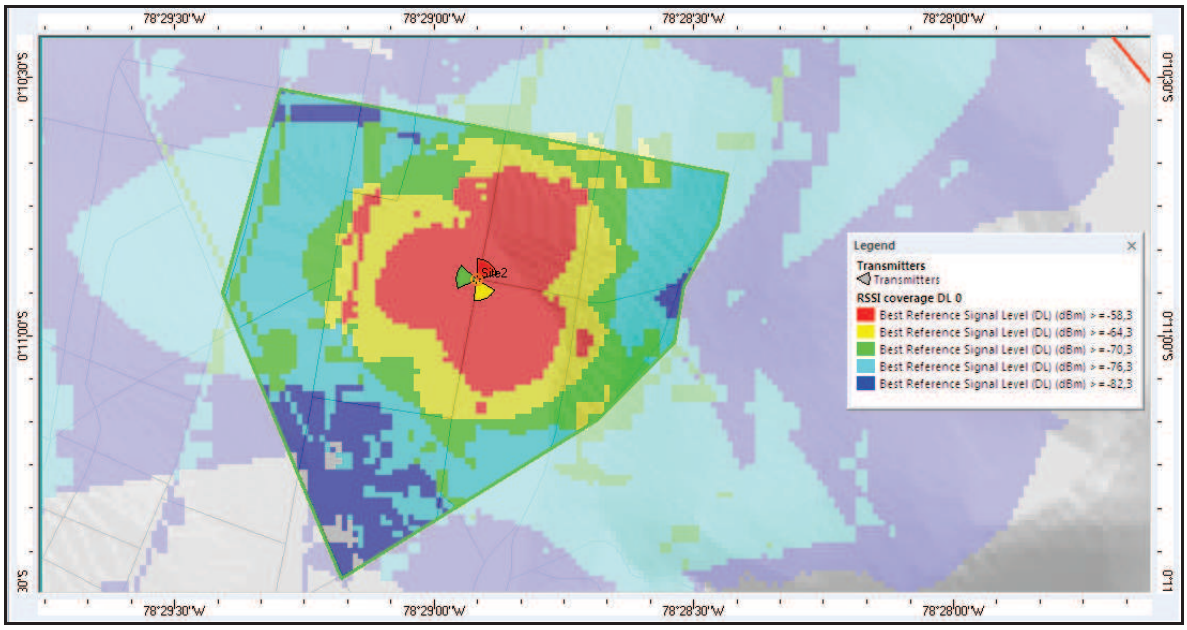


Figura 2.58 RSSI DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4.

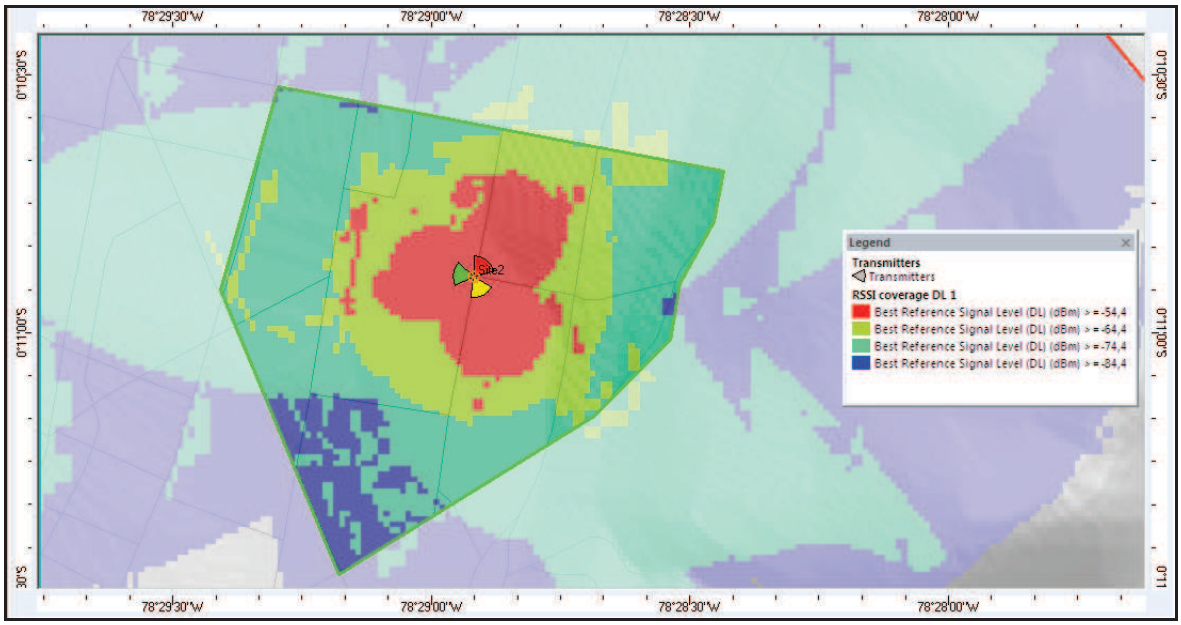


Figura 2.59 RSSI DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4.

En los plots de área de sobrelapamiento, entre sectores, de color rojo cubrimiento de un número de servidores igual a 4, la señal en verde cubrimiento de un número de servidores igual a 3, la celeste cubrimiento de un número de servidores igual a 2 y la azul oscuro cubrimiento de un número de servidores igual a 1.Todo esto con un margen de -4 dB de umbral entre sector y sector.

Plots de área de sobrelapamiento con umbral de 4 y 10dB, para F=700MHz, AB=20Mhz, FDD, MIMO 4x4. Para servicios de voz y descargas de servidor FTP.

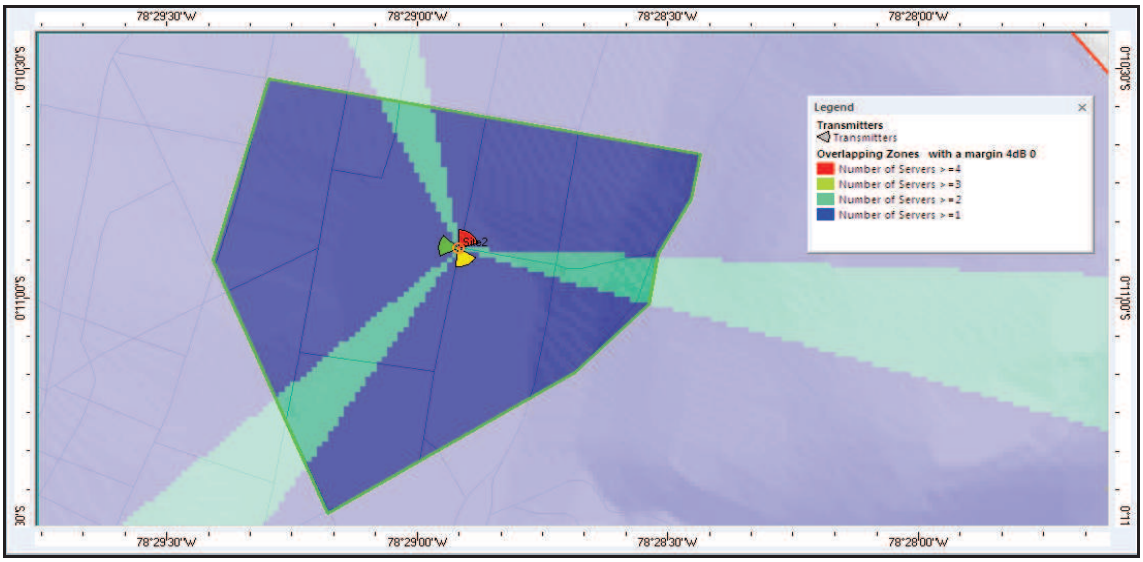


Figura 2.60 Área de sobrelapamiento con threshold de 4 dB, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4.

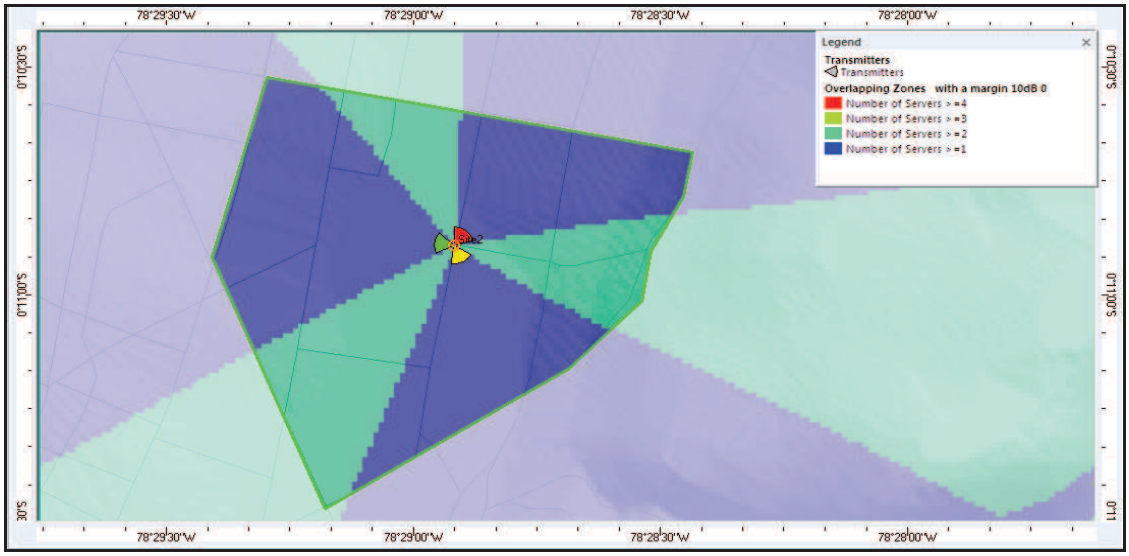


Figura 2.61 Área de sobrelapamiento con threshold de 10 dB, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4.

En los plots RS SINR se verifican las señales que nos muestran la relación Señal/Ruido + Interferencia, mediante los niveles de la calidad de la señal mediante la relación C/I+N como medida de interferencia, mientras más alto sea este valor menos interferencia y mientras más bajo mas interferencia habrá , de color rojo las señales con mayor intensidad mayores que 28dB, de color naranja

las señales con intensidad entre 20dB y 28dB, de color verde las señales mayores que 12 y 20 dB, las señales de turquesa con niveles entre 4 y 12dB, la señal en celeste con niveles entre 4 y -4dB, la azul claro con señales entre -4 y -12dB, y la azul oscuro con las señales más bajas, entre -12 y -20dB. A mayor distancia de la estación, el valor de esta señal se reduce.

Plots de RS SINR figura 2.62 DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP (descarga de archivos de internet).

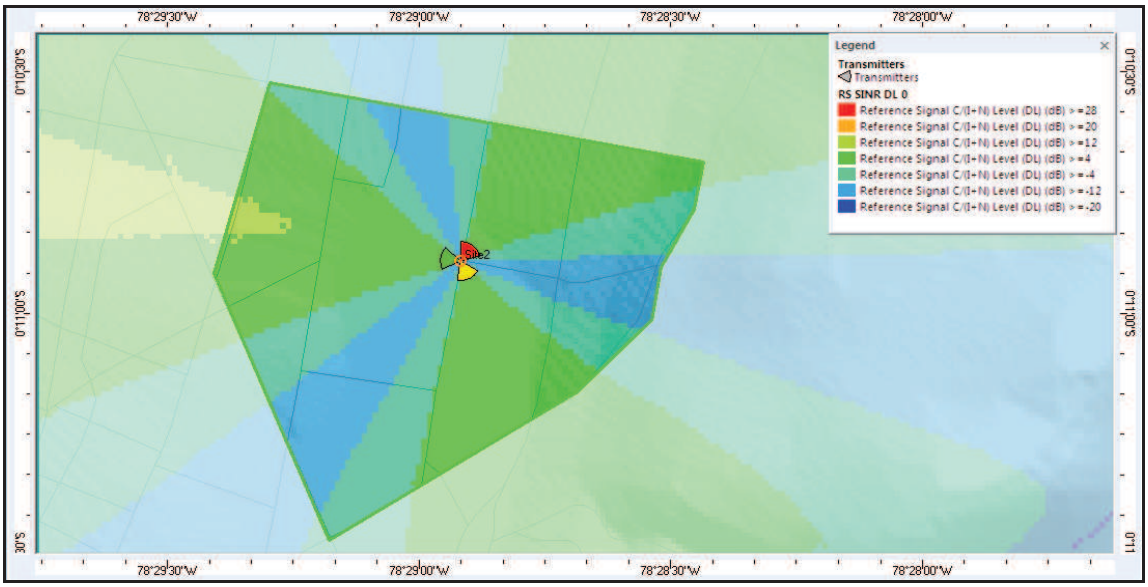


Figura 2.62 RS SINR DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VozIP, FTP Download, MIMO4X4

En los plots RSRQ se verifican las señales que nos muestran la calidad de la señal de referencia, mientras más alto sea este valor, mayor calidad de la señal y servicio habrá, de color rojo las señales con mayor intensidad mayores que -4.5 dB, de color naranja las señales con intensidad entre -4.5dB y -7.5dB, de color verde las señales mayores que -7.5 y -10.5dB, las señales de turquesa con niveles entre -10.5 y 13.5dB, la señal en celeste con niveles entre -13.5 y -16.5dB, la azul claro con señales entre -16.5 y -19.5dB, y la azul oscuro con las señales más bajas, que -19.5dB. A mayor distancia de la estación, el valor de esta señal se reduce.

Plots de calidad RSRQ, figura 2.63 para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

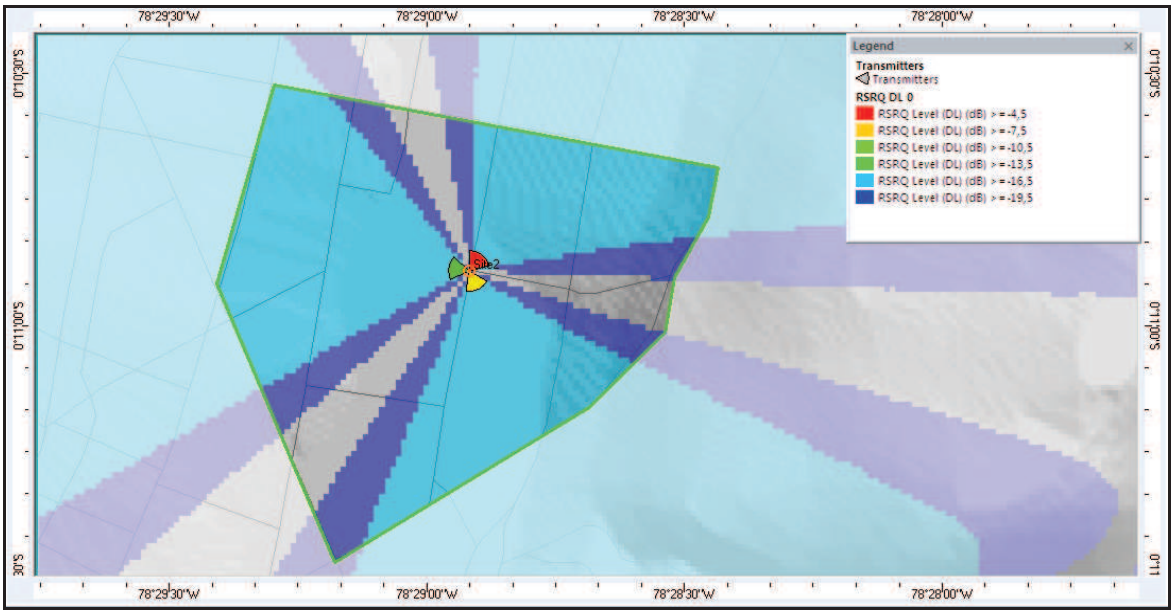


Figura 2.63 Calidad de la señal RSRQ, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, VoIP, 50% de carga promedio DL/U, MIMO4X4.

En los plots de Throughput efectivo en el canal figura 2.64 se verifican las velocidades de transmisión efectivas en la zona cubierta, mientras más alto sea este valor más rápida es la conexión a internet y se tendrá mejor navegación, descargas y uso de las aplicaciones con alta velocidad, de color verde las señales con mayor intensidad de velocidad de transmisión entre 19 y 30Mbps, las señales de turquesa con velocidades de transmisión entre 12 y 19Mbps, y la azul oscuro con las señales más bajas, con velocidades de TX entre 0 y 12Mbps. A mayor distancia de la estación, el valor de esta velocidad de transmisión de datos se reduce. Plots de Throughput efectivo en el canal DL, para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

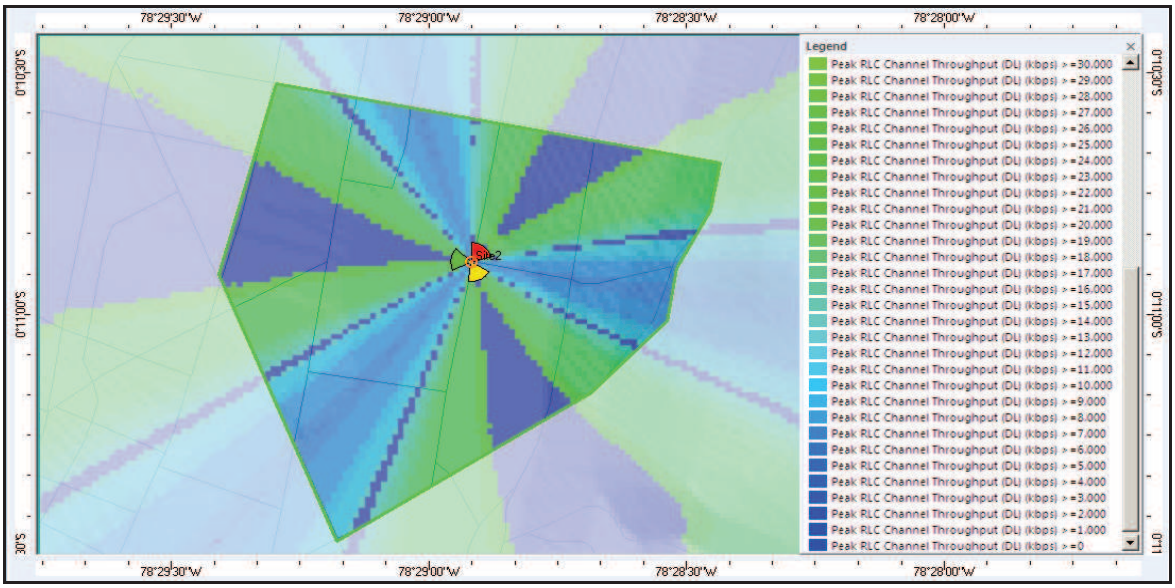


Figura 2.64 Throughput efectivo en el canal DL. Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VozIP, MIMO4X4.

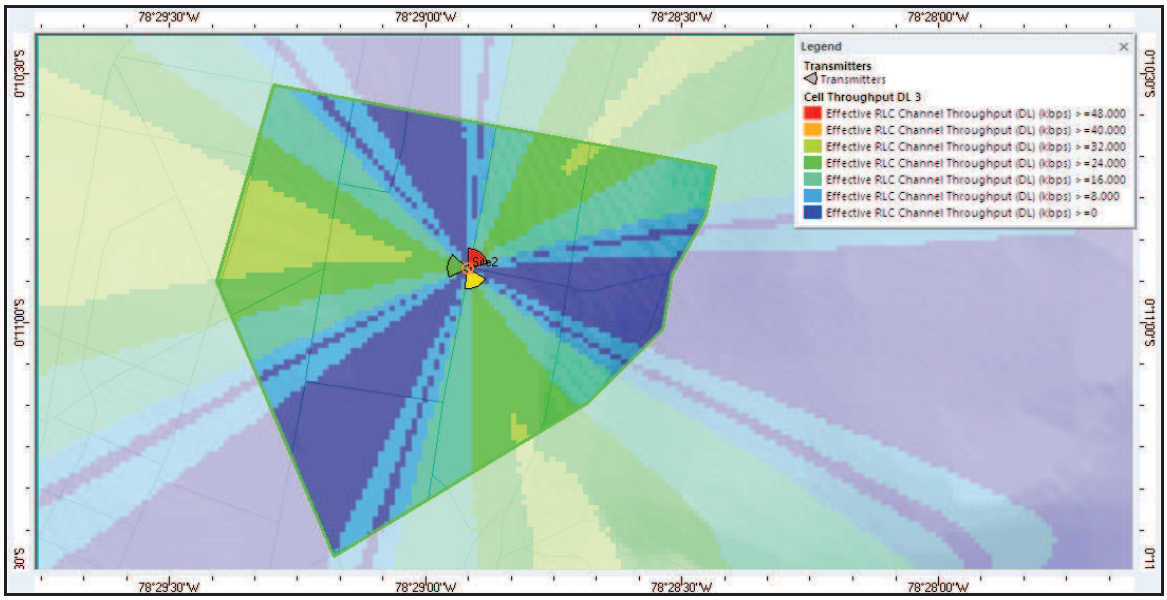


Figura 2.65 Throughput efectivo en el canal DL, para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, FTP Download, MIMO4X4.

En los plots SINR en el canal PDSCH de la figura 2.66, esto es en el enlace DOWNLINK, se verifican las señales que nos muestran la relación Señal / Ruido + Interferencia, mediante los niveles de la calidad de la señal mediante la relación C/I+N como medida de interferencia, mientras más alto sea este valor menos interferencia y mientras más bajo mas interferencia habrá, de color rojo las señales con mayor intensidad mayores que 28dB, de color naranja las señales

con intensidad entre 20dB y 28dB, de color verde las señales mayores que 12 y 20dB, las señales de turquesa con niveles entre 4 y 12dB, la señal en celeste con niveles entre 4 y -4 dB, la azul claro con señales entre -4 y -12 dB, y la azul oscuro con las señales más bajas, entre -12 y -20dB. A mayor distancia de la estación, el valor de esta señal se reduce.

Plots de nivel de SINR en el PDSCH, efectivo en el canal DL, para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

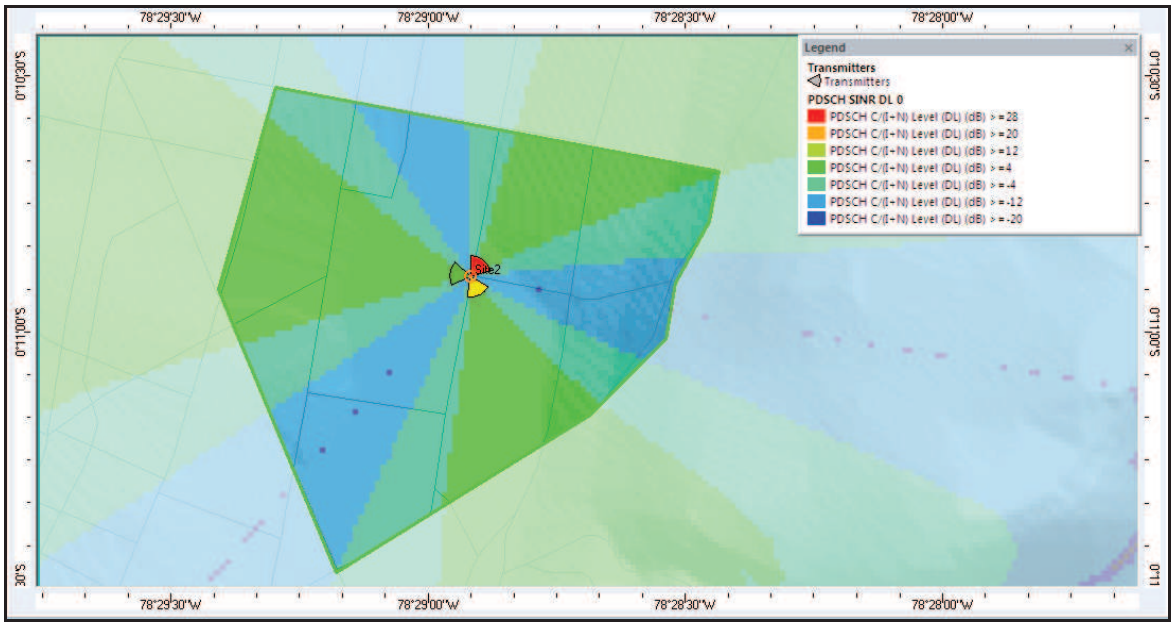


Figura 2.66 Nivel de SINR en el PDSCH, efectivo en el canal DL, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, MIMO4X4

En los plots SINR en el canal PUSCH/PUCCH, esto es en el enlace UPLINK, se verifican las señales que nos muestran la relación Señal/Ruido, mediante los niveles de la calidad de señal mediante la relación C/N como medida de interferencia, mientras más alto sea este valor menos interferencia y mientras más bajo mas interferencia habrá, de color rojo las señales con mayor intensidad mayores que 30 dB, de color naranja las señales con intensidad entre 22dB y 30 dB, de color amarillo las señales mayores que 17 y 22dB, las señales verde con niveles entre 3 y 12dB, la señal en turquesa con niveles menores que 3dB. A mayor distancia de la estación, el valor de esta señal se reduce.

Plots de nivel de SINR en los canales PUSCH/PUCCH en el canal UL, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

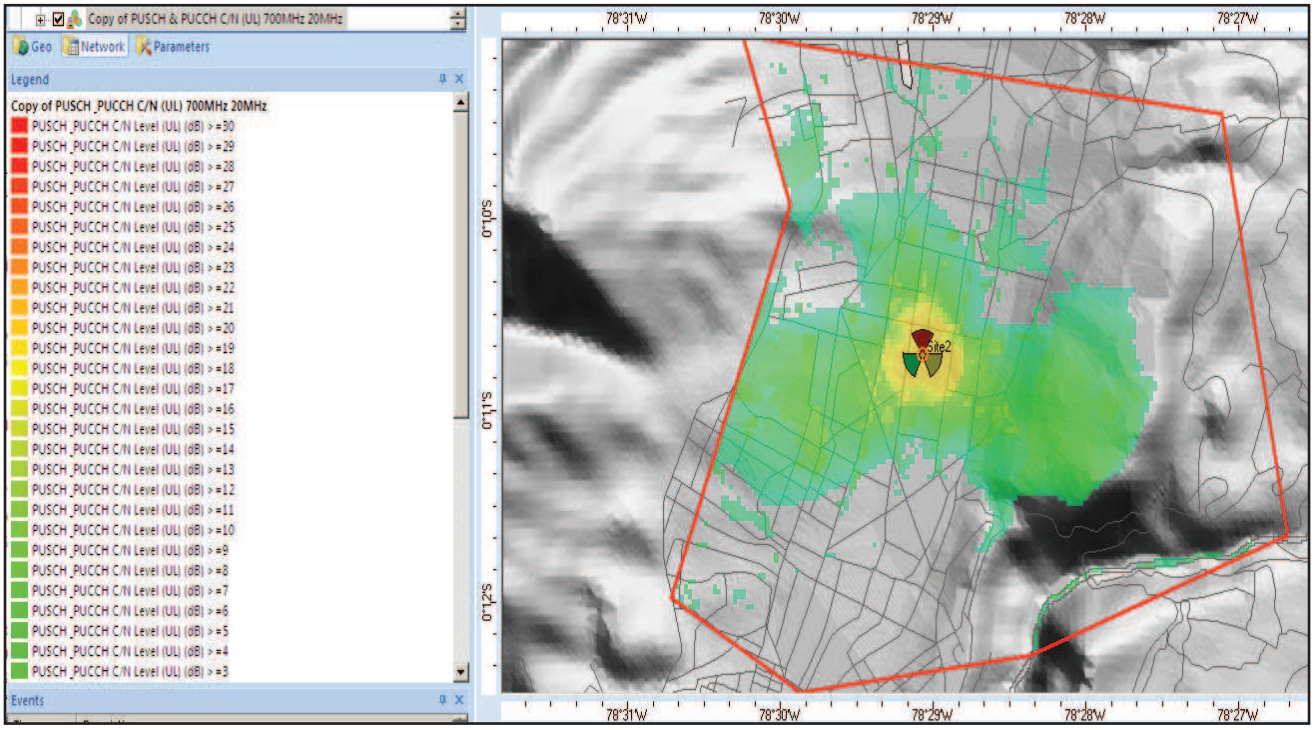
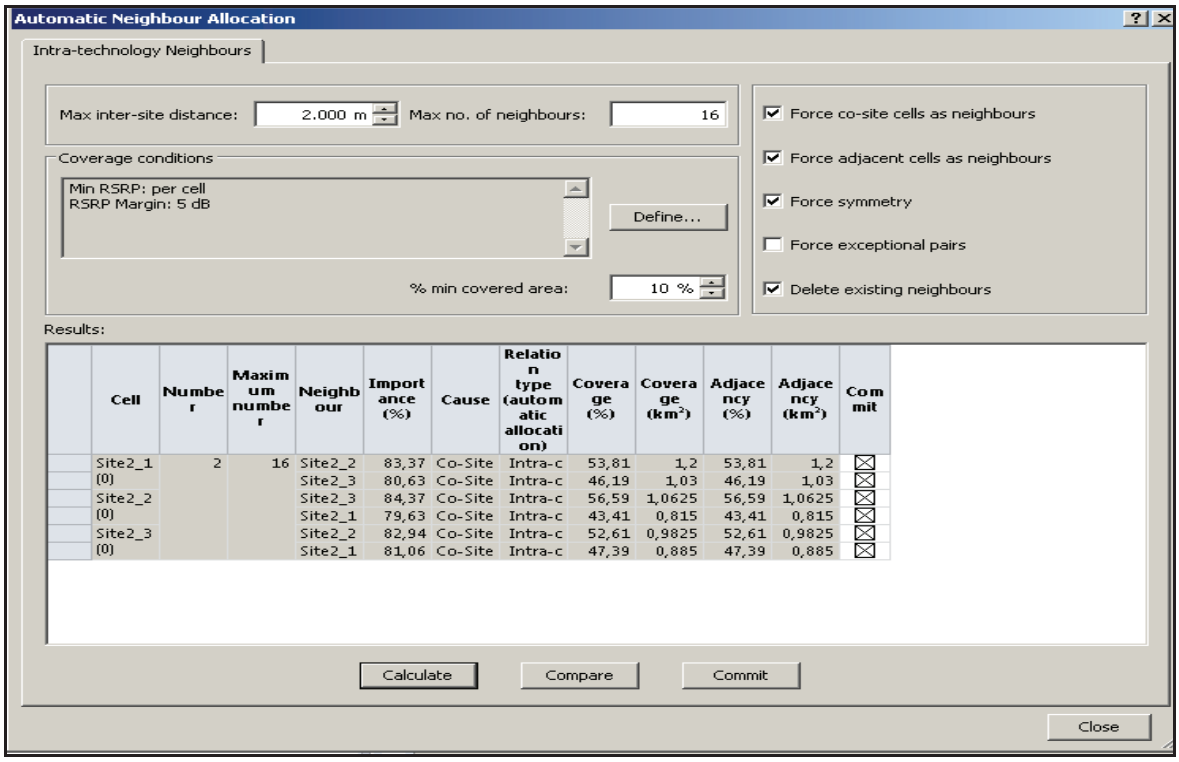


Figura 2.67 Nivel de SINR en los canales PUSCH/PUCCH en el canal UL, Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, VoIP, FTP Download, MIMO4X4.

2.6.4.3 Configuración de Parámetros RF

2.6.4.3.1 Planificación de Vecindades de Celdas

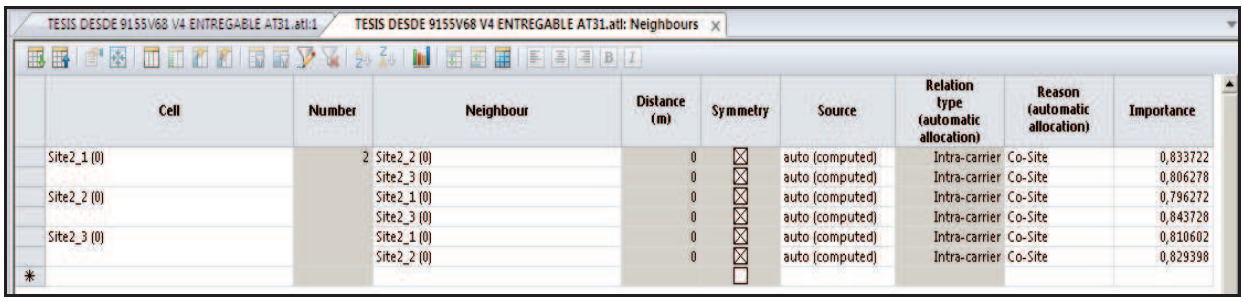
La planificación de las vecindades se lo realizó de manera automática, a través de la herramienta de planificación. Con un criterio de distancia entre celdas de 2 Km máximo y 16 vecindades limite, con un área de sobrelapamiento mínimo de 10%.



Cell	Number	Maximum number	Neighbour	Importance (%)	Cause	Relation type (automatic allocation)	Coverage (%)	Coverage (km²)	Adjacency (%)	Adjacency (km²)	Commit
Site2_1 (0)	2	16	Site2_2	83,37	Co-Site	Intra-c	53,81	1,2	53,81	1,2	☒
			Site2_3	80,63	Co-Site	Intra-c	46,19	1,03	46,19	1,03	☒
Site2_2 (0)			Site2_3	84,37	Co-Site	Intra-c	56,59	1,0625	56,59	1,0625	☒
			Site2_1	79,63	Co-Site	Intra-c	43,41	0,815	43,41	0,815	☒
Site2_3 (0)			Site2_2	82,94	Co-Site	Intra-c	52,61	0,9825	52,61	0,9825	☒
			Site2_1	81,06	Co-Site	Intra-c	47,39	0,885	47,39	0,885	☒

Figura 2.68 Entradas de datos para vecindades del sitio de forma automática en la herramienta de predicción.

Se tuvieron los siguientes resultados.



Cell	Number	Neighbour	Distance (m)	Symmetry	Source	Relation type (automatic allocation)	Reason (automatic allocation)	Importance
Site2_1 (0)	2	Site2_2 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,833722
		Site2_3 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,806278
Site2_2 (0)		Site2_1 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,796272
		Site2_3 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,843728
Site2_3 (0)		Site2_1 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,810602
		Site2_2 (0)	0	☒	auto (computed)	Intra-carrier	Co-Site	0,829398

Figura 2.69 Resultados para vecindades del sitio de forma automática en la herramienta de predicción.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tienen 6 vecindades bidireccionales creadas para los 3 sectores, a nivel de sitio con una sola tecnología LTE o un sitio con otros equipos de otras tecnologías existentes.

2.6.4.3.2 Planificación de la Identidad Física de la Celda

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios.

- Tomar en cuenta vecindades existentes
- Dominio de Physical Cell Ids entre 0 y 503.

- Distancia de re uso mínima 100m.

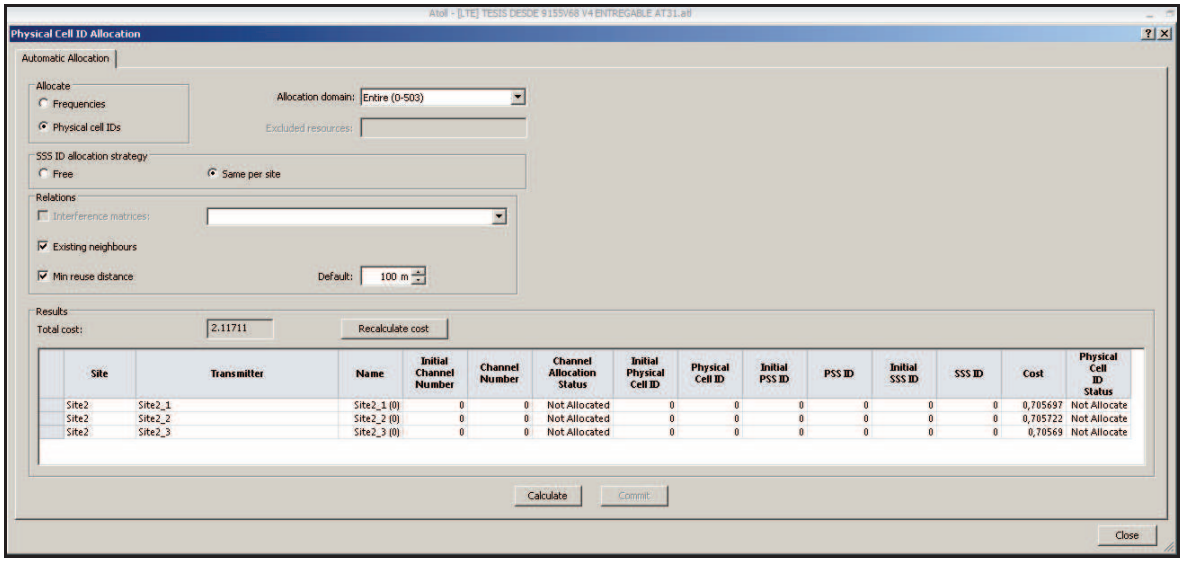


Figura 2.70 Entrada de datos para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción.

Teniéndose los siguientes resultados.

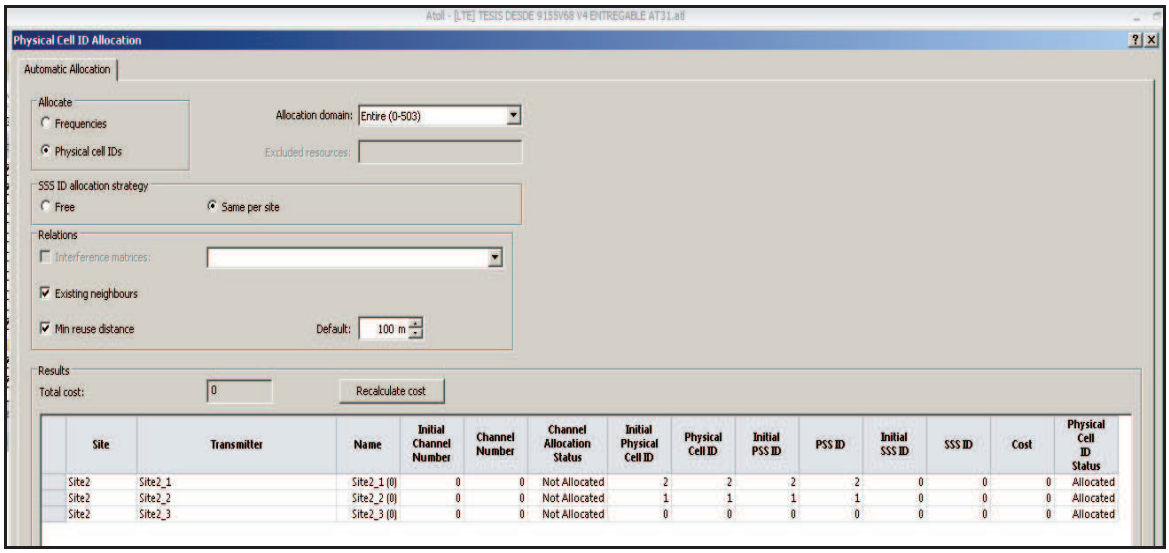


Figura 2.71 Resultados para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción.

De acuerdo a los resultados, la herramienta ha asignado los Physical Cell ID con secuencia 0-1-2, de forma seguida y con el mismo SSS (Secondary Syncronization Signal) ID.

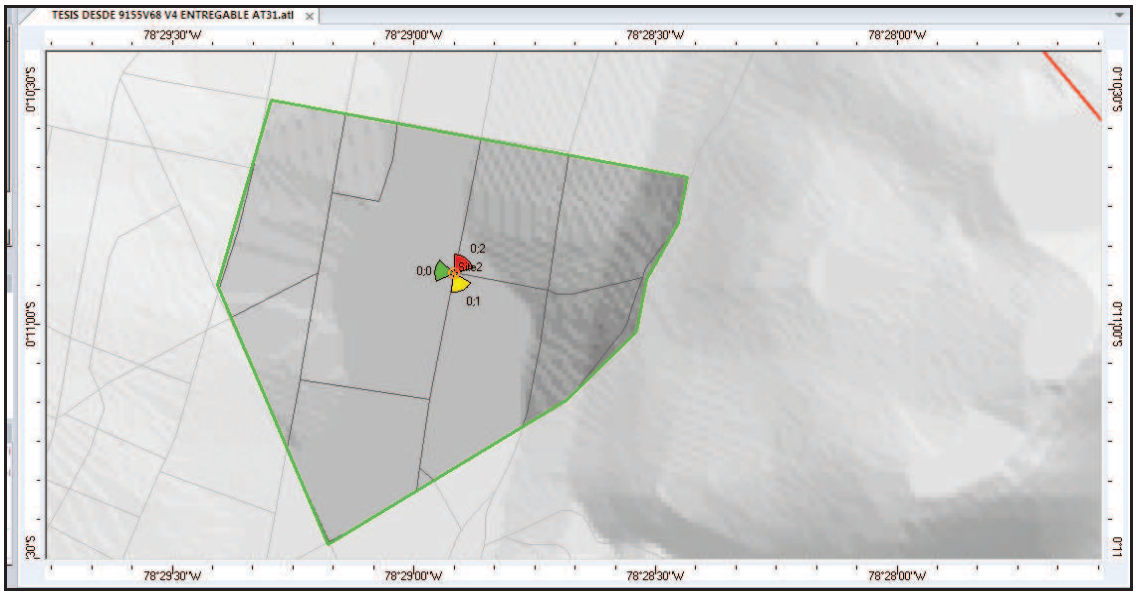


Figura 2.72 Resultado grafico para Physical Cell Id del sitio de forma automática en la herramienta de predicción.

2.6.4.3.3 Configuración Física de la Celda Iñaquito Centro

De acuerdo a la planificación de celda y los resultados obtenidos para la configuración de los sectores tenemos como resultado final la configuración física del sitio con el tipo de antena utilizado.

NOMBRE SITIO	SECTOR	PCI	AZIMUTH	MDT	EDT	ALTURA ANTENA (METROS)	TIPO DE ANTENA
IÑAQUITO_CENTRO	1	0	40	3	0	30	ZDADJ700-14-60
IÑAQUITO_CENTRO	2	4	160	2	0	30	ZDADJ700-14-60
IÑAQUITO_CENTRO	3	8	280	1	0	30	ZDADJ700-14-60

Tabla 2.26 Configuración física del sitio Iñaquito centro.

2.6.4.4 Planificación de Capacidad

2.6.4.4.1 Capacidad de la Interfaz Aire

El cálculo de capacidad se lo realizará mediante 2 criterios.

- Verificación de límite de ancho de banda por comparación.
- Cálculo de tráfico, ancho de banda necesaria y esquemas de antena, a través de la macro Excel.

2.6.4.4.1.1 Verificación de límite de Ancho de banda por comparación

Para una configuración dada sea ancho de banda, esquemas de antena en DL/UL, se calcula.

- Carga en el interfaz aire para Voz sobre IP, tal como carga de VoIP agregado sobre carga útil.
- Carga del interfaz aire en DL, UL tales como, Throughput de datos agregado requerido para DL/UL sobre Throughput útil en DL y UL.
- Calcular la carga total sobre el interfaz aire:
  - Carga del interfaz aire en DL o UL = Carga en VoIP + carga en DL o UL.
  - Carga total = max (carga en DL, carga en UL).
- Si la carga total del interfaz aire es < 100%, la configuración es posible.

Teniéndose la siguiente tabla referencial para el tráfico y throughput útil por ancho de banda, para UL para los tres sectores de la celda.

FDD

Bandwidth	UL Config. Index	UL Config. Name	VoIP Capacity	Spectral Efficiency	Avg. Agg. T'put
1,4 MHz	1	2RxDiv	40 Erl	0,47 bps/Hz	0,7 Mbps
3 MHz	1	2RxDiv	103 Erl	0,57 bps/Hz	1,7 Mbps
5 MHz	1	2RxDiv	168 Erl	0,61 bps/Hz	3,1 Mbps
10 MHz	1	2RxDiv	335 Erl	**0,62 bps/Hz**	6,2 Mbps
15 MHz	1	2RxDiv	503 Erl	0,63 bps/Hz	9,4 Mbps
20 MHz	1	2RxDiv	670 Erl	0,64 bps/Hz	12,7 Mbps
1,4 MHz	2	4RxDiv	52 Erl	0,60 bps/Hz	0,8 Mbps
3 MHz	2	4RxDiv	133 Erl	0,73 bps/Hz	2,2 Mbps
5 MHz	2	4RxDiv	215 Erl	0,79 bps/Hz	3,9 Mbps
10 MHz	2	4RxDiv	431 Erl	**0,80 bps/Hz**	8,0 Mbps
15 MHz	2	4RxDiv	645 Erl	0,81 bps/Hz	12,1 Mbps
20 MHz	2	4RxDiv	860 Erl	0,82 bps/Hz	16,3 Mbps

Tabla 2.27 Tabla referencial para tráficos en VoIP y Throughputs de datos en UL. [Tabla provista por experiencia en campo y laboratorio de parte del proveedor Alcatel Lucent, 2010].

Bandwidth	DL Config. Index	DL Config. Name	VoIP Capacity	Spectral Efficiency	Avg. Agg. T'put
1,4 MHz	1	SIMO 1x2	74 Erl	1,14 bps/Hz	1,6 Mbps
3 MHz	1	SIMO 1x2	185 Erl	1,35 bps/Hz	4,0 Mbps
5 MHz	1	SIMO 1x2	275 Erl	1,35 bps/Hz	6,7 Mbps
10 MHz	1	SIMO 1x2	544 Erl	1,35 bps/Hz	13,5 Mbps
15 MHz	1	SIMO 1x2	807 Erl	1,35 bps/Hz	20,2 Mbps
20 MHz	1	SIMO 1x2	1064 Erl	1,35 bps/Hz	26,9 Mbps
1,4 MHz	2	MIMO 2x2	76 Erl	1,25 bps/Hz	1,8 Mbps
3 MHz	2	MIMO 2x2	190 Erl	1,48 bps/Hz	4,4 Mbps
5 MHz	2	MIMO 2x2	283 Erl	1,48 bps/Hz	7,4 Mbps
10 MHz	2	MIMO 2x2	558 Erl	**1,48 bps/Hz**	14,8 Mbps
15 MHz	2	MIMO 2x2	827 Erl	1,48 bps/Hz	22,2 Mbps
20 MHz	2	MIMO 2x2	1092 Erl	1,48 bps/Hz	29,6 Mbps
1,4 MHz	3	MIMO 4x2	76 Erl	1,38 bps/Hz	1,9 Mbps
3 MHz	3	MIMO 4x2	190 Erl	1,63 bps/Hz	4,9 Mbps
5 MHz	3	MIMO 4x2	283 Erl	1,63 bps/Hz	8,1 Mbps
10 MHz	3	MIMO 4x2	558 Erl	1,63 bps/Hz	16,3 Mbps
15 MHz	3	MIMO 4x2	827 Erl	1,63 bps/Hz	24,4 Mbps
20 MHz	3	MIMO 4x2	1092 Erl	1,63 bps/Hz	32,6 Mbps
1,4 MHz	4	MIMO 4x4	90 Erl	1,69 bps/Hz	2,4 Mbps
3 MHz	4	MIMO 4x4	226 Erl	2,00 bps/Hz	6,0 Mbps
5 MHz	4	MIMO 4x4	336 Erl	2,00 bps/Hz	10,0 Mbps
10 MHz	4	MIMO 4x4	664 Erl	2,00 bps/Hz	20,0 Mbps
15 MHz	4	MIMO 4x4	985 Erl	2,00 bps/Hz	30,0 Mbps
20 MHz	4	MIMO 4x4	1299 Erl	2,00 bps/Hz	40,0 Mbps

Tabla 2.28 Tabla referencial para tráficos en VOIP y Thrpoughputs de datos. En DL. [Referencia estudios y cálculos de simulaciones en campo y laboratorios, proveedor Alcatel Lucent, 2010].

Ejemplos.

Traffic Mix A:

- DL considerated Data throughput =4 Mbps
- Considerated VoIP traffic = 300 Erlangs
- DL MIMO 2x2
- channel bandwidth = 3, 5 or 10 MHz

Ancho de Banda mínimo requerido:

3MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 300 Erl / 190 Erl + 4 /4.4 = **248 %**

5MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 300 Erl / 283 Erl + 4 / 7.4 = **160 %**

10MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 300 Erl / 558 Erl + 4 / 14.8 = **80%**

Respuesta.- Ancho de banda requerido: 10 MHz

Traffic Mix B:

- DL aggregated data throughput = 5 Mbps
- aggregated VoIP traffic = 50 Erlangs

- DL MIMO 2x2
- channel bandwidth = 3, 5 or 10 MHz

Ancho de banda mínimo requerido:

3MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 50 Erl / 190 Erl + 5 / 4.4 = **141%**

5MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 50 Erl / 283 Erl + 4 / 7.4 = **85%**

10MHz: $L_{DL} = L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 50 Erl / 558 Erl + 4 / 14.8 = **43%**

En conclusión se debe tener por lo menos un ancho de banda de: 5 MHz (porque se sabe que no está sobredimensionado).

APLICACIÓN A NUESTRO CASO:

- DL aggregated data throughput =28,4Mbps (valor promedio como resultado de tráfico por usuario y el volumen de datos del servicio y multiplicado por el número de usuarios. = 700 suscr x40,6 kbps/suscr)
- aggregated VoIP traffic = 1722,26 Erlangs (valor como resultado de la multiplicación de el tráfico por usuario y el número de usuarios= (700 suscr x2,45 Erlgs/suscr .)
- DL MIMO 4x4
- channel bandwidth = 20 MHz

Ancho de banda mínimo requerido:

20MHz: $L_{DL}= L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 1722,26 Erl / 3x860 Erl + 28,4 /3x16.3 = **125 %**

2x20MHZ: $L_{DL}=L_{VoIP} + L_{Data\_DL}$ = 1722,26 Erl / 3x860 Erl + 28,4 /3x16.3)/ 2= **62,5%**

Solución de 2 portadoras por cada celda, para cubrir los 3 sectores.

2.6.4.5 Simulación de Tráfico de Red usando la Herramienta de Planeación

Para estas simulaciones de tráfico se usó la herramienta de predicción Atoll, teniéndose los siguientes datos de entrada.

- Número de simulaciones
- Carga máxima de tráfico en DL/UL.
- Selección de mapas de tráfico a ser usado.
- Máximo número de iteraciones
- Umbrales de convergencia de tráfico y ruido.

Se seleccionaron 10 simulaciones, con una carga máxima del 100%, un mapa de tráfico que fue ubicado de acuerdo a la zona DENSE URBAN en el área de cobertura, y un número de iteraciones de 100, con umbrales por default de la herramienta.

El mapa de tráfico se definió así, la zona en rojo, es para tráfico DU.

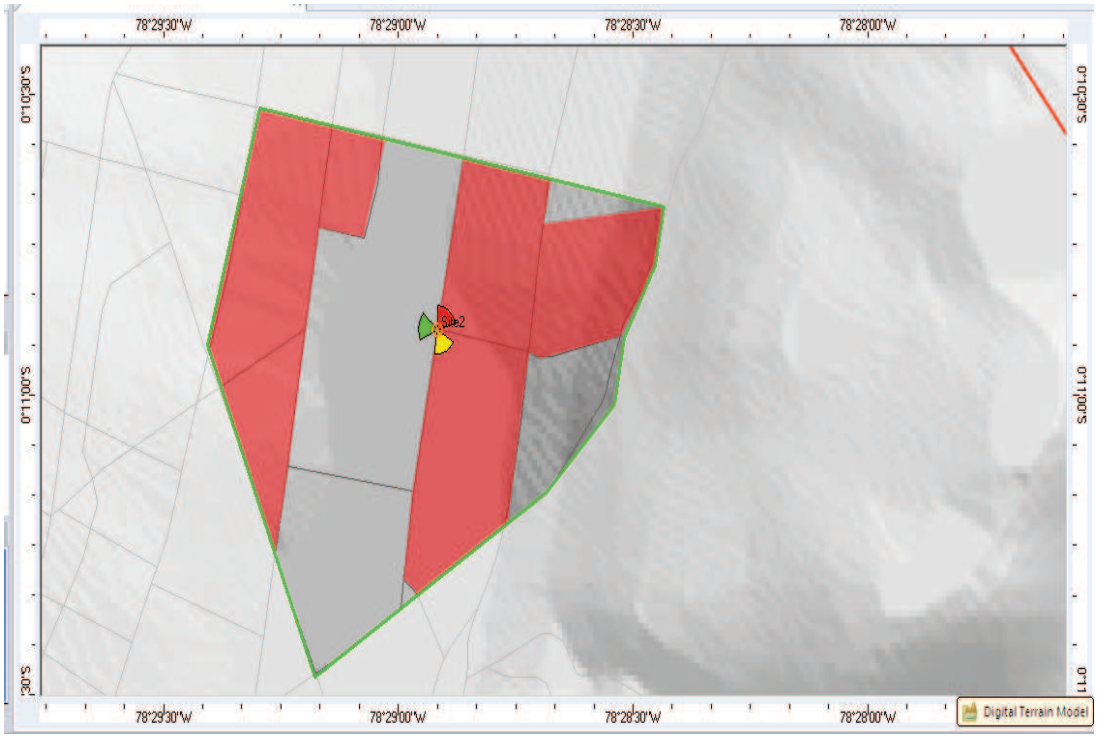


Figura 2.73 Definición del mapa de tráfico en DU, visto en la herramienta de planeación.

En la herramienta se puede observar la configuración de un número de 10 simulaciones con un tráfico de carga al 100%, usando un mapa de tráfico dibujado en la herramienta que cubra toda el área de interés.

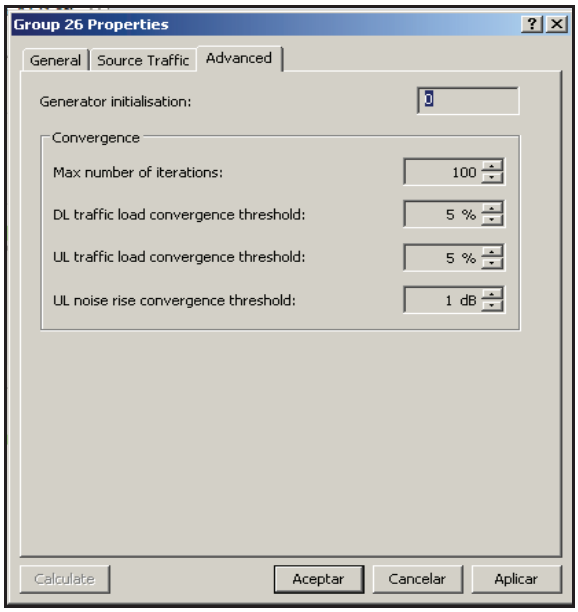


Figura 2.74 Entradas de datos para simulación de tráfico en la herramienta de predicción.

Se realiza 100 iteraciones por las 10 simulaciones en promedio. Al realizar la simulación, se tuvo el siguiente resultado.

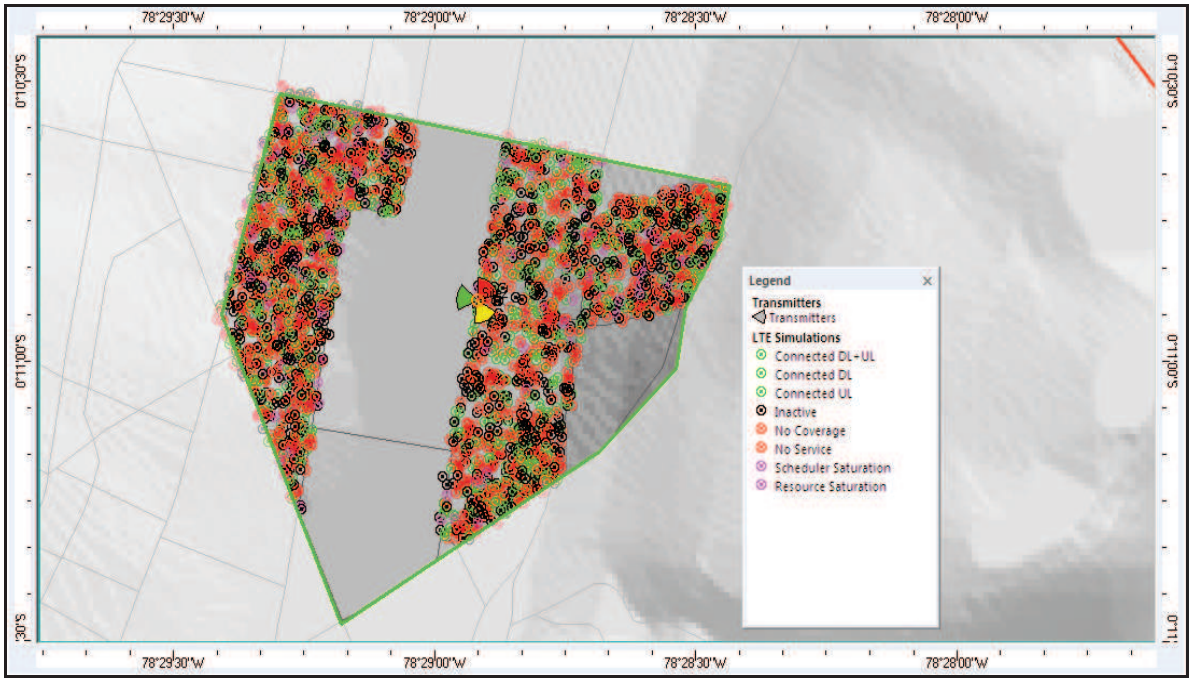
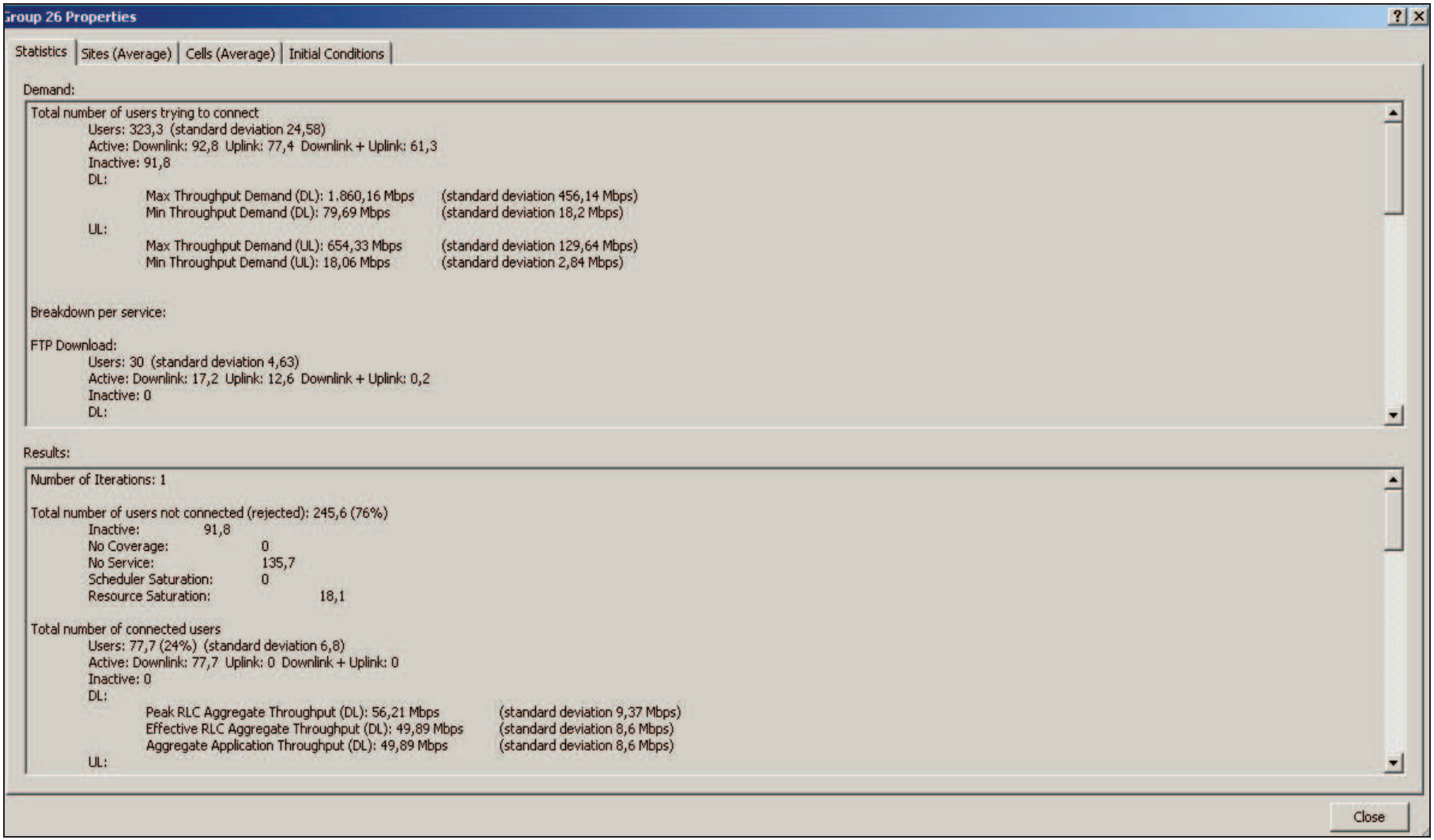


Figura 2.75 Resultados gráficos de las simulaciones de tráfico mediante la herramienta de predicción.

Y verificándose los siguientes análisis de simulación.



roup 26 Properties

Statistics | Sites (Average) | Cells (Average) | Initial Conditions

Demand:

Total number of users trying to connect
Users: 323,3 (standard deviation 24,58)
Active: Downlink: 92,8 Uplink: 77,4 Downlink + Uplink: 61,3
Inactive: 91,8
DL:
Max Throughput Demand (DL): 1.860,16 Mbps (standard deviation 456,14 Mbps)
Min Throughput Demand (DL): 79,69 Mbps (standard deviation 18,2 Mbps)
UL:
Max Throughput Demand (UL): 654,33 Mbps (standard deviation 129,64 Mbps)
Min Throughput Demand (UL): 18,06 Mbps (standard deviation 2,84 Mbps)

Breakdown per service:

FTP Download:
Users: 30 (standard deviation 4,63)
Active: Downlink: 17,2 Uplink: 12,6 Downlink + Uplink: 0,2
Inactive: 0
DL:

Results:

Number of Iterations: 1

Total number of users not connected (rejected): 245,6 (76%)
Inactive: 91,8
No Coverage: 0
No Service: 135,7
Scheduler Saturation: 0
Resource Saturation: 18,1

Total number of connected users
Users: 77,7 (24%) (standard deviation 6,8)
Active: Downlink: 77,7 Uplink: 0 Downlink + Uplink: 0
Inactive: 0
DL:
Peak RLC Aggregate Throughput (DL): 56,21 Mbps (standard deviation 9,37 Mbps)
Effective RLC Aggregate Throughput (DL): 49,89 Mbps (standard deviation 8,6 Mbps)
Aggregate Application Throughput (DL): 49,89 Mbps (standard deviation 8,6 Mbps)
UL:

Close

Group 26 Properties

Statistics | Sites (Average) | Cells (Average) | Initial Conditions

Actions

	Site	Peak RLC Aggregate Throughput (DL) (kbps)	Effective RLC Aggregate Throughput (DL) (kbps)	Aggregate Application Throughput (DL) (kbps)	Peak RLC Aggregate Throughput (UL) (kbps)	Effective RLC Aggregate Throughput (UL) (kbps)	Aggregate Application Throughput (UL) (kbps)	Connection Success Rate (%)	Number of connected users (UL)	Number of connected users (DL)	Number of connected users (UL+DL)	Total number of connected users	Peak RLC Aggregate Throughput FTP Download (DL) (kbps)
	Site2	57.507,6	51.086,3	51.086,3	0	0	0	33,41	0	79,3	0	79,3	45.792,2

Figura 2.76 Resultados del análisis por sitio, por celda y globales.

Se puede observar que existe congestión en las requisiciones de conexiones para voz y datos, hay un 24% de usuarios conectados, un 76% de usuarios desconectados y sin cobertura, y sobre todo un gran uso de grados de servicios en esta área, con un porcentaje de 18% de recursos saturados por tráfico y demanda de usuarios.

Esto se debe al tamaño del área cubierta y el gran número de usuarios, además de la demanda por servicios, resultados de las simulaciones.

Statistics | Sites (Average) | Cells (Average) | Initial Conditions

Actions

	Site	Transmitter	Name	Traffic Load (DL) (%)	Traffic Load (UL) (%)	UL Noise Rise (dB)	ICIC UL Noise Rise (dB)	MU-MIMO Capacity Gain (UL)	ICIC Ratio (DL) (%)	Peak RLC Aggregate Throughput (DL) (kbps)	Effective RLC Aggregate Throughput (DL) (kbps)	Aggregate Application Throughput (DL) (kbps)	Peak RLC Aggregate Throughput (UL) (kbps)	Effective RLC Aggregate Throughput (UL) (kbps)	Agg App Thro ((k
▶	Site2	Site2_1	Site2_1 (0)	100	0	0	0	1	0	17.256,53	15.213,39	15.213,39	0	0	
	Site2	Site2_2	Site2_2 (0)	100	0	0	0	1	0	20.586,08	18.320,01	18.320,01	0	0	
	Site2	Site2_3	Site2_3 (0)	100	0	0	0	1	0	19.664,94	17.552,85	17.552,85	0	0	

Commit results

Close

Figura 2.77 Resultados del análisis por sitio, por celda.

2.6.4.6 Cobertura del Troughput en DL usando simulación en Tráfico de Red mediante la Herramienta de Planeación

Se realizó las predicciones de throughput en DL, tomando como referencia la simulación generada anteriormente, en las condiciones de tráfico y teniéndose servicios de VoIp, FTP download.

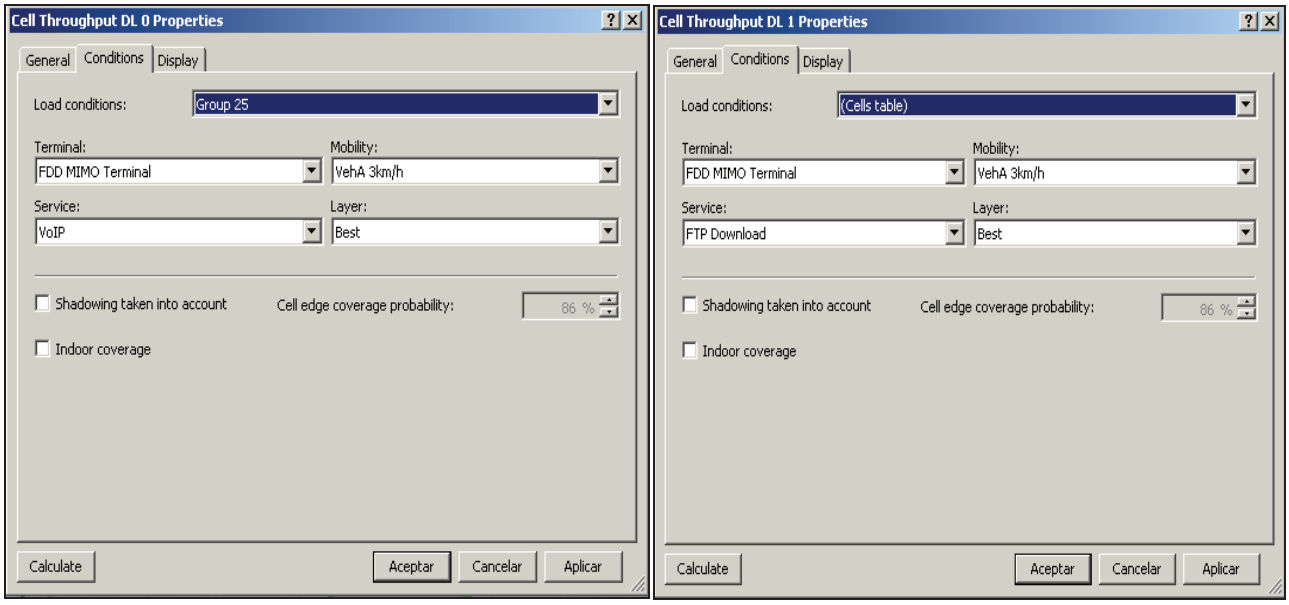


Figura 2.78 Entradas de datos para predicción de thourghput de celda y por usuario.

Obteniéndose los siguientes resultados.

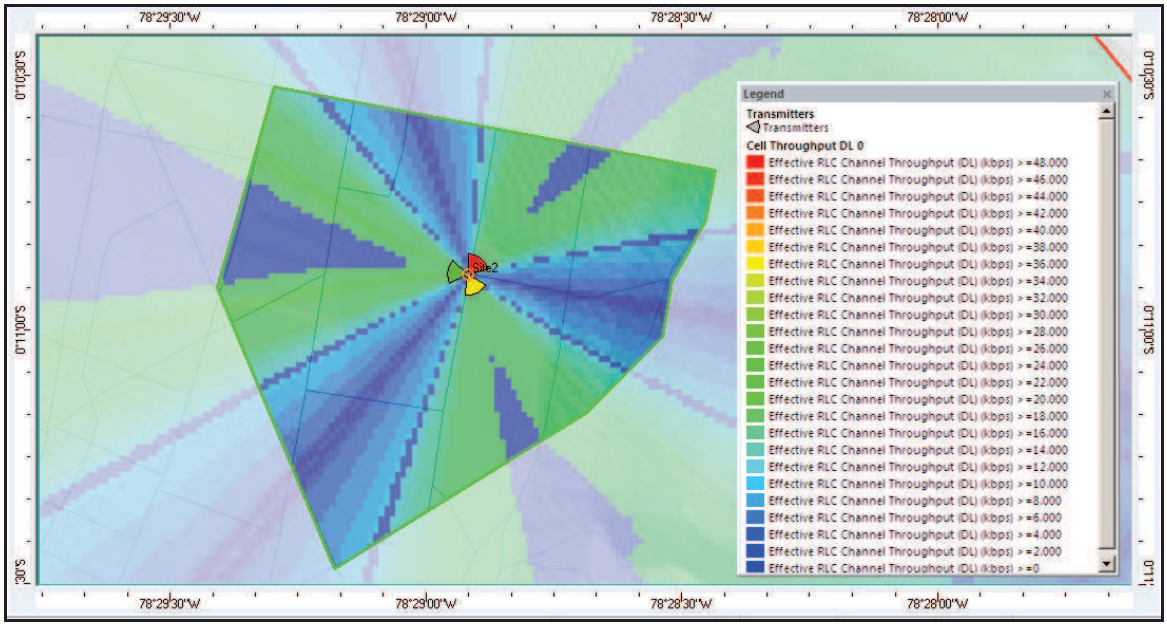


Figura 2.79 Predicción de cobertura por throughput de celda para servicio VoIP. Frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4.

En este caso se tiene un Thrughput máximo efectivo alcanzado de 34 Mbps, en el enlace Downlink, bajo condiciones de la banda de frecuencia 700 MHz, un ancho de banda de 20 MHz y con técnica de antenas de MIMO 4X4.

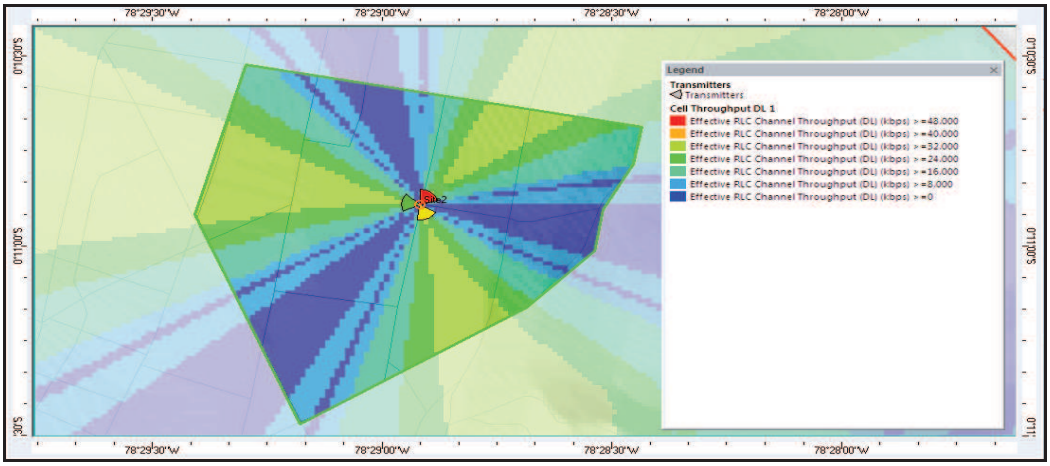


Figura 2.80 Predicción de cobertura por throughput de celda para servicio FTP download, frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4.

En los plots Throughput efectivo promedio en el RLC (Radio Link Control) en el canal se verifican las velocidades de transmisión promedios por usuario en la zona cubierta, mientras más alto sea este valor más rápida es la conexión a internet y se tendrá mejor navegación , descargas y uso de las aplicaciones con alta velocidad, de color verde las señales con mayor intensidad de velocidad de transmisión TX entre 21 y 28Mbps, las señales de turquesa con velocidades de TX entre 10 y 21Mbps, y la azul oscuro con las señales más bajas, con velocidades de TX entre 0 y 10Mbps. A mayor distancia de la estación, el valor de esta velocidad de transmisión de datos se reduce.

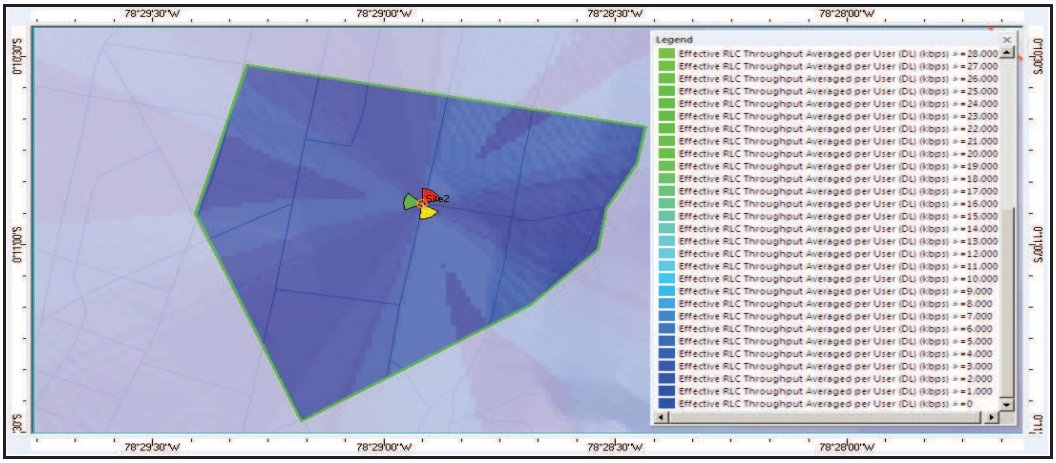


Figura 2. 81 Predicción de cobertura por throughput de usuario para servicio VoIP, Frecuencia 700 MHz, AB 20 MHz, MIMO 4X4.

TABLA RESUMIDA DE ENTRADA Y SALIDA PARA HERRAMIENTA LINK BUDGET			
ENTRADAS (DATOS NECESARIOS MANEJO LINK BUDGET)		**RESULTADOS OBTENIDOS DATOS DE SALIDA**	OBSERVACIONES DATOS ENTRADA/SALIDA
OPCIONES	ELECCION PARA EL PROYECTO	PARA EL PERFIL PS 1000 Kbps EN UPLINK SE TIENE: MAPL (PERDIDA EN TRAYECTO MAXIMA PERMITIDA) = 124dB. RANGO DE LA CELDA EN KM= 1.14 AREA CUBIERTA= 98%	
LTE TDD			
LTE FDD	X		
FRECUENCIA: 700, 800, 900, 1800, 1900MHz,AWS 2000, 2100,2300MHz	BANDA DE FRECUENCIA FDD NUMERO 17 = 700MHz		SEGÚN LA BANDA 17, LOS PARAMETROS DE FRECUENCIA CENTRAL UPLINK ES 710MHz, FRECUENCIA CENTRAL DOWNLINK ES 740MHz
ANCHO DE BANDA: 1.4 MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz	20MHz		
FIGURA DE RUIDO DEL eNodeB: 2.5 dB EQUIPO ALCATEL-LUCENT	2.5dB		PREDETERMINADO Y RECOMENDADO SEGÚN FABRICANTE ALCATEL-LUCENT
FIGURA DE RUIDO DEL UE (User Equipment) EQUIPO ESTANDAR: 8dB	8dB		PREDETERMINADO COMO ESTANDAR POR FABRICANTE
MODELO DE PROPAGACION: HATA, COST 231, COST 231 MODIF, COST HATA	HATA		PREDETERMINADO COMO HATA PARA 700MHz DE ACUERDO A LOS RANGOS DE FRECUENCIA
GANACIA DE LA ANTENA SECTORIAL : ANDREW 15 dBi	15dBi		ES EL VALOR REFERENCIAL DEL DATA SHEET DE LAS ANTENAS REALES
PÉRDIDAS DE CABLES RF EN MODULOS DE LA TORRE Y/O MONOPOLO	0.5dB C/50 METROS		
PÉRDIDAS DE CABLES Y CONECTORES EN MODULOS DE LA BASE	0.5dB		
MARGENES DE PENETRACION INDOOR : DENSE URBAN 17dB, URBAN 14dB,	17dB DENSE URBAN, 14 dB URBAN		PREDETERMINADOS Y RECOMENDADOS SEGÚN ALCATEL-LUCENT

Tabla 2.29 Resumen general Inputs/Outputs para la herramienta Link Bugget.

En resumen los resultados más significativos del diseño son los siguientes:

- Nivel de SINR en el PDSCH, efectivo en el canal DL de 12 dB.
- SINR en los canales PUSCH/PUCCH en el canal UL de 20 dB
- Throughput efectivo en el canal DL, de 40 Mbps. servicio de Internet.
- Plots de Throughput efectivo en el canal DL 24 Mbps, Servicios de voz sobre IP.
- Calidad de la señal RSRQ -13,5 dB.
- RS SINR DL, 20 dB
- RSSI DL, -54.4 dB, Servicios de internet, FTP.
- RSSI UL, - 58,3 dB. Servicios de Voz sobre IP.
- BEST RSRP (RS EPRE) DL, UL - 68,6dB.

2.6.4.7 Análisis de Resultados Obtenidos

- En resumen se tienen valores en los plots de cobertura y señal que arrojan un índice de throughput promedio de 30 a 33 Mbps , un throughput máximo de 38 Mbps, bajo las condiciones de frecuencia 700 MHz, ancho de banda 20 MHz, y técnica de antena MIMO 4X4, para servicios de descargas de archivos en server FTP.
- Por cada uno de los plots de cobertura realizados, se observan que se tienen resultados en cobertura, nivel de calidad, throughput y demanda de servicios, satisfactorios y que garantizan que el diseño es factible y confiable para el área de servicio seleccionada y con la proyección de cobertura de servicios especificada.
- Se observan que el comportamiento de la señal en los servicios de internet, FTP, y datos tienen mejores resultados que los de servicios de voz sobre IP, esto en valores de Throughput efectivo, en cuanto a la relación señal a ruido, se tienen mejores resultados en Uplink que en Downlink, finalmente el RSSI es mejor en los servicios de datos, internet, y FTP.
- De acuerdo a las simulaciones de tráfico con la demanda prevista de usuarios se verifica que se necesitarían 2 portadoras de frecuencia para poder sobrellevar la demanda de servicios y suscriptores, ya que se tienen resultados de alrededor de 26% de conectividad exitosa y 74% de usuarios con problemas de acceso a la red, con una sola portadora.

- Finalmente se concluye que el diseño es factible y confiable para cobertura y servicios con una portadora de frecuencia.- Mientras que, para tráfico y demanda creciente de datos, internet y transferencia de archivos, se necesitarían colocar 2 portadoras de frecuencia y un mayor número de estaciones LTE para cubrir la demanda de usuarios efectiva, que seria 2 a 3 sitios adicionales.

3 CAPÍTULO III.- FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CELDA BASE DE RED CELULAR EN QUITO.

3.1 INTRODUCCIÓN [1]

El organismo 4G de las Américas informa que las tecnologías de banda ancha móvil HSPA y LTE en América del Norte, Central y del Sur sumaron 225 millones de conexiones al término de junio de 2012, según datos de Informa Telecoms & Media. Esto representa aproximadamente el 22% de las más de mil millones de suscripciones a celulares en la región de las Américas, indicando una penetración móvil continua como así también desplazando el crecimiento hacia una banda ancha móvil 3GPP.

Al segundo trimestre de este año se destaca que hay 17,7 millones de nuevas conexiones a banda ancha móvil HSPA-LTE en el mundo.

Esta tecnología cuenta con el 78% del mercado mundial con 807 millones de suscripciones a las tecnologías 3GPP.

En América Latina el mercado potencial para las tecnologías 3GPP es enorme, con siete despliegues LTE, y muchos más despliegues previstos para 2013, en América Latina y el Caribe.

Un aspecto fundamental para el despliegue de LTE en América Latina es la subasta continua de espectro armonizado internacionalmente en distintas bandas del espectro banda alta y baja, para satisfacer tanto la alta demanda de datos en zonas urbanas como la necesidad de conectividad para Internet en zonas rurales.

Más de 342 operadores de todo el mundo planearon despliegues o están probando LTE-FDD. La cantidad de conexiones está creciendo rápidamente de 2,25 millones en junio de 2011 a 27,7 millones a junio de 2012.

Se pronostica que las conexiones LTE alcancen los 42 millones al término de 2013 y para 2018 habrá 98 millones de conexiones LTE, según pronósticos de TransMedia 4G Americas.

[1].-TransMedia http//:www.Foro4GAmericas/4G-LTE

3.2 MIGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS HACIA LTE

La denominada 4G, cuarta GENERACIÓN de tecnologías de telefonia movil estará basada totalmente en IP. LTE no es una tecnología o estandar definido, sino una recopilación de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento, definiendo una convergencia notoria entre las redes celulares así como de los dispositivos electrónicos para brindar velocidades de acceso superiores a las ya experimentadas y ofrecer nuevos servicios en cualquier momento con un costo similar o inferior.

Esta migración de tecnologías inalambricas surge de la necesidad de agrupar diferentes estandares en uso y de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

El objetivo que persigue es el de ofrecer una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar, el sistema debe ser capaz de compartir dinamicamente y utilizar los recursos de red.

A partir de esta evolución de las plataformas de redes móviles se comienza a pensar en una analogía a los estandares de tecnología estacionaria (Wi-fi, WiMAX, WiBro) las diferencias en velocidad de datos se reducen cada vez mas con respecto a las plataformas de uso pedestre o vehicular y pueden dar multiples servicios (imagen, voz , datos).

En la actualidad se habla sobre esta convergencia o evolución de las redes móviles que están totalmente conectados a internet con anchos de banda muy superior a las líneas de teléfono actual a la vez que éstas mismas redes tendrán acceso multi-modal (IPv6, xDSL, CATV, Wi-Fi, fibra óptica) con lo cual se multiplicaría la conectividad de los dispositivos, lo que bajo esta óptica se denomina redes ubicuas.

Las redes ubicuas permitirán a los usuarios acceder al internet desde cualquier parte y en cualquier momento, lo cual abriría un nuevo esquema de telecomunicaciones y multidifusión para nuevos servicios y aplicaciones.

[2].- http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/documentos/doc/El_Telefono_Movil_ETSIT-UPM.pdf

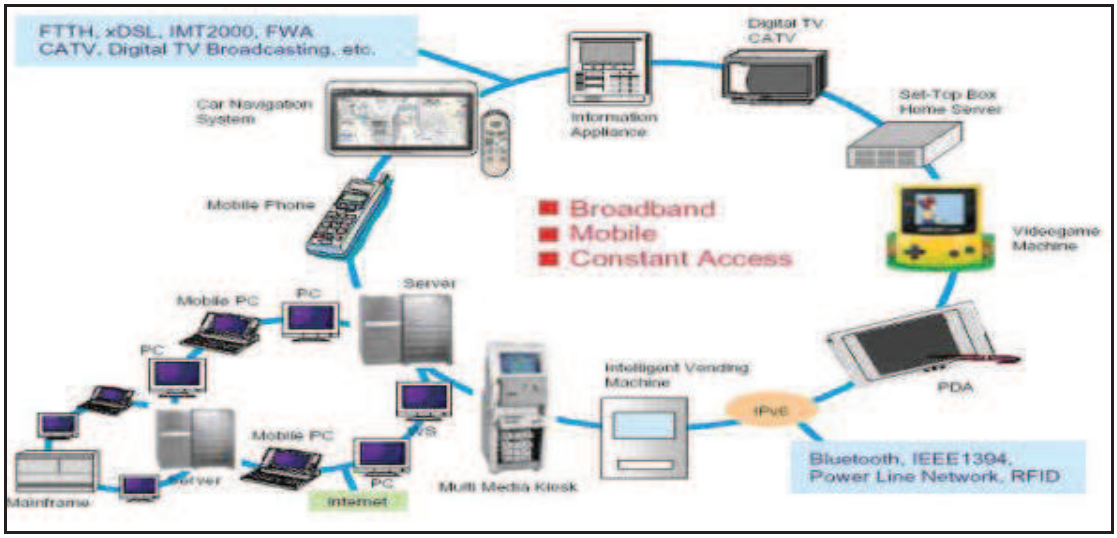


Figura 3.1 Representación de una red Ubicua. [2]

3.3 ANTECEDENTES Y PLANIFICACIÓN DE LA PLATAFORMA LTE EN AMÉRICA LATINA

América Latina está acercándose a los 80 millones de suscripciones HSPA y LTE por banda ancha móvil. Si bien las conexiones GSM tuvieron un crecimiento modesto del 6% anual. Los avances de banda ancha móvil de HSPA en 34 países se actualizaron a HSPA+ en 22 países sumado al hecho de que hay 7 redes LTE comerciales en cinco países y se prevén 230 mil conexiones LTE para el término de 2013.

La mayoría de los operadores de América latina planean lanzamientos LTE para el término de 2013 .Como es el caso de Chile donde la autoridad ya aprobó la concesión de ese tipo de redes y más operadores planean lanzamientos para los próximos dos años, donde un 30 % las lanzará en 2013.

La tecnología 4G promete una transformación en el mercado de las telecomunicaciones y en la proliferación de aplicaciones móviles.

Alcatel-Lucent, promueve la evolución a 4G, para América Latina y el Caribe. LTE es la tecnología móvil de cuarta generación (4G) que va a permitir verdadero acceso de banda ancha móvil en América Latina y complementa los servicios habilitados por las redes de cobre, fibra y otras soluciones para impulsar el desarrollo socioeconómico. LTE llegó a América Latina en 2011 con los primeros lanzamientos comerciales por parte de ANTEL en Uruguay y SKY en Brasil. Adicionalmente, también durante 2011, los principales operadores de Puerto Rico

anunciaron lanzamientos de redes LTE y poco después UNE en Colombia comenzó los preparativos para el lanzamiento del servicio que finalmente se concretó a finales del 2012. LTE llegó a América Latina con un atraso mucho menor al observado en el pasado con otras tecnologías, como fueron los casos de las redes celulares 2G y 3G.

Alcatel-Lucent está cumpliendo un papel central en esta transformación por la que pasan las telecomunicaciones en América Latina. Fue con la tecnología y servicios de Alcatel-Lucent que ANTEL se convirtió en el primer operador de un país latinoamericano en lanzar servicio comercial sobre una red LTE, en diciembre de 2011.

4G abre una gama de nuevas posibilidades de servicios y aplicaciones en telecomunicaciones. Por un lado la mayor capacidad de transmisión de datos hará que la banda ancha móvil se desarrolle de forma mucho más rápida y consistente. Por otro lado la baja latencia (atraso en la transmisión de los paquetes de información en redes IP) permite que los operadores puedan comercializar nuevos servicios y aplicaciones viabilizando segmentos como Cloud, Multi-playerGaming y M2M (Machine-to-Machine). El tráfico en las redes crece de manera exponencial y cada vez se transmite más video. De hecho, se estima que en el 2014 el 70% del tráfico en Internet será de video y LTE permite transmitir esta enorme cantidad de tráfico de manera eficiente y con calidad de servicio en las redes inalámbricas. LTE es una tecnología IP nativa, es decir que la conectividad entre dispositivos y aplicaciones ahora puede ser IP extremo-a-extremo. Adicionalmente a las ventajas desde el punto de vista de la experiencia de los usuarios y a los nuevos servicios, los operadores tendrán eficiencias operacionales con esta tecnología. Además LTE acelerará la convergencia Fijo-Móvil tanto a nivel de red como a nivel de servicios para los usuarios finales.

Ya que la asignación de espectro es un proceso lento y complejo, los países que han comenzado antes la preparación del espectro tendrán mejores posibilidades de aprovechar los beneficios del LTE. Vemos a países como Chile, Brasil, Uruguay, Colombia y Perú a la vanguardia de la asignación de espectro en la región. Otros países también han comenzado esta preparación lo cual hará de América Latina una región muy dinámica en la evolución de las redes y servicios LTE.

3.4 OTRAS TECNOLOGÍAS 4G EN ECUADOR

La telefonía móvil celular y su evolución a lo largo de las diferentes generaciones han utilizado diferentes técnicas de acceso al interfaz aíre, lo cual como se había descrito anteriormente existe una convergencia entre tecnologías inalámbricas y la telefonía móvil celular, toda esta perspectiva denominada como la 4G (cuarta generación) y dentro de esta generación podemos mencionar algunas otras tecnologías que al igual que LTE manejan esquemas similares en técnicas de acceso al medio, técnicas de antenas, modulación y codificación adaptativa, entre otras, una de ellas es la tecnología WiMAX Movil basada en el estándar IEEE 802.16e-2005.

En esta parte se realiza un análisis comparativo de tecnologías 4G debido a las prestaciones que cada una de ellas puede ofrecer, basado en aspectos técnicos como bandas de frecuencia, método de duplexión, tipo de modulación y codificación, considerando también aspectos de velocidad de transmisión, eficiencia espectral y costos de terminales.

3.4.1 OPERADORES CON TECNOLOGÍA WIMAX EN ECUADOR

En el Ecuador actualmente existen 5 operadores de telecomunicaciones que han implementado o están en proceso de planeación e implementación de sus redes, utilizando la tecnología WiMAX; estos operadores se describen en la tabla 3.1:

Operador	Ciudad	Tecnología	Estado
CNT	Guayaquil	802.16e	Implementación
Setel	Quito	802.16d	Planeación/implementación
Telmex	Guayaquil	802.16d	Planeación/implementación
TV Cable	Quito	802.16d	En servicio
Punto Net	Guayaquil	802.16d	Planeación/implementación

Tabla 3. 1 Operadores bajo tecnología WiMax en Ecuador.

3.4.2 DESCRIPCIÓN DE OTRAS TECNOLOGÍAS CONSIDERADAS 4G

3.4.2.1 Tecnología Wimax Móvil (IEEE 802-16e)

WiMAX (***Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microonda***) es una tecnología basada en el estándar IEEE 802.16. Es así que el IEEE 802 es un grupo de trabajo que define estándares internacionales, para redes de área personal PAN, redes de área local LAN, redes de área metropolitana (MAN).

IEEE 802.16e define especificaciones tanto en la capa física PHY como en la capa MAC. Generalmente se considera que WiMAX Móvil adopta OFDMA en la capa PHY. El estándar IEEE 802.16e-2005 especifica los modos de duplexión por división de tiempo (TDD) y duplexión por división de frecuencia (FDD), sin embargo la mayoría de despliegues de red adoptan TDD.

Teóricamente WiMAX Móvil puede alcanzar velocidades pico de 75 Mbps.

La arquitectura de red End to End de WiMAX, la cual soporta usuarios fijos, nómadas, portables y móviles, está desarrollada en una arquitectura All IP o todo IP, con tecnología de paquetes, y está conformada por los siguientes componentes (figura 3.4):

1. Estación Móvil (MS)
2. Red de servicio de acceso (ASN)
3. Red de servicios de conectividad (CSN)

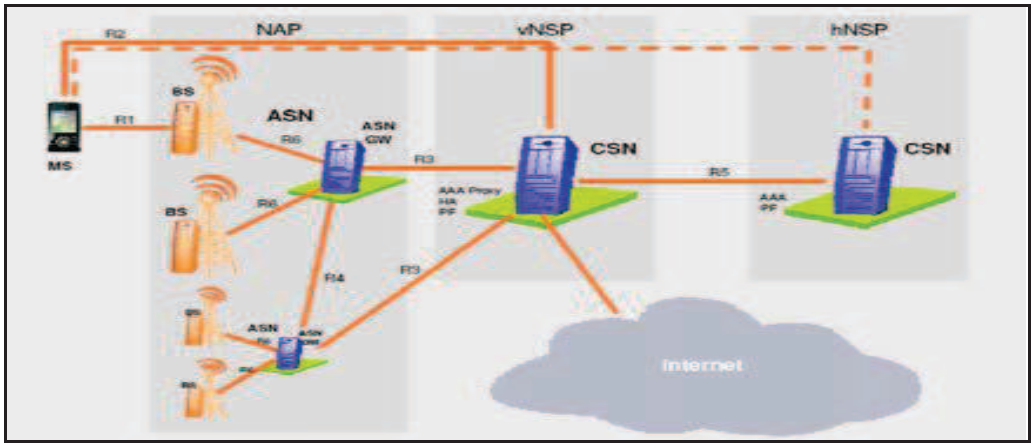


Figura 3.2 Arquitectura de red WiMAX. [3]

WiMAX utiliza OFDM en la capa PHY, es una técnica de multiplexación que divide un canal de frecuencia, en un número determinado de bandas de frecuencias equiespaciadas, en cada banda se transmite una subportadora que transporta

una porción de la información del usuario. Cada subportadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia.

OFDM permite que la amplitud del espectro de una subportadoras sea máxima cuando el resto de subportadoras es cero.

En la capa física se tienen las siguientes características:

- La operación de WiMAX Móvil puede ser por duplexión en tiempo y en frecuencia, en frecuencia (FDD para la BS) y en HFDD para la MS.
- Teóricamente se puede obtener 20 y 75 Mbps con canales de 5 y 20 MHz respectivamente.
- La modulación OFDMA con 1024 subportadoras versus las 256 de OFDM en 802.16d
- Permite movilidad de hasta 60 Km/h
- El ancho de banda del canal es seleccionable entre 1.25 y 20 MHz siendo la más usada de 5MHz
- La duración de la trama puede ser 2.5, 5, 10 y 20 ms siendo la más usada 5ms
- El radio típico de una celda es aproximadamente de 5 a 8 Km alcanzando un máximo de 10Km con condiciones favorables.
- Asignación dinámica de varias subportadoras a cada usuario según sea la demanda de ancho de banda (DAMA)
- Permite un sistema de antenas adaptativas
- Es mucho más robusto que OFDM pero que requiere mayor complejidad para la formación de símbolos OFDMA mediante FUSC, PUSC
- Soporta re uso de frecuencia
- Implementa MIMO para aumentar el troughput, con técnicas tales como Códigos Espacio-Tiempo, Multiplexación Espacial, Beamforming y Sistemas avanzados de antenas AAS.

[3].-PDF Análisis Comparativo de las Tecnologías Inalámbricasde Banda Ancha para acceso a internet, HSPA (high speed packet access) y WiMax móviL (802.16e-2005). Ortiz Diego.

3.4.2.1.1 Aplicaciones y servicios de Wimax Móvil

WiMAX móvil puede ofrecer una variedad de aplicaciones tales como VoIP, streaming de audio y video, TV móvil, mensajería instantánea, etc. Para ofrecer todo este tipo de aplicaciones, los fabricantes han proporcionado al mercado varios tipos de dispositivos móviles que soportan dichas aplicaciones.

En lo que se refiere a servicios WiMAX permiten ofrecer acceso de banda ancha a usuarios finales, tanto en aplicaciones indoor como son acceso fijo en lugares residenciales y aplicaciones outdoor tales como acceso nómada y móvil hacia el Internet. Se puede usar para enlaces de acceso MAN o incluso WAN. Adicionalmente se puede utilizar para VPN móviles corporativa.

El servicio de Internet es el más importante y el trayecto de los datos hacia dicha red, se da cuando una MS genera tráfico en forma de paquetes IP, dicho tráfico cruza la ASN, y llega hasta la CSN, aquí se realiza varios procesos de enrutamiento y direccionamiento IP, y luego por medio de una puerta de enlace (Gateway), el tráfico ingresa a la nube de Internet, donde llega a su punto de destino como puede ser un servidor WEB, un servidor de correo, etc.

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE HSPA+ (R8), WIMAX MÓVIL Y LTE PARA ACCESO A INTERNET DE BANDA ANCHA

Se realiza un estudio comparativo entre las tres tecnologías HSPA, WiMAX móvil y LTE, en base a sus características técnicas, similitudes y diferencias así como también cobertura, movilidad eficiencia espectral velocidades de transmisión y terminales de usuarios finales de acceso a internet denominado Banda Ancha Movil (BAM).

3.5.1 COMPARACIÓN TECNOLÓGICA

- Programación Rápida (*Fast Scheduling)*

Las tres tecnologías HSPA+, WiMAX Móvil y LTE utilizan esta misma técnica de programación rápida de usuarios, para optimizar los recursos de radio; dicha programación está dada en función de las condiciones del canal y se implementa a nivel de la capa MAC.

- Adaptación al enlace con AMC (Codificación Modulación Adaptativa)

HSPA+, WiMAX Móvil y LTE soportan selección dinámica de esquemas de modulación entre QPSK, 16QAM y 64 QAM. La diferencia radica en que WiMAX Móvil utiliza modulación de más alto nivel, 64QAM en el DL y 16QAM en el UL, en cambio HSPA+ release 8 introduce 64QAM y dos flujos MIMO en el DL, pero no para uso simultáneo y ofrece un rendimiento comparable a WiMAX Móvil, de forma similar LTE en el UL dependiendo del ancho de banda QPSK, 16QAM, 64QAM y DL: QPSK, 16QAM, 64QAM.

- Retransmisión rápida con H-ARQ

En los nodos B de las redes HSPA y e-nodeB de las redes LTE se ha incluido este protocolo H-ARQ (Hybrid-ARQ) con lo cual se reduce el tiempo de retransmisión, debido a que antes este protocolo en UMTS era realizado por la RNC.

En WiMAX Móvil, el protocolo H-ARQ está implementado en el ASN, con lo cual se tiene menos tiempo de retardo en la retransmisión de paquetes erróneos al igual que HSPA. Los paquetes erróneos se pueden reenviar en una ventana de tiempo de 10 [ms].

- Modo de operación Duplex

Tanto HSPA como WiMAX Móvil y LTE soportan los métodos de duplexión FDD y TDD, pero la diferencia radica principalmente en que la mayoría de redes desplegadas con tecnología HSPA operan con FDD, en cambio para la tecnología WiMAX, operan en la gran mayoría con TDD y la tecnología LTE posibilita trabajar en los dos modos de duplexión FDD y TDD, pero el más común y específicamente para mantener compatibilidad hacia atrás utiliza el modo FDD.

- Bandas de Frecuencias

HSPA y WiMAX Móvil operan en diferentes bandas de frecuencias, las cuales han sido designadas por la UIT, es así que se han distribuido para cada tecnología. Estas bandas utilizadas tanto por HSPA como por WiMAX para su operación se exponen en la tabla 3.2.

ASIGNACIÓN DE ESPECTRO		
BANDA	HSPA (3GPP)	WiMAX MÓVIL
Por debajo de 1 GHz	850 MHz	N/A
Por sobre 1 GHz	1700 MHz	N/A
	1800 MHz	N/A
Por sobre 2GHz	2100 MHz	N/A
	N/A	2300 MHz
	2500 MHz	2500 MHz
Por encima de 3GHz	N/A	3300 MHz
Por encima de 5 GHz	N/A	5800 MHz

Tabla 3.2 Bandas de frecuencia HSPA y WiMAx.

En comparación con LTE bandas de frecuencia de operación, velocidades de transmisión y alcance máximo en línea de vista se representan en la tabla 3.

TECNOLOGIA	Frecuencia de operación (Hz)	Velocidades de transmisión (bps)	Alcance máximo
WIMAX	2.5 a 3.5 GHz	75 Mbps	80Km
WIMAX MÓVIL (802.16E)	2-6 GHz	30 Mbps	3,5 km
LTE	1.25 y 20MHz	50Mbps y 100Mbps	15Km

Tabla 3.3 Comparación WiMAX vs LTE.

- Eficiencia Espectral

Tomando como datos los valores de las tecnologías su velocidad pico de transmisión y el ancho de banda del canal, se puede calcular la eficiencia espectral; para WiMAX, hay que considerar que se utiliza un canal de 10MHzcon relación de 3 a 1 y una velocidad pico de transmisión de 25 Mbps en el DL y 7,5 Mbps en el UL, tal como se expone en la taba 3.4.

Tecnología	**Vt [Mbps]**	**AB Canal [MHz]**	**Eficiencia espectral[bps/Hz]**
wiMAX M DL	75	10	7.5
WiMAX M UL	30	8.5	3.52
HSPA+ DL	42	5	8.4
HSPA+ UL	22	5	4.4
LTE DL	100	10	10
LTE UL	50	10	5

Tabla 3.4 Comparación de eficiencia espectral.

En la tabla 3.5 podemos realizar una comparación de varias características de las tecnologías que se están analizando.

Características	**WiMAX (IEEE 802.16e-2005)**	**3GPP –LTE (Release 8)**	**HSPA+ (evolution)**
Red Núcleo	Wimax red todo IP	UTRAN evolucionado hacia red todo IP EUTRAN (enhanced UTRAN)	GRAN , UTRAN(conectadas directamente a un backhaul IP)
Tecnología de Acceso Enlace bajada(DL) Enlace subida(UL)	OFDMA OFDMA	OFDMA SC-FDMA	WCDMA WCDMA
Banda de frecuencia	2.3-2.4GHz,2.49-2.67GHz 3.3-3.8GHz	Diversidad de bandas de frecuencias existentes y nuevas cercanas a 2GHz	850, 900 MHz 1.5, 1.7,2.1Ghz
Tasa de bits DL UL	75Mbps 25Mbps	100Mbps 50Mbps	50Mbps 22Mbps
Ancho de banda del canal	5,8.75,10MHz	1.25 – 20 MHz	5MHz
Radio de la celda	2-7 Km	5-7 Km	5 Km
Capacidad de la celda	100-200 usuarios	>200 usuarios a 5MHz >400 usuarios para BW mayor	>200 usuarios
Eficiencia espectral	3.75(bits/seg/Hz)	5(bits /seg/Hz)	4.4 (bits/seg/Hz)
Movilidad: Velocidad Handover	Hasta 120 Km/h Hard Handovers(soporta)	Hasta 250 Km/h Handovers inter célula soft	Hasta 150 Km/h Handovers inter célula soft
Standares	IEEE 802.16a hasta .16d	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
MIMO DL UL	2Tx*2Rx 1Tx*nRx	2Tx*2Rx 2Tx*2Rx	1Tx*nRx 1Tx*nRx
Roaming	Nuevo	Auto a través de GSM/UMTS	Auto a través de GSM/UMTS
Inicio de despliegue	2007 – 2008	2011	2009

Tabla 3.5 Comparación característica entre las tecnologías WiMax Mobil, LTE, HSPA+.

WiMax 802.16e-2005 también es parte de la 4G debido a las mejoras por las que ha pasado y pasa de acuerdo con sus especificaciones como se podría apreciar para WiMAX Movil, sin embargo como se había mencionado anteriormente, LTE ha sido visto de mejor forma para la implementación en sistemas móviles debido a

que ha sido desarrollado desde su comienzo para el uso de redes móviles, y un factor determinante que ha impactado negativamente el crecimiento de WiMax en América Latina son los atrasos en su desarrollo técnico y la falta de financiación, además de las decisiones por parte de Alcatel Lucent y Nokia Siemens Networks de centrar sus esfuerzos en el desarrollo de LTE como tecnología para 4G.

WiBRO [4]

WiBro es una tecnología de Internet de banda ancha inalámbrica, que está siendo desarrollada por la industria de telecomunicaciones en Corea. Se compone de dos fases:

WiBro Phase I que fue completado en marzo del 2005, conserva muchos de los elementos propietarios del estándar original HPi9, con los despliegues de red ocurriendo hoy en Corea del Sur basados en este estándar.

En WiBro Phase II, los requerimientos de sus capas PHY y MAC se alinean más cercanamente con los definidos por IEEE 802.16e, aunque esto no asegura compatibilidad entre Mobile WiMAX, puesto que existen diferencias técnicas importantes en la definición de cada una de ellas. Por ejemplo, se tiene que soportan diferentes tipos de duplexación y de handovers, que asignan números distintos de tonos en diferentes anchos de banda, etc.

Esta tecnología provee acceso inalámbrico a Internet a altas tasas de datos con PSS bajo ambientes estacionario o móvil (hasta 60 [km/h]), en cualquier momento y cualquier lugar.

Tecnología desarrollada por la ETRI en conjunto con Samsung que es el precursor de WiBro. Sus características principales son que está definido para espectro de frecuencia de 2.3 GHz con radio canales de 8.75 MHz y esquema de duplexación TDD. Adicionalmente, se considera como una solución portátil más que una realmente móvil.

3.6 COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE LA CELDA BASE DE QUITO CON DESPLIEGUES LTE SIMILARES

En este capítulo se presentan los resultados que se obtienen al aplicar las metodologías planteadas en el capítulo anterior, es decir, se presentan las características de formulación del diseño de una celda base con tecnología LTE.

[4].- PDF Comparativa de Redes Emergentes Móviles y Fijas. Priscila López Universidad Católica de Chile.

Las comparativas que se presentan corresponden a un LTE Field Trial desarrollado en México ya que la morfología presentada en los planes de diseño son similares.

Es importante mencionar, con respecto a las comparativas, tienen el propósito de contrastar los resultados obtenidos en el diseño con un despliegue real desarrollado en la ciudad de Azcapotzalco DF México, principalmente por razones de análisis ya que esta ciudad presenta condiciones geográficas y urbanas similares a la ciudad de Quito según los datos obtenidos por el operador Alcatel-Lucent en un reporte ensayo del Radio Network Planning, el cual data del 30 de Junio del 2010.

[Referencia: AMX LTE FIELD TRIAL – MEXICO, RNP trial report. Adjunto en Anexos]. Este ensayo fue inicialmente lanzado para 7 zonas localizadas en la ciudad de Azcapotzalco, México DF.

3.6.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

- Inicio / Asunciones generales AMX(Azcapotzalco México)
  Ciudad de Azcapotzalco México DF. Se localiza 7 celdas celulares con tecnología FDD- LTE.

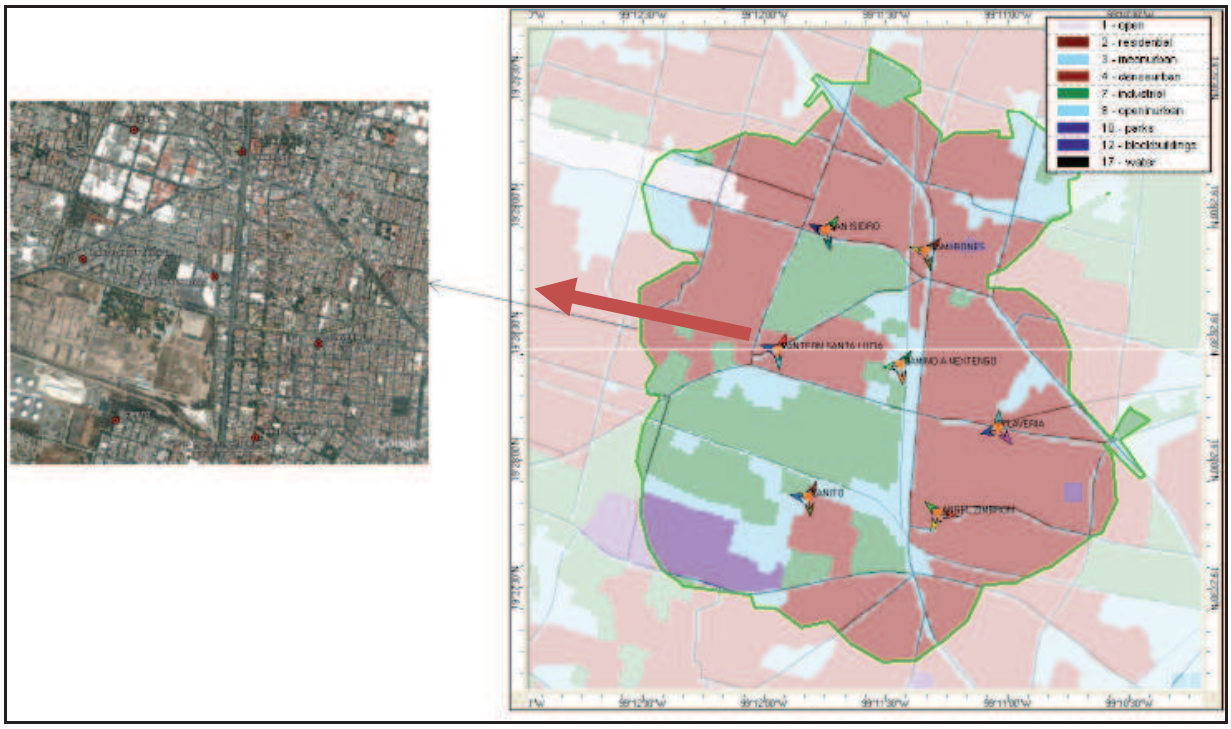


Figura 3.3 Características Morfológicas de celdas celulares, Azcapotzalco México DF. [5]

Estadísticas definidas para el tipo de Clutter en zonas Dense_urban.

Name	Surface (km^2)	Percentage
open	0.1507	1.4
meanurban	0.609	5.6
denseurban	**5.8564**	**54.3**
industrial	2.3126	21.4
openinurban	1.4228	13.2
parks	0.4302	4

Tabla 3.6 Tipo de clutter en la zona Dense_urban.

Se determina un área total de 10.7817 Km^2, con porcentajes de área indistintos de cada población pero para efectos de comparación tomaremos como referencia el tipo clutter denso urbano el cual también es asumido para el diseño en el sector Iñaquito de la ciudad de Quito. El sector Iñaquito objeto de estudio, abarca un área aproximada de 2.04Km^2, definida por tipo de clutter de la siguiente forma.

Name	Surface (Km^2)	Percentage
Open	0.00408	0.2
Denseurban	1.14852	56.3
Parks	0.8874	43.5
	2.04	100%

Tabla 3.7 Tipo de clutter zona dense-urban para sector Iñaquito de la ciudad de Quito.

Se concluye estadísticamente en porcentaje que el área mayoritaria a ser cubierta corresponde a una zona densa urbana con un 56,3% del rango total de la celda del sector Iñaquito, comparada con el 54,3% de zona densa urbana de la ciudad de Azcapotzalco- Mx.

Figura 3.4 Sitios co-ubicados para implementación Overlay (Reutilización de sitios ya ubicados).

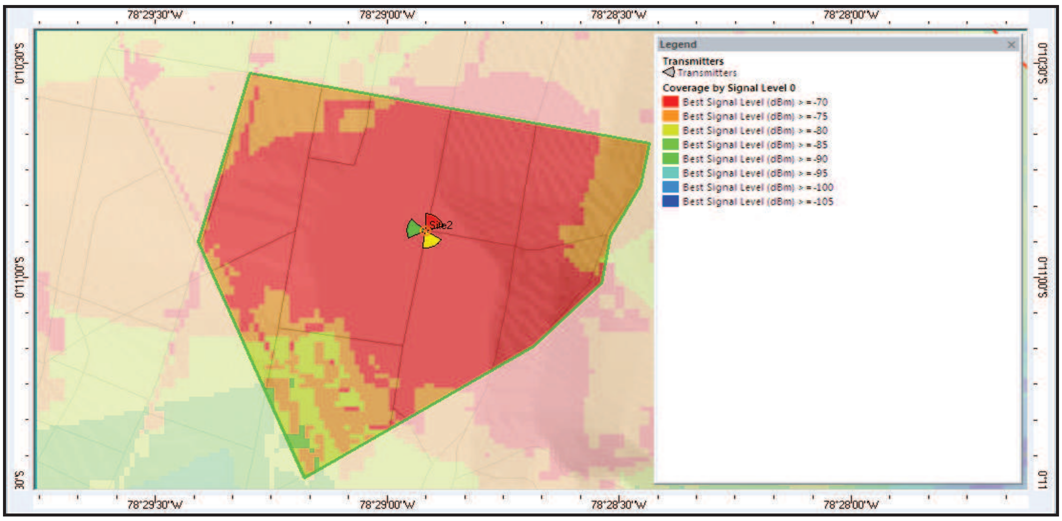


Figura 3.5 Cobertura por nivel de señal considerado para el Transmisor eNodeB en el sector Iñaquito de la ciudad de Quito.

Principales consideraciones de radio asumidas:

Para nuestro diseño se consideraron el mismo tipo de antenas utilizadas en el trial ampliado para la ciudad de Azcapotzalco México DF, son antenas RFS y ANDREW y fueron escogidas por tener características amplias en ganancias, tilts, y apertura de haz lo cual permite cubrir mayor área y tener mejores niveles de señal en la recepción.

Características de antenas:

RFS APXV18-206516H-C

_Frequency range: 710-2200MHz

_H-HPBW: 67°-65°

_V-HPBW: 7.3°- 6.5°

_Gain: 16.5-17.1dBi

_Electrical downtilt: 0°-10°

Andrew HBX-6516DS-VTM

_ Frequency range: 710–2170MHz

_ H-HPBW: 65°

_ V-HPBW: 7.5°-6.5°

_ Gain: 17-17.5dBi H beam width 65° @700MHZ;850MHz;900MHz

Tipo de despliegue LTE en México DF [Referencia: AMX LTE FIELD TRIAL]

- FDD
- E-UTRA AWS Band (DL: 2110-2155MHz, UL: 1710-1755MHz)
- 10MHz channel BW
- Power used for eNode-B max power per transmit: 44,8dBm (RRH 40W - 10MHz) with 17dBm for “Reference Signal Resource Element Power” (RS EPRE). For AWS RRH P1.1 only a maximum of 30W can be set on the equipment.
- UE max power: 23dBm
- Cable losses: Transmission/Reception losses = 0.5dB
- Noise figures eNodeB: 3dB
- UE (MIMO Terminal): 7dB
- UE antenna gain

Antenna gain: 0dBi

Receiver height: 1,5m

Penetration losses: In-car penetration loss = 8dB

Predicciones de desempeño consideradas:

- 10m resolution raster geo database
- Default propagation model: SPM DU/U AWS-2100MHz
- Assumed in-car penetration margin: 8dB
- Propagation model standard deviation: 8dB
- Assumed DL traffic load of cells: 70% & 100%

RSRP target:

- RSRP level ≥ -110.1dBm (in-car MAPL=136.5dB) corresponding to UL PS256
- PDSCH SINR target values: For 100% (70%) load; SINR target is -5dB (-3.2dB) over 95% of the area if shadowing is taken into account.

Tipo de despliegue LTE en Iñaquito:

- FDD
- E-UTRA banda de 700 MHz (3GPP Banda 12,13 y 17) 850 MHz(Bandas asignadas a operadores locales) validados en campo y con alta eficiencia en su uso.
- Diseño ampliado para ancho de banda de portadora en 10MHz y 20MHz esta última reduce la cobertura y número de conexiones por celda.
- Potencia máxima utilizada por transmisor eNodeB: 30dBm (RRH 40W - 10MHz) with 17dBm for “Reference Signal Resource Element Power” (RS EPRE).
- UE max power: 23dBm.
- RF Cable losses: 0,5 dB loss tower RF module (RRH).
- Noise figures eNodeB: 2,5dB.
- UE antenna gain.

Antenna gain: 0dBi

Receiver height: 1,5m

Predicciones de desempeño consideradas:

- Basado en mapas digitales de resolución 20m de Ecuador, colaboración Alcatel Lucent.
- Default propagation model: Okumura- Hata, SPM DU/U 700-850MHz
- Assumed in-car penetration margin: 8dB
- Propagation model standard deviation: 8dB

- Assumed DL traffic load of cells: 50% & 100%.

RSRP target:

- RSRP level ≥ -109.0dBm MAPL=122.6 dB correspondiente al UL PS1000

PDSCH SINR -0.6 dB para un 95% de carga y un PS 1000 Kbps se obtiene una tasa de transferencia en el borde la celda 8095Kbps.

3.6.2 FACTORES DE DISEÑO

Dentro de los factores de diseño que se comparan podemos analizar los dos tipos de Link Budget para las dos ciudades diferentes pero con una consideración muy importante, en el presupuesto de enlace (Link Budget) ensayado para la ciudad de México tenemos un área de cobertura mayor por lo tanto se planea un despliegue con 7 celdas para cubrir la demanda de servicio y se consideran PS (Packet Swiching) de 256 Kbps además que trabaja en bandas de frecuencia AWS, pero en nuestro diseño en la ciudad de Quito se trata de una sola celda base con un área no mayor a 2 Km^2 y una probabilidad de cobertura confiable de un 95% del área en la celda para un PS 1000Kbps, en banda de frecuencia a 700 y 850MHz con un ancho de banda de 20MHz.

TRIAL LTE Azcapotzalco México DF [Referencia: AMX RNP LTE Alcatel-Lucent]

LTE Link Budget In door

UL BUDGET – Dense Urban- VehA 3 Km/h-10% Initial –AWS MHz- 10MHz BW

Dense Urban		VoIP AMR 12.2 (TTI Bundling)	PS 8	PS 32	PS 64	PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000
Guaranteed at Cell Edge		No	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No	No
Average Effective Data Rate	kbps	41.0 kbps	8 kbps	32 kbps	64 kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps
# Resource Blocks Required	#	1 RB	1 RB	1 RB	1 RB	3 RB	4 RB	5 RB	9 RB	10 RB	16 RB	32 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 6	MCS 0	MCS 3	MCS 5	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 4	MCS 5	MCS 4	MCS 4
Used Bandwidth	KHz	180 kHz	180 kHz	180 kHz	180 kHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1620 kHz	1800 kHz	2880 kHz	5760 kHz
HARQ Operating Point	%	1% Post	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial
UL Receive Diversity		2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv
Target UL SINR	dB	-3.7 dB	-1.7 dB	0.7 dB	2.4 dB	-0.3 dB	2.1 dB	2.0 dB	0.6 dB	1.5 dB	-0.5 dB	-1.1 dB
eNode-B Noise Figure	dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB
eNode-B Sensitivity	dBm	-122.2 dBm	-120.2 dBm	-117.8 dBm	-116.0 dBm	-114.0 dBm	-110.3 dBm	-109.4 dBm	-108.3 dBm	-106.9 dBm	-106.9 dBm	-104.5 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
Body Loss	dB	3 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB
Shadowing Margin	dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB
Handoff Gain	dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.4 dB	2.8 dB	2.8 dB	1.8 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	0.5 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB
Penetration Margin	dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB
Fixed IoT	dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm
MAPL	dB	144.2 dB	146.4 dB	144.0 dB	142.3 dB	140.2 dB	136.5 dB	135.4 dB	134.3 dB	132.4 dB	132.3 dB	128.9 dB
UL Cell Range	km	0.99 km	0.99 km	0.99 km	0.99 km	0.99 km	0.99 km	0.93 km	0.85 km	0.75 km	0.75 km	0.60 km
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	75%	53%	53%	27%

Tabla 3.8 Resultados LTE UL Budget Indoor.

[5].- AMX LTE FIELD TRIAL, Referencia: AMX RNP LTE Alcatel-Lucent].

LTE Link Budget (outdoor)

DL BUDGET – Dense Urban- VehA 3 Km/h-10% Initial –AWS MHz- 10MHz BW

Dense Urban		VoIP AMR 12.2 (TTI Bundling)	PS 8	PS 32	PS 64	PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000
Guaranteed at Cell Edge		No	No	No	No	No	Yes	No	No	No	No	No
Average Effective Data Rate	kbps	41.0 kbps	8 kbps	32 kbps	64 kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps
# Resource Blocks Required	#	1 RB	1 RB	1 RB	1 RB	3 RB	4 RB	5 RB	9 RB	10 RB	16 RB	32 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 6	MCS 0	MCS 3	MCS 5	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 4	MCS 5	MCS 4	MCS 4
Used Bandwidth	KHz	180 kHz	180 kHz	180 kHz	180 kHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1620 kHz	1800 kHz	2880 kHz	5760 kHz
HARQ Operating Point	%	1% Post	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial	10% Initial
UL Receive Diversity		2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv	2 RxDiv
Target UL SINR	dB	-3.7 dB	-1.7 dB	0.7 dB	2.4 dB	-0.3 dB	2.1 dB	2.0 dB	0.6 dB	1.5 dB	-0.5 dB	-1.1 dB
eNode-B Noise Figure	dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB
eNode-B Sensitivity	dBm	-122.2 dBm	-120.2 dBm	-117.0 dBm	-116.0 dBm	-114.0 dBm	-110.3 dBm	-109.4 dBm	-108.3 dBm	-106.9 dBm	-106.9 dBm	-104.5 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi	18.0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
Body Loss	dB	3 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB	8.0 dB
Shadowing Margin	dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB	8.6 dB
Handoff Gain	dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.6 dB	3.4 dB	2.8 dB	2.8 dB	1.8 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	0.5 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB	1.8 dB
Penetration Margin	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Fixed IoT	dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB	3.0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm	23.0 dBm
MAPL	dB	152.2 dB	154.4 dB	152.0 dB	150.1 dB	148.1 dB	144.5 dB	143.6 dB	142.3 dB	140.4 dB	140.3 dB	136.9 dB
UL Cell Range	km	1.65 km	1.65 km	1.65 km	1.65 km	1.65 km	1.65 km	1.55 km	1.41 km	1.26 km	1.26 km	1.01 km
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	75%	58%	58%	37%

Tabla 3.9 Resultados LTE Link Budget (outdoor).

Definición de la zona de enfoque:

- Área urbana densa mixta de 10km^2.
- La zona de enfoque ha sido definida de acuerdo al outdoor RSRP nivel de aceptación procesado por la herramienta de LinkBudget.
- Pérdidas de penetración In car: 8dB.
- UL MAPL: 136.5dB.
- Cell edge coverage probability (Probabilidad cobertura en el borde de la celda): 86%.

LINK BUDGET LTE PARA UNA CELDA BASE SECTOR IÑAQUITO DE LA CIUDAD DE QUITO ECUADOR

El MAPL limita el LINK BUDGET del enlace ascendente el cual determina el rango de celdas para el análisis del enlace descendente. Dentro de los rangos de celdas

correspondientes de enlace ascendente, se hacen estimaciones de los rendimientos alcanzables en el enlace descendente.

FDD - UL BUDGET - Dense Urban - 700 MHz - 20 MHz BW														
Dense Urban		PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000	PS 20000	PS 30000	PS 40000	PS 50000
Guaranteed at Cell Edge		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Physical Channel		PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH	PUSCH
UL Receive Diversity		4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv	4 RxDiv
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
# Resource Blocks Required	#	3 RB	4 RB	5 RB	10 RB	15 RB	16 RB	25 RB	64 RB	80 RB	80 RB	80 RB	90 RB	90 RB
Optimal UL MCS Index	#	MCS 2	MCS 5	MCS 5	MCS 3	MCS 3	MCS 4	MCS 5	MCS 6	MCS 8	MCS 15	MCS 20	MCS 23	MCS 26
Transport Block Size	bit	144 bit	328 bit	424 bit	568 bit	872 bit	1128 bit	2216 bit	6712 bit	11064 bit	22920 bit	34008 bit	45352 bit	55056 bit
Average Eff. Data Rate	kbps	128 kbps	256 kbps	384 kbps	512 kbps	768 kbps	1000 kbps	2000 kbps	5700 kbps	10000 kbps	20000 kbps	30000 kbps	40000 kbps	50000 kbps
Target UL SINR	dB	-2,3 dB	-0,6 dB	0,0 dB	-2,3 dB	-2,8 dB	-2,1 dB	-1,6 dB	-0,8 dB	1,2 dB	7,7 dB	11,8 dB	14,2 dB	17,1 dB
eNode-B Noise Figure	dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB	2,5 dB
Used Bandwidth	KHz	540 kHz	720 kHz	900 kHz	1800 kHz	2700 kHz	2880 kHz	4500 kHz	11520 kHz	14400 kHz	14400 kHz	14400 kHz	16200 kHz	16200 kHz
eNode-B Sensitivity	dBm	-116,4 dBm	-113,5 dBm	-112,0 dBm	-111,2 dBm	-110,0 dBm	-109,0 dBm	-106,6 dBm	-101,7 dBm	-98,7 dBm	-92,3 dBm	-88,1 dBm	-85,2 dBm	-82,3 dBm
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
UL Cable & Connector Losses	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional UL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Cell Area Coverage Probability	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Shadowing Standard Deviation	dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB	8,0 dB
Shadowing Margin	dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
Freq. Selective Sched. Gain	dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB	1,8 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Fixed IoT	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
UE Max Transmit Power	dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm	23,0 dBm
MAPL	dB	130,1 dB	127,1 dB	125,6 dB	124,9 dB	123,6 dB	122,6 dB	120,3 dB	115,4 dB	112,4 dB	105,9 dB	101,8 dB	98,9 dB	96,0 dB
UL Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,58 km	0,48 km	0,31 km	0,24 km	0,20 km	0,16 km
% Coverage Area	#	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 3.10 Resultados-UL Budget- Dense Urban-700MHz-20 MHz BW.

ALCATEL LUCENT incluye un servicio de borde de la celda de 512Kbps. Por esta condición, UL: 1024Kbps servicio que sigue siendo posible dentro de un rango de 0,93 kilómetros (muy similar al escenario previo), sino un rendimiento real mejor que se puede lograr para el enlace descendente. En este caso, un abonado puede tener hasta 8095 Kbps.

El proveedor recomienda este escenario ya que proporcionará una mejor eficiencia espectral global y mucha más capacidad de toda la red, sin sacrificar la cobertura.

Dense Urban		FDD - DL BUDGET - Dense Urban - 10% iBLER - 700 MHz - 20 MHz BW												
		PS 128	PS 256	PS 384	PS 512	PS 768	PS 1000	PS 2000	PS 5700	PS 10000	PS 20000	PS 30000	PS 40000	PS 50000
# Resource Blocks	#	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB	100 RB
Used Bandwidth	KHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz	18000 kHz
eNode-B Antenna Gain	dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi	15,0 dBi
DL Cable & Connector Losses	dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Body Loss	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Additional DL Losses	dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB	0 dB
Penetration Margin	dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB	17 dB
Shadowing Margin	dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB	8,7 dB
Handoff Gain	dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB	3,6 dB
SINR Shadowing Margin	dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB	2,2 dB
Limiting UL Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,58 km	0,48 km	0,31 km	0,24 km	0,20 km	0,16 km
# DL Tx Paths	paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths	4 paths
Energy Per Resource Element (RS)	dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm	18,0 dBm
UE Antenna Gain	dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi	0 dBi
Adjacent Cell Loading	%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
UL Service Cell Range	km	1,52 km	1,25 km	1,13 km	1,08 km	0,99 km	0,93 km	0,80 km	0,58 km	0,48 km	0,31 km	0,24 km	0,20 km	0,16 km
DL Path Loss @ UL Cell Edge	dB	130,6 dB	127,6 dB	126,1 dB	125,3 dB	124,1 dB	123,1 dB	120,7 dB	115,8 dB	112,8 dB	106,4 dB	102,2 dB	99,3 dB	96,4 dB
DL Geometry Percentile	%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
DL Geometry	dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB	-2,2 dB
PDSCH Rx. Power / RE	dBm	-124,7 dBm	-121,7 dBm	-120,2 dBm	-119,5 dBm	-118,2 dBm	-117,2 dBm	-114,8 dBm	-110,0 dBm	-106,9 dBm	-100,5 dBm	-96,4 dBm	-93,4 dBm	-90,5 dBm
PDSCH Avg. Interf. Power / RE	dBm	-117,2 dBm	-114,2 dBm	-112,7 dBm	-112,0 dBm	-110,7 dBm	-109,7 dBm	-107,3 dBm	-102,5 dBm	-99,4 dBm	-93,0 dBm	-88,9 dBm	-86,0 dBm	-83,0 dBm
UE Noise Figure	dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB	8 dB
Noise / RE	dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm	-124,2 dBm
PDSCH SINR	dB	**-1,3 dB**	**-0,9 dB**	**-0,8 dB**	**-0,7 dB**	**-0,7 dB**	**-0,6 dB**	**-0,6 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**	**-0,5 dB**
PDCCH SINR (target = 0,8dB)	dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB	0,8 dB
RS SINR	dB	-5,3 dB	-4,9 dB	-4,8 dB	-4,7 dB	-4,7 dB	-4,6 dB	-4,6 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB	-4,5 dB
Channel Model		VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h	VehA 3km/h
HARQ Operating Point	%	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER	10% iBLER
Spatial Multiplexing Gain		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Optimal DL MCS Index	#	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5	MCS 5
Initial BLER	%	8,6%	6,5%	5,9%	5,6%	5,3%	5,1%	4,8%	4,4%	4,4%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%
Data Rate at UL Service Cell Edge	kbps	**7794 kbps**	**7970 kbps**	**8025 kbps**	**8047 kbps**	**8076 kbps**	**8095 kbps**	**8124 kbps**	**8152 kbps**	**8157 kbps**	**8160 kbps**	**8160 kbps**	**8161 kbps**	**8161 kbps**

Tabla 3.11 Plots de BEST RSRP (RS EPRE) DL: Para F =700 MHz, AB = 20MHz, FDD, MIMO4X4. Para servicios de voz sobre IP y descarga de servidor FTP.

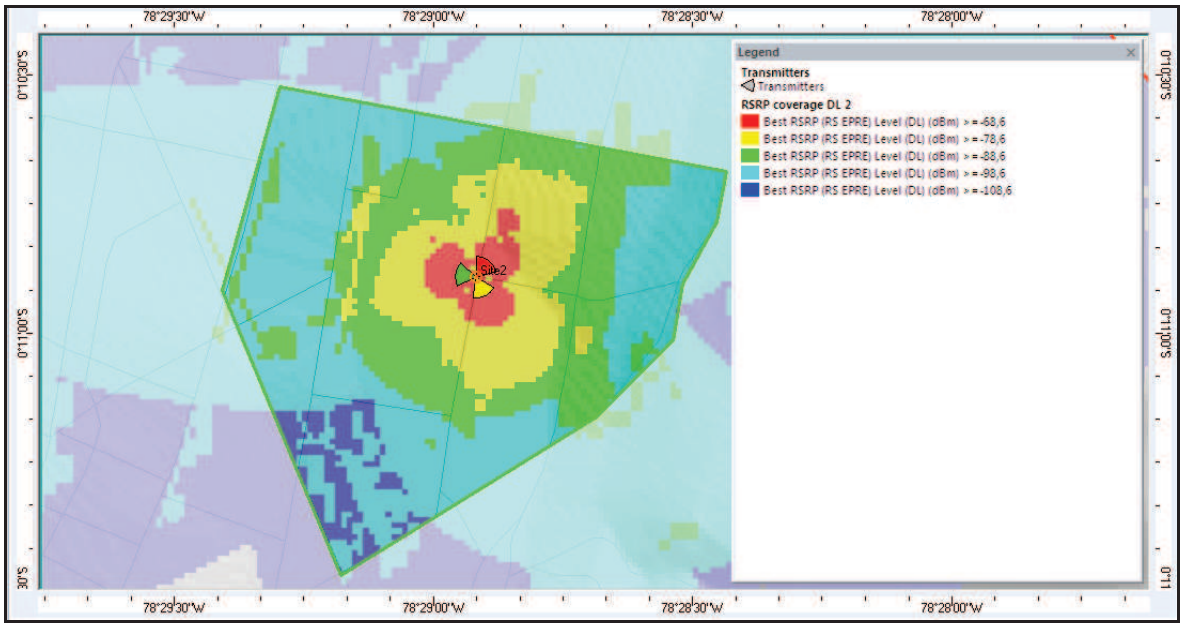


Figura 3.6 Resultados de mejor nivel de RSRP en la zona.

3.7 FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA BASE DE RED EN QUITO

3.7.1 MOTIVACIÓN DE LTE

- Para asegurar la continuidad de la competitividad de los sistemas de 3G.
- Demanda de los usuarios de mayores velocidades de datos y calidad de servicio, así como una mayor eficiencia espectral.
- La asignación de ancho de banda flexible con un amplio soporte para la arquitectura de sistemas con múltiples antenas (MIMO).
- Económica puesta en marcha CAPEX \ OPEX (Capital & Operational Expenditures) mediante el uso de 2G \ espectro 3G. Reducción del costo por bit.
- Sistema optimizado de conmutación de paquetes con baja complejidad.
- LTE de 3GPP es una red totalmente basada en IP (protocolo principal de Internet), compatibles tanto con IPv4 como con IPv6.
- Una arquitectura diseñada para el uso compartido de redes entre operadores.

3.7.2 REQUERIMIENTOS DE LTE

- Capacidad de las celdas: Hasta 200 usuarios activos por celda (5 MHz) (i.e., 200 clientes activos de datos).
- Movilidad: E-UTRAN estará optimizada por velocidades de vehículos reducidas. Con buena calidad, entre 15 y 120 km/h. Se mantendrá con alguna degradación hasta 250 km/h.
- Cobertura: Los objetivos básicos deben alcanzarse en células de hasta 5 km de radio. Con ligera degradación, hasta 30 km de radio.
- Flexibilidad de espectro: E-UTRA deberá funcionar con diferentes asignaciones de espectro: 1.25 MHz; 2.5 MHz; 5 MHz; 10 MHz; 20 MHz.
- Para UL y DL, en bandas emparejadas y no emparejadas.
- Enlace descendente (DL): 3 a 4 veces HSDPA Release 6. E-UTRA puede usar en DL, 2 antenas TX en Nodo B y 2 antenas RX, en el UE.
- Enlace ascendente (UL): 2 a 3 veces HSUPA Release 6. E-UTRA puede usar en UL 1 antena TX en el UE y 2 antenas RX en el Nodo B.

3.7.3 ARQUITECTURA Y MIGRACIÓN

Las redes de acceso 3GPP descritas brevemente en la figura 6 presentan la arquitectura y los elementos de red donde las redes de acceso E-UTRAN, UTRAN y GERAN están conectados al núcleo de la red EPC.

La conectividad que provee la E-UTRAN, basada en conmutación de paquetes aunque deberá soportar sistemas que admitan tráfico conversacional y en tiempo real, UTRAN y GERAN es muy similar entre si, donde la única diferencia serán las velocidades de transmisión, latencia y desempeño de la red.

La arquitectura E-UTRAN (Envolved UMTS Terrestrial Radio Access Network) es única ya que las portadoras son administradas en el EPS comparado con las redes existentes como UTRAN o GERAN y el EPC necesita además de las interfaces ya existentes, algunas interfaces nuevas que le permitan el intercambio de información con las redes UTRAN Y GERAN como son S3, S4, y S12.

En cuanto al Handover entre tecnologías 2G (GSM- GPRS- EDGE), 3G (UMTS-WCDMA- HSPA) y LTE son transparentes.

- Poder inter-operar con los núcleos de red existentes.
- Permitir terminales con múltiple capacidad de acceso.

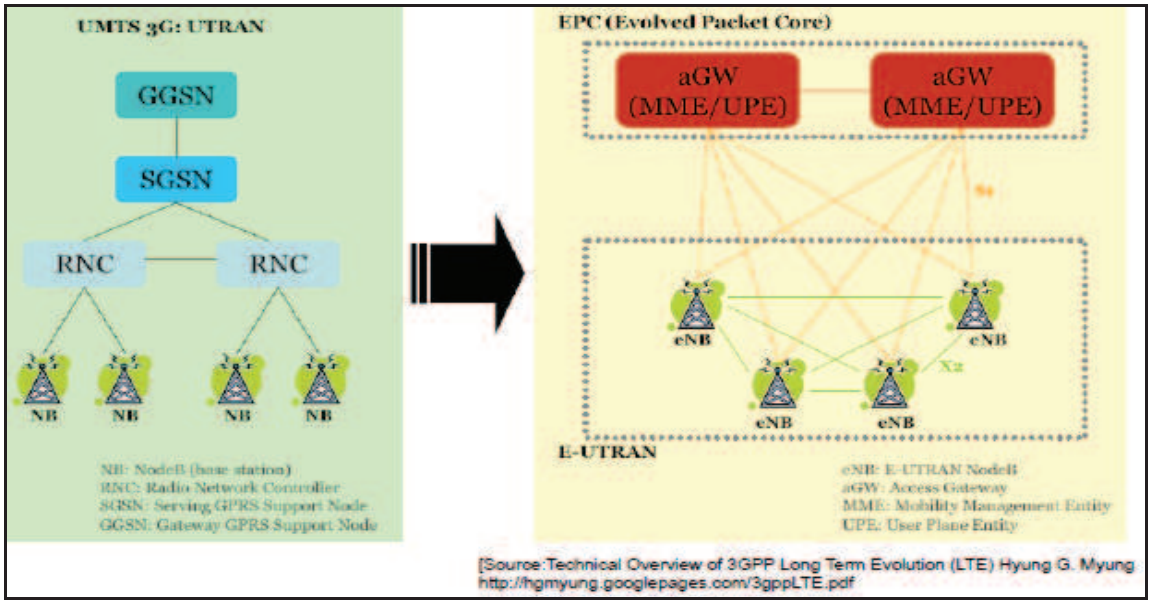


Figura 3.7 Factibilidad de migración a la Arquitectura de Red LTE. [4]

Con el propósito de que las redes E-UTRAN y UTRAN puedan trabajar de manera conjunta se debe realizar algunas configuraciones y actualizaciones en determinados elementos de la red.

3.7.4 CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ESPECTRO

- Mejoramiento de la eficiencia espectral:

  El incremento de conexiones de voz y datos implica un aumento de tráfico. Una solución a este problema podría ser el aumento de portadoras en la BTS o radio base pero no sería lo más eficiente y recomendable por la limitada cantidad de espectro disponible que es destinado para comunicaciones móviles. La forma de mejorar la capacidad de un sistema es instalar mas BTS y que transmitan con una potencia más baja de de forma que puedan re-utilizarse las frecuencias a distancias menores, pero este proceso implicaría de igual forma un incremento excesivo en los costos tanto de operación como de instalación, ya que se tendrían celdas sub-utilizadas, por lo tanto a lo que se debe apuntar es a una técnica que permita manejar un mayor número de usuarios por MHz, es decir que mejore la eficiencia espectral.

La eficiencia espectral η (bits/seg/Hz) se calcula como el cociente entre la taza de bits o la velocidad de transmisión (R=bits/s) y el ancho de banda necesario para su envío, B (Hz).

$$\eta = R/B \text{ [bits/seg/Hz]}.$$

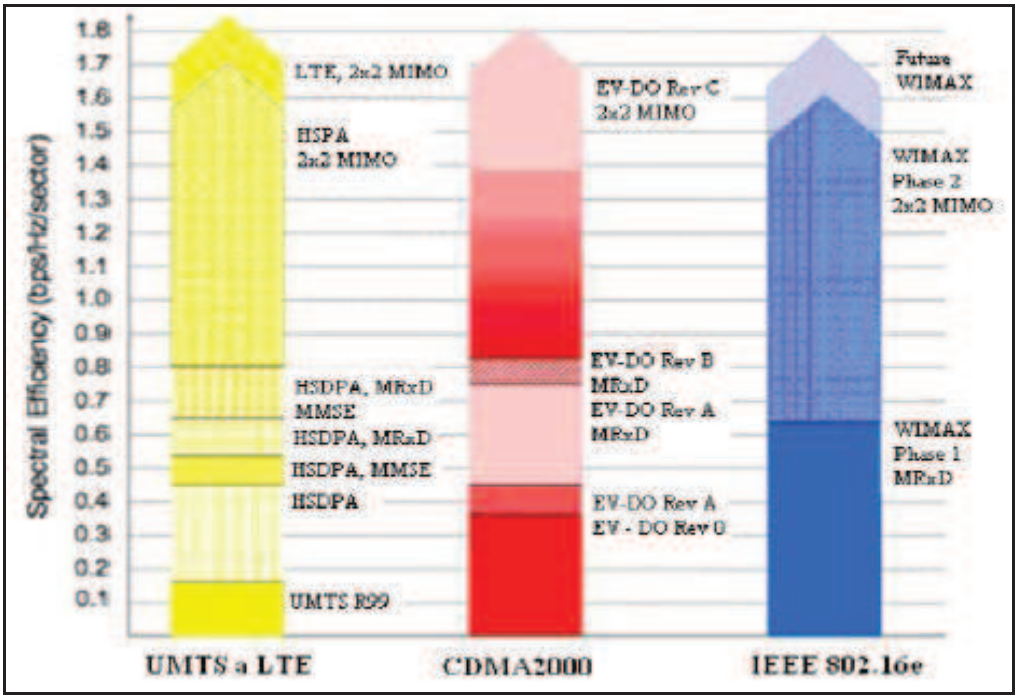


Figura 3.8 Índices de eficiencia espectral de las principales tecnologías inalámbricas. [6]

- Banda de 700 MHz:

  Es necesario analizar la disponibilidad de espectro adicional en la parte baja del cuadro de frecuencias identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la ITU, espectro UHF por debajo de la banda de los 850MHz.

  Analizar la banda de 700MHz para sistemas 4G implica la liberación de ciertas frecuencias de difusión actuales en la banda UHF debido al cese de difusiones analógicas (apagón analógico) lo cual constituye una oportunidad para los países de Latinoamérica reasignar la banda de 700MHz a servicios de telecomunicaciones móviles de nueva generación como es LTE.

3.8 SERVICIOS Y VENTAJAS DE LTE

La Banda Ancha Móvil, es acceso a internet a alta velocidad, también conocido como (BAM) es un servicio de internet móvil el cual esta ofertado por un proveedor que permite tener esta asistencia en cualquier lugar y momento siempre que se disponga de cobertura y puedan ofrecer velocidades equiparables a las velocidades de banda ancha por cable (entre 3 y 42 Mbps) dependiendo del operador y del tipo de tecnología que utilice para la conexión (GPRS, 3G, HSDPA, HSPA+, LTE).

Los resultados del Estudio de Penetración de Internet realizado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL) del 2012, demostraron que la banda ancha móvil superó la cantidad de conexiones fijas, alcanzando 2,9 millones de usuarios. Desde junio de 2009, la banda ancha móvil ha crecido 104,8% hasta la fecha. Los operadores de redes móviles están evolucionando sus infraestructuras inalámbricas hacia el estándar de Evolución a Largo Plazo (LTE) que ofrece una baja latencia y un mayor ancho de banda para proporcionar nuevo contenido a dispositivos móviles inteligentes. A medida que aumenta la popularidad de los teléfonos inteligentes y de otros dispositivos móviles, los operadores reconocen que el crecimiento de sus ingresos depende de su capacidad de ofrecer una gama más amplia de aplicaciones y servicios de banda ancha móviles y ya no solo lo que se conocía convencionalmente en redes 2G y 3G como mensajes multimedia reproducción de audio y video en formatos comprimidos, con LTE se

puede ofrecer múltiples aplicaciones en tiempo real video streaming, transferencia de archivos punto a punto etc.

Los operadores de redes móviles pueden beneficiarse de la mayor eficiencia espectral de las redes 4G para ofrecer soporte a más usuarios y tasas de uso más elevadas. Aunque se espera que el costo por estación base sea casi similar al de las redes 3G, la mayor eficiencia espectral de los dispositivos LTE permitirá a los operadores de redes móviles obtener ahorros en costos. [6]

Este aspecto de los precios resulta clave para ofrecer planes de servicios inalámbricos con tarifas razonables, enfocando esfuerzos para desarrollo de nuevas aplicaciones en tiempo real según las preferencias de consumo de los usuarios. Como se muestra en la figura 3.9 se podría manejar varias categorías de servicios y su desempeño en el ambiente LTE.

Categoria de servicio	en la actualidad	ambiente LTE
voz	audio en tiempo real	VoIP , alta calidad video conferencia
mensajeria	SMS,MMS,e-mails baja prioridad	Foto mensajes , multimedia. e-mail mobil video mensajes
Navegación	Acceso a servicios de informacion en linea los cuales contrata el usuario, paquetes de datos bajo formato WAP en GPRS y redes 3G	Navegacion mejorada, subir informacion a sitios en la redes sociales
Información pagada	El usuario paga por un paquete estandar informacion basada en texto principalmente	periodicos electronicos, alta calidad audio streaming
Personalización	principalmente ringtones, screensavers y ringbacks	Realtones, personalizacion mobil en sitios en la red , multimedia
Juegos	Juegos en linea y descargables	Juegos en linea mejorados multiple y redes mobiles
TV/ video bajo demanda	contenido de video descargable y en linea	Servicio de television broadcast, television bajo demanda alta calidad de audio y video
Música	descarga de musica mp3 y servicios de radio analoga	Descargas en linea sonido alta calidad y almacenamiento
contenido de mensajeria y aplicaciones	peer to peer mensajeria usando la tercera parte del contenido como tambien enteraccion con otros medios	video clips , karaoke , telemercadeo basado en la red movil
M-commerce	Comisiones sobre transacciones y facilidades de pago facilidades de emprendimiento sobre redes mobiles	dispositivos moviles posibilita tareas que necesita mayor capacidad completar transacciones conectarse a otras redes
Red de datos mobil	Acceso a intranets corporativas y bases de datos como tambien uso de aplicaciones externas	transferencia de archivos, aplicaciones comerciales, aplicaciones M2M el internet de las maquinas

Figura 3.9 Principales servicios y aplicaciones de LTE. [7]

[6].- http://www.booz.com/media/uploads/LTE_Delivering_Future_of_Wireless.pdf
[7].-Fuente: Ciena-ventajas-de-LTE-v13.pdf].

4 CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Es evidente que en un corto tiempo el desarrollo de las redes celulares actuales migrarán hacia una nueva tecnología inalámbrica que permitirá el manejo de un gran volumen de datos, y soportará nuevas aplicaciones con una amplia variedad de servicios, para lo cual la tecnología 4G LTE cumplirá con todas las demandas en aspectos de tasas de transmisión, calidad de servicio y cobertura.
- Las tecnologías 4G (LTE, WiMAX y UMB) están basadas en un una plataforma IP, las cuales ofrecen altas velocidades de transmisión y son similares en cuanto a características. El aspecto en que difieren es el impacto que tendrán en el mercado. En el Ecuador desde la implementación de la tecnología GSM se tiene una familiaridad con las diversas evoluciones de esta tecnología (GPRS, EDGE, HSPA) con lo cual asegura un amplio mercado y aceptación para una nueva tecnología como lo es LTE. Esto beneficia a los operadores ya que pueden mantener sus usuarios al migrar de su red existente hacia LTE.
- La Tecnología LTE propone minimizar el consumo de energía y garantizar la compatibilidad con las tecnologías antecesoras, la reducción de costos por migración de tecnologías actuales hacia LTE, además reducir las características en latencia del terminal de usuario debido a las mejoras en técnicas de antenas (MIMO 2x2, 4x4) y acceso al medio (OFDMA dowlink, SC-FDMA uplink).
- La telefonía móvil es la de mayor penetración en el país, existe un rápido crecimiento de usuarios de telefonía celular en los últimos años, superando los 16 millones de abonados para el año 2013, la capacidad de manejo para el volumen de información deberá ser evaluada a nivel de backhaul (infraestructura de red que conecta todas las radio radio-bases con el resto de la red PSTN) ya que debido a la facilidad de manejo de throughput en ambientes IP móviles, el eNodeB requerirá capacidades de ancho de

banda mayores en un medio de transmisión exclusivo que permita reflejar al usuario dicha capacidad con costos mínimos.

- La realización del diseño está basado en un proceso de planificación, el cual consistió en la recolección de la información (obtención de todos los datos requeridos para el diseño de la red), análisis de la cobertura (determinación de los rangos de las celdas para los objetivos de servicios requeridos en el Uplink y el Downlink), análisis de la capacidad (determinación de los requerimientos de ancho de banda) y el dimensionamiento de los elementos (lista de sitios conocidos, para determinar el número de sitios y sus configuraciones.), en base a estos cuatro puntos se logro plasmar el diseño de la celda base.
- Se realizó un fuerte enfoque en la maximización del rango de la celda y la minimización de la cantidad de sitios a fin de minimizar costos del lanzamiento de la red inicial y se escogió la banda de 700MHz por ser una banda de frecuencia baja, teniendo mayor cobertura para el área objetivo.
- En conclusión, por cada uno de los plots de cobertura realizados, se observan que se tienen resultados en cobertura, nivel de calidad, throughput y demanda de servicios, satisfactorios y que garantizan que el diseño es factible y confiable para el área de servicio seleccionada y con la proyección de cobertura y servicios especificada.
- Los resultados alcanzados en el diseño de la celda base fue con una área no mayor a 2 Km^2 de cobertura con un 95% de efectividad de carga en la celda para un PS 1000Kbps, en banda de frecuencia a 700MHz con un ancho de banda de 20MHz.
- Se observan que el comportamiento de la señal en los servicios de internet, FTP, y datos tienen mejores resultados que los del servicios de Voz sobre IP, esto en valores de Throughput efectivo, en cuanto a la relación señal a ruido, se tienen mejores resultados en Uplink que en Downlink, finalmente el RSSI es mejor en los servicios de datos, internet, y FTP.
- De acuerdo a las simulaciones de Tráfico con la demanda prevista de usuarios se verifica que se necesitarían 2 portadoras de frecuencia para poder sobrellevar la demanda de servicios y suscriptores, ya que se tienen

resultados de alrededor de 26% de conectividad exitosa y 74% de usuarios con problemas de acceso a la red.

- Finalmente se concluye que el diseño es factible y confiable para cobertura y servicios (una portadora de frecuencia), mientras que para tráfico y demanda creciente, se necesitarían colocar 2 portadoras de frecuencia y un mayor número de estaciones LTE para cubrir la demanda de usuarios efectiva (2 a 3 sitios adicionales).

4.2 RECOMENDACIONES

- El desarrollo de las redes de datos se ve evidenciado por las necesidades de telecomunicaciones, su proceso de evolución ha tenido un rápido progreso en el tiempo en cuanto a mejoras tecnológicas, estas mejoras tecnológicas han dando lugar a una convergencia de redes por lo que se recomienda a los organismos de control, realizar una estructuración de nuevas normas regulatorias en el país, determinando en gran parte las condiciones del mercado y servicios de las operadoras.
- Las inversiones que realicen los operadores, dependen de las bandas de frecuencia disponibles. El espectro más adecuado para el despliegue de LTE en el Ecuador, sería la banda del espectro de 700MHz, ya que las bandas más bajas ofrecen mayor cobertura y mejor propagación, sin embargo la banda de 700MHz no está liberada, razón por la cual es de vital importancia que se propongan planes estratégicos que permitan liberar dicha banda.
- Los ISP´s deberán ofrecer planes mejorando las tarifas existentes, con el fin de tener un mayor acceso a Internet y así apoyar el acceso a las tecnologías de información a nivel nacional.
- Referenciarse sobre el modelo de encuesta propuesto con métodos que permitan obtener una muestra adecuada, estableciendo un nivel de confianza estadístico, con el fin de verificar la factibilidad de implementación de LTE en el Ecuador.
- Definir un plan de negocios que permita establecer valores accesibles al usuario a planes y equipos de tecnología LTE, permitiendo así la penetración al mercado de esta tecnología.

- Para optimizar recursos se debería optar por un sitio Overlay 2G/3G/CDMA/WIMAX de cualquiera de los operadores según la ubicación geográfica seleccionada y el reconocimiento de sitio (survey RF) implementado. Tomando en cuenta con que tecnologías se va a estar conviviendo y tomando las medidas para aislar interferencias.

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO I

[1].- http://es.wikitel.info/wiki/sistemas-celulares

[2].- http://www.monografias.com/evolución_de_sistemas_celulares.asp

[3].- Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad de la Información, AHCIET_ Telefónica I+D España.

[4].- http://www.wikipedia/info/técnicas_de_acceso_multiple

[5].- http://www.monografias.com/tecnología/fundamentos_celulares.asp

[6].- GSM Fundamentals & RF_ (GTL-GSM-RF-001).pdf

[7].- http://www.monografias.com/tecnologías/tec_celulares/sistema_GPRS.doc

[8].- http://www.gsmworld.com/

[9].- http://www.elABCde_las_telecom/celular/CDMA.com

[10].- http://www.qualcomm.com/index/cdma_One

[11].- http://www.imt-2000.org/portal/

[12].- IEEE Communications Society http:// www.comsoc.org

[13].- Third Generation Partnership Project http:// www.3gpp.org

[14].- Third Generation Partnership Project 2 http://www.3ggp2.org

[15].- Ruth Sanchez Martinez, 3G-sistems-wcdma-umts2012.pdf

[16].- Maaruf Ali, UMTS AIR INTERFACE.pdf

[17].- Martin Sauter, FROM GSM TO LTE, first Edition 2011Wiley

[18].- 4G Americas Coexistence of GSM-HSPA-LTE, May 2011x.pdf

[19].- Universidad Politécnica Madrid, IAC Comunicaciones Móviles Digitales UMTS-7.pdf

[20].- LTE OVERVIEW SPEAKER-39724960.pdf

[21].- http://es.wikitel.info/wiki_4G/UMB

[22].- Long Term Evolution, LTE-ebook-47071901.pdf

[23].- Rodrigo, Fernández., Modelo de Capacidad a una Red HSPA de una Celda: Universidad de Chile, 2010

[24].- Rohde & Schwarz, LTE technology and LTE test: Tutorial 2009

[25].- http://es.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA

[26].- http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb2012/pb2012_011.pdf

[27].- http://www.teletopix.org/4g-lte/difference-between-dl-and-ul-in-lte

[28].- http://www.teletopix.org/4g-lte/sc-fdma-receiver-benefits-in-lte

[29].- http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/publicaciones/ Publicaciones/lte-nuevas-tendencias-en-comunicaciones-moviles.

[30].- LTE Interface, Fundamentals, Nokia Siemens Networks, 2011.

[31].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Frame Structure, pag. 85, Alcatel Lucent, 2010.

[32].- LTE RAN Radio Principles Description, Protocols Stack, pag. 84, Alcatel Lucent 2012.

[33].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Channels, pag. 97, Alcatel Lucent 2012.

[34].- http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/ publicaciones/publicaciones/lte-nuevas-tendencias -en-comunicaciones-moviles.

[35].- LTE RAN Radio Principles Description, RRC Connection Scenarios, pag. 124, Alcatel Lucent 2012.

[36].- LTE RAN Radio Principles Description, Bearer Management, pag. 143, Alcatel Lucent 2012.

[37]. - LTE RAN Radio Principles Description, MIMO and Beamforming, pag. 194, Alcatel Lucent 2012.

[38]. - http://mwrf.com/test-and-measurement/analyze-antenna-approaches-lte-wireless-systems&h.

CAPÍTULO II

[1].- LTE Interface, Fundamentals, pag 33, Nokia Siemens Networks, 2011.

[2].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Frame Structure, pag. 85, Alcatel Lucent, 2010.

[3].- LTE RAN Radio Principles Description, Protocols Stack, pag. 84, Alcatel Lucent 2012.

[4].- LTE RAN Radio Principles Description, Radio Channels, pag. 97, Alcatel Lucent 2012.

[5].- http://www.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/ publicaciones/publicaciones/lte-nuevas-tendencias-

en-comunicaciones-moviles-/

[6].- LTE RAN Radio Principles Description, RRC Connection Scenarios, pag. 124, Alcatel Lucent 2012.

[7].- LTE RAN Radio Principles Description, Bearer Management, pag. 143, Alcatel Lucent 2012.

[8].- LTE RAN Radio Principles Description, MIMO and Beamforming, pag. 194, Alcatel Lucent 2012.

[9].- http://mwrf.com/test-and-measurement/analyze-antenna-approaches -lte-wireless-systems&h.

[10].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 13, Alcatel Lucent, 2012.

[11].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Introduction, pag 26, Alcatel Lucen, 2010.

[12].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Introduction, pag 26, Alcatel Lucent, 2010.

[13].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Link Budget, pag 30, Alcatel Lucent, 2010.

[14].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Propagation Model pag 41, Alcatel Lucent , 2010.

[15].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 13, Alcatel Lucent 2012

[16].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool, pag 44, Alcatel Lucent, 2010.

[17].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Radio Data Frame LTE, pag 47, Alcatel Lucent , 2010.

[18].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Radio LTE equipment, pag 49, Alcatel Lucent , 2010.

[19].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Transmiters, pag 52, Alcatel Lucent, 2010

[20].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Cells, pag 53, Alcatel Lucent, 2010.

[21].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool - Services, pag 54, Alcatel Lucent, 2010

[22].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – LTE Terminal UE, pag 55, Alcatel Lucent, 2010

[23].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – User Profile, pag 56, Alcatel Lucent, 2010.

[24].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, RF Design, pag 59, Alcatel Lucent, 2010.

[25].- LTE RF Design Guidelines, RRH HW, pag. 22, Alcatel Lucent 2012.

[26].- LTE RF Design Guidelines, Aislamiento entre estación LTE y otras tecnologías, pag. 34, Alcatel Lucent

[27].- Radio Network Planning (RNP) Fundamentals LTE, Radio Network Planning Tool – RF Design, pag 62, Alcatel Lucent, 2010.

[28].- LTE Outdoor RF DESIGN GUIDELINES, pag 77, Alcatel Lucent, 2010.

[29].- Radio Network Planning Process, pag 5, Alcatel Lucent, 2010.

[30].- LTE Preliminary Network Design, pag 8, Alcatel Lucent, 2010.

CAPÍTULO III

[1].- TransMedia http//:www.Foro4GAmericas/4G-LTE

[2].- http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/documentos /doc/El_Telefono_Movil_ETSIT-UPM.pdf

[3].- PDF Análisis Comparativo de las Tecnologías Inalámbricas de Banda Sncha para acceso a internet, hspa (high speed packet access) y wimax móvil (802.16e-2005). ortiz diego

[4].- PDF Comparativa de Redes Emergentes Moviles y Fijas. Priscila López Universidad Católica de Chile.

[5].- AMX LTE FIELD TRIAL, Referencia: AMX RNP LTE Alcatel-Lucent]

[6].- http://www.booz.com/media/uploads/LTE_Delivering_Future_of_Wireless.pdf

[7].- Fuente: Ciena-ventajas-de-LTE-v13.pdf].

ACRÓNIMOS LTE (LONG TERM EVOLUCION)

1xEV-DO	1x Evolution for Data Optimized
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
AuC	Authentication Center
ACK	Acknowledge or Acknowledgement
AM	Acknowledged Mode
AMPS	Advance Mobile Phone
AMBR	Aggregate Maximum Bit Rate
ANSI	American National Standards Institute
ARP	Address Resolution Protocol
ARP	Allocation and Retention Priority
ARQ	Automatic Repeat reQuest
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
BLER	Block Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CDMA	Code Division Multiple Access
CP	Cyclic Prefix
CQI	Channel Quality Indicator
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Circuit-Switched
DCCH	Dedicated Control Channel
DFT	Discrete Fourier Transform
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DS	Direct Spread
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data rates apply to GSM Evolution
E-UTRA	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
EIR	Equipment Identity Register
eNB	E-UTRAN Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETACS	Envolved Total Acces Comunication System
EUTRAN	Evolved UTRAN
EV-DO	Evolution for Data Optimized
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform
GBR	Guaranteed Bit Rate
GERAN	GSM/EDGE Radio Acces Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication

GUMMEI	Globally Unique MME Identity
GTP	GPRS Tunneling Protocol
H-ARQ	Hybrid ARQ
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSS	Home Subscriber Server
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
ICI	Inter-Carrier Interference
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IPv4	Internet Protocol version 4
ISI	Inter-Symbol Interference
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MCCH	Multicast Control Channel
MCH	Multicast Channel
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
NAS	Non-Access Stratum
NTMS	Nordic Mobile Telephone System
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P-GW	PDN Gateway
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCRF	Policy and Charging Rule Function
PDCCH	Physical Dedicated Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Packet Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Protocol Data Unit
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PMCH	Physical Multicast Channel
PRACH	Physical Random Access Channel
PRB	Physical Resource Block
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUCCH	Physical Uplink Control Channel

PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS Class Identifiers
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RB	Radio Bearer
RB	Resource Block
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
RSRP	Reference Symbol Received Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
S-GW	Serving Gateway
SC-FDMA	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access
SIMO	Single Input Multiple Output
SMS	Short Message Service
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SPM	Standard Propagation Model
TA	Tracking Area
TACS	Total Acces Comunication System
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Acces
TTI	Transmission Time Interval
UDP	User Datagram Protocol
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VoIP	Voice over Internet Protocol
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Networks

ANEXOS