



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN
CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y
TELECOMUNICACIONES**

II PROMOCIÓN

**TEMA: “ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-
UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)”**

AUTOR: AVILA, GABRIELA TERESA

DIRECTOR: MS. DUQUE, DARÍO

SANGOLQUI, MARZO DE 2014



CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)" realizado por la señora **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señora **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ** para que lo sustente públicamente

Quito, 28 de febrero de 2014

Ms. DARIO DUQUE

DIRECTOR



CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)" realizado por la señora **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señora **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ** para que lo sustente públicamente

Quito, 28 de febrero de 2014

Msc. Flavio Pineda

PROFESOR OPONENTE DE TESIS



CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ**, con cédula de identidad N° 0501895965 declaro que este trabajo de titulación "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Quito, 29 de febrero de 2016

GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ

C.C. 0501895965



CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRIA EN GERENCIA DE REDES Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Quito, 29 de febrero de 2016

GABRIELA TERESA AVILA JIMÉNEZ

C.C. 0501895965

DEDICATORIA

A Victoria y Sofía

Para ustedes mis pequeñas princesas, son el amor de mi vida, son la luz de mi existencia, son el motor que me permite levantarme todos los días y mirar siempre de frente.

A César

A ti mi querido esposo, por tu amor y paciencia, por haberme enseñado a luchar y no desmayar frente a los obstáculos, por todo tu esfuerzo y dedicación para construir nuestra querida familia.

A mis Padres

A ustedes mis queridos padres, por todo su sacrificio, porque formaron a su hija con valores cristianos, y me enseñaron a encontrar la felicidad respetando las desigualdades de este mundo.

A mis hermanos

Quienes día a día se preocupan por mi bienestar y felicidad, sé que siempre puedo contar con ustedes y por eso también les dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque permite levantarme todos los días y guiar mi vida, a mis compañeros de trabajo, especialmente a Esteban y Ruth quienes me ayudaron para la culminación del presente trabajo, al Ing. Darío Duque por su acertada dirección, a mi familia por haberme cedido su tiempo para culminar mi carrera.

INDICE

RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I	16
1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 OBJETIVO GENERAL:.....	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	18
1.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEFONIA MOVIL EN ECUADOR.....	19
1.3.1 PARTICIPACIÓN DEL MERCADO CELULAR	19
1.3.2 BREVE HISTORIA DE EVOLUCION TECNOLOGICA DE LAS OPERADORAS CELULARES	21
1.3.3 INTERNET EN ECUADOR	23
CAPITULO II.....	26
2.1 EVOLUCION DE LA TELEFONÍA CELULAR DE 1G A 4G	26
2.1.1 ENFOQUE DE LA EVOLUCIÓN 3GPP.....	29
2.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN.....	35
2.1.3 TERCERA GENERACIÓN	40
2.1.4 CUARTA GENERACION	56
2.2 REQUERIMIENTOS DE ESPECTRO	57
2.2.1 BANDAS DE DESPLIEGUE.....	58
2.2.2 FLEXIBILIDAD EN EL ANCHO DE BANDA	60
2.2.3 ASIGNACION DINAMICA DE ESPECTRO	61
2.3 SISTEMAS 4G CORE ACCESO	63
2.3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE	63
2.3.2 ARQUITECTURA DE RED E-UTRAN.....	65
2.3.3 PROTOCOLOS	71
2.3.4 PLANO DE USUARIO ENTRE UE Y EPC.....	75
2.3.5 PLANO DE CONTROL ENTRE UE Y EPC.....	76

2.3.6 COMPARATIVA E-UTRAN Y UTRAN	77
2.3.7 RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADA EPC	79
2.3.8 TECNOLOGIAS DE NIVEL FISICO	83
2.4 VELOCIDAD DE TRANSMISION	89
2.4.1 MODELO DE QoS	91
2.5 TERMINALES	93
2.5.1 DISPOSITIVO DE INNOVACIÓN	93
2.5.2 CATEGORIAS DE LOS TERMINALES	95
CAPITULO III.....	97
3.1 COBERTURA	98
3.1.1 LINK BUDGET	99
3.1.2 DISEÑO DE eNode B	108
3.2 CAPACIDAD	117
3.2.1 DEFINICION DEL PERFIL DE USUARIO.....	124
3.2.2 LATENCIA.....	127
3.2.3 VELOCIDAD PROMEDIO POR USUARIO	131
CAPITULO IV.....	150
4.1 SOFTWARE DE COBERTURA.....	150
4.1.1 ABRIR CREAR UN PROYECTO	151
4.1.2 CREAR Y CONFIGURAR LA RED	154
4.1.3 PREDICCIONES DE COBERTURA SEGÚN NIVEL DE SEÑAL	159
4.1.4 PREDICCIÓN DE COBERTURA SEGÚN CALIDAD DE SEÑAL.....	162
4.2 ANALISIS DE RESULTADOS	165
4.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE PREDICCIONES	165
4.2.2. ANALISIS DEL PLAN DE FRECUENCIAS.....	170
CAPITULO V	174
5.1 INFRAESTRUCTURA NECESARIA	174
5.2 PRESUPUESTO REFERENCIAL	178
CAPITULO VI.....	182

6.1 CONCLUSIONES	182
6.2 RECOMENDACIONES	184
ACRONIMOS:	185
BIBLIOGRAFIA	174

ANEXOS:

ANEXO 1.- PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS

ANEXO 2.- MAPA POLÍTICO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

ANEXO 3.- PREDICCIÓN DE COBERTURA SEGÚN NIVEL DE SEÑAL

ANEXO 4.- PREDICCIÓN DE COBERTURA SEGÚN NIVEL DE CALIDAD

ANEXO 5.- CARACTERISTICAS FISICAS Y TECNICAS DE LAS ANTENAS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del mercado de telefonía móvil por operadora	19
Figura 2. Histórico de crecimiento de abonados.....	20
Figura 3. Arquitectura de red GSM	35
Figura 4. Arquitectura de red IS-95	42
Figura 5. Arquitectura de red UMTS	49
Figura 6. Comparación entre esquemas tradicionales de planificación y estrategias DSA	63
Figura 7. Arquitectura genérica de un sistema celular	65
Figura 8. Ilustración de los mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio.....	69
Figura 9. Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME.....	70
Figura 10. Protocolos de la interfaz radio de E-UTRAN.....	73
Figura 11. Protocolos en las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha).....	74
Figura 12. Protocolos del plano de usuario en E-UTRAN.....	76
Figura 13. Protocolos del plano de control en E-UTRAN	77
Figura 14. Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN.....	77
Figura 15. Arquitectura básica de la red troncal EPC.....	79
Figura 16. Ejemplo del espectro correspondiente a 6 sub-portadoras OFDM.....	84
Figura 17. Modulación OFDMA de un conjunto de símbolos.....	85
Figura 18. Multiplexación de usuarios en OFDMA.....	86
Figura 19. Parámetros de QoS en el sistema LTE	92
Figura 20. Margen de desvanecimiento vs confiabilidad en el borde de celda para valores de desviación estándar de 6, 8, 10 y 12 dB	105
Figura 21. Confiabilidad en el borde de la celda vs confiabilidad en el área.....	106
Figura 22. Clutter zona 1 Quito Urbano	113
Figura 23. Clutter zona 2 Calderón - Carapungo - Llano Grande.....	114
Figura 24. Clutter zona 3 Cumbayá - Tumbaco - Puenbo - Tababela.....	115
Figura 25. Clutter zona 4 Valle de los Chillos	116
Figura 26. Clutter zona 5 Pomasqui - San Antonio	117

Figura 27. Tipos de colas	120
Figura 28. Probabilidad de bloqueo versus Intensidad de tráfico (Erlang B)	123
Figura 29. Parámetros de conversión de tráfico.....	127
Figura 30. Latencia	128
Figura 31. Tiempos estimados de latencia.....	129
Figura 32. Comparación de latencia entre tecnologías celulares	131
Figura 33. Velocidades promedio por usuario	132
Figura 34. Mapa de tráfico.....	149
Figura 35. Creación de un proyecto en la herramienta de predicción xWizard	152
Figura 36. Parámetros básicos de edición de un proyecto	152
Figura 37. Creación de directorios para información básica del proyecto.....	153
Figura 38. Información básica del eNodeB	154
Figura 39. Localización geográfica del eNodeB.....	155
Figura 40. Información básica de los sectores del eNodeB	155
Figura 41. Información de las antenas a instalar en el eNodeB	156
Figura 42. Información de radio frecuencia del eNodeB	156
Figura 43. Información de los parámetros de frecuencia y potencia del eNodeB	157
Figura 44. Creación del eNodeB.....	158
Figura 45. Predicción de cobertura del eNodeB	158
Figura 46. Resultados de la predicción de cobertura del eNodeB	159
Figura 47. Resultados de la predicción de cobertura del valle de Cumbayá y Tumbaco.....	161
Figura 48. Predicción calidad de señal.....	162
Figura 49. Resultados de la predicción calidad de señal.....	163
Figura 50. Resultados de las predicción de calidad del valle de Cumbayá y Tumbaco.....	164
Figura 51. Distribución de la banda de frecuencias de 850 MHz para las operadoras celulares.....	171
Figura 52. Distribución de la banda de frecuencias de 1900 MHz para las operadoras celulares.....	172

Figura 53. eNodeB	176
Figura 54. Estación tipo terraza	180
Figura 55. Estación tipo suelo.....	181

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales de cada generación.....	29
Tabla 2. Características de las tecnologías 3GPP	32
Tabla 3. Bandas mejor identificadas para el despliegue de LTE	60
Tabla 4. Entidades de red e interfaces de E-Utran	67
Tabla 5. Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN.....	82
Tabla 6. Valores de QCI estandarizados.....	93
Tabla 7. Parámetros de la capa física del terminal.....	95
Tabla 8. Valores típicos de alturas de antena.....	101
Tabla 9. Pérdidas por penetración.....	102
Tabla 10. Desviación estándar por sombra	103
Tabla 11. Desviación estándar compuesta	104
Tabla 12. Margen de desvanecimiento	105
Tabla 13. Ganancia por procesamiento.....	108
Tabla 14. Link Budget e-Node B para 2600 MHz.....	110
Tabla 15. Tiempos estimados de latencia	129
Tabla 16. Dimensionamiento de los eNodeB del DQM	134
Tabla 17. % de muestras de cobertura en DENSO URBANO	165
Tabla 18. % de muestras de cobertura en URBANO.....	166
Tabla 19. % de muestras de cobertura en SUB URBANO	166
Tabla 20. % de muestras de cobertura TOTAL DMQ	167
Tabla 21. % de muestras de calidad en DENSO URBANO	168
Tabla 22. % de muestras de calidad en URBANO	168
Tabla 23. % de muestras de calidad en SUB URBANO.....	169
Tabla 24. % de muestras de calidad TOTAL DMQ.....	169
Tabla 25. Presupuesto referencial	179

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto, realizar un análisis de factibilidad para la implementación de la tecnología celular de cuarta generación “LONG TERM EVOLUTION” (LTE), en el sector urbano del Distrito Metropolitano de Quito, la principal ventaja de esta tecnología es permitir velocidades de transmisión mayores a las ya comercializadas en algunas provincias del Ecuador, de tal manera que el cliente celular pueda acceder desde su terminal a un sinnúmero de aplicaciones posibles, gracias a las bondades es esta tecnología. Para realizar el análisis de factibilidad, será necesario y de fundamental importancia determinar el área de cobertura, en base a estrictos requerimientos de calidad de servicio y capacidad requerida para un número de clientes a ser servidos. Una vez diseñado el prototipo de la solución, será necesario identificar el listado de materiales necesario y los costos estimados para la implementación de la misma.

Palabras Clave:

- **CUARTA GENERACIÓN CELULAR, LTE (LONG TERM EVOLUTION) DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ)**
- **COBERTURA**
- **CALIDAD**
- **CAPACIDAD**
- **TASA DE TRANSMISIÓN DE DATOS.**

ABSTRACT

This work is aimed to analyze the viability of the implementation of fourth generation cell phone technology, LONG TERM EVOLUTION (LTE), in the urban area of Quito-Metropolitan District. The main advantage of this technology is to allow higher transmission speed in some provinces of Ecuador so that cell phone-service customers can have access to a number of possible applications from their terminals, based on the remarkable features of this technology.

In order to proceed to this viability analysis, it will be fundamental to determine the coverage area, strictly considering quality service requirements and capacity required according to the number of customers to be served. Once the prototype for the solution has been designed, it will be necessary not only to identify a list of indispensable materials, but also to estimate costs for the implementation of such prototype.

Key Words:

- **FOURTH GENERATION CELLPHONE, LTE (LONG TERM EVOLUTION) DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)**
- **COVERAGE**
- **QUALITY**
- **CAPACITY**
- **DATA TRANSMISSION RATE.**

CAPITULO I

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE LA INTERFAZ E-UTRAN PARA EL SECTOR URBANO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (D.M.Q)”

1.1 ANTECEDENTES

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 (consistía en radios que se comunicaban entre sí dependiendo de la potencia de salida de cada unidad individual); 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 – proporcionó la selección de canal automática, conteo automático y operación simultánea *full-duplex*). IMTS surgió en la década de los 60's, como uno de los primeros sistemas orientados al entorno de redes móviles públicas. El IMTS era un sistema analógico cuyas estaciones base proporcionaban coberturas de 50km de radio. (<http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml#HISTOR>)

En 1973 Martin Cooper considerado como el padre de la telefonía móvil quien trabajaba para MOTOROLA, desarrolló el primer modelo de teléfono Dyna-Trac y realizó la primera llamada desde una calle de Nueva York.

El concepto de comunicaciones móviles utilizando una red celular inició realmente en 1947 en los “*Bell Laboratories*”, sin embargo, esta idea fue desechada debido a las dificultades de concesión del espectro radioeléctrico. Posteriormente a partir del año 1960 los *Bell Labs* y Motorola, desarrollaron nuevamente el concepto celular influyendo en la FCC (*Federal Communicatiosn Commission*) que es la entidad responsable en los Estados Unidos por la gestión del espectro electromagnético para conceder frecuencias y lograr de esta manera que las operadoras privadas las puedan usar en el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, y es así como el 3 de Abril de 1973, gracias a los esfuerzos de Cooper se pudo realizar la primera llamada celular. (Ruvalcaba, 2005)

En 1980 el fabricante ERICSSON lanza el sistema NMT 450 (*Nordic Mobile Telephony* 450 MHz). Este sistema utilizaba canales de radio analógicos con frecuencias en torno a los 450 MHz y modulación en frecuencia (FM). Este sistema es conocido como de primera generación (1G). Este fue un gran avance en la época, ya que los teléfonos podían ser trasladados y utilizados en donde la persona lo requería. En 1986 ERICSSON realizó unas mejoras al sistema creando el sistema NMT 900 que era prácticamente el mismo sistema NMT 450 pero ahora usaba frecuencias superiores, en el orden de los 900 MHz, con esto se logró dar servicio a un mayor número de usuarios. (Farley, 2007)

En paralelo a estos avances, en Estados Unidos, también en los años 80’s se desarrollo el sistema *AMPS* (*Advanced Mobile Phone System*). Esta tecnología conocida como el desarrollo de primera generación, en este caso únicamente se prestaba servicios de voz. Poco a poco la telefonía celular fue masificándose y la tecnología fue madurando pasando por los sistemas de segunda generación, con

utilización de una nueva modulación, entrando al concepto digital, brindando servicios no solo de voz, sino también de transmisión de datos, aunque en menor escala y con velocidades relativamente bajas en un promedio de 9.6 kbps. Los servicios de tercera y cuarta generación han volcado todos sus esfuerzos para mejorar mejorar principalmente las velocidades de transmisión de datos para hacer que este servicio sea más usado, logrando que el usuario se encuentre satisfecho y cumpla con todas sus expectativas.

Actualmente la tecnología celular está evolucionando para brindar servicios de transmisión de datos con mayor velocidad, esta evolución es conocida como la cuarta generación, en este escenario, *LTE (Long term Evolution)* proporcionará una alta tasa de transmisión de datos, baja latencia y optimización de paquetes, por lo tanto los operadores que estén dispuestos a brindar servicios de alta calidad a sus usuarios, deberán migrar sus redes *HSPA* (tercera generación) a *LTE*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL:

Realizar el análisis de factibilidad de la interfaz *E-UTRAN* para el sector urbano del distrito metropolitano de Quito.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Establecer la demanda de usuarios para el uso de servicios de LTE en la ciudad de Quito
2. Dimensionar a través de la demanda la red LTE en la ciudad de Quito
3. Diseñar la topología de LTE para la ciudad de Quito

4. Simular mediante software, la cobertura del intefaz *E-UTRAN* de LTE para la ciudad de Quito
5. Analizar las especificaciones mínimas de los equipos para definir el precio referencial del diseño prototipo a ser implementado.

1.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA TELEFONIA MOVIL EN ECUADOR

1.3.1 PARTICIPACIÓN DEL MERCADO CELULAR

En la actualidad en el Ecuador existen 3 operadoras celulares que son:

- OTECEL S.A con su nombre comercial MOVISTAR
- CONECEL S.A con su nombre comercial CLARO
- CNT Con su nombre comercial ALEGRO

La penetración en el mercado para cada una de las operadoras es el siguiente:

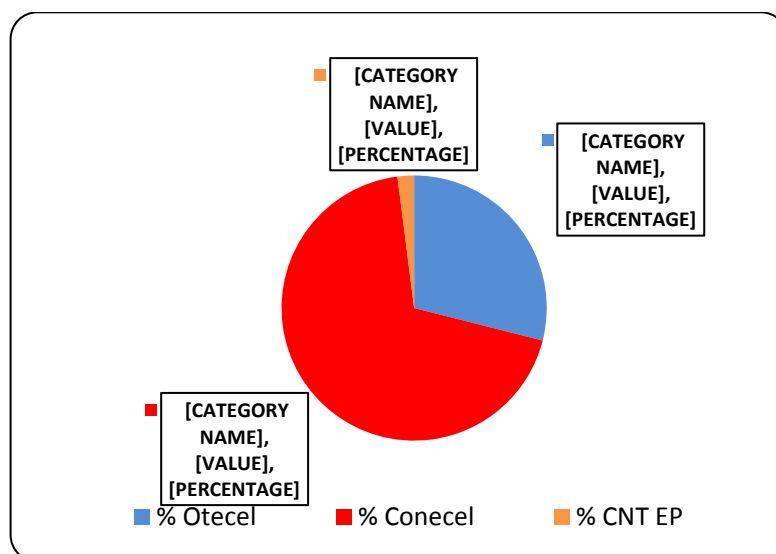


Figura 1. Distribución del mercado de telefonía móvil por operadora

Fuente: SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES

En primer lugar y liderando el mercado de las comunicaciones celulares se encuentra la compañía CLARO con el 69.04% de penetración y 11'200.000 abonados declarados hasta mayo de 2012. Muy por detrás con un 28.94% de participación del mercado, se encuentra MOVISTAR con 4'700.000 abonados y finalmente CNT empresa estatal que aún no ha podido mejorar su penetración en el mercado, hasta mayo 2012, declaró poseer 328.000 abonados, por lo tanto le corresponde un 2.02% del mercado nacional.

En la figura 2 se muestra el crecimiento alcanzado en número de abonados para las tres operadoras celulares del país, en el que se nota un crecimiento constante de CLARO y MOVISTAR, no así CNT quien ha tenido un leve decrecimiento.

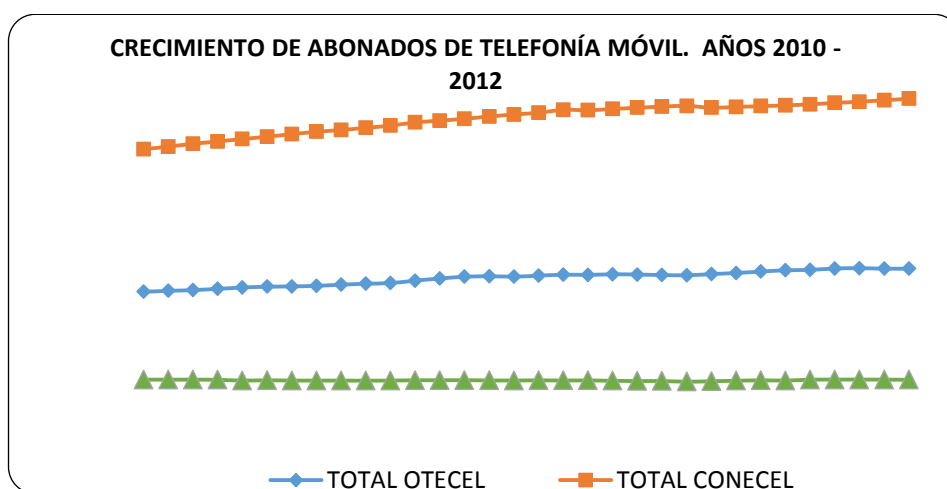


Figura 2. Histórico de crecimiento de abonados

Fuente: Superintendencia de Telecomunicaciones

1.3.2 BREVE HISTORIA DE EVOLUCION TECNOLOGICA DE LAS OPERADORAS CELULARES

1.3.2.1 CONECEL S.A

CONECEL S.A. inició sus operaciones en Ecuador en 1993 adoptando el nombre comercial de PORTA, en 2011 cambia su nombre comercial a CLARO, forma parte de la multinacional mexicana América Móvil, esta es la compañía con más clientes a nivel nacional y es la que más ingresos genera. En 2010 fue declarada como operador dominante en el Ecuador. Actualmente CLARO, provee no solamente Telefonía Móvil e Internet, sino también Telefonía fija y Televisión digital, gracias a la alianza de CLARO y Telmex, las dos empresas son de propiedad del mexicano Carlos Slim.

PORTA inició con tecnología AMPS en 1993 y se limitaba a brindar servicios de voz y otros pocos como buzón de voz y llamada en espera. En 1997 anuncian la renovación de su red celular con tecnología TDMA (Time Division Multiple Access), que es ya una tecnología digital. En 2001 anuncian sus nuevos servicios de mensajería corta vía mensajes escritos (SMS). En Mayo de 2003 lanzan su nueva red GSM (Global System for Mobile Communications), esto conllevó a la migración de todos sus abonados a la nueva tecnología y en ese mismo año lanza su producto de datos GPRS (General Packet Radio Service) que permite el uso de MMS (Multimedia Messaging System) para mensajes multimedia y WAP (Wireless Application Protocol) para navegación en portales de Internet usando teléfonos celulares.

Actualmente CLARO cuenta ya con tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) y fue la primera operadora celular en Ecuador en

instalar la red de tercera generación, desde abril de 2011, también brinda tecnología *HSPA +* (High-Speed Packet Access Plus) que permite la navegación a altas velocidades tanto en *uplink* (1.2 Mbps) como en *downlink* (10 Mbps).

1.3.2.2 OTECEL S.A

OTECEL S.A. inicia sus operaciones en 1993 con el nombre comercial de Cellular Power, con la red analógica AMPS y cobertura en las ciudades principales, que poco a poco iría ampliando. Entre 1996 y 1997 lanza su primera red digital TDMA ya con el nombre de *Bellsouth* brindando el servicio de identificador de llamada, ofreciendo una confidencialidad total en sus llamadas a ser codificadas en paquetes de datos. Más adelante ofrecería el servicio de recepción de mensajes de texto. En 2001 lanza el servicio de Internet móvil y mensajes escritos SMS.

En diciembre de 2002 lanza su nueva red *CDMA* y ofrece nuevos modelos de teléfonos; a lo largo del año 2003 lanza la tecnología *CDMA 2000 1X*. En Octubre de 2004 OTECEL pasa a manos de TELEFONICA de España quien simultáneamente compró en otros países latinoamericanos otras franquicias de *Bellsouth*. Desde 2005 opera su red *GSM* y en 2006 lanza los teléfonos *Blackberry* ofreciendo el servicio completo de navegación, correo móvil, mensajería instantánea y los servicios corporativos propios de esta plataforma. En 2009 lanza su red 3G en Quito, Guayaquil, Cuenca, Manta y Machala, poco a poco irá creciendo y desplegando nodos B en todo el Ecuador. En 2011 lanza su servicio *HSPA +*, para ofrecer a sus clientes mejores velocidades de datos.

1.3.2.3 CNT

La compañía de telecomunicaciones móviles del Ecuador TELECSA S.A fue creada por Andinatel S.A y Pacifictel S.A para prestar el servicio de comunicaciones móviles en todo el territorio ecuatoriano. Recibió la concesión por parte del estado ecuatoriano el 3 de Abril de 2003 y entró en operaciones bajo la marca ALEGRO PCS en diciembre de ese mismo año, usando la tecnología CDMA 1X. En 2007 firmó un contrato con MOVISTAR para ofrecer a sus abonados la tecnología GSM a través de la red de acceso de OTECEL S.A.

En marzo de 2010 se anunció que Alegró será absorbida por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP por lo que pasa a ser propiedad del estado ecuatoriano. En la actualidad se encuentra desplegando su propia red celular UMTS, para ofrecer a sus abonados servicios de tercera generación.

1.3.3 INTERNET EN ECUADOR

La penetración de INTERNET en Ecuador según las últimas estadísticas de la Superintendencia de Telecomunicaciones, que han sido construidas a partir de datos proporcionados por los proveedores de INTERNET, en su publicación del 31 de Marzo de 2011 indica que en el Ecuador existen 856.989 cuentas de acceso a la red de un total de 3'333.459 usuarios, distribuidos en 159 proveedores de INTERNET a nivel nacional. De este total 354.577 cuentas corresponden a operadoras móviles. Tomando en cuenta el censo poblacional de 2010 en el que arrojó la cifra de 14'306.876 habitantes se podría definir que el 23.3% de ecuatorianos usan

INTERNET. Y de este el 41% lo hacen a través de un dispositivo móvil. (http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_tel%C3%A9fono_m%C3%B3vil)

Las estadísticas de la SUPERINTENDENCIA DE TELECOMUNICACIONES, también permiten definir la distribución de usuarios por provincia, siendo Pichincha la provincia de mayor concentración, seguida por Guayas, Tungurahua, Azuay, Chimborazo y Manabí.

En el último censo, también se consultó sobre el uso de INTERNET y según información proporcionada por el INEN 3'814.650 de las personas censadas habían usado INTERNET, es decir, el 26.7% de los ecuatorianos 3 puntos más de las estadísticas presentadas por la SUPERTEL.

Los servicios más usados por los ecuatorianos, son las redes sociales como *facebook* y *twitter*. Se estima que en la actualidad por lo menos existen 3'611.020 ecuatorianos en *FACEBOOK* que comparado con el total de la población equivale al 25.2%. Así mismo existe una estimación realizada por Alfredo Velazco, gerente de INCOM empresa de Marketing en Internet, quien cree que en el país existen 450.000 cuentas creadas en *Twitter* con localización Ecuador y más de 200.000 usuarios únicos estarían accediendo diariamente al sitio.

Es innegable que la popularización del uso de las redes sociales va de la mano con el creciente incremento de los llamados *SMARTPHONE* (teléfonos inteligentes) que se comercializan con las aplicaciones de las redes sociales precargadas y basta con contratar un paquete de datos en su operadora celular para poder estar conectados todo el tiempo y usar estas aplicaciones rápidamente.

El 8 de Junio del año 2012, la SUPERTEL publicó un artículo sobre los *SMARTPHONE* cuyo autor es la empresa CLARO en el que indica que según los últimos datos de Tecnología de la Información y Comunicación (TIC) presentados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos a finales de 2011 el 8.4% de los ecuatorianos poseen un teléfono inteligente.

Inicialmente estos teléfonos estuvieron destinados a un mercado de ejecutivos y profesionales que utilizaban esta herramienta para aumentar su productividad, pero ahora este uso se ha extendido a otros segmentos como son los jóvenes, amas de casa, etc., quienes han encontrado en esta herramienta la forma de estar siempre conectados. Esto sumado a la gran variedad de modelos y marcas existentes en el mercado hace que el crecimiento de los *SMARTPHONE* y por supuesto la utilización de datos móviles vaya en constante aumento, obligando a las empresas celulares a destinar más recursos e infraestructura en el campo de datos móviles.

Siguiendo con el avance tecnológico, hoy en día se está introduciendo a nuestro país el uso de las “*TABLETS*”, que son minicomputadoras de pantalla táctil que pueden estar conectadas a Internet a través de la red celular y permiten navegar desde cualquier punto en el que se encuentre.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 EVOLUCION DE LA TELEFONÍA CELULAR DE 1G A 4G

Existe algo de confusión en la industria en cuanto a qué tecnología cabe, dentro de qué generación celular. La primera generación hace referencia a sistemas celulares analógicos, desarrollados en los años 80, que introdujo los teléfonos celulares, basados en redes celulares, que son un conjunto de equipos y enlaces tanto físicos como de radio, que bajo la utilización de un espectro radioeléctrico específico, permitían la prestación de servicios y aplicaciones de características relacionadas con la movilidad del usuario.

A continuación se establece el conjunto de elementos que constituyen los componentes de un sistema básico de comunicaciones móviles:

- **Estaciones Fijas.-** Estaciones localizadas (como su nombre lo indica) en un determinado sector, con el objeto de manejar operaciones de radio con estaciones móviles específicas. Entre las estaciones fijas se tienen:
 - **Estaciones base.-** Estaciones fuente o destino de tráfico, gestionadas desde un equipo de control en un área de cobertura determinada.
 - **Estaciones repetidoras.-** Estaciones retransmisoras de señales electromagnéticas, para lograr un objetivo de cobertura determinado.

- **Estaciones de control.**- Estaciones que gobiernan el funcionamiento de una estación base o repetidora de un área de cobertura determinada.
- **Estaciones Móviles.**- Estaciones radioeléctricas o terminales destinados para uso en movimiento. Disponen de características orientadas a la portabilidad personal.
- **Equipos de Control.**- Dispositivos que añaden inteligencia a la red, por lo tanto dan el carácter de sistema al conjunto de estaciones. Como actividades principales figuran: generar y recibir llamadas, localizar e identificar usuarios y sus respectivos equipos, transferir llamadas, etc.

La segunda generación determina el inicio de los sistemas digitales introduciendo a más de los servicios de voz, otros servicios como el sistema de mensajería corta, y transmisión de datos a bajas velocidades. CDMA 2000 1X RTT y GSM son las primeras tecnologías de segunda generación aunque CDMA 1XRTT es llamado en algunas ocasiones como servicios de tercera generación debido a que llega a tener un *throughput* de hasta 144 Kbps, esta tecnología se desarrolló en los años 1990's.

Los requerimientos de 3G fueron especificados por la ITU (International Telecommunication Union) como parte del proyecto "International Mobile Telephone 2000" (IMT 2000), para lo cual las redes digitales tenían que proveer velocidades de transmisión promedio de 144 kbps en movimiento, 384 kbps en situaciones casi estáticas y 2 Mbps en ambientes *indoor* (dentro de ambientes cerrados). UMTS-HSPA y CDMA 2000 EV-DO son las primeras tecnologías 3G aunque recientemente WIMAX fue oficialmente considerada como tecnología 3G.

La ITU ha emitido recientemente los requerimientos para *IMT Advanced* los cuales constituyen la definición oficial de 4G. Los requerimientos incluyen la operación de canales de radio de hasta 40 MHz con alta eficiencia espectral, la ITU recomienda una operación de canales de radio de hasta 100 MHz y un pico de eficiencia espectral de 15 bps/Hz, resultando una tasa de *throughput* de 1 Gbps. Al momento no existe una tecnología que pueda brindar estas velocidades para lo cual será necesario implementar tecnologías como *LTE Advance*. Algunos han intentado etiquetar las versiones de WiMAX y LTE como 4G, pero esto es solamente una referencia de hacia dónde se deberán enfocar las plataformas que manejarán los requerimientos de la tecnología de cuarta generación. (Americas, 2009)

WiMAX y HSPA han superado significativamente los requerimientos de 3G, sin embargo, nombrarlos como tecnología 4G no es correcto debido a que no han llegado a ofrecer velocidades tan importantes como las requeridas por 4G, por lo tanto existe una gran confusión sobre en qué tecnología colocarles. Algunas personas le han llamado a HSPA como 3.5G y LTE como 3.9G aunque éstas no son designaciones oficiales.

La tabla 1 muestra un resumen de las características principales de cada generación.

Tabla 1.

Características principales de cada generación

GENERACIÓN	REQUERIMIENTOS	COMENTARIOS
1G	No hay requerimiento oficial. Tecnología Analógica	Desplegado en los 80's
2G	No hay requerimiento oficial. Tecnología Digital	-Primeros sistemas digitales -Desplegado en los 90's -Nuevos servicios como SMS y datos de baja velocidad. -Tecnología primaria incluye DCMA 2000 1 x RTT y GSM
3G	ITU's IMT-2000 requiere equipo de 144 kbps. 384 kbps en ordinario. 2Mbps en interior.	-Tecnología primaria incluye CDMA 2000EV-DO y UMTS-HSPA -WiMAX ahora es oficialmente Tecnología 3G
4G	ITU's IMT-Avanzado requiere incluir capacidad de operar en hasta 40 MHz en canales de radio con una eficiencia espectral muy alta.	-Tecnología no cumple con los requisitos de hoy. -IEEE 802.16m y LTE Avanzado están diseñados para cumplir con los requisitos.

Fuente: (Americas, 2009)

2.1.1 ENFOQUE DE LA EVOLUCIÓN 3GPP

Los planes de 3GPP han evolucionado de tal manera que han ido reconociendo las fortalezas y debilidades de cada tecnología así como explotando sus capacidades, así, GSM basado en TDMA, es en general un desarrollo maduro, todavía extremadamente eficiente, hay sin embargo, oportunidades de optimización y mejoras. “*Envolved EDGE*” disponible desde 2009 mejora el *throughput* al común EDGE incrementando la eficiencia espectral. (Americas, 2009)

A finales del 2010 y, debido al impulso del mercado, la mayoría de los abonados en todo el mundo todavía usaron tecnologías GSM / EDGE. Mientras tanto, CDMA fue elegido como la base de las tecnologías 3G, mientras que: WCDMA, UMTS, TD-CDMA y los sistemas de datos desarrollado para UMTS como HSPA y HSPA +, introducen mejoras y simplificaciones que ayudan a los sistemas basados en CDMA

a igualar las capacidades de los sistemas de la competencia, sobre todo en las asignaciones de espectro de 5 MHz.

La evolución de HSPA+, permite coordinar la operación de HSPA en dos portadoras adyacentes de 5 MHz para tasas de rendimiento más altas, estas en combinación con MIMO y dual-carrier alcanzará velocidades máximas de red de 84 Mbps.

Teniendo en cuenta algunas de las ventajas del enfoque de OFDM, 3GPP ha especificado OFDMA como la base de su evolución a largo plazo.

LTE incorpora nuevas, técnicas de radio para alcanzar los niveles de rendimiento más allá de los alcances de CDMA, sobre todo con anchos de banda más grandes. De la misma manera que coexiste 3G con la Segunda Generación (2G), los sistemas LTE coexistirán con ambos sistemas 3G y 2G, ya que se desarrollarán dispositivos multimodo que permitirán el *Handoff* LTE/3G o incluso LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado. Más allá de la tecnología de radio, EPC / SAE proporciona una nueva arquitectura fundamental que permite arquitecturas más planas y la integración de LTE con ambas redes heredadas GSM-HSPA, así como otras tecnologías inalámbricas. La combinación de EPC y LTE se refiere como el Paquete de Sistema (EPS) Evolucionado.

LTE es de crucial importancia para los operadores, ya que proporciona la eficiencia y la capacidad que demanda el mercado de banda ancha móvil de rápido crecimiento. El costo para los operadores para transmitir datos (por ejemplo, costo por Mbyte) es casi directamente proporcional a la eficiencia espectral de las tecnologías.

LTE tiene la mayor eficiencia espectral que cualquier tecnología específica, por lo que es una tecnología esencial, para un mercado maduro.

LTE está disponible en los modos FDD y TDD. Muchas implementaciones se basan en FDD en espectro apareado. El modo TDD, sin embargo, será importante para permitir implementaciones donde el espectro apareado no está disponible. Para hacer frente a los requisitos de las normas ITU e IMT-*Advanced*, 3GPP ha desarrollado *LTE-Advanced*, una tecnología que tienen tasas máximas de más de 1 Gbps.

Tabla 2.

Características de las tecnologías 3GPP

NOMBRE TECNOLOGIA	TIPO	CARACTERISTICAS	VELOCIDAD DE DESCARGA TIPICA	VELOCIDAD DE CARGA TIPICA
GSM	TDMA	Mayor despliegue de tecnología celular en el mundo. Brinda servicio de voz y datos vía GPRS / EDGE		
EDGE	TDMA	Servicio de datos para redes GSM. Una MEJORA al original GSM servicio de datos denominada GPRS	70 kbps a 135 kbps	70 kbps a 135 kbps
EDGE Evolucionado	TDMA	Versión avanzada de EDGE que puede duplicar y cuadruplicar las tasas de rendimiento eventualmente, reducir a la mitad la latencia y aumentar la eficiencia espectral.	70 kbps a 350 kbps Aproximadamente (cargador simple) 350 kbps a 700 kbps Aproximadamente (cargador doble)	150 kbps a 300 kbps Aproximadamente
UMTS	CDMA	Tecnología 3g despliegues prestación de voz y capacidades DATA. Despliegues HSPA actualizados para datos de servicio.	200 kbps a 300 kbps	200 kbps a 300 kbps
HSPA	CDMA	Servicio DATA para la red UMTS. Una mejora del original servicio DATA UMTS	1 Mbps a 4 Mbps	500 kbps a 2 Mbps
HSPA+	CDMA	La evolución de HSPA en varias etapas para aumentar el rendimiento y la capacidad y menor latencia	1.5 Mbps a 7 Mbps	
LTE	OFDMA	Nueva interfaz de radio en que se pueden utilizar los canales de radio de ancho y ofrecer tasas de rendimiento extremadamente alto. Todas las comunicaciones se manejan en dominio IP.		
LTE- Avanzado	OFDMA	Versión avanzada de LTE diseñado para satisfacer los requisitos de IMT avanzadas		

Fuente: 3G AMEICAS

El desarrollo de las redes GSM y UMTS HSPA sucede en etapas denominadas versiones de 3GPP, y los proveedores de equipos han producido su hardware compatible con las versiones de cada especificación. Es importante tener en cuenta que las versiones 3GPP abordan múltiples tecnologías. Por ejemplo, la versión 7 no solo optimiza VoIP en HSPA, sino que también mejora de forma significativa la funcionalidad GSM de datos con EDGE Evolucionado. Un resumen de las diferentes versiones de 3GPP es el siguiente:

- **Versión 99.-** Primera versión de despliegue de UMTS, presenta mejoras de datos GSM (EDGE). La mayoría de las implementaciones actuales se basan en la versión 99. Proporciona soporte para GSM / EDGE / GPRS / WCDMA de acceso radio-redes.
- **Versión 4.-** Soporte de mensajería Multimedia, proporciona los primeros pasos hacia el uso de transporte IP para el *CORE*.
- **Versión 5.-** HSDPA, es la primera fase del IMS. Completamente disponible para usar IP en la red de transporte en lugar de sólo el modo de transferencia asíncrono (ATM) en el *CORE*.
- **Versión 6.-** HSUPA. Uso de multimedia a través de servicios *Broadcast/Multicast* (MBMS). Desarrollo de las especificaciones de rendimiento para receptores avanzados. Opción de de integración WLAN, mejoras IMS, inicios de la Voz sobre IP.
- **Versión 7.-** Proporciona una mayor funcionalidad GSM de datos con *EDGE Evolved*. Especifica la evolución de HSPA (HSPA +), incluyendo altos órdenes de modulación y MIMO. Proporciona un ajuste fino y características

adicionales a las versiones previas, dando como resultado mejoras de rendimiento, y eficiencia espectral, mayor capacidad y una mejor resistencia a las interferencias. Continuando con la conectividad de paquetes (CPC) permite el desarrollo de los servicios “*always-on*”, manejo de la capacidad para VoIP, así como la reducción en el retardo del establecimiento de llamadas. El manejo de radio para HSPA incluye la modulación 64 QAM para *dowlink* y 16 QAM para *uplink*. También incluye la optimización de las capacidades de MBMS a través de *multicast / broadcast*.,

- **Versión 8.-** Incluye una evolución de HSPA, usando MIMO y modulación 64 QAM. Incluye ítems de trabajo para *dual-carrier* HSPA (DC-HSPA) en la que dos canales de radio WCDMA se pueden combinar para un doble rendimiento (*throughput*). Especifica OFDMA 3GPP LTE y Definiciones de EPC.
- **Versión 9.-:** Especifica mejoras de HSPA y LTE incluyendo la operación HSPA *multi-carrier*.
- **Versión 10:** *LTE-Advanced*, cumple con los requisitos establecidos por el proyecto *IMT-Advance* de la UIT. (Americas, 2009)

2.1.2 SEGUNDA GENERACIÓN

2.1.2.1 Arquitectura de la Red GSM

Dentro de la organización interna de la red GSM, se destaca la presencia de los siguientes bloques o grupos:

- **BSS** (*Base Station Subsystem*).
- **NSS** (*Network Switching Subsystem*).
- **NMS** (*Network Maintenance Subsystem*).
- **MS** (*Mobile Station*)

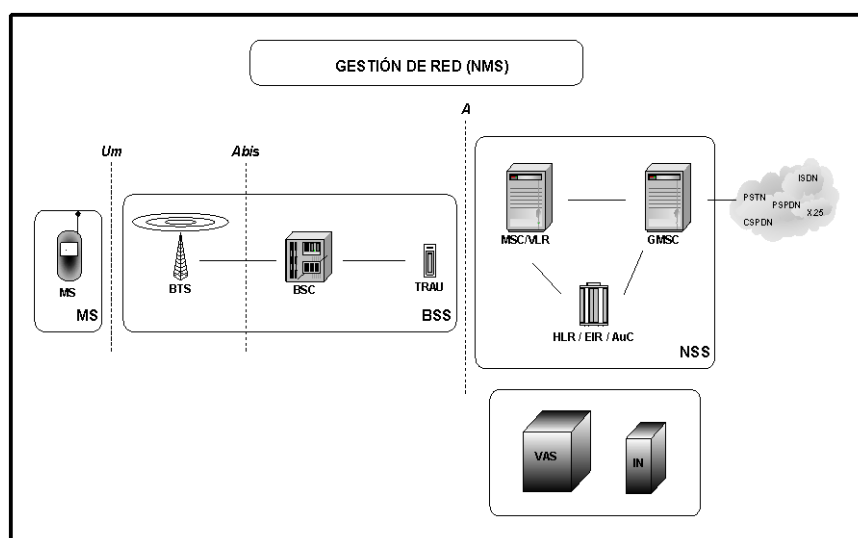


Figura 3. Arquitectura de red GSM

Fuente: Tesis “Migración de plataformas 2G a 3G en el Ecuador”

- **BSS** (*Base Station Subsystem*).- Controla todo lo referente a la interfaz de radio existente en la red. Este subsistema se encuentra formado por:
 - **BTS** (*Base Transceiver Station*). Efectúa las labores puramente de radio del sistema. Contiene los transmisores/receptores que sirven a cada celda.

Dentro de las funciones más relevantes se encuentran: Provee de la interfaz física entre la MS (*Mobile Station*) y la BSC (*Base Station Controller*), permite la gestión de diversidad de antenas, control dinámico de potencia, *Frecuency Hopping* (FH), gestión de algoritmos de clave, monitoreo de conexión, detección de acceso por traspaso de un móvil, y comprobación de la identificación de referencia de este traspaso de acuerdo con la información recibida desde la BSC.

- **BSC (*Base Station Controller*)**. Gobierna los recursos radio para las BTS a ella conectadas. Como funciones sobresalientes se encuentran: gestión y configuración del canal de radio, gestión de traspaso, elección de la celda y canal, encriptado-desencriptado, registro y actualización de la localización, medidas de tráfico, gestión de secuencias de *Frecuency Hopping* (FH), estas secuencias son enviadas por el BSC hacia el BTS.
- **TRAU (*Transcoding Rate Adaptation Unit*)**. Permite la transcodificación de canales radio de 8, 16, 32 kbps provenientes de la BSC (*Base Station Controller*), a canales de 64kbps previo la llegada de los mismos a la MSC (*Mobile Switching Center*). Permite que el sistema sea eficiente desde el punto de vista espectral.
- **NSS (*Network Switching Subsystem*)**.- Permite la interconexión entre BSS (*Base Station Subsystem*), además faculta el enlace con otras redes públicas (PSTN, ISDN, PSPDN, CSPDN). Implementa funciones de base de datos necesarias para: identificación de usuarios y terminales, localización de los terminales y conducción de llamadas, facturación, etc.

Este subsistema se encuentra formado por:

- **MSC (*Mobile Switching Center*)**. El MSC se constituye como el elemento central del NSS. Se ocupa de la gestión del tráfico de una o más BSS basándose en criterios de enrutamiento. Permite la interconexión de todos los elementos de la NSS. De manera más específica entre sus funciones relevantes se destacan:
 - Gestión de llamadas. Involucra lo referente a Autenticación de llamadas, Conmutación entre BSS del mismo NSS o con otros MSC o redes, Funciones de *gateway* con otras redes PLMN, ISDN, PSTN, etc.
 - Crea CDR's (*Call Detail Records*) para las transacciones de móviles.
 - Confidencialidad de la identidad de usuario. Incluye uso del TMSI en lugar del IMSI en los procesos de transmisión. El MSC asocia el IMSI con el TMSI.
- **GMSC (*Gateway Mobile Switching Center*)**. Viene a ser un MSC hacia el cual es encaminada una terminación de llamada cuando no se tiene conocimiento de la ubicación de la estación móvil. Este componente tiene la responsabilidad del encaminamiento de la llamada al MSC externo correcto previa consulta al HLR respectivo.
- **HLR (*Home Location Register*)**. Comprende la Base de Datos central o distribuida que almacena información referente al perfil permanente de los suscriptores de la red. Dentro de la mencionada información se encuentra:
 - IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). Identificación del usuario en toda la red GSM.
 - MSISDN (*Mobile Station ISDN Number*): Similar al número de abonado en una red PSTN.

- Tipos de servicios contratados.
- Localización actual del MS.
- **VLR (*Visitor Location Register*)**. Se constituye como una Base de Datos complementaria al HLR, encargada de las siguientes funciones:
 - Autenticación de suscriptores, mediante un seguimiento de su respectiva ubicación.
 - Almacena CDR's para los clientes que acceden al MSC temporalmente.
- **AuC (*Authentication Center*)**. Permite verificar si el servicio es solicitado por un abonado legítimo. Sus funciones principales son las siguientes:
 - Almacenamiento de algoritmos y claves (Ki, Kc, SRES, RAND) referentes a la seguridad para todos los suscriptores de la red.
 - Creación de tríos de autenticación (vectores) para el cifrado y la autenticación en el VLR.

Es importante saber que el proceso de autenticación se lleva a cabo cada vez que el MS recibe o genera una llamada, cada vez que se actualiza su respectiva posición y cuando el MS accede a cualquiera de los servicios suplementarios disponibles.

- **EIR (*Equipment Identity Register*)**. Permite la administración del estado del equipo móvil, en base al IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) estableciendo tres categorías detalladas a continuación:
 - Lista Blanca: Equipos que pueden acceder a la red.
 - Lista Gris: Equipos marcados y no homologados. Son monitoreados por la red, permitiendo su localización y la identificación de la SIM que está siendo usada.

- Lista Negra: Equipos bloqueados, generalmente los que han sido robados.

Es importante recalcar que cada vez que el MS intenta acceder a la red, el MSC verifica mediante el EIR a cuál de las mencionadas listas pertenece, para posteriormente tomar las acciones respectivas.

- **NMS (*Network Maintenance Subsystem*).**- Este subsistema está relacionado con la operación y mantenimiento de la red y es necesario para el control total de la misma. El operador de la red observa y mantiene la calidad y los servicios.
- **OMC (*Operations & Maintenance Center*).** Permite la monitorización y el mantenimiento de la red. Dentro de sus funciones relevantes se encuentran:
 - Gestión de alarmas y estado del sistema.
 - Tareas de mantenimiento.
 - Supervisión del flujo de tráfico, para posibles cambios de arquitectura de red.
 - Configuración de la red mediante acceso remoto, operación, manejo de *performance*.
- **MS (*Mobile Station*).**- El MS (*Mobile Station*) es el punto de entrada a la red móvil. Es el equipo físico usado por el suscriptor para acceder a los diversos servicios disponibles de la mencionada red. Se compone funcionalmente de dos partes:
 - **El Equipo Móvil.** Representa al terminal en sí. Se encarga de manejar todas las funciones de radiofrecuencia, además realiza cifrado/descifrado,

no usa identificación de usuarios, por fines de seguridad dispone del IMEI (*International Mobil Equipment Identity*). Para que una estación móvil GSM pueda funcionar, necesita tener el modulo de identificación del usuario (SIM).

- **SIM (*Suscriber Identity Module*)**. Distingue entre la identidad del abonado y la del equipo móvil. La SIM está asociada con el abonado, tratándose de un chip que el usuario debe introducir en el terminal para poder acceder al servicio. Entre las funciones más importantes de la SIM se encuentran:
 - Autenticación.
 - Asistencia con algoritmos de cifrado (encriptación) de voz y datos.
 - Almacenamiento de SMS, Directorios, etc.
 - Protección de la cuenta del suscriptor. Tiene conocimiento del IMSI (*International Mobil Subscriber Identity*), además de identificación temporal del usuario móvil.

Existen datos asociados a la SIM, tal es el caso de los códigos PIN y del PUK (*Personal Unblocking Key*). Además, es importante recalcar el hecho de que tanto el equipo móvil como la SIM son intercambiables. (Racines, 2008)

2.1.3 TERCERA GENERACIÓN

2.1.3.1 ESTÁNDAR CDMA (IS-95)

CDMA fue el segundo estándar digital adoptado en los Estados Unidos de Norteamérica. Este estándar tuvo sus orígenes en los laboratorios Qualcomm, a comienzos de los años noventa, con el objetivo de reemplazar al estándar IS-54 (D-

AMPS). La familia de los estándares IS-95 se la conoce como cdmaOne; cdmaOne viene a ser una marca registrada usada únicamente por entidades miembros del CDG (*CDMA Development Group*). La mencionada familia IS-95 se concreta en dos versiones, la versión A que incorpora características propias de 2G (segunda generación), y la versión B con características más avanzadas orientadas a 2.5G. IS-95A describe principalmente la estructura de los canales CDMA de 1,25Mhz, control de potencia, procesamiento de llamadas, *handovers* y técnicas de registro para la operación del mismo. Además de servicios de voz, este estándar permite proporcionar conexiones para datos bajo conmutación de circuitos a 14.4 Kbps. IS-95B por su parte, ofrece también servicios de voz junto con servicios de datos, pero en conmutación de paquetes a 64 Kbps.

Entre las características más relevantes del estándar CDMA se encuentran: planificación simplificada del sistema por medio de la utilización de las mismas frecuencias en todos los sectores de todas las células; áreas de cobertura mejoradas contribuyendo al ahorro en infraestructura del sistema; posibilidad de aumentar la capacidad de la red cuatro veces en comparación con el estándar GSM., duración mejorada de la batería en los terminales de usuario, etc.

2.1.3.1.1 Arquitectura de red

Dentro de la organización interna de la red CDMA, se destaca la presencia de los siguientes elementos:

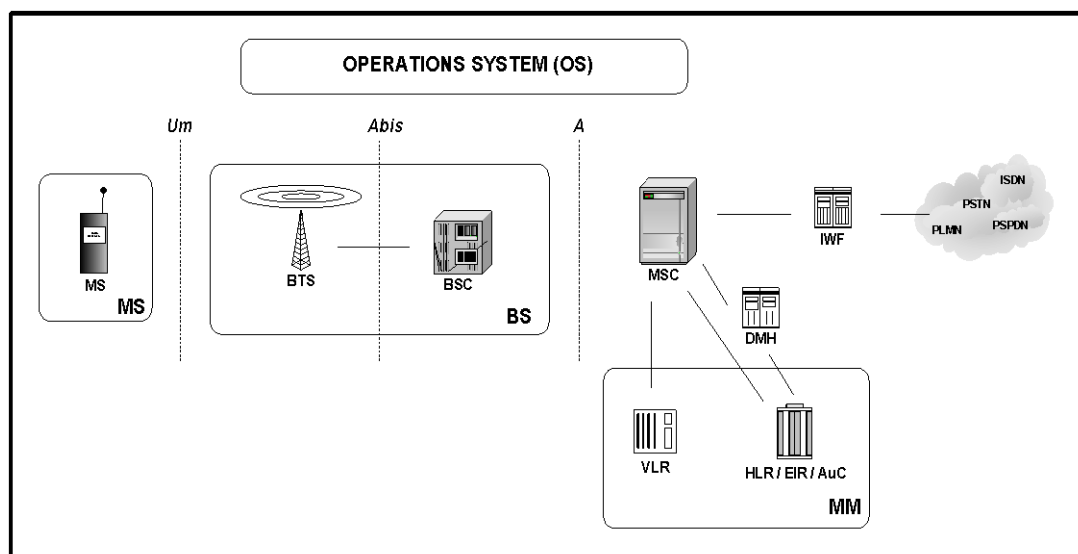


Figura 4. Arquitectura de red IS-95

Fuente: Tesis “Migración de plataformas 2G a 3G en el Ecuador”

- **MS (Mobile Station).**- Es el dispositivo que permite al usuario acceder a los servicios de la red celular. Puede funcionar individualmente o de manera complementaria ya sea con PC’s portátiles, fax, etc. conectados a él.
- **BS (Base Station).**- Permite enlazar al MS con la MSC (Mobile Switching Center). Por lo general la BS se encuentra formada por la BTS (Base Transceiver System) y la BSC (Base Station Controller).
 - **BTS (Base Transceiver System).** La BTS consiste en uno o más *transceivers* ubicados en un mismo lugar; termina con el enlace de radio del lado de la red. La BTS puede estar ubicada junto con la BSC como también independientemente de ella.
 - **BSC (Base Station Controller).** La BSC representa el sistema de control y gestionamiento de una o más BTS. La BSC intercambia mensajería tanto con BTS como con la MSC.

- **MSC (*Mobile Switching Center*).**- La MSC es un sistema automático que permite entre otras actividades, el procesamiento de llamadas y transferencia de las mismas entre las diferentes celdas existentes en la red, controla la señalización (mediante el sistema SS7), permite enlazar la red telefónica pública (PSTN o ISDN) con la red móvil, además faculta la interconexión de BS existentes en la red.
- **HLR (*Home Location Register*).**- Es una unidad funcional que maneja información de los suscriptores de la red móvil, como por ejemplo número serial electrónico (ESN), número de directorio, IMSI (*Internacional Mobile Station Identification*), perfiles de usuario, localización reciente del usuario, etc. El HLR puede ser ubicado con la MSC como una parte integral de la misma, o de manera independiente. Es importante saber que un HLR puede servir para varias MSC.
- **DMH (*Data Message Handler*).**- El DMH es usado para la recopilación de información referente a tarificación de servicios.
- **VLR (*Visited Location Register*).**- El VLR es una unidad funcional que permite un almacenamiento dinámico de la información de los suscriptores como por ejemplo: número serial electrónico (ESN), número de directorio, perfiles de usuario, etc. Toda esta información en base de consultas establecidas al HLR.
- **AC (*Authentication Center*).**- El AC maneja funciones referentes a autenticación y encriptado de información individual de los suscriptores. El

AC puede ubicarse de manera asociada con el HLR o con la MSC, o también de manera independiente a los dos elementos mencionados.

- **EIR (*Equipment Identity Register*).**- El EIR provee información acerca del MS por propósitos de seguridad (validación del equipo). El EIR puede estar ubicado con la MSC o de manera independiente a la misma.
- **IWF (*Interworking Function*).** El IWF le permite o habilita a la MSC establecer enlaces de comunicación con otras redes. (Racines, 2008)

2.1.3.2 CDMA2000 (Evolución 3G de IS-95)

CDMA2000 corresponde a un estándar que engloba un conjunto de versiones en telecomunicaciones móviles de tercera generación, basados en tecnología CDMA. Las versiones mencionadas son: CDMA2000 1X, CDMA2000 1XEV-DO, y CDMA2000 1XEV-DV. Desde el punto de vista comercial, se considera a CDMA2000 una marca registrada de la *Telecommunications Industry Association* (TIA) en los Estados Unidos, tal y como lo fue CDMA One, nombre bajo el cual se comercializó el estándar CDMA de segunda generación, IS-95.

Los mencionados estándares CDMA2000, figuran como sucesores 3G directos del IS-95, siendo considerados tanto como *la evolución natural* para operadores que utilizaban el mencionado estándar, y como alternativa migratoria para muchos operadores que usaban tecnología TDMA. IS-2000 (como también es conocido CDMA2000) para su despliegue e implementación, considera varias fases “migratorias”. La primera fase viene a ser la versión CDMA2000 1X, la cual soporta un promedio de 144 kbps para paquetes de datos en entornos móviles. El segundo *release* corresponde a 1XEVDO, versión que permite soportar tasas de transferencia

mayores a 2 Mbps, en un canal de radio dedicado a transportar paquetes de datos de alta velocidad. Y como fase final se presenta a 1XEVDV, que incorporará altas velocidades de transferencia simultáneamente tanto para voz como para datos, además el mejoramiento de diversos mecanismos de Calidad de Servicio (QoS).

Es importante recalcar que CDMA2000 se benefició de la extensiva experiencia adquirida durante años de operación de los sistemas cdmaOne.

A continuación se consideran varias de las principales características técnicas que dispone CDMA2000, las mismas que están clasificadas según aspectos referentes al despliegue de la red del operador y a la percepción del servicio por parte del usuario.

➤ **Despliegue de la red.**

- Capacidad de voz mejorada, a pesar de que CDMA2000 permite la transmisión eficiente de voz y datos de alta velocidad, el tráfico de voz justificará la inversión para el despliegue de estas redes 3G durante varios años más. Este aumento de la capacidad de voz se debe un control de potencia más veloz, velocidades de código más bajas, diversidad en transmisión, etc.
- Diversidad en la ubicación de la banda de frecuencia, los sistemas CDMA2000 pueden trabajar en cualquier banda celular, ya sea PCS o IMT-2000. La alta eficiencia espectral del sistema permite elevadas capacidades de tráfico en cualquier canal de 1.25Mhz.

➤ **Percepción del Usuario.**

- Velocidad de datos más elevada, CDMA2000 1X, CDMA2000 1XEVDV, CDMA2000 1XEVDV velocidades de 153 kbps, 2.4 Mbps y 3.1 Mbps respectivamente.
- Mayor duración de la batería, debida al incremento en la rapidez de operaciones de *paging*, como por la presencia de nuevos estados MAC para el proceso eficiente del tiempo de *no ocupado (idle)*.

En conclusión, CDMA2000 permitirá el adecuado soporte para todas las avanzadas demandas de servicios de tercera generación, así como la transmisión multimedia de alta calidad y otros servicios basados en tecnología IP. (Racines, 2008)

2.1.3.3 CDMA1XRTT

CDMA1XRTT (*1 Time Radio Transmission Technology*) corresponde a la primera fase de la implementación de CDMA2000. Esta versión da la posibilidad a la coexistencia con su estándar predecesor IS-95, dando un enfoque de servicios CDMA global. Presenta un rendimiento en cuanto a tasas de transferencia, para el enlace ascendente superiores a 76.8 kbps, y para el enlace descendente mayores a 153.6 kbps, por lo cual 1XRTT prácticamente duplica la capacidad de voz sobre las redes IS-95. Lo mencionado permite satisfacer las necesidades del ámbito empresarial como lo es el acceso remoto a Internet, a redes corporativas, etc; lo cual permite a los usuarios incrementar su productividad, mediante una conexión permanente con clientes y compañeros de trabajo, mientras realizan sus labores fuera de la oficina.

2.1.3.4 CDMA1XEVD0

1XEV-DO (*1x Evolution Data Optimized*), es una de las tecnologías móviles de banda ancha más rápidas en el mercado de las telecomunicaciones. Presenta tasas de transferencia mayores a 2.4 Mbps para enlaces descendentes y 153 kbps para enlaces ascendentes, entre el terminal (MS) y la estación de radio (BTS). Existen dos versiones del EVDO, la versión A y la versión 0. Bajo la versión A, se estima que el usuario pueda disponer de tasas de transferencia mejoradas en un 20% para el enlace descendente (es decir tasas mayores a 3.1 Mbps), y del 100% para el enlace ascendente (tasas mayores a 1.8 Mbps). (Racines, 2008)

2.1.3.5 ESTÁNDAR UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es la propuesta de mayor importancia de la ETSI (European Technology Standard Institute) como sistema de radio móvil europeo de tercera generación, del cual se espera tenga un papel preponderante en las telecomunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad.

Tras el indudable éxito de GSM como estándar mundialmente reconocido, merced a su gran dominio en el mercado de la telefonía móvil; UMTS nace de la necesidad de aprovechar al máximo el rendimiento de las grandes inversiones realizadas en las redes GSM, durante el proceso que implica a los operadores de telefonía celular, la adopción de tecnología de tercera generación. Por lo cual a pesar de que UMTS introduce una tecnología de radio de alta velocidad binaria completamente nueva conocida como Wide-Band Code Division Multiple Access (WCDMA), la parte central de su red se sustenta firmemente en la exitosa red GSM,

la cual ha pasado de ser solamente una red de voz bajo conmutación de circuitos, a ser una plataforma global para servicios móviles de datos por paquetes, en los que figuran los mensajes multimedia, la navegación Web y el acceso móvil al correo electrónico.

La actual convergencia, presente en los servicios móviles a nivel mundial, revela que el tráfico de conmutación de paquetes en redes centrales móviles superará al tráfico de conmutación de circuitos de las mismas, lo cual corrobora el futuro gran éxito de las redes UMTS, las mismas que permitirán a los operadores disponer de dominios de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes igual de robustos. Cabe recalcar también que UMTS dispondrá de una red de acceso múltiple, donde a más de utilizar al WCDMA con todas sus mejoras, se dispondrá de la red GSM/GPRS y WLAN como componentes complementarios.

2.1.3.5.1 Arquitectura de red.

La red UMTS se encuentra constituida de manera general por tres partes fundamentales que son:

- *User Equipment (UE).*
- *Radio Access Network (RAN).*
- *Core Network (CN).*
- **User Equipment (UE).**- El terminal 3G de las redes UMTS, es el elemento de red más visible de todo el sistema, en lo que respecta a servicios finales; por lo cual se lo considera principalmente como un elemento que ofrece la interfaz de aplicación del usuario final. Es importante saber que la arquitectura global de protocolos junto con la funciones del terminal, están

sujetas a normas de estandarización, sin embargo su operación y demás características internas adicionales dependen directamente de su implementación, lo cual fomenta la competencia en la industria de las comunicaciones móviles.

El User Equipment (UE), se encuentra formado por dos partes plenamente diferenciadas, que son el Mobile Equipment (ME) y la Universal Integrated Circuit Card (UICC).

- El *Mobile Equipment* (ME) corresponde a la parte del *User Equipment* (UE), que depende del operador más no del usuario y está formado por varios módulos, entre los que figuran el *Terminal Equipment* (TE) que permite al usuario funcionalidades de aplicación y el *Mobile Termination* (MT) el cual se encarga de terminar la transmisión radioeléctrica entrante y saliente de la red.

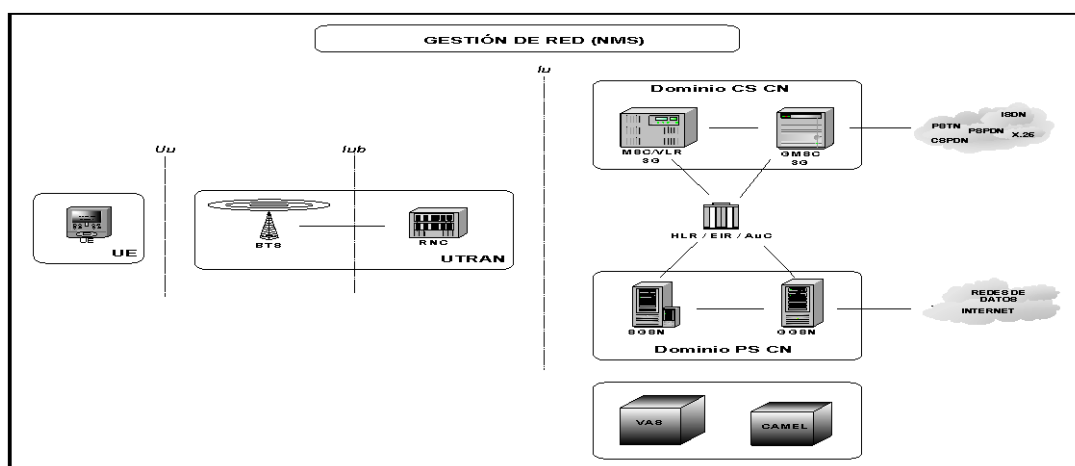


Figura 5. Arquitectura de red UMTS

Fuente: Tesis “Migración de plataformas 2G a 3G en el Ecuador”

- El *Mobile Termination* (MT) a su vez consta de dos partes fundamentales como lo son el *Network Termination* (NT) y el *Radio Termination* (RT).
 - El NT permite disponer de Gestión tanto de movilidad CS/PS como de comunicaciones (CS/PS), desde el punto de vista del CN, el NT corresponde al terminal en sí.
 - El (RT) contiene funciones comunes a todos los servicios que demandan de la tecnología de acceso de radio específico (WCDMA).

La *Universal Integrated Circuit* (UICC) en cambio, es el componente dependiente del usuario. Se encuentra formado al menos por un USIM (*Universal Subscriber Identity Module*), el cual contiene información de los perfiles de servicio del operador. Adicionalmente dispone de aplicaciones ISIM (*IMS Identity Module*) para soportar servicios IMS (*IP Multimedia System*).

A continuación se detallan las funciones consideradas esenciales, que deben tener todos los terminales UMTS:

- Interfaz a un circuito integrado tipo tarjeta (UICC).
- Proveedor de servicios, registro y des-registro de red.
- Actualización posicional.
- Envío y recepción de servicios con y sin conexión.
- Identificación de equipo invariable.
- Identificación básica de las características del Terminal.
- Soporte en la ejecución de algoritmos para autenticación y encriptación.
- Posibilidad de realizar llamadas de emergencia sin USIM.

Además el terminal UMTS, debe disponer de funcionalidades específicas para facilitar una evolución futura, como las mencionadas a continuación:

- Compatibilidad API.
- Acceso a descargas de información de servicios: nuevos protocolos, nuevas funcionalidades, etc.
- Disponer de espacio opcional para varias UICC.

Respecto al futuro mercado de equipos móviles 3G, es importante destacar que considerando aspectos como: capacidad para la utilización de varias tecnologías de acceso y varias redes centrales, clases de abonado y tipo de necesidades; el UE podría sujetarse a la siguiente clasificación:

- Terminal Clásico. Teléfono móvil económico y básico, con funcionalidades limitadas como acceso a servicios de voz en CS y datos en PS, con características mejoradas que las que presenta la red GSM/GPRS. Admite métodos de acceso de radio GSM (FDMA/TDMA) y UMTS (WCDMA), pero de manera no simultánea.
- Terminal Dual. Teléfono móvil que permite disponer de técnicas de acceso de radio GSM (FDMA/TDMA) y UMTS (WCDMA) mediante selección automática en función de la cobertura o del servicio solicitado. Dispondría en consecuencia, la posibilidad de realizar traspasos entre las dos redes (GSM y UMTS) de manera bidireccional.
- Terminal Multimedia. Este terminal móvil vendría ser una combinación de un teléfono móvil con una *palm*. En tal virtud, ofrece numerosas aplicaciones para conexiones y servicios multimedia. Respecto a diferencias con el Terminal Dual, el Terminal multimedia presenta una multiplexación óptima de portadores para conexiones multimedia, lo cual representa un ahorro de capacidad. Este Terminal está dirigido al mercado empresarial.

- Terminal Especial. Este Terminal estaría diseñado de manera que se permita la integración del mismo en otros equipos, en especial en ordenadores portátiles. Operaría en su mayoría en modo PS, ofreciendo así una gran diversidad de aplicaciones (operación conjunta con GPS, etc).
- **Radio Access Network (RAN).**- A pesar de que el estándar UMTS, como se había mencionado anteriormente, permite la gran ventaja de ofrecer un multiacceso inalámbrico, UMTS *Terrestrial Access Network* (UTRAN) basado en WCDMA, es la principal red de acceso de radio (RAN). La función más básica de la UTRAN, es la de crear y mantener los denominados servicios portadores de acceso de radio (RAB) para poder establecer la comunicación entre el equipo de usuario (UE) y la red central (CN). Además cuenta con mecanismos que muestran como se establece la correspondencia entre los requisitos de QoS extremo a extremo con el trayecto de radio físico. Respecto a la composición física de la red de acceso de radio, se considera la presencia del *Radio Network Subsystem* (RNS), el cual a su vez está formado por varias *Base Station* (BS) denominadas también Nodos B y por un *Radio Network Controller* (RNC). Cabe señalar que una UTRAN puede contener varios RNS.
- **Base Station (Node B).** La estación base (BS) viene a ser un elemento formado de trancptores, filtros, moduladores, amplificadores que permite al UE establecer el enlace con la red central CN. Al igual que las redes GSM, efectúa las labores puramente de radio del sistema. Entre sus principales funciones se pueden mencionar las siguientes:

- Implementación física de la interfaz U_u (UE-BS) y de la interfaz I_{ub} (BS-RNC), mediante los grupos de protocolos respectivos.
 - Transmisión y recepción de señales de radio, filtrado, amplificación, modulación y demodulación de las mismas.
 - Generación de códigos.
 - Ejecución del control de potencia.
 - Actividades de O&M tales como funciones lógicas a nivel de los elementos de red, vitales para el *Network Management System* (NMS).
- **Radio Network Controller (RNC).** Corresponde al elemento de conmutación y de control de la UTRAN. Se encuentra formado generalmente por unidades de: conmutación, gestión de recursos de radio, control de red de acceso, interfaz O&M. Respecto a sus funcionalidades, la RNC tiene tres denominaciones, dependiendo de la actividad realizada (funciones lógicas). Cuando la RNC realiza el control de los Nodos B, en cuanto al transporte común se lo denomina *Control RNC* (SRNC). Si establece un mantenimiento del portador en la interfaz I_u (UTRAN - *Core Network*) para un determinado UE, se denomina *Serving RNC* (SRNC). En tanto que al dar soporte al desplazamiento de un UE, previa solicitud del SRNC a través de la interfaz I_{ur} (RNS-RNS), se denomina *Displacement RNC* (DRNC).

De manera global la funcionalidad del RNC, se puede subdividir en dos partes que son: el RRM (*Radio Resource Management*) y funciones de control de la UTRAN.

El RRM se refiere a un conjunto de algoritmos empleados para garantizar la estabilidad del trayecto de radio y por ende la calidad de servicio del mismo,

mediante la gestión de recursos radioeléctricos, que implica un uso compartido eficiente de los mismos.

Las funciones de control de la UTRAN en cambio se refieren al establecimiento, mantenimiento y liberación de servicios RB (conexión de radio entre UE y RNC para transmisión de datos del suscriptor), inclusive funciones de soporte de los algoritmos RRM.

➤ **Core Network (CN).**- La red central del estándar UMTS es considerada como la plataforma básica de todos los servicios de comunicaciones proporcionados a los suscriptores de la red móvil. Entre los servicios básicos de la misma podemos considerar, la gestión de llamadas por conmutación de circuitos (CS) y el encaminamiento de datos por conmutación de paquetes (PS). Además establece la correspondencia entre los requerimientos de calidad de servicio (QoS) extremo a extremo con el servicio portador UMTS. Es importante recalcar que el estándar UMTS establece una filosofía de uso para la creación de una gran red central universal, capaz de gestionar la mencionada variedad de métodos de acceso de radio diferentes

A continuación incluimos los principales elementos de la arquitectura del *Core Network* junto con sus respectivas funciones. No es difícil darse cuenta de que muchos de estos elementos son heredados del sistema GSM y del GPRS:

- **SGSN (Nodo de Soporte de Servicio a GPRS)**, encargado del establecimiento y control de los servicios IP, al igual que de la gestión de

movilidad del usuario final. También es responsable del control de los recursos en las pasarelas relacionados con los servicios de conmutación de paquetes.

- **GGSN (Nodo de Soporte de Pasarela a GPRS)**, encargado del manejo de la señalización de control que se encamina hacia redes externas. Controla el tunelado de IP en la red troncal y, como el anterior, gestiona recursos en las pasarelas.
- **MSC (Centro de Conmutación de servicios Móviles)**, que controla las llamadas de conmutación de circuitos y los recursos relacionados con este tipo de tráfico en las pasarelas. Además, proporciona la gestión de movilidad y de conexión.
- **GMSC (Pasarela del Centro de Conmutación de servicios Móviles)**, que realiza para la conmutación de circuitos labores análogas a las que desempeña el GGSN para la conmutación de paquetes.
- **HLR (Registro de Localización Base)**, encargado de guardar todos los datos de los usuarios y que juega un papel fundamental en el establecimiento de las llamadas y en el control de la itinerancia (*roaming*).
- **FNR (Registro de Numeración Flexible)**, responsable del mantenimiento del número de un usuario cuando éste cambia de compañía operadora y desea conservar su número telefónico.
- **SCP (Punto de Control de Servicio)**, que actúa como punto común de convergencia entre las redes basadas en IP y la arquitectura IMT-2000, así como con las redes fijas y móviles, dando respuesta a los nuevos servicios que surgen sin olvidar los tradicionales de red inteligente.

- **EIR (Registro de Identificación de Equipo)**, con la finalidad de controlar el acceso de los terminales de usuario a la red.
- **SOG (Pasarela de Orden de Servicio)**, para proporcionar una conexión de altas prestaciones entre los elementos de red que almacenan información de los abonados y el sistema administrativo.
- **BGW (Pasarela del Sistema de Facturación)**, como interfaz entre los elementos de red que producen información de tarificación y el sistema administrativo de tasación. Tanto el SOG como el BGW proporcionan interfaces de usuario gráficas para la creación de configuraciones específicas que dotan al sistema de gran flexibilidad, y que redundan en un mayor control sobre los servicios ofrecidos a los clientes.
- **SMS-C (Centro de Servicio de Mensajes Cortos)**, a fin de proporcionar una solución completa a la mensajería en los entornos de comunicaciones de datos.
- **AuC (Centro de Autenticación)**, para generar los datos de autenticación y cifrado, protegiendo a la red de usos no autorizados, y a los usuarios de intrusos que pretendan hacer un empleo fraudulento de su código de identificación.

2.1.4 CUARTA GENERACION

2.1.4.1 ESTANDAR LTE

LTE es una tecnología innovadora cuya principal característica es entregar al usuario velocidades de transmisión mayores a las ya experimentadas con las

tecnologías de tercera generación. La eficiencia espectral de LTE es sin duda una de las mejoras más significativas, ya que con respecto a HSDPA, el factor de mejora está en el orden de 2 a 5, considerablemente mayor, gracias a la introducción de MIMO. Es importante señalar que, la discusión en términos de eficiencia espectral de pico no es la experimentada por el usuario, sino más bien la eficiencia espectral media.

2.2 REQUERIMIENTOS DE ESPECTRO

Los sistemas de comunicaciones móviles celulares presentan un gran dinamismo debido a, entre otras cosas, las variaciones de las condiciones de propagación, las variaciones de tráfico, la movilidad de los usuarios, o la interferencia. Adicionalmente la interfaz de radio ha de soportar el acceso de un número elevado de usuarios a través de servicios de distinta índole, y con unos requerimientos de calidad de servicio que se deben garantizar en todo momento independientemente del dinamismo del sistema.

En un intento por respetar la calidad de servicio, el operador podría optar por sobredimensionar el número de recursos de radio disponible. Sin embargo esta estrategia no resulta adecuada en el ámbito de las comunicaciones móviles debido a que los recursos de radio son, en general, escasos y caros. En su lugar se debe gestionar dinámicamente la interfaz de radio incorporando a la red de acceso un conjunto de funciones que permitan controlar y gestionar de manera eficiente los recursos de radio con el mínimo sobredimensionamiento posible. De manera general a este conjunto de funciones se le denomina “Gestión de Recursos de Radio”.

La gestión de recursos de radio se encarga por un lado de racionalizar el uso de los recursos de radio como frecuencias, ranuras temporales (time slots), potencia ó códigos según la tecnología de acceso radio, al mismo tiempo que permite el acceso al mayor número de usuarios posible. Por otro lado se responsabiliza de garantizar unos determinados mínimos niveles de calidad de servicio, asociados con cada uno de los servicios establecidos en el segmento radio, como paso intermedio para conseguir un cierto nivel de calidad de servicio extremo a extremo. La consecución simultánea de estos objetivos no es sencilla, ya que, el uso eficiente de recursos, la maximización de la capacidad, y el logro de la calidad de servicio suele ir en direcciones opuestas. Es por ello que la gestión de recursos radio no es una función única, sino que se compone de varias funciones que se encargan de gestionar distintos aspectos de la interfaz radio, y cuya ejecución permite en conjunto, la consecución de los distintos objetivos.

2.2.1 BANDAS DE DESPLIEGUE

La interfaz radio LTE es relativamente independiente de la banda de despliegue y en principio se puede en las bandas ya identificadas para IMT-2000 como en otras nuevas bandas que puedan aparecer en el futuro. Tanto las bandas ya identificadas para LTE como futuras bandas pueden ser pareadas (para despliegue FDD: Duplexado por división de frecuencias) o no pareadas (para despliegue TDD: Duplexado por división de tiempo). La tabla 3 muestra las bandas de operación que se han identificado hasta el momento para LTE.

Existen ciertas limitaciones en lo relativo a los requerimientos de radio frecuencia asociados a una determinada banda. Estas restricciones son:

La coexistencia de los operadores en una misma zona geográfica. Estos operadores pueden desplegar distintas interfaces radio, y por lo tanto LTE debe especificar ciertos requerimientos que asegure su coexistencia con otras tecnologías de acceso radio.

La coexistencia de LTE con otros servicios o sistemas desplegados en bandas adyacentes en fronteras de país, donde cambia el marco regulador de espectro radioeléctrico.

El hecho de que LTE sea un sistema abierto desde el punto de vista de la banda de operación, de forma que futuras versiones del estándar agregan nuevas bandas de operación. Esto supone que los terminales se tengan que diseñar asumiendo que podrían funcionar en un amplio margen de frecuencias.

Estos requerimientos se suelen definir en términos de la máxima potencia permitida, las emisiones espurias que son emisiones fuera de banda, etc.

Tabla 3.

Bandas mejor identificadas para el despliegue de LTE

Banda LTE	Banda para UL		Banda para DL		Tipo de Duplexado
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	1749.9 MHz	– 1784.9 MHz	1844.9 MHz	– 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	– 1770 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	– 1452.9 MHz	1475.9 MHz	– 1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz	– 716 MHz	728 MHz	– 746 MHz	FDD
13	777 MHz	– 787 MHz	746 MHz	– 756 MHz	FDD
14	788 MHz	– 798 MHz	758 MHz	– 768 MHz	FDD
17	704 MHz	– 716 MHz	734 MHz	– 746 MHz	FDD
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

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.2.2 FLEXIBILIDAD EN EL ANCHO DE BANDA

La interfaz radio de LTE basada en OFDMA ofrece una gran flexibilidad a la hora de desplegar el sistema dentro de una determinada banda, donde idealmente cualquier ancho de banda puede ser usado (en pasos de 180 KHz correspondientes a la anchura de banda de un PRB). No obstante para facilitar la operación, LTE define un subconjunto de anchos de banda posibles. En concreto se permiten bloques de espectro con 6, 15, 25, 50, 75 y 100 PRBs que se corresponden con anchos de banda nominales de 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15MHz y 20 MHz

respectivamente. El ancho de banda de estos bloques es algo menor que el ancho de banda nominal debido a las bandas de guarda para reducir las emisiones fuera de banda. Conviene destacar que no todas las configuraciones de ancho de banda están disponibles para todas las bandas de operación definidas.

Esta flexibilidad en el ancho de banda en uso por parte de un operador permitirá dentro del marco conocido como “*spectrum refarming*” el despliegue gradual de LTE en bandas asignadas previamente a otros sistemas como GSM o UMTS. Por ejemplo, en un despliegue GSM de 15 MHz con radiocanales de 20 KHz sería posible introducir LTE en tres etapas, donde en cada etapa se despliega LTE en una porción de aproximadamente 5 MHz de canales GSM, a medida que decrezca el tráfico cursado sobre GSM.

2.2.3 ASIGNACION DINAMICA DE ESPECTRO

Las estrategias que se plantean para la planificación de frecuencias en LTE (FRF1, FRF3, etc.) están pensadas para distribuciones homogéneas del tráfico en el área de cobertura. Sin embargo en el caso de distribuciones heterogéneas o variables, que en realidad son las que usualmente van a aparecer en escenarios de tipo práctico, estas estrategias se han mostrado claramente ineficientes, limitando la calidad de servicio de las celdas más cargadas o infrautilizando el espectro asignado en las menos cargadas. Por el contrario, la interfaz radio basada en OFDMA de LTE ofrece una excelente flexibilidad y abre un amplio abanico de posibilidades a la hora de gestionar el espectro en un determinado despliegue. Así, las estrategias de asignación dinámica de espectro plantean cómo conseguir una mejor eficiencia

espectral, en términos de número de usuarios por unidad de banda. Se introduce a este efecto una reutilización espacial variable de la banda asignada.

Como ejemplo se citan dos metodologías para dichos algoritmos: algoritmos Heurísticos y algoritmos basados en *reinforcement learning*. Los primeros son algoritmos que tratan de resolver el problema de forma intuitiva, esto es, se decide el número de frecuencias por cada celda en función de su carga para cumplir con un objetivo de calidad de servicio y posteriormente se trata de repartir estos recursos de forma que se reduzca la interferencia intercelular. De esta manera se mejora la eficiencia espectral cuando se compara con los esquemas clásicos (no dinámicos) de asignación de frecuencias; por otro lado, los segundos algoritmos emplean la metodología de *reinforcement learning* para encontrar asignaciones de frecuencias por celda que tratan de optimizar un determinado indicador de recompensa, esta metodología prueba distintas soluciones y aprende para converger a las mejores y descartar las peores en términos de recompensa. Por lo tanto, construyendo un indicador de recompensa que capture los objetivos de una asignación dinámica del espectro es posible aplicar esta metodología para encontrar asignaciones adecuadas.

La figura 6 muestra una comparación en términos de incumplimiento de la calidad de servicio y eficiencia espectral entre los esquemas FRF1, FRF3 y las dos estrategias dinámicas descritas. En estos resultados se parte de una distribución homogénea del tráfico entre las celdas y a partir de los 30 minutos se pasa a una distribución heterogénea, las estrategias dinámicas consiguen mantener la calidad de servicio en el sistema al mismo tiempo que se mantiene o mejora la eficiencia espectral.

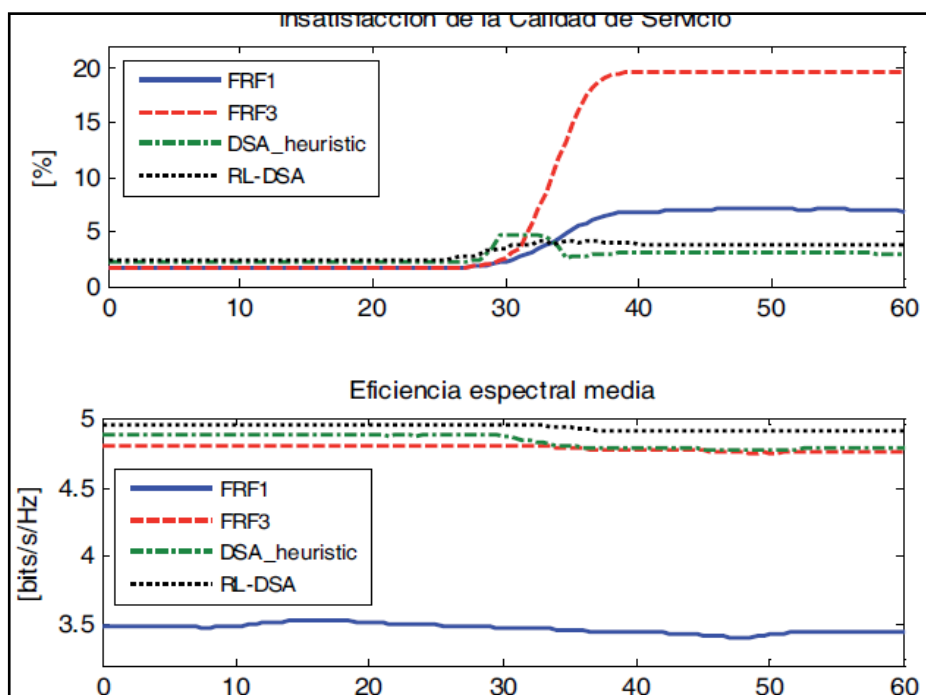


Figura 6. Comparación entre esquemas tradicionales de planificación y estrategias DSA

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3 SISTEMAS 4G CORE ACCESO

2.3.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

Los componentes del sistema LTE son, por un lado la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal y por otro lado la evolución del subsistema IMS concebido inicialmente con el contexto de los sistemas UMTS. Todos los componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo tanto EPC es una versión evolucionada del sistema GPRS.

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

redes de paquetes externas tales como plataformas IMS así como otras redes de telecomunicaciones como el Internet.

El interfaz de radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina E-UTRAN Uu, por otro lado, las plataformas de servicio como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP, se lleva a cabo mediante el interfaz SGI de la EPC. La interfaz SGI es análoga a la interfaz GI definida en las redes GPRS/UMTS y constituye el punto de entrada/salida al servicio de conectividad IP proporcionado por la red LTE. En la figura 7 se muestran algunos elementos de la red troncal que no son exclusivos de la red LTE sino también que pueden dar transporte a otros dominios de los sistemas 3GPP.

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.

Finalmente, 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 basada en IP. De esta forma, la red física que se utiliza para interconectar los diferentes equipos de una red LTE, y que se denomina comúnmente como red de transporte, es una red IP convencional. Por lo tanto la infraestructura de una red LTE, además de los equipos propios que implementan las funciones del estándar 3GPP, también integra otros elementos de red propios de las redes IP tales como *routers*, servidores DHCP para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP.

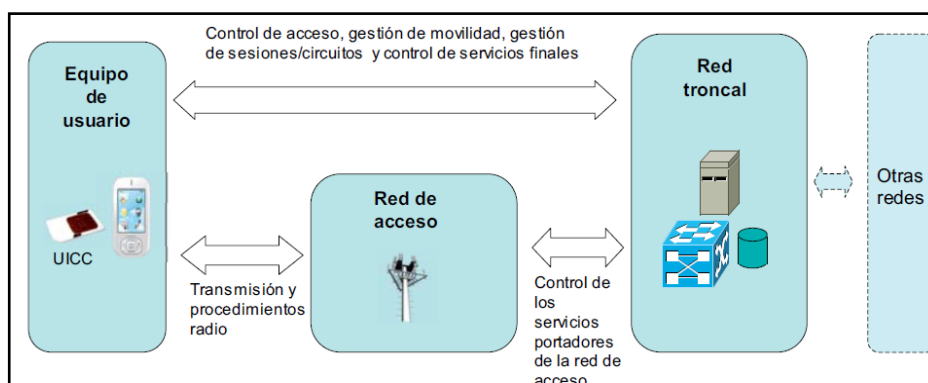


Figura 7. Arquitectura genérica de un sistema celular

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.2 ARQUITECTURA DE RED E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso, se compone de una única entidad de red denominada *evolved NodeB* (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN integrada toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS. Node B) y equipos controladores (BSC y RNC).

Una red de acceso E-UTRAN está formada por eNBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC.

Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces:

- E-UTRAN Uu
- S1
- X2

La interfaz E-UTRAN Uu, también denominada LTE Uu o simplemente interfaz de radio LTE, permite la transferencia de información por el canal de radio entre el

eNB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operatividad de la interfaz E-UTRAN Uu, se implementan en el eNB.

El eNB se conecta a la troncal EPC a través de la interfaz S1. 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. La separación entre el plano de control y el plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz. Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente. Esta separación entre el plano de control y plano del usuario en la interfaz S1, permite realizar la conexión del eNB con 2 nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1 MME, el eNB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control. Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario. Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío de tráfico de los usuarios (Agusti,R., Bernardo, F., Casadeval.,Ferrús,R., Pérez,J.,Oriol,R, 2010).

En la tabla 4 se muestra un resumen de las entidades de red E-UTRAN y se indican las principales especificaciones del 3GPP relacionadas con cada una de ellas.

Tabla 4.

Entidades de red e interfaces de E-Utran

Entidades de red	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP ¹⁾
	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 (MME)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	eNB Red troncal EPC (S-GW)	TS 29.281 [26]

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.2.1 Evolved NodeB (eNB)

El eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos el eNB realiza:

- Gestión de recursos de radio como son:
 - Control de admisión de los servicios portadores radio
 - Control de movilidad (ejm. Decisión de realizar un *handover*)

- Asignación dinámica de los recursos de radio tanto en el enlace ascendente como descendente
- Control de interferencias entre celdas
- Control de la realización y del envío de medidas desde los UEs
- Funciones de seguridad (servicios de cifrado e integridad)
- Selección dinámica de MMEs (plano de control) en la red troncal
- Scheduling y transmisión de señalización originada fuera de E-UTRAN tal como:
 - Señalización de paging (originada desde MME)
 - Información de sistema enviada en modo *broadcast* (originada desde MME o O&M)
 - Notificaciones/Avisos de sistemas de emergencia tales como ETWS y CMAS y de servicios MBMS (originada desde MME).

2.3.2.2 INTERFAZ RADIO

La interfaz radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal de radio:

- Difusión (*broadcast*) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda. La información enviada permite a los equipos del usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación.
- Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal de radio. Los servicios de transferencia entre el eNB y un equipo de usuario se denominan servicios de portadores radio (Radio Bearer RB). Es importante destacar que

estos servicios han sido diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos.

- Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y el equipo de usuario que permite gestionar el uso de los servicios portadores radio así como para realizar cualquier señalización.

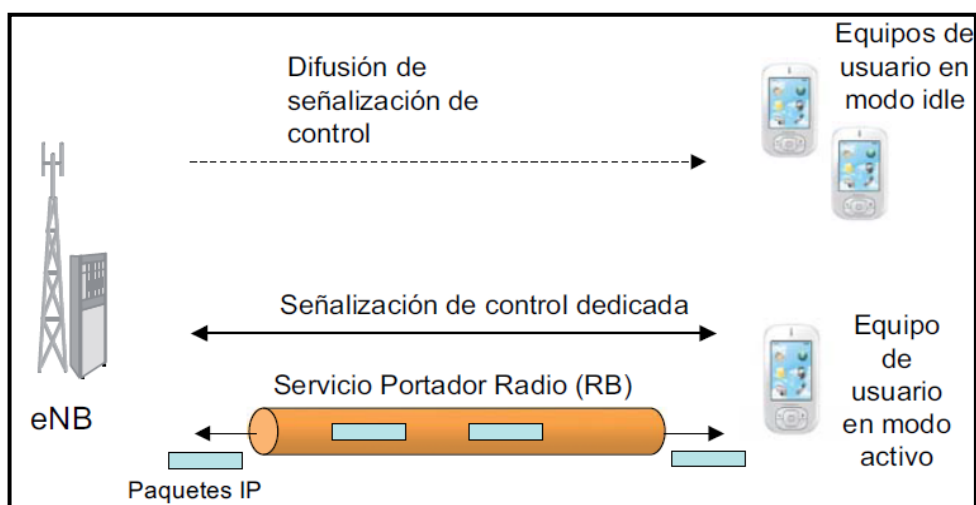


Figura 8. Ilustración de los mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.2.3 INTERFAZ eNB – EPC S1

El plano de usuario de esta interfaz, denominado S1-U (*S1 User Plane*), proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre el eNB y S-GW.

El plano de control, denominado S1-MME o también S1-C, se utiliza para soportar un conjunto de funciones y procedimientos de control entre eNB y la entidad MME de la red troncal entre los cuales tenemos:

- Procedimientos para establecimiento, modificación y liberación de recursos de los servicios portadores en E-UTRAN

- Gestión del “*UE-context*” en eNB
- Procedimientos de *handover* entre eNB y con otras redes de acceso
- Procedimiento de aviso (*Paging*)
- Procedimiento de envío de forma transparente entre MME y eNB de los mensajes de señalización NAS (Non Acces Stratrum)

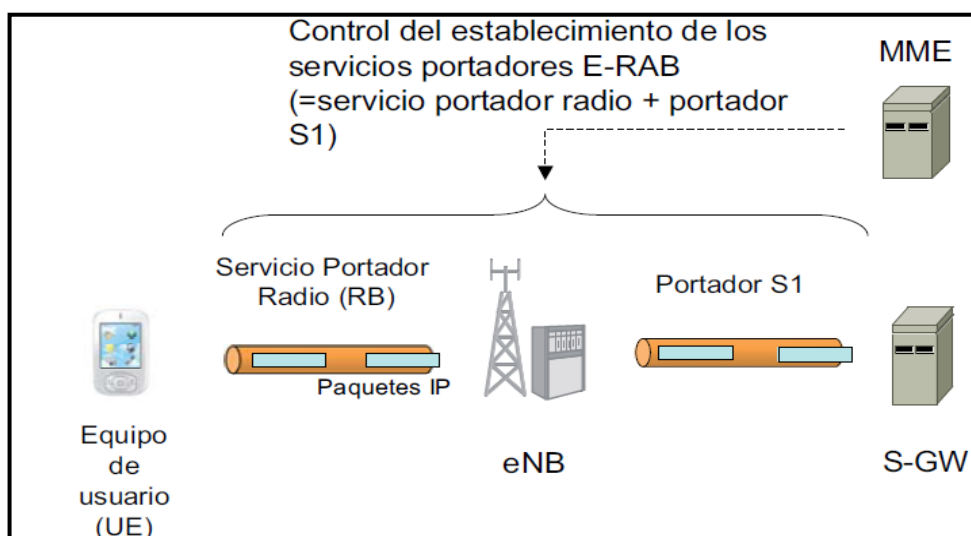


Figura 9. Control de los servicios portadores radio y S1 a través de la interfaz S1-MME

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.2.4 INTERFAZ eNB – eNB (X2)

Al igual que el plano de usuario de S1, el plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs sin garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se realiza únicamente durante los procedimientos de *handover* en los que los paquetes de usuario almacenados en el eNB antiguo se transfieren al eNB nuevo. De esta forma, el cambio de eNB asociado a un procedimiento de *handover* puede resultar más transparente al usuario ya que se reduce la posible pérdida de paquetes durante el proceso.

Entre las funciones y procedimientos soportados por la interfaz X2 tenemos:

- Soporte del mecanismo de *handover* entre eNBs.
- Indicación del estado de carga del eNB. A través de dicha interfaz, eNB'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.

2.3.3 PROTOCOLOS

Las torres de protocolos usadas en el interfaz E-UTRAN (radio, S1 y X2) se estructuran en torno a un plano de usuario para el envío del tráfico (paquetes IP) correspondiente a los servicios de los datos que acceden los terminales a través de la red. El plano de control se refiere a los protocolos necesarios para sustentar las funciones y procedimientos en las diferentes interfaces.

2.3.3.1 PROTOCOLOS EN LA INTERFAZ RADIO

El envío de paquetes entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz de radio se sustenta en una torre de protocolos formada por una capa de enlace (o capa de nivel 2) y una capa física. La capa de enlace se desglosa a su vez en tres subcapas:

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP).- Encargada de proporcionar el punto de acceso al servicio portador radio (RB).
- Radio link control (RLC).- Permite enviar de forma fiable los paquetes PDCP entre el eNB y el equipo de usuario. Para ello la capa RLC soporta funciones

de corrección de errores mediante mecanismos *Automatic Repeat ReQuest* (ARQ), concatenación, segmentación y re-ensamblado, entrega ordenada de paquetes PDCP a capas superiores, detección de duplicados y detección/recuperación de errores en el protocolo.

- *Medium Acces Control* (MAC).- Es la capa encargada de controlar el acceso al canal radio. Para ello, la capa MAC soporta funciones de *schedulling* dinámico entre equipos de usuario atendiendo a prioridades, multiplexa los paquetes RLC de diferentes servicios portadores radio en los canales de transporte ofrecidos por la capa física y realiza un control de errores mediante *Hybrid ARQ* (HARQ).

La capa física es la encargada de realizar la transmisión propiamente dicha a través del canal radio. Alberga funciones de codificación de canal, modulación, procesado asociado a las técnicas de múltiples antenas de transmisión/recepción, y mapeo de la señal a los recursos físicos frecuencia-tiempo apropiados. En el enlace ascendente, la capa física se basa en un esquema *single-carrier* FDMA.

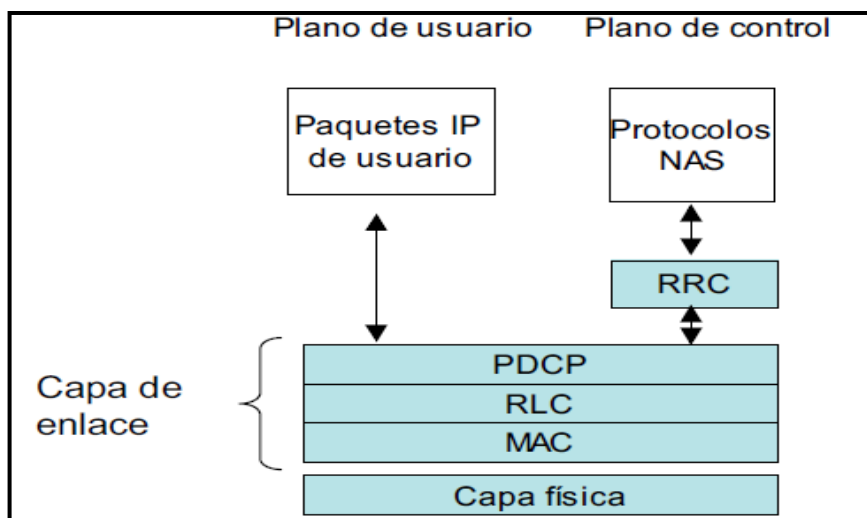


Figura 10. Protocolos de la interfaz radio de E-UTRAN

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

Respecto al plano de control entre el equipo de usuario y la red, éste se soporta sobre la misma capa de enlace y la misma capa física utilizada en plano de usuario.

Los protocolos de nivel de red específicos son:

- *Radio Resource Control (RRC)*. Esta capa permite establecer una conexión de control entre el eNB y un equipo de usuario a través de la cual se llevan a cabo un número importante de funciones relacionadas con la gestión operativa de la interfaz de radio.
- Señalización de los protocolos NAS. Los protocolos NAS se extienden entre la entidad de red MME en la red troncal y el equipo de usuario. Los mensajes de estos protocolos se transportan de forma transparente en la interfaz de radio encapsulados dentro de la parte de datos de los mensajes RRC. Las principales funciones de los protocolos NAS son: autenticación, autorización, gestión de movilidad de los terminales que no tienen una conexión RRC establecida y gestión de los servicios portadores de la red EPS.

2.3.3.2 PROTOCOLOS DE LAS INTERFACES S1 Y X2

La estructura de protocolos utilizados en la interfaz E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio (*Radio Network Layer, RNL*) y la capa de red de transporte (*Transport Network Layer, TNL*), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS ó LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada. De esta forma los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de información de la capa RNL entre las entidades de la red.

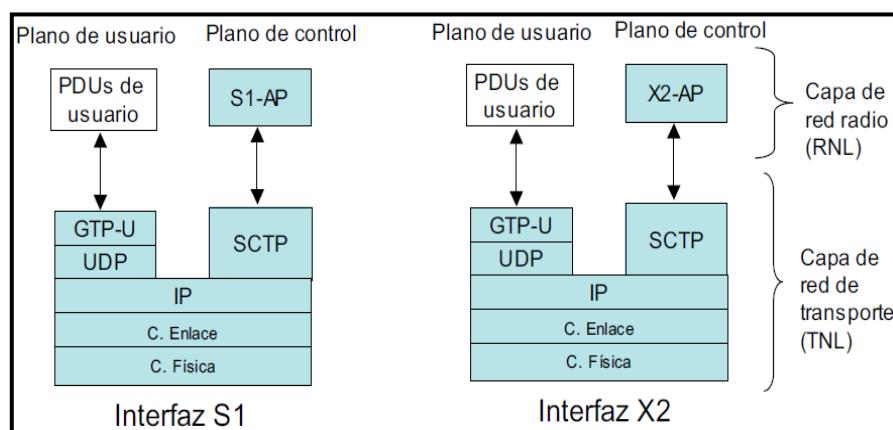


Figura 11. Protocolos en las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha)

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

Tanto el plano de usuario como la interfaz S1 (S1-U) como el interfaz X2 utilizan el protocolo de encapsulado GTP-U (*GPRS Tunneling Protocol – User plane*) para el envío de paquetes IP del usuario. El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en las redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal así como en el plano de usuario de la Interfaz Iu-PS de la

red de acceso UTRAN. En las interfaces S1-U y X2, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiple usuarios.

Respecto al plano de control de la interfaz S1 (S1-MME o S1-C), la capa de red radio consiste en el protocolo S1-AP (S1 – *Application Part*). Este protocolo es el que sustenta los procedimientos soportados en la interfaz S1. La transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia fiable que ofrece el protocolo de transporte *Stream Control Transmission Protocol (SCTP)*.

SCTP es un protocolo de transporte de propósito general estandarizado por IETF en la RFC4960 [9] que fue concebido originalmente para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. SCTP hereda muchas de las funciones contempladas en TCP a la vez que introduce importantes mejoras encaminadas a proporcionar mayor robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información. En particular, al igual que TCP, STCP dispone de mecanismos de control de flujo y de congestión de la conexión, denominada asociación en SCTP.

Respecto al plano de control de la interfaz X2, el protocolo utilizado para sustentar los procedimientos se denomina X2-AP (*X2 Application Part*).

2.3.4 PLANO DE USUARIO ENTRE UE Y EPC

En la figura 12 se ilustra el plano de usuario completo de E-UTRAN para el envío de paquetes IP entre el equipo de usuario UE y la red troncal (S-GW). Los paquetes IP contienen la información correspondiente al servicio que el usuario está

utilizando (voz, video, datos) así como la señalización a nivel de aplicación (protocolos SIP, RTCP, etc.). El eNB realiza funciones de “*relay*” entre la torre de protocolos PDCP/RLC/MAC/PHY de la interfaz de radio y la torre de protocolos de la interfaz S1-U. Es importante destacar que el eNB no realiza ninguna decisión de encaminamiento a partir de la información contenida en las cabeceras IP de los paquetes de usuario sino que simplemente se ocupa de su transferencia entre las dos interfaces atendiendo a los servicios portadores establecidos.

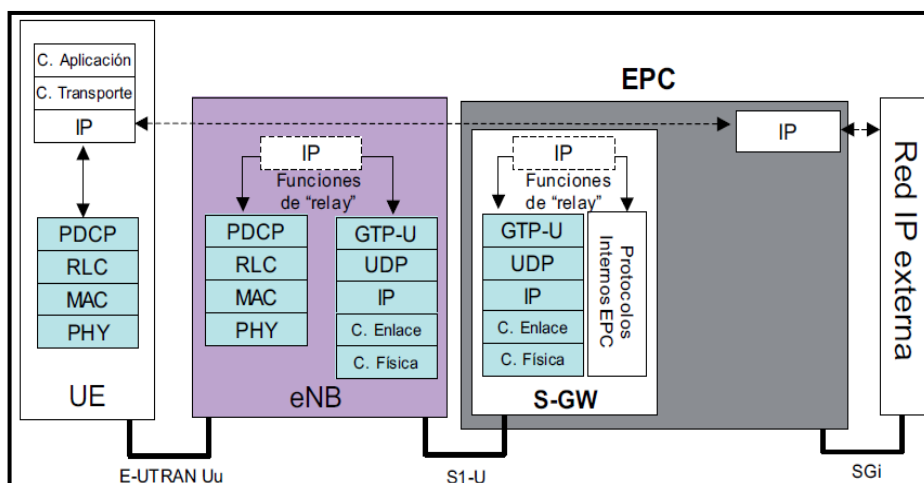


Figura 12. Protocolos del plano de usuario en E-UTRAN

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.5 PLANO DE CONTROL ENTRE UE Y EPC

En la figura 13 se muestra la torre de protocolos del plano de control para el envío de señalización NAS entre el equipo de usuario y la red troncal. Los protocolos NAS se transportan encapsulados dentro de mensajes RRC en la interfaz radio y en mensajes S1-AP en la interfaz S1-MME. El eNB realiza las funciones de “*relay*” necesarias entre ambas torres de protocolos

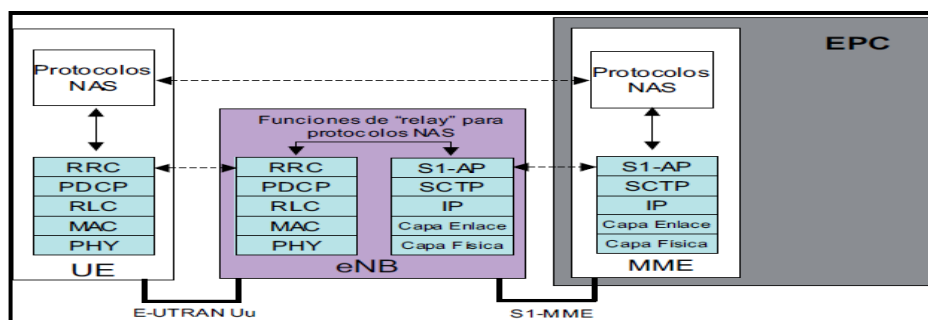


Figura 13. Protocolos del plano de control en E-UTRAN

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.6 COMPARATIVA E-UTRAN Y UTRAN

La arquitectura E-UTRAN presenta grandes diferencias con respecto a las redes de acceso UTRAN y GERAN. En la figura 14 se muestra a nivel ilustrativo un despliegue simple de una red E-UTRAN y una red UTRAN

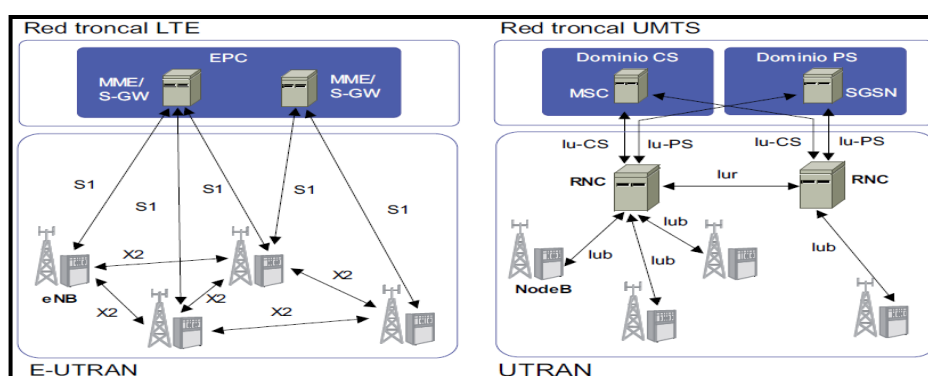


Figura 14. Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

Las redes de acceso anteriores a E-UTRAN se basan en una arquitectura jerárquica donde las funciones de la red de acceso se distribuyen en dos tipos de

nodos: estaciones base y equipos controladores de estaciones base. En esta arquitectura jerarquizada, los equipos controladores albergan el plano de control de la interfaz radio así como múltiples funciones del plano de usuario. Por otro lado las estaciones base se ocupan principalmente de las funciones de transmisión de radio (capa física) y su operación se gestiona de forma remota desde los equipos controladores. La interconexión entre estaciones base y controladores se realiza mediante una interfaz denominada Iub de forma que la topología de red resultante a nivel lógico es una topología en forma de estrella. Los equipos controladores también pueden conectarse entre sí mediante interfaces específicas como la interfaz Iur que, en el caso de UTRAN, permite la explotación del mecanismo de macrodiversidad entre dos nodos B que se encuentren conectados a RNC's diferentes. La interconexión de la red de acceso a la troncal se realiza a través de los equipos controladores mediante las interfaces Iu-PS, entre los RNCs y los nodos SGSNs del dominio de paquetes, y Iu-CS, entre RNCs y las centrales de conmutación MSC del dominio de circuitos.

E-UTRAN sigue una arquitectura plana, sin ningún nivel de jerarquización, los protocolos de radio se ejecutan íntegramente en los eNB. La interconexión de E-UTRAN con la red troncal se realiza en cada una de las estaciones base mediante la interfaz S1. Esto hace que el dimensionamiento de la red de acceso y de los equipos de la red troncal pueda hacerse de forma más flexible, permitiendo, por ejemplo que el tráfico cursado a través de los eNodeB se derive hacia el nodo de la red troncal más adecuado atendiendo a criterios de balanceo de cargas.

2.3.7 RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADA EPC

2.3.7.1 Arquitectura de EPC

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 E-UTRAN. Así mismo otro factor clave considerado en el diseño de esta arquitectura 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 de 3GPP cdma2000, WIMAX, 802.11.

La figura 15 muestra 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 de servicio de conectividad y de los mecanismos de tarificación.

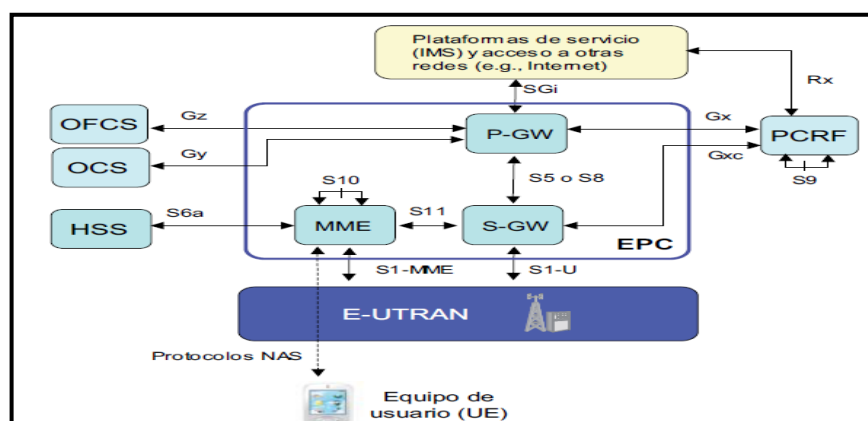


Figura 15. Arquitectura básica de la red troncal EPC

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

El núcleo de sistema EPC está formado por tres entidades de red:

- MME (*Mobility Management Entity*)
- SG-W (*Serving Gateway*)
- PG-W (*Packet Data Network Gateway*)

Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (*Home Subscriber Server*), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (S-GW y P-GW), mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

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. Asimismo la entidad MME se conecta a la entidad HSS a través de la interfaz S6a para acceder a la información asociada a los usuarios de la red que estén autorizados a establecer conexiones a través de E-UTRAN, las entidades MME también pueden comunicarse a través de ellas a través de la interfaz S10.

La interconexión de la EPC con redes externas o plataformas de servicio se realiza a través de la pasarela P-GW mediante la interfaz SGi. La pasarela P-GW

soporta funciones entre otras, de asignación, de direcciones IP a los equipos de usuario y mecanismos de control de los parámetros de calidad de servicio de las sesiones de datos establecidas a través de la red LTE. Internamente la pasarela P-GW, se conecta a la pasarela S-GW mediante la interfaz S5, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y mediante S8, cuando estas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de *roaming* o itinerancia.

La entidad de red PCRF (*Policy and Charging Rules Function*) constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, y en particular del sistema LTE. La entidad PCRF forma parte del marco funcional denominado PCC (*Policy and charging control*) que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE, así como realizar control de mecanismos de tarificación. Así pues mediante la interfaz Gx, el PCRF gestiona los servicios portadores EPS de la red LTE mediante el envío de unas reglas de uso que sirven para configurar la operación de unas funciones específicas del plano de usuario de la pasarela P-GW. La entidad PCRF es accesible desde las plataformas de servicio externas como IMS mediante la interfaz Rx. Dicha interfaz ofrece la funcionalidad de control necesaria para que los servidores de aplicación externos puedan proporcionar información asociada a los servicios finales a los que accede el usuario junto con las características y requerimientos de QoS.

Finalmente las entidades OFCS (*Offline Charging System*) y OCS (*Online Charging System*) constituyen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Ambas entidades interactúan directamente con la pasarela P-GW mediante la interfaz Gz, en el caso de OFCS, y Gy en el caso de OCS. El marco de tarificación soportado es un

marco flexible que permite desplegar modelos de tarificación en base a diferentes parámetros tales como tiempo de uso, volumen de datos, eventos, etc.

En la tabla 5 se resume las entidades de red e interfaces propias de EPC junto con otras entidades comunes de los sistemas 3GPP, en la tabla también se indica las especificaciones del 3GPP más relevantes relacionadas con cada una de ellas.

Tabla 5.

Entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN

	Denominación	Descripción	Referencias 3GPP ¹⁾
Entidades de red EPC	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE	TS 23.401 [5]
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal	TS 23.401 [14]
	P-GW	Pasarela para la interconexión con redes externas	TS 23.401 [14]
Entidades comunes a las redes 3GPP	Denominación	Descripción	
	HSS	Base de datos global del sistema (contiene, entre otros, los datos de suscripción de los usuarios).	TS 23.002 [1] TS 23.008 [16]
	PCRF	Elemento central del sistema de control de uso de la red (policy control) y control de tarificación	TS 23.203 [27]
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación on-line	TS 23.203 [27] TS 32.240 [28]
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas	
	S1-MME	MME E-UTRAN (eNB)	Documentos TS 36.41x
	S1-U	S-GW E-UTRAN (eNB)	TS 29.281 [26]
	SGi	P-GW Redes externas	TS 29.061 [17]
	S6a	MME HSS	TS 29.272 [25]
	S5/S8	P-GW S-GW	TS 29.274 [21] (opción GTP) TS 23.275 [24] (opción PMIPv6)
	S11	MME S-GW	TS 29.274 [21]
	S10	MME MME	TS 29.274 [21]
	Señalización NAS	UE MME	TS 24.301 [37] [37]
	Rx	PCRF Plataformas servicios	TS 29.214 [29]
	S9	PCRF PCRF	TS 29.215 [30]
	Gx/Gxc	P-GW/S-GW PCRF	TS 29.212 [31]
Gz/Gy	P-GW OFCS/OCS	Documentos TS 32.2xx	

Fuente: (Concepts, Junio2008)

2.3.8 TECNOLOGIAS DE NIVEL FISICO

LTE emplea las técnicas de acceso múltiple OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Acces*) y SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Acces*) para los enlaces descendente y ascendente, respectivamente.

2.3.8.1 Fundamentos de OFDMA

La técnica de transmisión OFDMA constituye un mecanismo de transmisión multi-portadora consistente en multiplexar un conjunto de símbolos sobre un conjunto de subportadoras. Gracias a las propiedades de ortogonalidad de dichas subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción.

Si bien esta técnica es ampliamente conocida desde los años 60, su aplicación práctica en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas es mucho más reciente, principalmente debido a la complejidad que involucraba en los equipos transmisores y receptores. Hoy en día es utilizada por sistemas tales como la Televisión Digital Terrestre según el estándar DVB-T o las redes inalámbricas de área local según los estándares IEEE 802.11 a/g, a la vez que constituye la base para la técnica de acceso múltiple OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Acces*) empleada en el sistema LTE. La característica fundamental de la técnica OFDM es el empleo de un conjunto de K sub-portadoras que presentan la propiedad de ser ortogonales. Asumiendo la notación de señales complejas dichas sub-portadoras pueden formularse en banda base como:

$$x_k(t) = e^{j2\pi k\Delta f t} \text{rect}_{T_s}(t) \quad 0 \leq k \leq K-1$$

Donde $f_{k=k\Delta f}$ es la frecuencia de la sub-portadora K-ésima y $rect_{T_s}(t)$ representa un pulso rectangular con duración con duración entre 0 y T_s . Por otra parte $\Delta f= 1/T_s$ es la separación entre sub-portadoras.

En la figura 16 se muestra un ejemplo con el módulo de los espectros correspondientes a un conjunto de 6 sub-portadoras OFDM

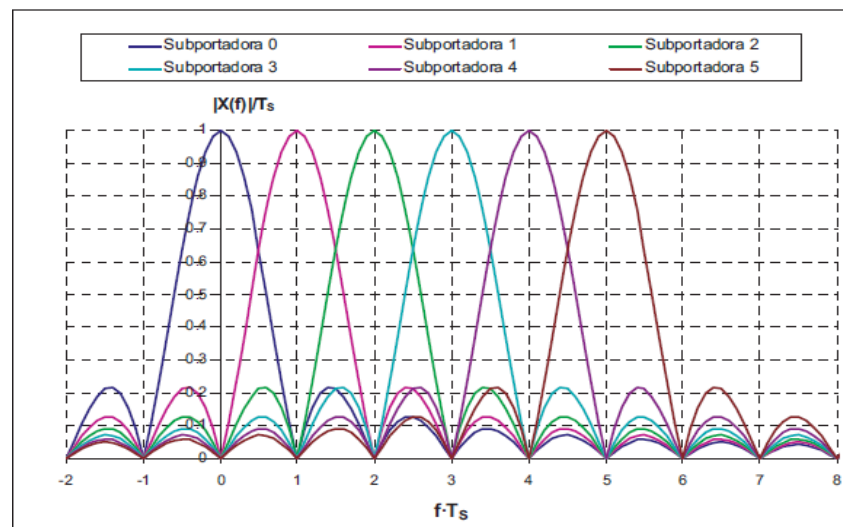


Figura 16. Ejemplo del espectro correspondiente a 6 sub-portadoras OFDM

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

Con el objeto de estudiar el principio de modulación de una señal mediante OFDM, considérese que se dispone de un conjunto de K símbolos complejos d_0, d_1, \dots, d_k que se desea transmitir simultáneamente, siendo T_s la duración de un símbolo, también denominada período de símbolo. Cada uno de dichos símbolos se modula mediante una de las sub-portadoras definidas en (2.14), tal y como se muestra en la Figura 17. La señal resultante del proceso, denominada símbolo OFDM, vendrá dada por:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} d_k e^{j2\pi k\Delta f t} \text{rect}_{T_s}(t) \quad (2.15)$$

Obsérvese que esta señal corresponde a la señal modulada en banda base. Habitualmente en un sistema de comunicaciones radio la señal $s(t)$ se trasladará a continuación a una frecuencia portadora f_0 a la que finalmente se efectuará la transmisión, dando lugar a la señal:

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} d_k e^{j2\pi(f_0 + k\Delta f)t} \text{rect}_{T_s}(t)$$

En consecuencia, la frecuencia de las sub-portadoras finalmente transmitidas pasa a ser

$$f_0 + k\Delta f, 0 \leq k \leq K-1$$

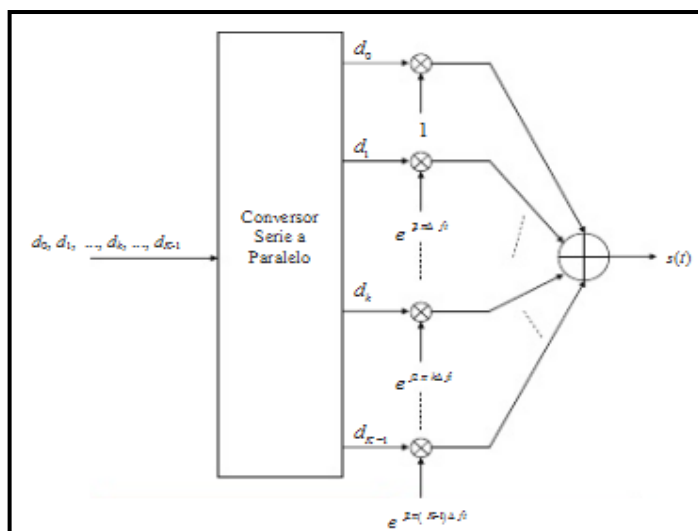


Figura 17. Modulación OFDMA de un conjunto de símbolos

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

2.3.8.2 OFDMA COMO TECNICA DE ACCESO MULTIPLE EN ENLACE DESCENDENTE

OFDMA es una técnica de acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal, por sus siglas en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. Con OFDMA cada banda de frecuencia disponible es dividida en miles de sub-bandas estrechas (*narrow sub-bands*). A cada par de comunicación (envío-recepción) se le asigna un sub set de 512 o más de estas sub-bandas, tal como se ve en la figura 18. De este modo se puede conseguir una transmisión de datos simultánea, a baja velocidad, de varios usuarios.

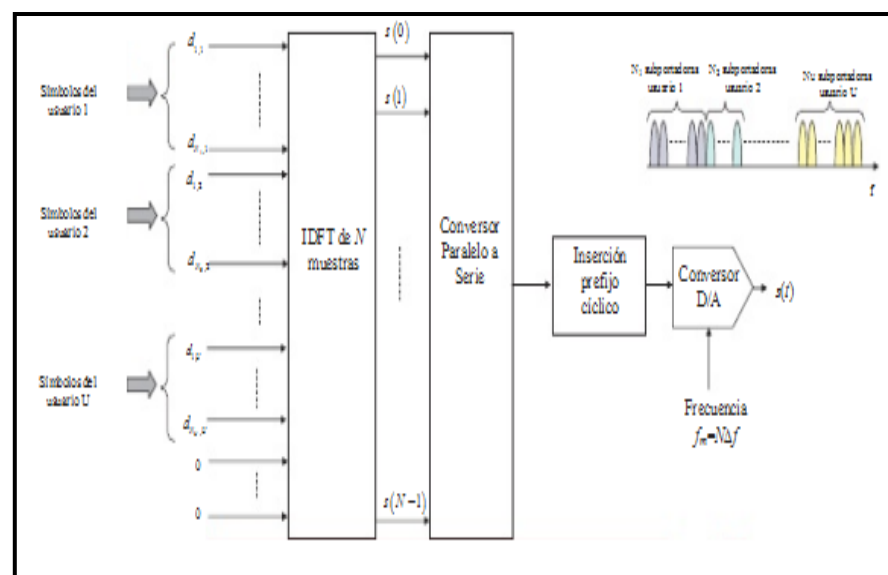


Figura 18. Multiplexación de usuarios en OFDMA

Fuente: LTE.Nuevas tendencias en comunicaciones móviles

La técnica de acceso múltiple OFDMA utilizada en el enlace descendente de LTE surge a partir de la modulación OFDM al considerar la posibilidad de que los diferentes símbolos modulados sobre la sub-portadora pertenezcan a usuarios distintos. De esta forma es posible acomodar varias transmisiones simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar en sub-portadoras

diferentes, como se indica en la figura 18 en donde existen D flujos de información correspondientes a diferentes usuarios siendo N_k el número de símbolos enviados para el usuario K -ésimo. Análogamente el receptor de cada usuario bastará con recuperar el contenido de las sub-portadoras asignadas a dicho usuario para separar la información destinada a este usuario de la del resto.

El empleo de la técnica de acceso múltiple OFDMA conlleva las siguientes ventajas:

Diversidad multiusuario: Mediante OFDMA la asignación de sub-portadoras a usuarios se lleva a cabo dinámicamente, pudiéndose cambiar en periodos cortos de tiempo dicha asignación a través de estrategias de *scheduling*. De esta forma teniendo en cuenta que el canal radio presentará desvanecimientos aleatorios en las diferentes sub-portadoras, y que dichos desvanecimientos serán independientes para cada usuario, se puede intentar seleccionar para cada sub-portadora aquel usuario que presente un mejor estado de canal (esto es, perciba una mejor señal al ruido) lo que traducirá en una mejor utilización de la banda disponible para conseguir una mayor velocidad de transmisión, esto es, una mayor eficiencia espectral. Este procedimiento se suele denominar *scheduling* en el dominio de la frecuencia.

Diversidad frecuencial: Esto es posible, debido a que se puede asignar a un mismo usuario sub-portadoras no contiguas, suficientemente separadas como para que el estado del canal en las mismas sea independiente, lo que proporciona diversidad frecuencial en la transmisión de dicho usuario ante canales selectivos en frecuencia.

Robustez frente a la propagación multicamino: Gracias a la aplicación del prefijo cíclico, la técnica OFDMA es muy robusta frente a la interferencia intersimbólica resultante de la propagación multicamino y se puede combatir la distorsión mediante técnicas de ecualización en el dominio de la frecuencia, que resultan más eficientes y menos complejas que las técnicas de ecualización clásicas en el dominio temporal, particularmente cuando se tiene que efectuar una transmisión de banda ancha y en consecuencia se está ante canales muy dispersos. Esto es particularmente relevante cuando se pretende emplear bandas de transmisión superiores a 5MHz, como ocurre con LTE, en que se pretende llegar hasta los 20 MHz.

Flexibilidad en la banda asignada: La técnica OFDMA proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de los requerimientos de servicio de cada uno, simplemente a base de la asignación de más o menos subportadoras por usuario. Nótese que esto puede llevarse a cabo sin ninguna modificación en el proceso de modulación solamente cambiando los valores de entrada sobre los que se efectúa la IDFT.

Elevada granularidad de los recursos asignables: Al subdividir la banda total en un conjunto elevado de sub-portadoras de banda estrecha que se asignan dinámicamente a los usuarios, se dispone de una elevada granularidad a la hora de asignar más o menos recursos a cada uno, lo que resulta útil para acomodar servicios con diferentes requerimientos de calidad.

Elevado grado de utilización de banda asignada: Gracias al empleo de la transmisión OFDM la transmisión multiplicadora se consigue con un espaciado

mínimo entre las diferentes sub-portadoras utilizadas sin que ello afecte a la recuperación de la señal transmitida.

Sencillez de implementación en el dominio digital: Esto es así gracias a la posibilidad de emplear chips que efectúan los procesos de FFT/IFFT de forma rápida.

2.3.8.3 SC-FDMA

Los procedimientos de gestión de recursos asociados al enlace ascendente para SC-FDMA son de hecho similares a los empleados por OFDMA en tanto que ambas técnicas de acceso se basan en unos principios de transmisión parecidos por lo tanto es necesario disponer de mecanismos de *scheduling* y de adaptación de enlace para saber cual son los recursos asignados en cada momento a un usuario, así como los formatos de modulación y codificación de canal a emplear.

Los parámetros definidos para SC-FDMA en el contexto del enlace ascendente para LTE presentan bastantes similitudes con las del enlace descendente, en tanto que la técnica de transmisión se basa en principios similares.

2.4 VELOCIDAD DE TRANSMISION

El servicio de conectividad IP proporcionado por el sistema LTE es un servicio que soporta calidad de servicio (*Quality of Service, QoS*). Así el trato que perciben los paquetes IP de una determinada conexión PDN en términos de, por ejemplo tasa de transferencia de bits/s, retardo de transmisión y tasa de pérdida de paquetes, puede adaptarse a las necesidades de transmisión de los servicios finales a los que accede el usuario. En este contexto, es importante tener en cuenta que a través del sistema LTE

pueden proporcionarse servicios finales de muy diferente índole que no requieren las mismas prestaciones del servicio de transmisión ejemplo, transmisión de audio y video en tiempo real, servicios de mensajería etc. Por lo tanto la adaptación de las prestaciones de QoS de las conexiones PDN a las características de los servicios finales permite al sistema LTE proporcionar una buena experiencia a los usuarios a la vez que posibilita una gestión eficiente de los recursos (no se reservan más recursos de transmisión de los estrictamente necesarios para satisfacer los objetivos de calidad de servicio).

La forma de gestionar la calidad de servicio en el sistema LTE se estructura en torno a la definición de lo que se denomina servicio portador EPS. Un servicio de portador EPS es un servicio de transferencia de paquetes IP que tiene asociados unos parámetros de QoS y la plantilla o filtro de paquetes (denominado como *Traffic Flow Template TFT*) utilizada para seleccionar el flujo de paquetes IP que debe recibir dicho trato de QoS. En este sentido el servicio portador EPS constituye la unidad mínima de resolución para la provisión de QoS: todos los paquetes IP que fluyen en la red asociados a un mismo servicio portador EPS reciben el mismo trato de QoS.

La implementación de un servicio portador EPS requiere que, en cada nodo de la red LTE donde se procesa el plano de usuario se establezca un contexto de información con los parámetros de QoS pertinentes así como la información necesaria (filtros, etiquetas) que permita la identificación del flujo de datos asociado al servicio portador en las diferentes interfaces de la red. Así cada servicio portador EPS tiene asociado un filtro de paquetes IP que se utiliza para seleccionar los paquetes que deben recibir el trato de QoS especificado. El filtro de paquetes recibe el nombre de TFT (*Traffic flow template*) y contiene atributos tales como: puertos de

los protocolos de transporte, direcciones IP y máscaras de subred de los nodos remotos; puertos locales de los protocolos de transporte; y campos específicos de calidad de servicio en las cabeceras del protocolo IP. El filtro de paquetes se instala en el equipo de usuario para filtrar el tráfico ascendente y en las pasarelas de red (P-GW o S-GW) para filtrar el tráfico dirigido al terminal.

Una vez identificados los paquetes IP asociados a un servicio portador mediante los TFTs, éstos se transportan a través de la red de forma que resulta posible identificar el servicio portador EPS al que pertenece cada uno de los paquetes IP enviados en todos los equipos de red que sustentan el plano de usuario.

2.4.1 MODELO DE QoS

El modelo de QoS delimita el comportamiento esperado del servicio de conectividad proporcionado por una red de transmisión de paquetes. La concreción del comportamiento esperado se materializa mediante la especificación de un conjunto de parámetros de QoS asociados a la obtención de unas determinadas prestaciones en términos de, por ejemplo tasa (bits/s), retardos de transferencia y tasa de pérdida de paquetes. La forma de delimitar el comportamiento admite diferentes grados de determinismo que condicionan el tipo de mecanismos necesarios para poder aplicar el modelo de QoS.

El comportamiento esperable en términos de prestaciones de QoS de un servicio portador EPS depende del tipo de servicio final que se curse a través de dicho servicio portador. A modo de ejemplo, el comportamiento de QoS exigible será completamente diferente en caso de cursar un servicio de VoIP y un servicio de navegación HTTP. Asimismo, la cantidad de recursos de transmisión y la operativa

de asignación dinámica de los mismos también será completamente diferente en ambos casos. Adicionalmente, los parámetros de QoS exigibles al servicio portador pueden también fijarse en función del tipo de usuario. De esta forma, el soporte de QoS puede explotarse también para diferenciar entre usuarios en función. Bajo esta perspectiva, para un mismo servicio, el operador de la red LTE puede ofrecer un comportamiento del sistema diferente para, por ejemplo, usuarios de negocios frente a usuarios convencionales, usuarios de contrato, frente a usuarios pre-pago, usuarios privilegiados en situaciones de emergencia (policía, bomberos), etc.

En LTE el modelo de QoS utilizado para definir el comportamiento de un servicio portador EPS se basa en la especificación de un máximo de cuatro parámetros. Además de estos cuatro parámetros, el modelo de QoS se complementa con dos parámetros adicionales asociados a la subscripción de un usuario. En la figura 19 se esquematiza el conjunto completo de parámetros de QoS considerado en el sistema LTE.

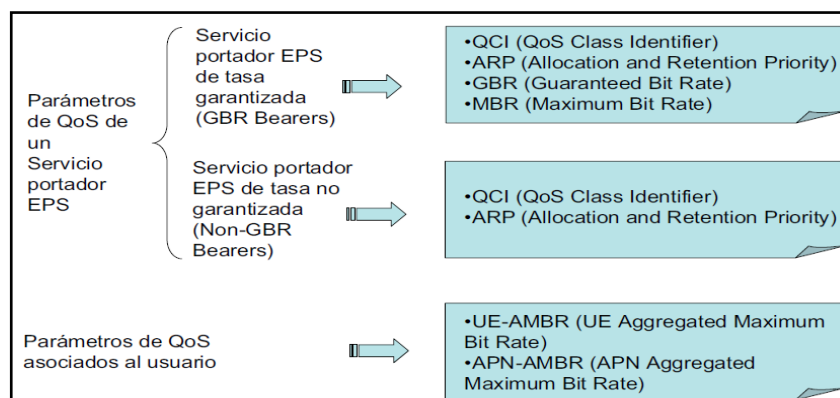


Figura 19. Parámetros de QoS en el sistema LTE

Fuente: LTE Nuevas Tendencias de comunicaciones móviles

Cada servicio portador EPS siempre tiene asociados como mínimo dos parámetros QCI (*QoS Class Identifier*) y ARP (*Allocation and Retention Priority*). De forma general el parámetro QCI determina el comportamiento del plano de usuario del servicio portador EPS mientras que el parámetro ARP aplica a la operativa del plano de control. Adicionalmente algunos servicios portadores denominados como servicios de tasa garantizada (GBR Beares) especifican también un parámetro de tasa media garantizada (GBR) y otro de tasa máxima permitida (MBR). En la tabla 6 se muestra algunos valores de QCI estandarizados aplicables a cualquiera que sea la red de acceso.

Tabla 6.

Valores de QCI estandarizados

QCI	Tipo de recurso	Prioridad ¹⁾	R e t a r d o Paquete ²⁾	Tasa de pérdida de paquetes ³⁾	Ejemplo de servicio
1	GBR	2	100ms	10 ⁻²	Voz
2	GBR	4	150ms	10 ⁻³	Videoconferencia
5	Non-GBR	1	100ms	10 ⁻⁶	Señalización IMS
6	Non-GBR	6	300ms	10 ⁻⁶	Videostreaming

Fuente: (Concepts, Junio2008)

2.5 TERMINALES

2.5.1 DISPOSITIVO DE INNOVACIÓN

La computación en sí es cada vez más móvil las computadoras portátiles y los teléfonos inteligentes son ahora frecuentes. De hecho, todos los teléfonos móviles se están convirtiendo en "inteligentes", con algún tipo de capacidad de datos, y los principales fabricantes de portátiles están ofreciendo equipos con 3G integrado (por

ejemplo HSPA). Los módems están disponibles en múltiples formatos, incluyendo dispositivos USB, tarjetas de PC y tarjetas Express.

Los fabricantes de computadoras también están creando nuevos equipos, tales como *tablets*, *netbooks*, dispositivos móviles de Internet (MID) y *smartbooks*. Esta evolución asociada con las redes, permite que un mayor número de empresas desarrollen productos que utilicen las redes inalámbricas en los dos escenarios de mercados verticales y horizontales en el mercado. De acuerdo con un reciente informe de *Concepto Forward*; mundialmente, se espera un crecimiento del mercado de telefonía de alrededor de 305.000 envíos en 2008 a 40 millones en 2012. (Concepts, Junio2008)

Los teléfonos celulares son cada vez más potentes y cuentan con grandes pantallas táctiles a color, los procesadores gráficos, cámaras fotográficas, cámaras de video, reproductores de MP3, clientes de mensajería instantánea, clientes de correo electrónico, etc.

Mientras tanto, los teléfonos inteligentes, hacen hincapié en un desarrollo de ambientes de computación muy ricos, representando la convergencia del asistente personal digital, un ordenador móvil completamente capaz, y un teléfono, en un dispositivo que es sólo ligeramente más grande que el teléfono celular promedio. Muchos usuarios prefieren llevar un dispositivo que "lo hace todo." *Smartphones*, originalmente destinados para la gama alta del mercado, ahora están disponibles a precios mucho más bajos y por tanto asequibles para un segmento de mercado mucho más grande. *Ovum* predice que los teléfonos inteligentes constituirán el 29% de los

del parque total para el 2014. (Leach, Junio 2009) Esto demuestra el gran potencial de este mercado.

2.5.2 CATEGORIAS DE LOS TERMINALES

Se han definido cinco categorías diferentes de terminal móvil dependiendo de la capacidad MIMO, de la máxima velocidad de transmisión de pico y de la capacidad de procesamiento del terminal móvil. En la tabla 7 se resumen las características más relevantes de las diferentes categorías tanto para el caso del enlace descendente como ascendente.

Tabla 7.

Parámetros de la capa física del terminal

Categoría	Enlace descendente				Enlace ascendente	
	Número máximo de bits recibidos por TTI	Número máximo de bits transportados por un DL-SCH en un TTI	Máximo número de antenas transmisoras en el caso de multiplexado espacial	Velocidad de pico ³ (Mb/s)	Número máximo de bits recibidos por TTI	Velocidad de pico (Mb/s)
1	10296	10296	1	≅ 10	5160	≅ 5
2	51024	51024	2	≅ 51	25456	≅ 25
3	102048	75376	2	≅ 102	51024	≅ 51
4	150752	75376	2	≅ 150	51024	≅ 51
5	299552	149776	4	≅ 300	75376	≅ 75

Fuente: (Concepts, Junio2008)

En el caso del multiplexado espacial, el número máximo de bits recibidos por TTI (1ms) es la suma de los bits recibidos por los diferentes DL-SCH considerando los diferentes caminos de propagación virtuales establecidos. Por otra parte en la tabla 7, la columna con el número máximo de bits transportados por un DL-SCH en un TTI indica el máximo número de bits transportados en un único DL-SCH, es decir, sin considerar multiplexado espacial.

En la tabla 7, también se resume las características más relevantes de las diferentes categorías de terminales en el caso del enlace ascendente. Los terminales móviles de categoría 1 a 4 utilizan un formato de modulación 16 QAM mientras que los terminales móviles de categoría 5 utilizan el formato de modulación 64 QAM. Con en el caso del enlace descendente las cifras mostradas en la tabla se calculan sin tomar en consideración la influencia de los mecanismos de HARQ ni los efectos de la propagación ni del acceso multiusuario. Por consiguiente la velocidad de pico indicada es un valor máximo teórico no el valor de la velocidad de transmisión efectiva vista por el usuario.

CAPITULO III

DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA RED LTE EN LA CIUDAD DE QUITO:

La estrategia de diseño para una red LTE, generalmente viene siendo ideada por los operadores celulares, basada en un *overlay* progresivo de las redes GSM y UMTS existentes. Su estrategia es brindar cobertura en las zonas de mayor demanda de servicio en las primeras fases, hasta alcanzar un *overlay* de un máximo aproximado de 50 a 60% de la cantidad de emplazamientos existentes, según diferentes condiciones de interferencia y cobertura.

A diferencia de las tecnologías FDMA o TDMA, la planificación de una red LTE, se basa en la relación directa entre la cobertura y la interferencia, afectando la capacidad ofrecida, por tal razón es necesario, desde el inicio del diseño, tomar en cuenta ambos elementos, con el fin de alcanzar un diseño apropiado. Es importante, resaltar esta condición, toda vez que cualquier esfuerzo por mejorar la cobertura puede generar aparición de interferencia y cualquier intento de controlar la interferencia puede crear vacíos de cobertura.

Durante la etapa de elección de los emplazamientos iniciales de despliegue se deberá considerar, las condiciones especiales a nivel de interfaz de aire para redes LTE, teniendo presente que gran parte del éxito en el diseño inicial de la red depende de la correcta elección de los emplazamientos iniciales. Es por esta razón que se procuran evitar las celdas tipo paraguas, y se escogen los sitios de forma tal que sus coberturas no presenten zonas de traslape muy grandes, considerando el

correcto balance entre la interferencia y la cobertura como se mencionó anteriormente. Es muy importante considerar la opción de no utilizar en la etapa de diseño aquellos emplazamientos que presentan coberturas muy extensas por encontrarse ubicados en zonas demasiado altas, y cuyo control en tecnologías como TDMA y GSM, son realizadas por niveles jerárquicos.

3.1 COBERTURA

La planificación de cobertura es un importante paso en el despliegue de la red celular. Este proceso incluye la selección del modelo de propagación adecuado, tomando en cuenta la zona geográfica, así como la frecuencia en la que se desplegará la red celular, debido a la complejidad del terreno y de la de la interfaz de radio LTE, es muy importante ayudarse de las herramientas de predicción disponibles en el mercado que dan una muy buena aproximación sobre la cobertura esperada en un área geográfica determinada.

En base a los resultados de las simulaciones, el Ingeniero de Radiofrecuencia podrá cambiar los lugares de los emplazamientos, alturas de las antenas, orientaciones y *tilts*, para lograr el equilibrio, entre cobertura y calidad, sin descuidar además el número de sitios máximos requeridos para cubrir el área geográfica.

Inicialmente en la planificación celular se elegía los sitios candidatos, a través de una grilla, en la cual se podía ubicar los sitios suponiendo una cobertura hexagonal perfecta, sin embargo, este es un cálculo muy teórico que al momento de realizar la búsqueda del sitio y posterior contratación e instalación resulta inviable, debido a factores externos como son: políticos, humanos, económicos que finalmente juegan un papel decisivo en el despliegue de una red celular, por lo tanto los nuevos lugares

escogidos, cumplirán parcialmente con su grilla inicial y deberán ser sujetos de un proceso de optimización posterior al despliegue. Los eNB generalmente son de tres sectores con una antena colocada en cada sector, este sistema utiliza la misma frecuencia portadora y por lo tanto dependerá de su aleatoriedad y los códigos de pseudo ruido (PN) para distinguir entre los usuarios y los sitios, así como para establecer la sincronización entre el móvil y el eNB.

3.1.1 LINK BUDGET

El “*link Budget*”, es un cálculo en el que se incluye todas las pérdidas y ganancias que puedan existir en el enlace de transmisión, para garantizar la detección de la señal en el receptor. Cada tecnología consta de valores propios de sensibilidad del receptor, sin embargo, existen valores constantes como son las ganancias de las antenas, las pérdidas de espacio libre, que no varían con la tecnología. Adicionalmente este análisis se debe realizar también tomando en cuenta el tipo de terreno, ya que la propagación de la señal no será igual en ambientes densamente urbanos que en ambientes rurales.

Para el caso particular del diseño de la red LTE en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), inicialmente se ha definido la banda de frecuencia en la cual se desplegará la red. Según la resolución de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones con respecto al plan de nacional de frecuencias de Julio de 2012, en el apartado denominado Notas Nacionales se enuncia: EQA 85: “En las bandas 698 – 806 MHz, 824 – 849 MHz, 869 – 894 MHz, 1 710 – 2 025 MHz, 2 100 – 2 200 MHz y 2500 – 2690 MHz operan exclusivamente sistemas IMT (*International Mobile Telecommunications*) para los servicios FIJO y MOVIL. Los

sistemas de audio y video por suscripción bajo la modalidad de televisión codificada terrestre (UHF codificado y MMDS) concesionados en las bandas de 698 – 806 MHz y 2 500 – 2 689 MHz respectivamente, podrán continuar su operación hasta la vigencia de su contrato de concesión” (Ecuador, 2012) El documento completo, se presenta en el anexo 1.

En base a esta resolución y al ser este un proyecto teórico, se ha definido que se usará la banda de frecuencias de los 2 600 MHz, debido a que es el peor escenario en términos de número de emplazamientos necesarios para brindar niveles de servicio adecuados a la tecnología, es decir, si el operador logra obtener la concesión de una banda más baja, sin duda su inversión se reducirá significativamente ya que deberá desplegar un menor número de eNB.

Tomando en cuenta la utilización de la banda de los 2 600 MHz, se procede a investigar los valores de sensibilidad de equipos, pérdidas y ganancias dados por los fabricantes.

Ya que el cálculo de “*Link budget*” varía con respecto a la zona geográfica, se ha optado por realizar el cálculo de pérdidas y ganancias en las siguientes ambientes:

- Denso Urbano.- Zona comercial con alta densificación y concentración de personas, construcciones en su mayoría de edificios mayores a 5 pisos.
- Urbano.- Zona residencial – comercial, con menor número de habitantes por kilómetro cuadrado que la densa urbana, y combinación de edificios altos y casas.
- Sub Urbano.- Zona residencial con menor número de edificios y menor número de habitantes por kilómetro cuadrado, existen áreas verdes.

- Rural.- Zona residencial con gran cantidad de espacios verdes, no existen edificios y la cantidad de personas por kilómetro cuadrado es mucho menor a las anteriores.

Los parámetros a considerar en el cálculo de *link budget* son:

Frecuencia de Operación.- Como se indicó anteriormente, el presente proyecto utilizará 20 MHz de la banda de frecuencias de los 2 600 MHz.

Altura de la antena del eNode B.- La altura a la que se ubicarán las antenas depende exclusivamente de la zona geográfica que se va a cubrir, para la ciudad de Quito, los valores típicos son los que se muestra en la tabla 8

Tabla 8.

Valores típicos de alturas de antena

	Denso Urbano	Urbano	Sub urbano	Rural
Altura de la antena eNode B (m)	24,00	15,00	30,00	60,00

Altura de la antena del terminal.- El valor promedio de altura desde el piso hasta el terminal es de 1.5 metros.

Pérdidas por penetración.- Estas pérdidas son aquellas que dependen de algunos elementos externos a la tecnología como son: la forma de construcción del edificio variando sus pérdidas con el tipo de estructura, número de pisos, tamaño de las ventanas, ubicación del terminal dentro del edificio, etc.

Adicional a las características de construcción de las edificaciones la frecuencia de operación del sistema celular aporta también en buena medida a la hora de calcular las pérdidas por penetración. Una fuente adicional de pérdidas aunque en

menor importancia es también la vegetación y los automóviles. Para el caso de la ciudad de Quito y tomando en cuenta que la frecuencia de operación será de 2 600 MHz, las pérdidas por penetración estimadas son las siguientes:

Tabla 9.

Pérdidas por penetración

	Denso Urbano	Urbano	Sub urbano	Rural
Pérdidas por penetración (dB)	20,00	15,00	10,00	5,00

Ganancia de la antena.- La antena de transmisión del terminal es omnidireccional con una ganancia de 0 dBd. En algunas aplicaciones específicas, el proveedor de servicios podrá proporcionar antenas externas omnidireccionales o directivas para una conexión remota, afectando directamente al cálculo de “*link Budget*” y generalmente este arreglo busca disminuir las pérdidas por penetración.

Desviación estándar compuesta.- La desviación estándar compuesta, es un conjunto de pérdidas resultante de la combinación del desvanecimiento de la señal en el exterior, penetración y desvanecimiento en el interior. La fórmula para calcular esta desviación estándar es:

$$ssh = \sqrt{o^2 + p^2 + i^2}$$

Donde ssh es una función del área de cobertura (terreno y obstrucción por cuerpo) y no depende de la velocidad del móvil, o es el desvanecimiento lento (por sombra) y tiene una distribución log – normal con la desviación estándar, p es la pérdida por penetración, i es la medida de desvanecimiento dentro de la construcción.

La desviación estándar compuesta es de alrededor de 8 dB (4 a 10 dB es el rango aceptado por la industria para la desviación estándar con desvanecimiento en el exterior) si se usan antenas directivas y existe línea de vista. Si el terminal es instalado cerca de una ventana entonces la desviación estándar con desvanecimiento en el interior es menor que si el terminal estuviera localizado en lo más profundo de la construcción. La tabla 10 muestra las desviaciones estándar por sombra para varios escenarios.

Tabla 10.

Desviación estándar por sombra

Coverage area classification	Coverage Type	Shadowing standard deviation		
		Mobility	Fixed w/ Internal Terminals	Fixed w/ External Terminals
Dense Urban	In-building (Offices)	10	9	8
Urban	In-building (Offices)	10	9	8
Suburban	In-building (Houses)	8	8	8
Rural	In-building (Houses)	8	8	8
Highway	In-vehicle	8	-	-
Highway	Out-door	8	8	8

Fuente: Tesis: “Diseño y planificación de cobertura celular CDMA 2000 1X mediante un sistema repetidor – BTS para la Carretera Aloag – Santo Domingo”

Para explicar la variación de la potencia transmitida, otra desviación estándar debe ser incluida en el cálculo del margen de desvanecimiento. Este margen es calculado cerca del borde la celda, cuando los móviles alcanzan su máximo nivel de potencia de transmisión y por lo tanto se exige aumentar su potencia. Basados en los resultados de la simulación, la variación de la potencia transmitida tiene una desviación estándar de $r = 4$ dB. Este valor es menor para los sistemas inalámbricos

móviles que para los sistemas inalámbricos fijos porque el desvanecimiento es más rápido, y la potencia de transmisión no rastrea una desviación grande de desvanecimiento. Entonces la desviación estándar compuesta es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la desviación estándar y la desviación por potencia del transmisor, es decir:

$$\text{comp} = \text{sqrt}(\text{ssh}^2 + r^2)$$

Para el caso particular de LTE los fabricantes de equipos recomienda los siguientes valores de desviación estándar compuesta:

Tabla 11.

Desviación estándar compuesta

	Denso Urbano	Urbano	Suburbano	Rural
Desviación estándar combinada (dB)	9,00	8,00	8,00	7,00

Calidad de servicio en el borde de la celda.- La calidad de servicio (QoS) de un sistema celular es la probabilidad que el nivel de potencia de señal recibido instantáneo es mayor que un umbral (Pth). Alternativamente, si una medida está repetida encima de 100 veces, solo un porcentaje en promedio se encontrará en el criterio de diseño (el nivel de señal recibido es mayor que Pth). Este porcentaje es conocido como el área de confiabilidad. El terreno y el hombre pueden obstruir al transmisor y causar una medida local de potencia fluctuante. Estos parámetros tienen un gran impacto en el “*link budget*” y tienen que ser seleccionados cuidadosamente.

La figura 20 muestra la relación entre el margen de desvanecimiento y la confiabilidad del borde de celda para varios valores de desviación estándar.

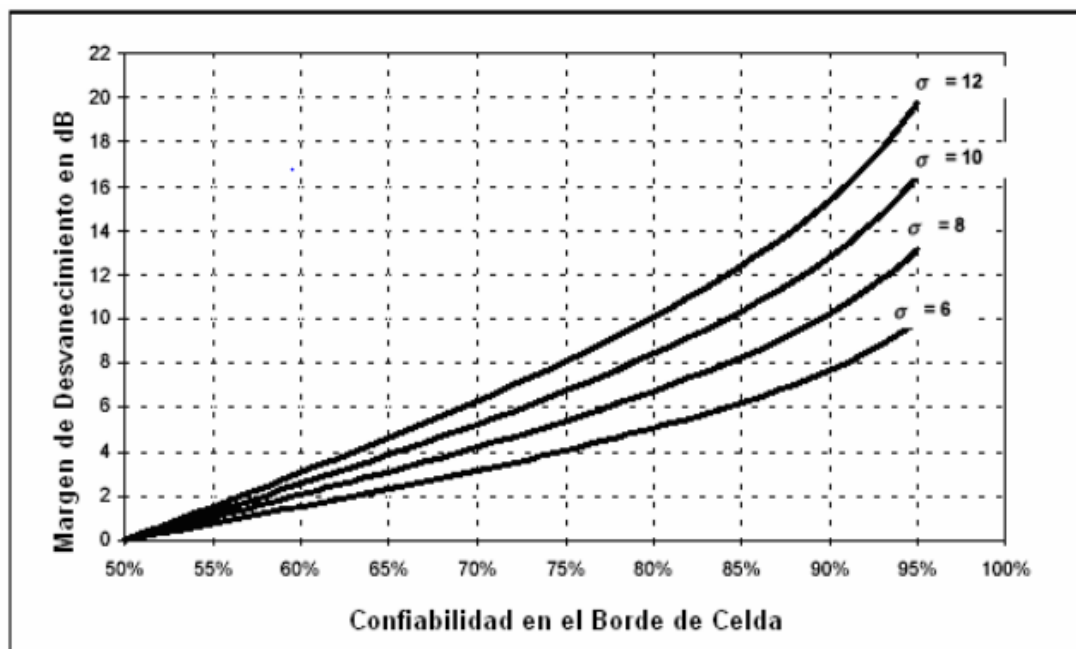


Figura 20. Margen de desvanecimiento vs confiabilidad en el borde de celda para valores de desviación estándar de 6, 8, 10 y 12 dB

Fuente: Tesis: “Diseño y planificación de cobertura celular CDMA 2000 1X mediante un sistema repetidor – BTS para la Carretera Aloag – Santo Domingo”

El QoS típico para sistemas móviles es de 75% en el borde de la celda.

El margen de desvanecimiento usado para el siguiente proyecto se muestra en la tabla 12.

Tabla 12.

Margen de desvanecimiento

	Denso Urbano	Urbano	Suburbano	Rural
Margen de desvanecimiento (dB)	8,40	7,20	7,20	6,00

Confiabilidad del borde Vs Confiabilidad del área.- La probabilidad de que la señal recibida en el borde de la celda sea mayor que su valor de potencia medio, es la confiabilidad en el borde. La confiabilidad en el área es el porcentaje de interacciones dentro del radio celular (R) en el que el nivel de señal recibido excede un cierto valor del umbral. Este umbral es normalmente el promedio de la señal de potencia y se puede usar como criterio alternativo a la confiabilidad en el borde de la celda. En la figura 21 se muestra una tabla en la que se visualiza los valores de confiabilidad en el borde de la celda versus la confiabilidad en el área.

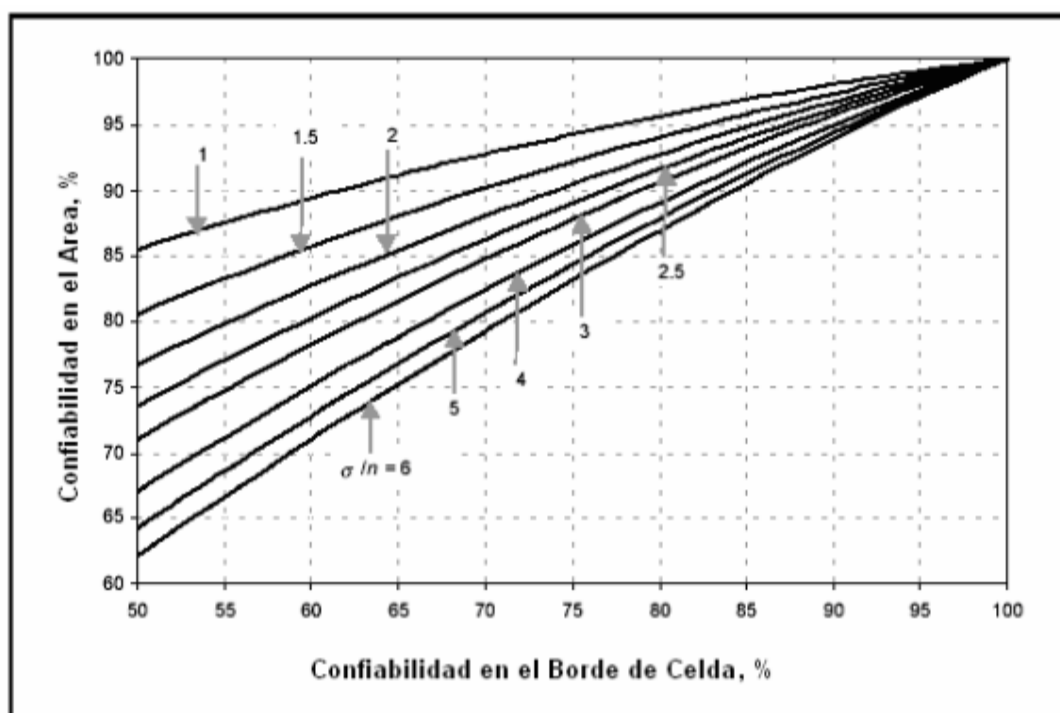


Figura 21. Confiabilidad en el borde de la celda vs confiabilidad en el área

Fuente: Tesis: “Diseño y planificación de cobertura celular CDMA 2000 1X mediante un sistema repetidor – BTS para la Carretera Aloag – Santo Domingo”

Para este proyecto y en base a recomendaciones de los fabricantes se usará el valor de 93% de confiabilidad en el borde de la celda.

Pérdidas por cable.- La pérdida por cable, depende de la longitud, tamaño y tipo de cable entre el puerto de la antena y el puerto del equipo de RF. La pérdida por cable también depende de la frecuencia de funcionamiento. Para calcular las pérdidas del cable dado la altura de la antena, distancia del cable y características técnicas de los “*jumpers*”, se utiliza la siguiente fórmula:

Pérdida de cable (dB) = Atenuación del cable (dB/m) * longitud del cable (m) * atenuación del jumper (dB/m) + pérdidas por inserción de los conectores + pérdidas por protección.

Típicamente, para los sistemas celulares de primera y segunda generación el valor por pérdidas de cables asumidos era de 3 dB, sin embargo, los equipos de tercera generación (UMTS) y cuarta generación (LTE) sugieren la utilización de fibra óptica entre el nodo y el módulo de RF, así como la instalación del módulo de RF lo más cercano a la antena para de esta manera evitar este tipo de pérdidas, por lo tanto para la realización de este proyecto se asume 0 dB de pérdidas.

Ganancia de la antena del eNode B.- La selección de la antena depende principalmente de los tipos de coberturas, Así para áreas limitadas por interferencia una antena con un estrecho lóbulo de radiación (en el orden de 65 grados en el plano horizontal) es a menudo el indicado. Para áreas limitadas por cobertura una antena con un ancho lóbulo de radiación (en el orden de 90 grados en el plano horizontal) es el recomendado. “*Down tilt*” eléctrico y mecánico son requeridos cuando se instala antenas con lóbulos de radiación muy estrechos, ya que ayudan a controlar la cobertura y permiten direccionar de mejor manera la señal de radiofrecuencia.

La clasificación de un área limitada por interferencia o cobertura, es basada en los niveles de señal medidos así como en las pérdidas de trayectoria, predecir qué áreas serán limitadas por interferencia y cuales por cobertura antes de realizar el diseño real resulta complicado, por lo tanto, se asume que los sitios densamente urbanos y urbanos estarán limitados por interferencia mientras que los sitios rurales y carreteras estarán limitados por cobertura. En el caso particular de este proyecto, se asume que los sitios estarán limitados por interferencia, por lo tanto se usará antenas de lóbulo estrecho (65 grados). La ganancia típica para este tipo de antenas es de 18 dBi.

Ganancia por procesamiento.- Este valor de ganancia de procesamiento, es debido a la optimización de la red LTE en el proceso de modulación y los valores típicos recomendados por los fabricantes son:

Tabla 13.

Ganancia por procesamiento

	Denso Urbano	Urbano	Sub urbano	Rural
Ganancia por procesamiento (dB)	2,70	2,30	2,30	2,00

3.1.2 DISEÑO DE eNode B

Para realizar el diseño de la red celular es necesario inicialmente conocer el radio teórico de una celda, para los diferentes tipos de terrenos, ya que éstos a su vez contarán con sus características propias de atenuación y penetración de la señal, existen en el mercado algunos modelos empíricos que mediante ecuaciones matemáticas logran entregar una primera aproximación y de esta manera realizar un

primer modelamiento teórico y conocer inicialmente el número de emplazamientos necesarios para cubrir el área geográfica objetivo.

3.1.2.1 MODELO OKUMURA-HATA

El modelo de Okumura Hata es ampliamente utilizado en los modelos de comunicaciones inalámbricas para predecir la propagación celular y el comportamiento del canal en los rangos de frecuencias asignados a los servicios celulares, este modelo cubre rangos desde 1 hasta 20 kilómetros. Para el presente proyecto se usará el modelo derivado de Okumura Hata denominado COST-231 ya que este ha sido ampliamente usado y además con muy buenos resultados, es importante mencionar que la utilización de los modelos depende de la banda de frecuencias en la cual operará el sistema celular. Por lo tanto los cálculos para este proyecto deberán ser realizados en función de los valores de pérdidas atribuidos a la banda de los 2 600 MHz.

La fórmula resultante para el cálculo del radio de la celda, es la siguiente:

$$\log(d) = \frac{P_{loss} - K_1 - K_3(H_{ms}) - K_4 \log(H_{ms}) - K_5 \log(H_{eff}) - K_7 \text{diff}n}{K_2 + K_6 \log(H_{eff})}$$

Donde:

D es el radio de la celda

Ploss.- Pérdidas efectivas

K1.- Constante relativa a la frecuencia

K2.- Constante de desvanecimiento por distancia

K3.- Coeficiente de corrección de la altura del móvil

K4.- Coeficiente de corrección de la altura del móvil

K5.- Coeficiente de corrección de la altura de la estación base

K6.- Coeficiente de corrección de la altura de la estación base

K7.- Constante por difracción

Heff.- Altura de la estación base con respecto al móvil

Hms.- Altura del móvil.

Tomando en cuenta los valores de pérdidas y ganancias indicados en el *link budget*, y aplicando el modelo combinado COST231, se obtiene los siguientes resultados para el radio de la celda:

Tabla 14.

Link Budget e-Node B para 2600 MHz

		Denso Urbano	Urbano	Sub Urbano	Rural
Altura de la antena e Node B	(m)	24.00	15.00	30.00	60.00
Máximo valor de pérdidas permitido	(dB)	155.42			
Altura de la antena terminal	(m)	1.50	1.50	1.50	1.50
Pérdidas por penetración promedio	(dB)	20.00	15.00	10.00	5.00
Desviación estándar combinada	(dB)	9.00	8.00	8.00	7.00
Probabilidad de área de la celda	(%)	93%	93%	93%	93%
Margen de desvanecimiento	(dB)	8.40	7.20	7.20	6.00
Ganancia por procesamiento	(dB)	2.70	2.30	2.30	2.00
Ganancia de la antena	(dBi)	18.00	18.00	18.00	18.00
Pérdidas efectivas	(dB)	129.68	135.57	140.57	146.44
<u>COST 231 (2600 Mhz)</u>					
K1		166.59	163.59	158.84	158.84
K2		44.90	44.9	44.9	44.9
K3		0.00	0	0	0
K4		0.00	0	0	0
K5		-13.70	-13.7	-13.7	-13.7
K6		-6.50	-6.5	-6.5	-6.5
K7		0.60	0.6	0.6	0.6

Radio de la Celda	<i>km</i>	0.30	0.45	1.14	2.23
Area de cobertura de la celda	<i>km²</i>	0.18	0.40	2.54	9.66
Distancia entre sitios	<i>km</i>	0.45	0.68	1.71	3.34

De los resultados obtenidos, se concluye que los eNode B desplegados en los sitios densamente urbanos teóricamente cubrirán un área de 180 metros cuadrados, mientras que los urbanos cubrirán alrededor de 400 metros cuadrados, en el área sub urbana la cobertura será de 2,54 Kilómetros cuadrados y en el área rural se podrá cubrir hasta 9,66 kilómetros cuadrados con un eNode B.

Con esta información ahora será necesarios identificar el tipo de zona geográfica y distribución de terreno del distrito metropolitano de Quito. En el anexo 2 se muestra el mapa político del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Para el presente estudio se ha eliminado las siguientes parroquias, debido a que el nivel de penetración de datos móviles actualmente es incipiente y por lo tanto no es un buen nicho de mercado para lanzar el producto en una primera fase, posteriormente cuando el producto haya madurado, se deberá pensar en expansión de cobertura y por lo tanto sólo en ese momento estas parroquias serán cubiertas:

- Belisario Quevedo
- Checa
- El Quinche
- Gualea
- La Merced

- Lloa
- Nanegal
- Nanegalito
- Nono
- Pacto
- Perucho
- Pintag
- Puéllaro
- Puenbo
- San José de Minas
- Yaruquí

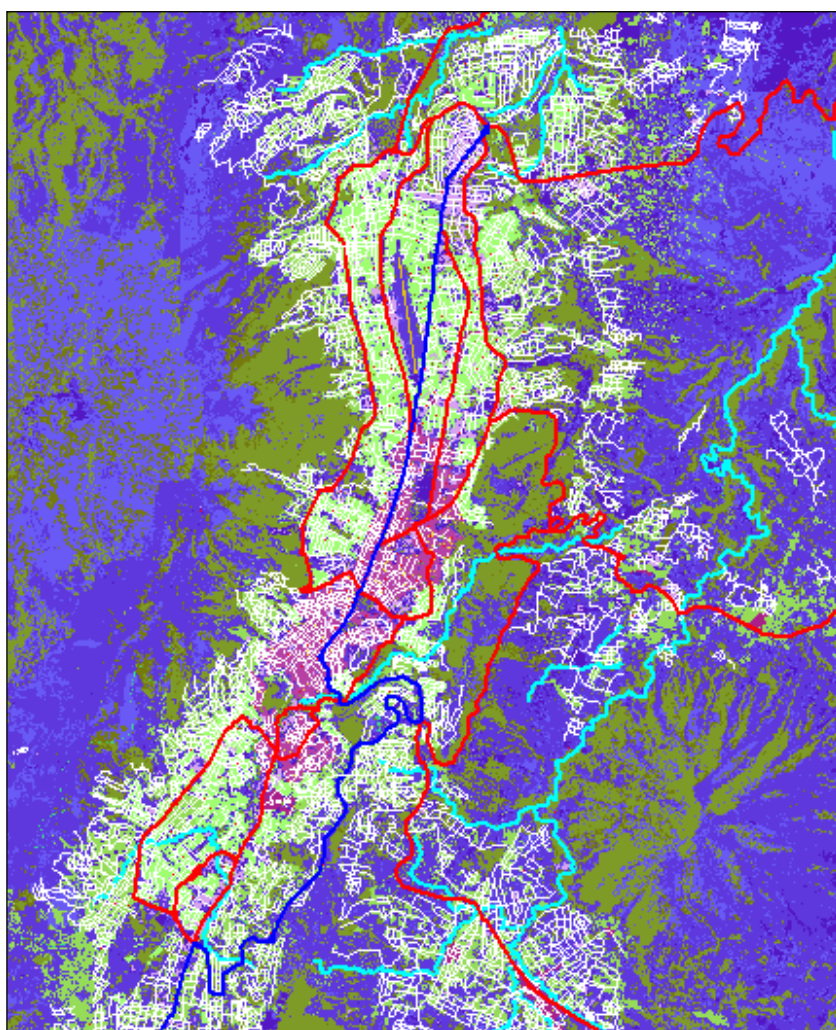
Adicionalmente se ha incluido al estudio Sangolquí, debido a que éste geográficamente interactúa con las poblaciones del DMQ y además en este cantón si existe un buen nicho de mercado para los servicios de datos móviles.

3.1.2.2. DETERMINACIÓN DE ÁREAS DENSA URBANA, URBANA, SUB URBANA

Para determinar la cantidad de área cubierta dentro de la clasificación geográfica requerida, es necesario dividir el distrito metropolitano de Quito en 5 zonas y posteriormente con la utilización de la herramienta de predicción en la cual se ha cargado el “*clutter*” del país, calcular el área asignada para denso urbano, urbano y

sub urbano, la clasificación rural no existirá ya que se han eliminado las parroquias rurales. Después de obtener el área (Kilómetros cuadrados) clasificada, se podrá calcular el número de celdas necesarias en base al cálculo obtenido con el modelo de predicción COST-231.

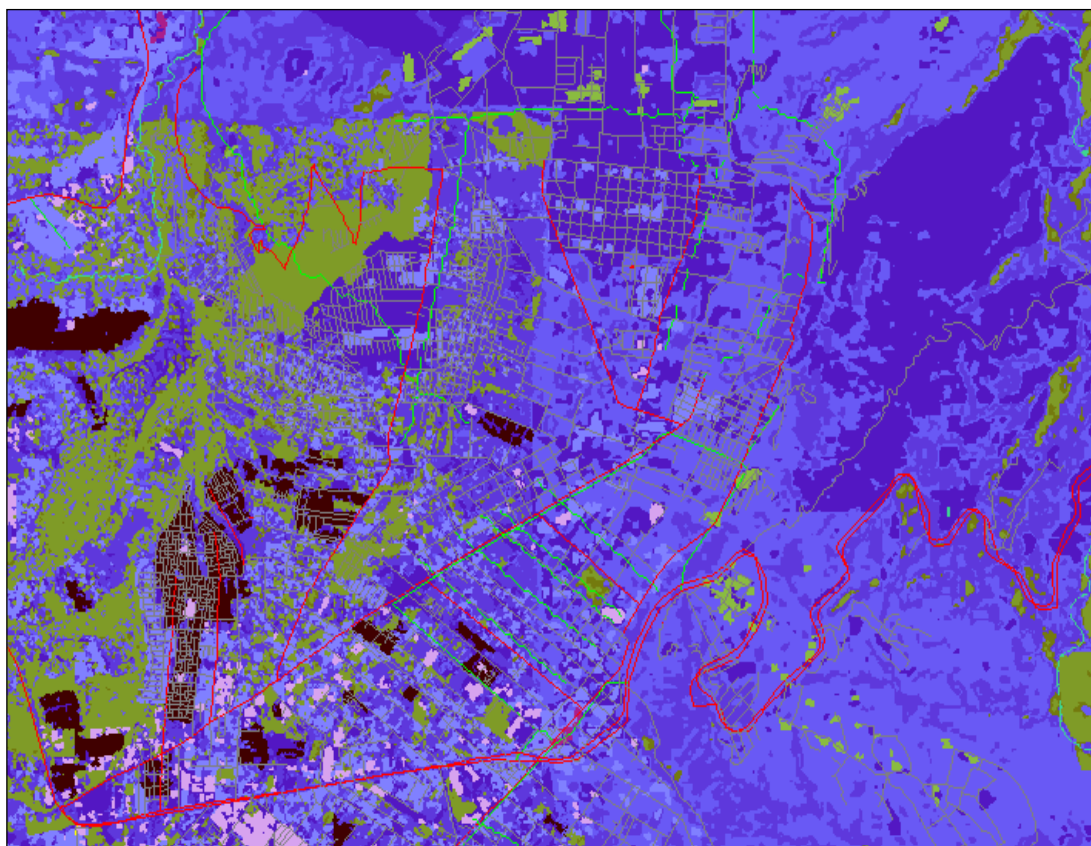
➤ **Zona 1 Quito Urbano:**



Clasificación	# muestras	Porcentaje [%]	Area [sq km]	Area para 1 Sitio	# E NodeB
Denso Urbano	106287	13,42633121	13,12515627	0,18	73
Urbano	339787	42,92239692	41,95957619	0,4	105
Sub Urbano	345557	43,65127187	42,67210126	2,54	17
					195

Figura 22. Clutter zona 1 Quito Urbano

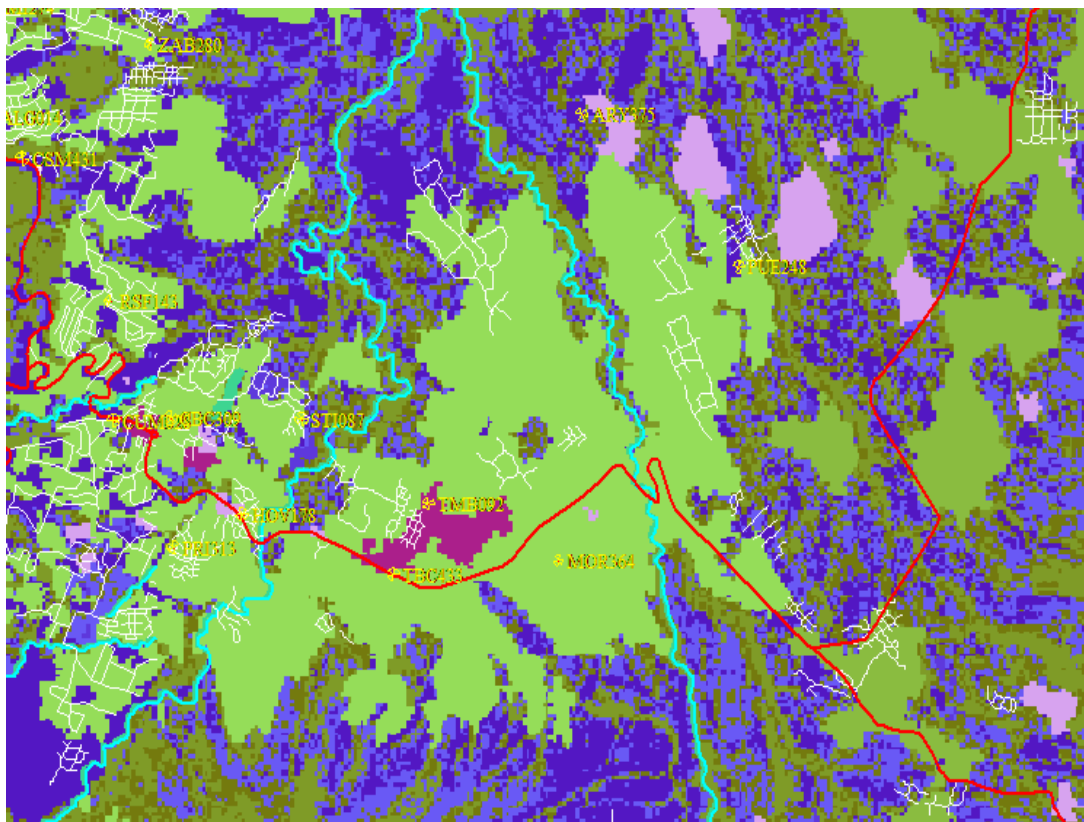
➤ **Zona 2: Calderón – Carapungo – Llano Grande**



Total Area 29,02940 sq Km					
Clasificación	# muestras	Percentage [%]	Area [sq km]	Area para 1 Sitio	# E NodeB
Denso Urbano	0	0	0	0,18	0
Urbano	17071	7,261814114	2,108061595	0,4	6
Sub Urbano	218008	92,73818589	26,92134568	2,54	11
					17

Figura 23. Clutter zona 2 Calderón - Carapungo - Llano Grande

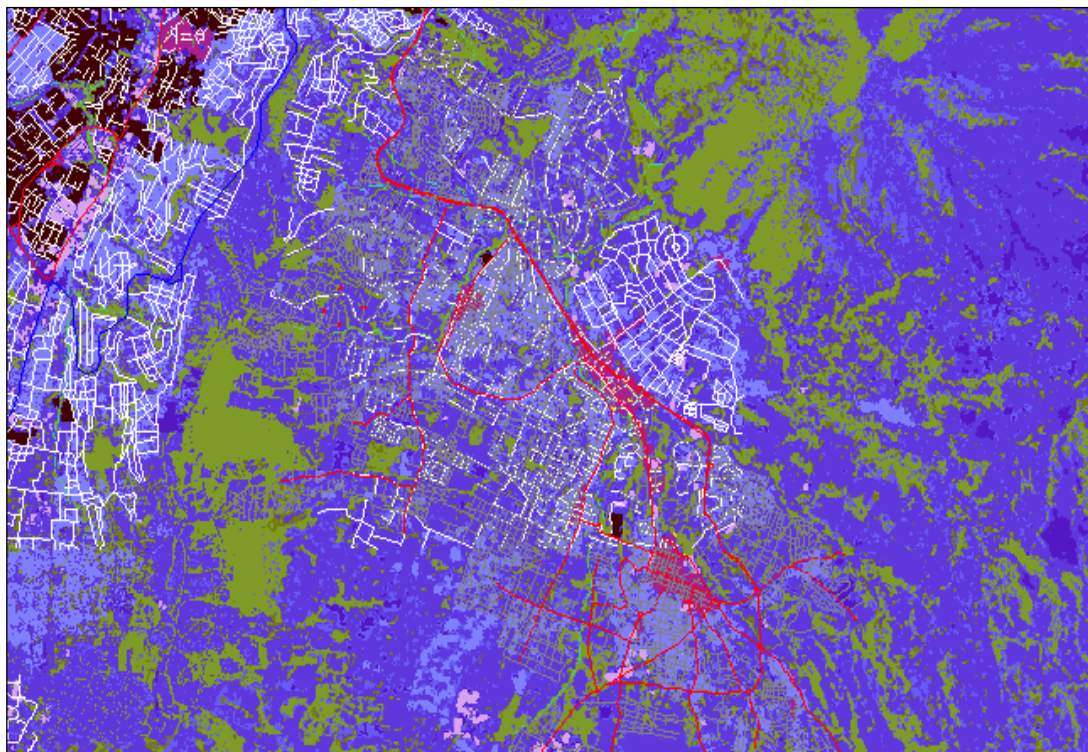
➤ Zona 3 Cumbaya - Tumbaco - Puembo - Tababela



Total Area 75,650428 sq Km					
Clasificación	# muestras	Porcentage [%]	Area [sq km]	Area para 1 Sitio	# E NodeB
Denso Urbano	0	0	0	0,18	0
Urbano	8446	5,512838923	4,17048627	0,4	11
Sub Urbano	144760	94,48716108	71,47994228	2,54	29
					40

Figura 24. Clutter zona 3 Cumbayá - Tumbaco - Puembo - Tababela

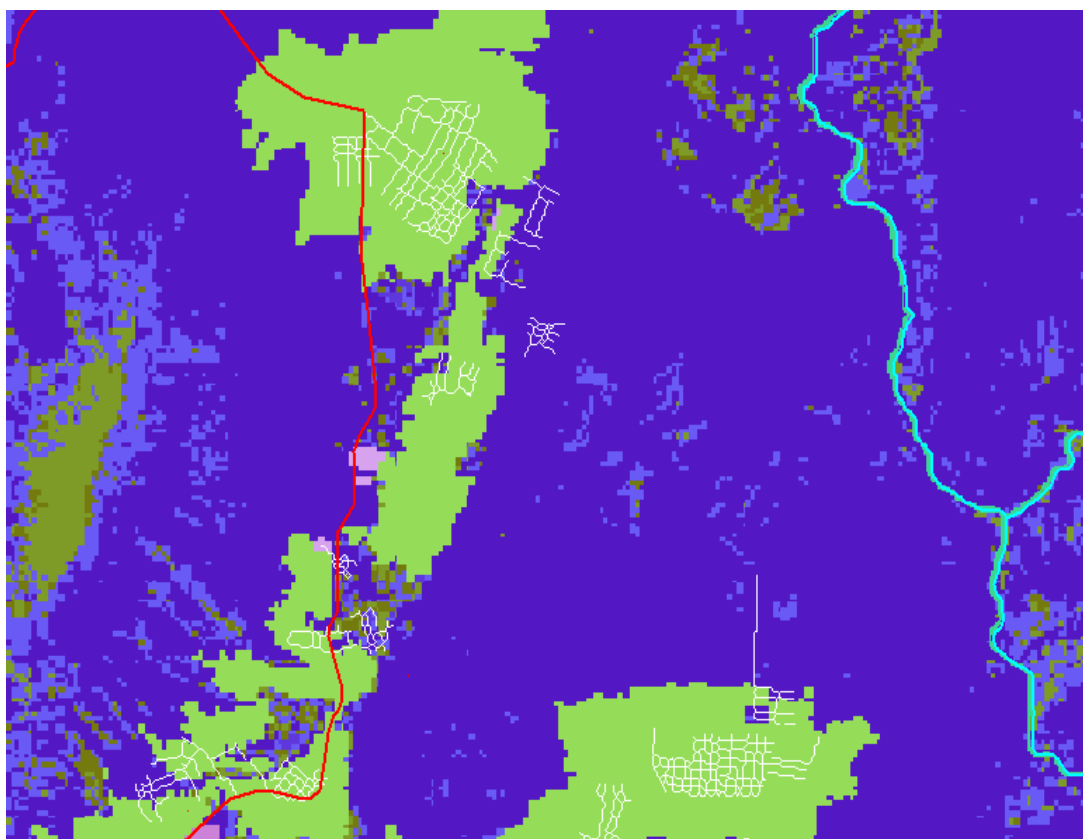
➤ Zona 4 Valle de Los Chillos



Total Area 54, 145607 sq Km					
Clasificación	# muestras	Porcentaje [%]	Area [sq km]	Area para 1 Sitio	# E NodeB
Denso Urbano	0	0	0	0,18	0
Urbano	22297	5,085194164	2,753409254	0,4	7
Sub Urbano	416172	94,91480584	51,39219788	2,54	21
					28

Figura 25. Clutter zona 4 Valle de los Chillos

➤ **Zona 5 Pomasqui San Antonio**



Total Area 21,021304 sq Km					
Clasificación	# muestras	Porcentaje [%]	Area [sq km]	Area para 1 Sitio	# E NodeB
Denso Urbano	359	0,843277271	0,177267887	0,18	1
Urbano	42847	0,645964484	0,135790164	0,4	1
Sub Urbano	41938	98,51075824	20,70824689	2,54	9
					11

Figura 26. Clutter zona 5 Pomasqui - San Antonio

En función de los resultados obtenidos se concluye que el número necesario de eNode B para cubrir el área geográfica requerida, es de 291 sitios.

3.2 CAPACIDAD

El éxito de una red celular no está dado únicamente por el correcto diseño de su cobertura, sino también por un correcto dimensionamiento de sus elementos, es por esta razón que desde el inicio de las redes celulares de primera generación se ha ido desarrollando una materia con sólidos principios matemáticos denominada “Ingeniería de tráfico” que busca entender y atender una demanda de tráfico fluctuante que solo se puede predecir con un grado limitado de exactitud.

Existen algunos conceptos básicos importantes para entender la forma de dimensionamiento de una red celular. Estos son:

- **Acarreo de tráfico.** Es el volumen de tráfico que pasa por un conmutador.
- **Tráfico ofrecido.-** es la cantidad de tráfico que podría pasar por un conmutador en un tiempo determinado.
- **La hora de mayor ocupación.-** Es el período interrumpido de 60 minutos durante el cual el tráfico es máximo. Tradicionalmente la planta telefónica es dimensionada de acuerdo a la intensidad de tráfico de la hora de mayor ocupación.
- **Bloqueo, llamadas pérdidas y grado de servicio.-** Asumiendo que los circuitos telefónicos son para 5000 suscriptores y que no más del 10% de los suscriptores desean el servicio **simultáneamente**. Cada conexión puede ser entre cualquiera de los 5000 suscriptores. Si el suscriptor 5001 intenta hacer una llamada no puede por que todo el equipo está ocupado. Esta llamada de suscriptor 5001 se denomina llamada pérdida o llamada bloqueada. La probabilidad de tener un bloqueo es un parámetro importante en la ingeniería de tráfico.

- **Grado de servicio.-** El término grado de servicio define la proporción de las llamadas que se permite fallar durante la hora de mayor ocupación debido a la limitación de equipamiento instalado.

Grado de servicio = (número de llamadas perdidas) / (número total de llamadas ofrecidas)

Uno de los aspectos más interesantes en diseño de redes es el dimensionado de equipos y elementos de interconexión. Cualquier intento de llamada va a requerir recursos de red desde la fase de establecimiento hasta la finalización.

El objetivo del dimensionado es, determinar el número de circuitos necesarios para satisfacer la demanda de llamadas en condiciones de calidad para los usuarios y menores costos para el operador, en tal virtud, es posible la formación de colas debido a un desequilibrio temporal entre la demanda del servicio y la capacidad del sistema para suministrarlo.

En la figura 27 se puede observar los diferentes tipos de colas, dependiendo del servicio entregado

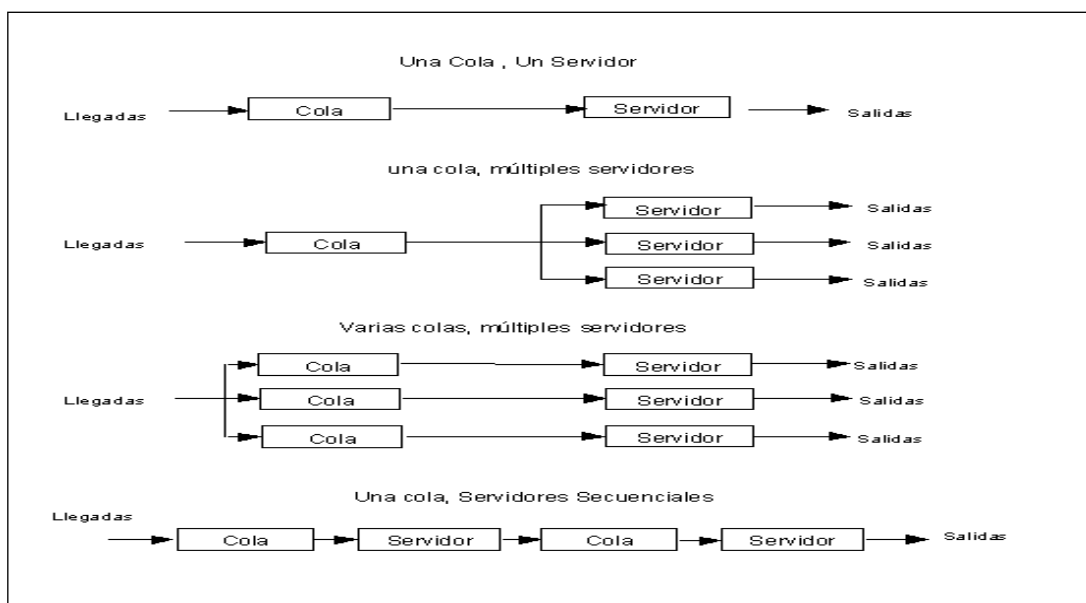


Figura 27. Tipos de colas

Los objetivos de la teoría de colas son:

- Identificar el nivel óptimo de capacidad del sistema que minimiza el coste del mismo.
- Evaluar el impacto que las posibles alternativas de modificación de la capacidad del sistema tendrían en el coste total del mismo.
- Establecer un balance equilibrado (“óptimo”) entre las consideraciones cuantitativas de costes y las cualitativas de servicio.
- Prestar atención al tiempo de permanencia en el sistema o en la cola

En base al estudio detallado de la Teoría de Colas, el matemático, estadístico e ingeniero danés Agner Krarup Erlang inventó los campos de ingeniería de tráfico y teoría de colas cuando se le presentó el problema clásico de la determinación de cuántos circuitos eran necesarios para proveer un servicio telefónico aceptable. Erlang puso manos a la obra investigando directamente el problema. A partir de la

teoría de colas, demostró que la “Distribución de Poisson” aplica para el tráfico telefónico aleatorio. Obteniendo su fórmula clásica para el cálculo de pérdidas y tiempo de espera.

El tráfico de un Erlang corresponde a un recurso utilizado de forma continua, o dos canales utilizados al 50%, y así sucesivamente, por ejemplo, si una oficina tiene dos operadores de teléfono y ambos están ocupados durante todo el tiempo, esto representa dos Erlangs de tráfico, o si un canal de radio está ocupado durante treinta minutos en una hora se dice que soporta un tráfico de 0.5 Erlangs.

De forma alternativa, un Erlang puede ser considerado como "multiplicador de utilización" por unidad de tiempo, así un uso del 100% corresponde a 1 Erlang, una utilización de 200% son 2 Erlangs, y así sucesivamente. Por ejemplo, si el uso total del celular en un área por hora es de 180 minutos, esto representa $180/60 = 3$ Erlangs. En general, si la tasa de llamadas entrantes es de λ por unidad de tiempo y la duración media de una llamada es h , entonces el tráfico A en Erlangs es:

$$A = \lambda h$$

El tráfico medido en Erlangs es usado para calcular el nivel de servicio (GOS). Hay diferentes fórmulas para calcular el tráfico entre ellos, Erlang B, Erlang C, y la fórmula de Engset

La fórmula de Erlang B asume una población infinita de orígenes (como usuarios de telefonía), la cual ofrece tráfico en conjunto a N servidores (como líneas en un grupo de troncales). La tasa de llegadas de nuevas llamadas (tasa de nacimiento) es igual a λ y es constante, no depende del número de recursos activos, porque se asume que el total de recursos es infinito. La tasa de abandono (tasa de mortalidad) es igual

al número de llamadas en progreso dividida por h , (la media del tiempo de llamadas en espera). La fórmula calcula la probabilidad de bloqueo en una pérdida del sistema, si un requerimiento no es atendido inmediatamente cuando trata de utilizar un recurso, y este es abortado. Por lo tanto no son encolados. El bloqueo ocurre cuando hay un nuevo requerimiento de recursos, pero todos los servidores ya están ocupados. La fórmula asume que el tráfico que es bloqueado se libera inmediatamente.

A continuación se muestra cómo puede ser expresado recursivamente, en una forma que es usada para calcular tablas de la fórmula de Erlang B:

$$B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}}$$

Donde:

- B es la probabilidad de bloqueo
- N es el número de recursos como servidores o circuitos en un grupo
- $A = \lambda h$ es la cantidad de tráfico entrante expresado en Erlangs

En la figura 28 se puede revisar la cantidad de circuitos necesarios en base a la probabilidad de bloqueo escogida.

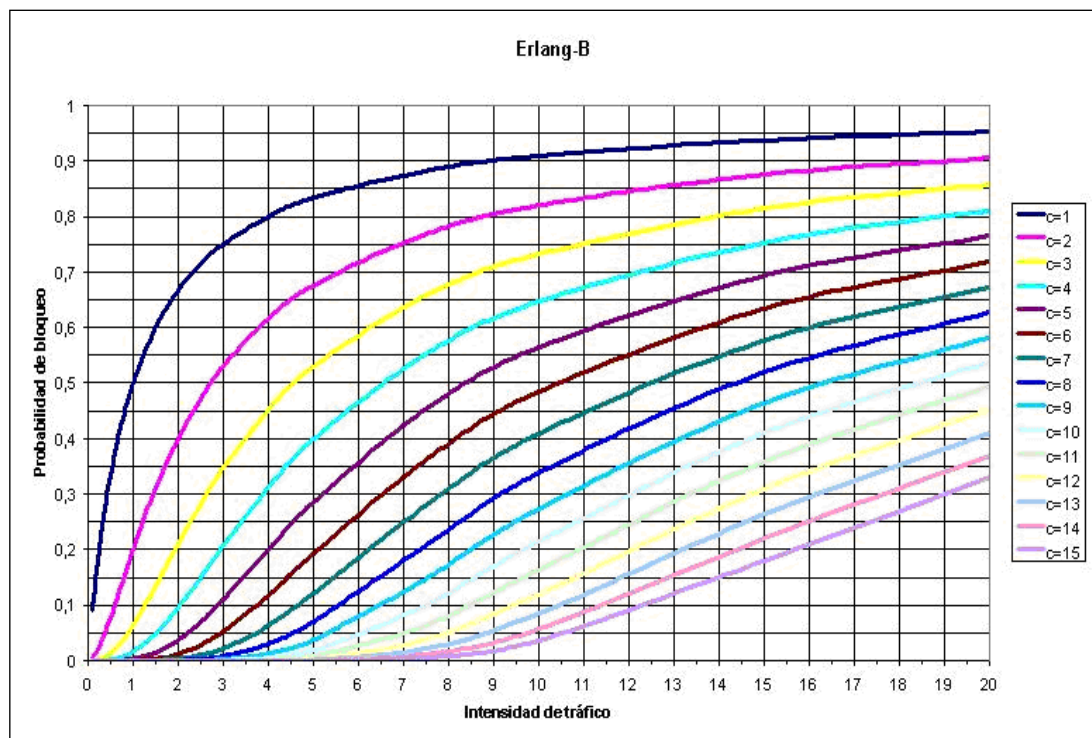


Figura 28. Probabilidad de bloqueo versus Intensidad de tráfico (Erlang B)

El Erlang B es la fórmula empleada para el dimensionamiento de tráfico celular de voz, sin embargo, en el caso de datos, la demanda ofrecida por usuario es variable, ya que esta depende del servicio requerido y la velocidad de transmisión permitida en el instante de tiempo del requerimiento, es por esta razón que los fabricantes han buscado modelos matemáticos en base a aproximaciones y supuestos para determinar experimentalmente la ocupación de los diferentes elementos de la red y que intervienen en la transmisión de datos, es así que el proveedor Nokia Siemens (NSN) por ejemplo, legó a determinar que una buena aproximación para dimensionar una red de datos en base al Erlang B es asumir que 1 Erlang, es el equivalente a 1,5 Kbps.

LTE al ser un servicio más orientado a datos además de la teoría de tráfico del Erlang B, necesita calcular también la demanda ofrecida para usuarios de datos, cuya

capacidad llega a ser dinámica, por lo tanto, es muy importante para su dimensionamiento de tráfico identificar el perfil de usuario que se atenderá.

3.2.1 DEFINICION DEL PERFIL DE USUARIO

La tecnología LTE está en capacidad de ofrecer los siguientes servicios:

- **Voz sobre protocolo de Internet.-** También llamado Voz sobre IP, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP. Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizados por la telefonía convencional. El cliente origina y establece la llamada de voz, esta información se recibe a través de un micrófono de usuario (entrada de información), se codifica, se empaqueta y de la misma forma, esta información se decodifica y reproduce a través de los altavoces o audífonos.

- **Streaming .-** Distribución multimedia a través de una red de computadoras de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga, la palabra *streaming* se refiere, este tipo de tecnología funciona mediante un *buffer* de datos que va almacenando lo que va descargando para luego mostrarse al usuario, es decir con esta tecnología el archivo puede descargarse y reproducirse al mismo tiempo, con lo que el tiempo de espera es mínimo. Gracias a esta tecnología se ha logrado desarrollar la radio por Internet y no solo las emisoras AM y FM, sino también las radios digitales que transmiten exclusivamente por Internet. *Youtube*, es una aplicación muy popular que usa también *Streaming*.

- **Conversacional.-** Es la comunicación simultánea bidireccional de audio y video, permitiendo mantener reuniones con grupos de personas situadas en lugares alejados entre sí. Adicionalmente pueden ofrecer facilidades telemáticas o de otro tipo como el intercambio de gráficos, imágenes fijas, transmisión de archivos, etc.

- **Background.-** Se refiere a todas las aplicaciones que no necesariamente correrán en tiempo real, esto implica que el proceso se está llevando a cabo con una prioridad baja, por lo tanto utiliza menos recursos, una de las principales aplicaciones es el correo electrónico.

- **Interactive.-** Permite la interacción a modo de diálogo entre el ordenador y el usuario. En su campo de aplicación suele hablarse de tres niveles:
 - No interactiva.- Cuando un mensaje no se relaciona con otro previo.
 - Reactiva.- Cuando un mensaje se relaciona únicamente con el previo inmediato
 - Interactiva.- Cuando un mensaje se relaciona con una serie de elementos previos.

Dentro de este grupo de aplicaciones se encuentra principalmente la navegación por Internet.

Todas las aplicaciones a las que el usuario de la red LTE puede acceder requieren velocidades de transmisión aceptables (Mayores a 1 Mbps), por lo tanto el dimensionamiento de una red LTE requiere enfocarse 100% en el *throughput* de la celda. Existen 2 métodos para realizar el dimensionamiento de una red LTE y son:

1.- Dimensionamiento basado en el volumen de tráfico.- Estima un máximo volumen de tráfico en GBytes por portadora LTE, tomando en cuenta una celda con 3 sectores con configuración MIMO 2X2, asumiendo una eficiencia espectral de 1.74bps/Hz/cell, que la hora cargada será el 15% del tráfico diario y que el promedio de carga de la hora pico será del 50%, la carga depende de la velocidad de transmisión de datos durante la hora pico, se tomará el más alto valor y el más bajo valor, la máxima carga también depende de las diferentes estrategias de calidad de servicio aplicadas por el proveedor del servicio. Realizando los cálculos se tiene que una celda LTE puede tomar 4600 GB al mes, si a un suscriptor se ofrece 5 GB al mes, entonces el número de suscriptores por eNodeB será de 920 usuarios.

2.- Dimensionamiento basado en la velocidad de datos.- Para el dimensionamiento basado en velocidad, se asume un valor de capacidad de celda de 35Mbps (valor estimado en base a simulaciones), además se asume que el consumo promedio de un usuario es de 1 Mbps, aplicando un factor de “*overworking*” de 20, se obtiene una velocidad de transmisión de datos de 50kbps por usuario, el número de suscriptores por eNodeB será entonces de 1050.

Para el Distrito Metropolitano de Quito tomando en cuenta que se instalarán 291 eNodeB, con la misma capacidad en todos los casos y tomando un promedio de usuarios por celda con los valores del primer y segundo método de dimensionamiento resulta que se tendría un 985 usuario por celda, es decir 285631 usuarios. Tomando en cuenta el censo de población del año 2010, en Quito existen 2'239.199 habitantes, lo que quiere decir que la presente red servirá al 34.36% de la población.

Traffic volume based dimensioning		Data rate based dimensioning	
Cell capacity 35 Mbps	20 MHz x 1.74 bps/Hz/cell	Cell capacity 35 Mbps	From simulations
Convert Mbps to GBytes	/ 8192	Busy hour average loading 50%	x 50%
3600 seconds per hour	x 3600	Required user data rate	/1 Mbps
Busy hour average loading 50%	x 50%	Overbooking factor	/20
Busy hour carries 15% of daily traffic	/ 15%	Average busy hour data rate per sub	= 50 kbps
30 days per month	x 30	3 sectors per site	x 3
3 sectors per site	x 3 ⇒ 4600 GB/site/month	Total	1050 subs/site
5 GB traffic per user	/ 5 GB		
Total	920 subs/site		

Figura 29. Parámetros de conversión de tráfico

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

Para el presente proyecto se usará el método de dimensionamiento de tráfico basado en volumen, ya que al ser una red nueva, solo se tendrá información de proyecciones de tráfico esperadas, y se buscará diseñar una red para cumplir con las expectativas de volumen de tráfico.

3.2.2 LATENCIA

En el plano de usuario, la latencia es muy importante para el rendimiento de muchas aplicaciones. Existen algunas aplicaciones que no requieren altas velocidades de datos pero requieren bajos niveles de latencia, dentro de estas aplicaciones se encuentra por ejemplo la voz, juegos en tiempo real y otras aplicaciones interactivas. Esta latencia puede ser medida por el tiempo que toma un pequeño paquete IP en viajar por el terminal a través de la red, llegar al servidor de Internet y regresar. Esta medición se denomina “viaje de ida y vuelta” y se ilustra en la figura 30

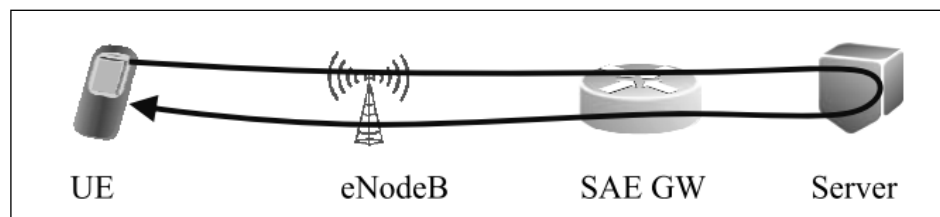


Figura 30. Latencia

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

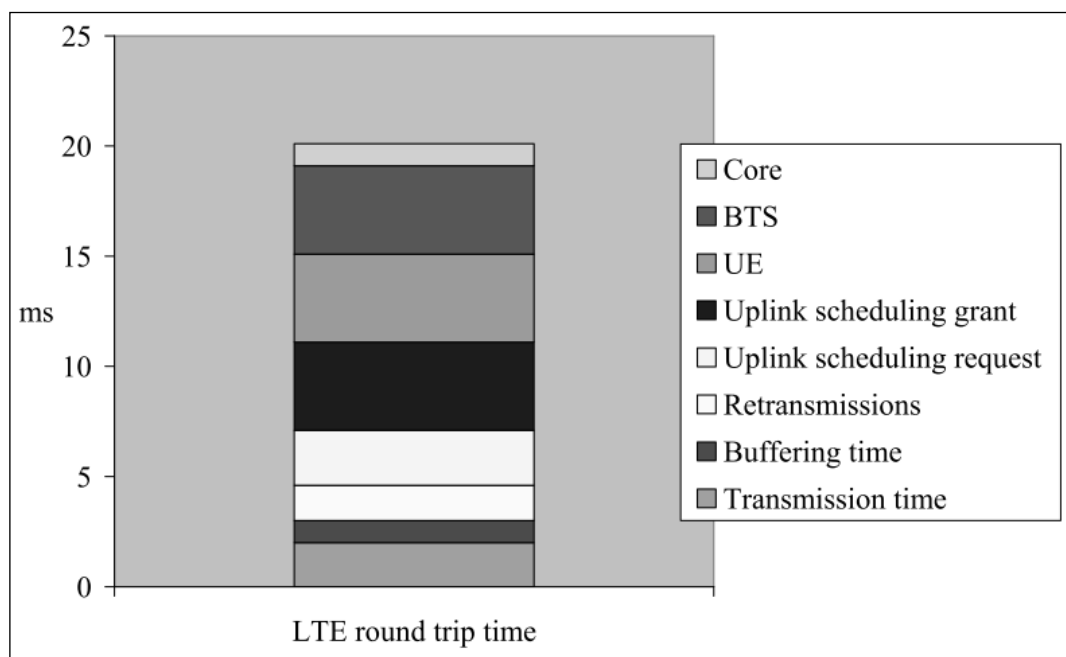
Los valores de retardo punto a punto son mostrados en la tabla 15 y graficados en la figura 31. Un tamaño de trama de 1- ms permite un tiempo de transmisión muy baja. En promedio un paquete necesita esperar alrededor de 0.5 ms para empezar a enviar la siguiente trama. Una retransmisión toma 8 ms en el mejor de los casos asumiendo una probabilidad de retransmisión del 10%. El promedio de retardo para enviar la programación requerida es de 2.5 ms, (*scheduling request*) y para la concesión es de 4 ms (*scheduling grant*). Se asume un retardo de procesamiento del terminal (UE) de 4 ms, un retardo de procesamiento del eNodeB de 4 ms, y un retardo en la central (*Core*) de 1 ms.

Tabla 15.

Tiempos estimados de latencia

Delay component	Delay value
Transmission time uplink + downlink	2 ms
Buffering time ($0.5 \times$ transmission time)	$2 \times 0.5 \times 1 \text{ ms} = 1 \text{ ms}$
Retransmissions 10%	$2 \times 0.1 \times 8 \text{ ms} = 1.6 \text{ ms}$
Uplink scheduling request	$0.5 \times 5 \text{ ms} = 2.5 \text{ ms}$
Uplink scheduling grant	4 ms
UE delay estimated	4 ms
eNodeB delay estimated	4 ms
Core network	1 ms
Total delay with pre-allocated resources	13.6 ms
Total delay with scheduling	20.1 ms

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

**Figura 31.** Tiempos estimados de latencia

Fuente: LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access

El promedio de retardo del viaje de ida y vuelta incluyendo las retransmisiones puede estar alrededor de 15 ms si existen recursos pre-asignados. Si se incluye el retardo de programación (*scheduling*), el retardo del tiempo de ida y vuelta será de 20 ms. Estos valores son los suficientemente bajos para soportar aplicaciones con bajos requerimientos de retardos. En la práctica, los retardos pueden ser muy altos debido a que los retardos en el transporte son elevados, o si el servidor está muy lejos de la central. A menudo, los retardos punto a punto pueden ser conocidos como retardos “no – radio”.

En la figura 32 se presenta un comparativo de los niveles de retardo para las diferentes tecnologías del 3GPP, como se puede apreciar, los fabricantes han volcado todos sus esfuerzos para lograr valores de latencia cada vez menores, por lo tanto, se concluye que para el dimensionamiento de una red LTE, la latencia no es importante debido a que este valor es mucho menor en relación a las redes celulares ya existentes. Esto quiere decir que las aplicaciones actuales tendrán un mejor desempeño en la red LTE y por lo tanto el usuario percibirá una mejor calidad.

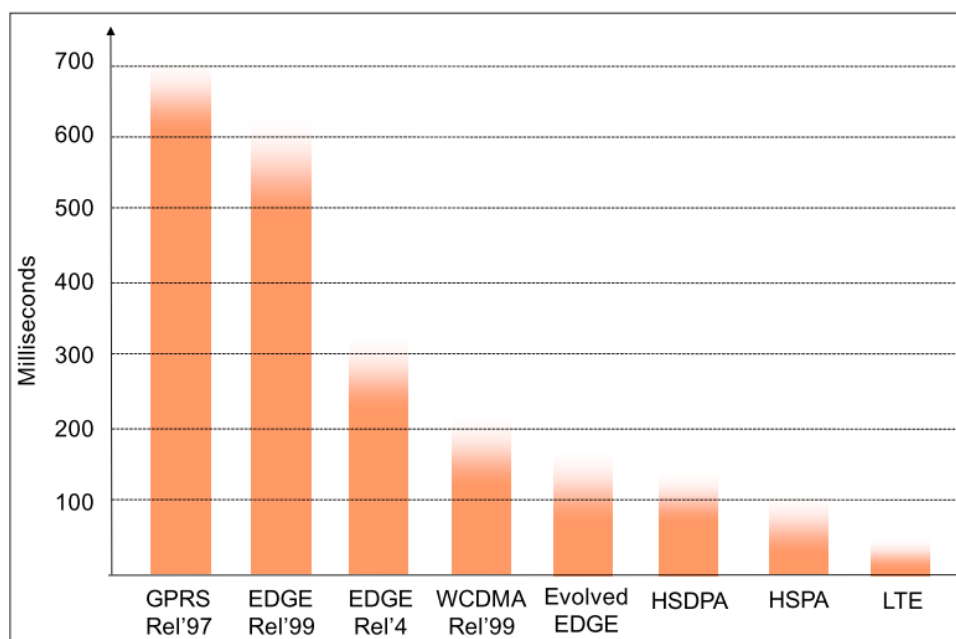


Figura 32. Comparación de latencia entre tecnologías celulares

Fuente: 3G AMERICAS

3.2.3 VELOCIDAD PROMEDIO POR USUARIO

La velocidad promedio por usuario puede ser definida de dos maneras, la teórica, que se determina experimentalmente armando maquetas de laboratorio, bajo condiciones controladas. Para el caso específico de LTE, en la figura 33, se muestra los valores teóricos de velocidades promedio obtenidos para una red del proveedor Nokia Siemens Networks, en la cual se ha variado el tipo de modulación y el ancho de banda, realizando también pruebas con el sistema MIMO, incrementando estas velocidades. Para el presente proyecto, se ha definido la utilización de un ancho de banda de 20 MHz y modulación 64QAM; en algunos casos, también se instalará el sistema de antenas MIMO 2x2, por lo tanto la velocidad promedio por usuario esperada es de 172 Mbps en el *downlink* y 171 Mbps en el *Uplink*. Es necesario indicar que estos valores son obtenidos bajo condiciones de laboratorio, las

velocidades de una red real, bajan debido a factores externos como son distancia del terminal hacia el eNodeB, niveles de señal e interferencia.

Downlink y Uplink

Modulation coding		1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10	15	20
QPSK 1/2	Single stream	0.7	2.1	3.5	7.0	10.6	14.1
16QAM 1/2	Single stream	1.4	4.1	7.0	14.1	21.2	28.3
16QAM 3/4	Single stream	2.2	6.2	10.5	21.1	31.8	42.4
64QAM 3/4	Single stream	3.3	9.3	15.7	31.7	47.7	63.6
64QAM 4/4	Single stream	4.3	12.4	21.0	42.3	63.6	84.9
64QAM 3/4	2x2 MIMO	6.6	18.9	31.9	64.3	96.7	129.1
64QAM 1/1	2x2 MIMO	8.8	25.3	42.5	85.7	128.9	172.1
64QAM 1/1	4x4 MIMO	16.6	47.7	80.3	161.9	243.5	325.1

Modulation coding		1.4 MHz	3.0 MHz	5.0 MHz	10 MHz	15 MHz	
QPSK 1/2	Single stream	0.7	2.0	3.5	7.1	10.8	14.3
16QAM 1/2	Single stream	1.4	4.0	6.9	14.1	21.6	28.5
16QAM 3/4	Single stream	2.2	6.0	10.4	21.2	32.4	42.8
16QAM 1/1	Single stream	2.9	8.1	13.8	28.2	43.2	57.0
64QAM 3/4	Single stream	3.2	9.1	15.6	31.8	48.6	64.2
64QAM 1/1	Single stream	4.3	12.1	20.7	42.3	64.8	85.5
64QAM 1/1	V-MIMO (cell)	8.6	24.2	41.5	84.7	129.6	171.1

Figura 33. Velocidades promedio por usuario

FUENTE: Proveedor NSN

La segunda manera para definir la velocidad promedio por usuario, toma estadísticas de *throughput* de una celda en un periodo de tiempo determinado y divide para el número de usuarios que ocuparon el servicio en este periodo de tiempo, el resultado será el valor promedio por usuario de la celda en cuestión. Esta medida debe ser tomada para todas las celdas de su red, ya que de alguna forma permite al operador revisar el tipo de servicio que está brindando a sus usuarios, de este análisis se podrá determinar las celdas con problemas de capacidad y/o calidad para tomar acciones de mejora.

La estadística de *throughput*, es apenas uno de los muchos indicadores que el usuario celular debe analizar, para determinar si su capacidad es la adecuada o si en

su defecto su red se encuentra sobredimensionada. Otra estadística muy importante es el volumen de tráfico generado en un periodo de medición de la celda, con esta estadística, el operador celular puede realizar proyecciones en el tiempo, así como también comparar si el tráfico generado está de acuerdo con lo proyectado anteriormente y si la capacidad de todos sus elementos de red, están dimensionados correctamente para cursar el tráfico futuro esperado.

Para el presente proyecto, se ha tomado la información de tráfico generado en un mes en los nodos de una red celular UMTS y se ha proyectado el tráfico que podría presentarse en una red LTE, tomando en cuenta que debido a que el usuario puede experimentar mejor *throughput*, se generará mayor volumen de tráfico (de 2 a 4 veces más). Estas proyecciones se han trasladado a los 291 eNodeB que resultaron del primer diseño de cobertura, y de esta manera determinar el número adicional de eNodeB necesarios para soportar el tráfico esperado. Tomando en cuenta, el valor límite de 4600 GB/sitio/mes y analizando el tráfico estimado por e-NodeB; adicionalmente y tomando en cuenta un valor promedio de consumo por abonado de 5 Gbytes mensuales, según información de la figura 34 se tiene los siguientes resultados:

- 0 eNodeB proyectan tráfico mayor a 3000 Gbytes (categorización 1)
- 15 eNodeB proyectan tráfico entre 1500 y 3000 Gbytes (Categorización 2)
- 276 eNodeB proyectan tráfico menor a 1500 GBytes (Categorización 3)

Tabla 16.
Dimensionamiento de los eNodeB del DQM

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTAD O LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACIÓN POR VOLUMEN DE TRAFICO
10_DE_AGOSTO_ALES	0	DAS	130,70	326,74	65	1
10_DE_AGOSTO_ALES	1	DAS	130,70	326,74	65	1
10_DE_AGOSTO_ALES	2	DAS	130,70	326,74	65	1
12_DE_OCTUBRE	0	DDC	198,74	496,85	99	1
12_DE_OCTUBRE	1	DDC	198,74	496,85	99	1
18_DE_SEPTIEMBRE	0	DDS	46,79	116,97	23	1
18_DE_SEPTIEMBRE	1	DDS	46,79	116,97	23	1
18_DE_SEPTIEMBRE	2	DDS	46,79	116,97	23	1
23_DE_JUNIO	0	VJU	51,58	128,96	25	1
23_DE_JUNIO	1	VJU	51,58	128,96	25	1
23_DE_MAYO	0	VDM	714,29	1.785,73	357	2
23_DE_MAYO	1	VDM	714,29	1.785,73	357	2
24_DE_MAYO	0	MAY	215,27	538,18	107	1
24_DE_MAYO	1	MAY	215,27	538,18	107	1
24_DE_MAYO	2	MAY	215,27	538,18	107	1
24_MAYO_PUEMBO	0	VMP	46,79	116,97	23	1
24_MAYO_PUEMBO	1	VMP	46,79	116,97	23	1
24_MAYO_PUEMBO	2	VMP	46,79	116,97	23	1
AEROPUERTO_UIO	0	AUI	184,22	460,56	92	1
AEROPUERTO_UIO	1	AUI	184,22	460,56	92	1
AEROPUERTO_UIO	2	AUI	184,22	460,56	92	1
AJAVI	0	AJA	274,38	685,96	137	1
AJAVI	1	AJA	274,38	685,96	137	1
AJAVI	2	AJA	274,38	685,96	137	1
ALAMEDA	0	ADA	423,16	1.057,91	211	1
ALAMEDA	1	ADA	423,16	1.057,91	211	1
ALAMEDA	2	ADA	423,16	1.057,91	211	1
ALAMOS	0	AMO	46,79	116,97	23	1
ALAMOS	1	AMO	46,79	116,97	23	1
ALAMOS	2	AMO	46,79	116,97	23	1
ALMAGRO	0	ALM	235,11	587,77	117	1
ALMAGRO	1	ALM	235,11	587,77	117	1
ALMAGRO	2	ALM	235,11	587,77	117	1
ALONSO_DE_ANGULO	0	AGL	159,75	399,39	79	1
ALONSO_DE_ANGULO	1	AGL	159,75	399,39	79	1
ALONSO_DE_ANGULO	2	AGL	159,75	399,39	79	1
AMAGASI_INCA	0	AMI	138,94	347,34	69	1
AMAGASI_INCA	2	AMI	138,94	347,34	69	1
AMAGUANA	1	AMA	480,43	1.201,08	240	1
AMAGUANA	2	AMA	480,43	1.201,08	240	1
AMERICA	0	AME	367,87	919,67	183	1
AMERICA	2	AME	367,87	919,67	183	1
ANDINANET	0	AND	177,49	443,72	88	1
ANDINANET	1	AND	177,49	443,72	88	1
ANDINANET	2	AND	177,49	443,72	88	1
ANETA	0	ANT	244,63	611,57	122	1
ANETA	1	ANT	244,63	611,57	122	1
ANETA	2	ANT	244,63	611,57	122	1
ARGELIA	0	ARG	256,04	640,09	128	1
ARGELIA	1	ARG	256,04	640,09	128	1



Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
ARGELIA	2	ARG	256,04	640,09	128	1
ARUPOS	0	ARU	267,09	667,73	133	1
ARUPOS	1	ARU	267,09	667,73	133	1
ARUPOS	2	ARU	267,09	667,73	133	1
ASCAZUBI	0	ASC	264,73	661,81	132	1
ASCAZUBI	1	ASC	264,73	661,81	132	1
ASCAZUBI	2	ASC	264,73	661,81	132	1
ATAHUALPA	0	ATH	207,68	519,20	103	1
ATAHUALPA	1	ATH	207,68	519,20	103	1
ATAHUALPA	2	ATH	207,68	519,20	103	1
AV_GUAYAQUIL	1	AVG	46,78	116,95	23	1
AV_GUAYAQUIL	2	AVG	46,78	116,95	23	1
AV_LIBERTADORES	0	ALI	370,26	925,65	185	1
AV_LIBERTADORES	1	ALI	370,26	925,65	185	1
AV_LIBERTADORES	2	ALI	370,26	925,65	185	1
AV_SAN_GABRIEL	0	GAB	200,79	501,98	100	1
AV_SAN_GABRIEL	2	GAB	200,79	501,98	100	1
BAKER	0	BAK	227,46	568,65	113	1
BAKER	1	BAK	227,46	568,65	113	1
BAKER	2	BAK	227,46	568,65	113	1
BANCO_VIVIENDA	0	BDV	46,79	116,97	23	1
BANCO_VIVIENDA	1	BDV	46,79	116,97	23	1
BANCO_VIVIENDA	2	BDV	46,79	116,97	23	1
BATAN_ALTO	0	BTO	125,09	312,71	62	1
BATAN_ALTO	2	BTO	125,09	312,71	62	1
BELISARIO	0	BEL	296,26	740,66	148	1
BELISARIO	2	BEL	296,26	740,66	148	1
BELLAVISTA_UIO	0	BQ1	102,55	256,37	51	1
BENALCAZAR	0	BEN	432,95	1.082,37	216	1
BENALCAZAR	1	BEN	432,95	1.082,37	216	1
BENALCAZAR	2	BEN	432,95	1.082,37	216	1
BILOXI	0	BIL	391,59	978,97	195	1
BILOXI	1	BIL	391,59	978,97	195	1
BILOXI	2	BIL	391,59	978,97	195	1
BOMBONERITA	0	BOM	272,46	681,16	136	1
BOMBONERITA	1	BOM	272,46	681,16	136	1
BOMBONERITA	2	BOM	272,46	681,16	136	1
BRASIL	0	BRA	129,96	324,89	64	1
BRASIL	1	BRA	129,96	324,89	64	1
BRASIL	2	BRA	129,96	324,89	64	1
BRASILIA	0	BR2	138,94	347,34	69	1
BRASILIA	1	BR2	138,94	347,34	69	1
BUENAVISTA	0	BUN	109,11	272,76	54	1
BUENAVISTA	2	BUN	109,11	272,76	54	1
BUGAMBILLAS	0	BGA	238,42	596,04	119	1
BUGAMBILLAS	1	BGA	238,42	596,04	119	1
CALDERON	0	CAD	581,39	1.453,48	290	1
CALDERON	1	CAD	581,39	1.453,48	290	1
CALDERON	2	CAD	581,39	1.453,48	290	1
CALIFOR_ALTA	0	CFA	138,94	347,34	69	1
CALIFOR_ALTA	1	CFA	138,94	347,34	69	1
CAMARA_DE_COMERCIO	0	CAM	139,00	347,50	69	1
CAMARA_DE_COMERCIO	1	CAM	139,00	347,50	69	1
CAMARA_DE_COMERCIO	2	CAM	139,00	347,50	69	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
CAMP_SAN_MONTE	0	CSM	46,79	116,97	23	1
CAMP_SAN_MONTE	1	CSM	46,79	116,97	23	1
CAMP_SAN_MONTE	2	CSM	46,79	116,97	23	1
CAMPO_ALEGRE	0	ALG	169,70	424,26	84	1
CAMPO_ALEGRE	1	ALG	169,70	424,26	84	1
CANIZARES	0	CAN	174,50	436,24	87	1
CANIZARES	1	CAN	174,50	436,24	87	1
CANIZARES	2	CAN	174,50	436,24	87	1
CARAPUN_NORTE	0	CPN	46,79	116,97	23	1
CARAPUN_NORTE	1	CPN	46,79	116,97	23	1
CARAPUN_NORTE	2	CPN	46,79	116,97	23	1
CARAPUNGO_NORESTE	0	CES	46,79	116,97	23	1
CARAPUNGO_NORESTE	1	CES	46,79	116,97	23	1
CARAPUNGO_NORESTE	2	CES	46,79	116,97	23	1
CARAPUNGO_SUR	0	CRS	405,46	1.013,65	202	1
CARAPUNGO_SUR	1	CRS	405,46	1.013,65	202	1
CARAPUNGO_SUR	2	CRS	405,46	1.013,65	202	1
CARCELEN	0	CRN	522,61	1.306,54	261	1
CARCELEN	1	CRN	522,61	1.306,54	261	1
CARCELEN	2	CRN	522,61	1.306,54	261	1
CARCELEN_ALTO	1	CRA	225,23	563,08	112	1
CARCELEN_ALTO	2	CRA	225,23	563,08	112	1
CARCELEN_BAJO	0	CCB	822,96	2.057,40	411	2
CARCELEN_BAJO	1	CCB	822,96	2.057,40	411	2
CARCELEN_BAJO	2	CCB	822,96	2.057,40	411	2
CARCELEN_INDUSTRIAL	1	CIN	122,08	305,21	61	1
CARCELEN_INDUSTRIAL	2	CIN	122,08	305,21	61	1
CARCELEN_NORTE	0	CNE	286,83	717,08	143	1
CARCELEN_NORTE	1	CNE	286,83	717,08	143	1
CARCELEN_NORTE	2	CNE	286,83	717,08	143	1
CASA_DEL_VIENTO	0	CDV	46,79	116,97	23	1
CASA_DEL_VIENTO	1	CDV	46,79	116,97	23	1
CASA_DEL_VIENTO	2	CDV	46,79	116,97	23	1
CAUPICHO	0	MVC	138,94	347,34	69	1
CAUPICHO	1	MVC	138,94	347,34	69	1
CAUPICHO	2	MVC	138,94	347,34	69	1
CC_CONDADO	0	CCC	296,50	741,24	148	1
CC_CONDADO	1	CCC	296,50	741,24	148	1
CC_CONDADO	2	CCC	296,50	741,24	148	1
CC_LA_ESQUINA	0	CLE	205,59	513,97	102	1
CC_LA_ESQUINA	1	CLE	205,59	513,97	102	1
CC_RECREO	0	CCR	138,94	347,34	69	1
CC_RECREO	1	CCR	138,94	347,34	69	1
CC_RECREO	2	CCR	138,94	347,34	69	1
CDLA_ATAHUALPA	0	CDA	300,17	750,42	150	1
CDLA_ATAHUALPA	1	CDA	300,17	750,42	150	1
CDLA_ATAHUALPA	2	CDA	300,17	750,42	150	1
CDLA_EJERCITO	0	CDE	138,94	347,34	69	1
CDLA_EJERCITO	1	CDE	138,94	347,34	69	1
CDLA_EJERCITO	2	CDE	138,94	347,34	69	1
CDLA_MEXICO	0	CDM	138,94	347,34	69	1
CDLA_MEXICO	1	CDM	138,94	347,34	69	1
CDLA_MEXICO	2	CDM	138,94	347,34	69	1
CEMEXPO	0	MCE	138,94	347,34	69	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
CEMEXPO	1	MCE	138,94	347,34	69	1
CENTRO_HISTORICO	0	CTH	117,82	294,55	58	1
CENTRO_HISTORICO	1	CTH	117,82	294,55	58	1
CENTRO_HISTORICO	2	CTH	117,82	294,55	58	1
CHICHE_PUEMBO	0	CIP	240,98	602,44	120	1
CHICHE_PUEMBO	1	CIP	240,98	602,44	120	1
CHICHE_PUEMBO	2	CIP	240,98	602,44	120	1
CHILLOGALLO	0	CHI	337,63	844,07	168	1
CHILLOGALLO	1	CHI	337,63	844,07	168	1
CHILLOGALLO	2	CHI	337,63	844,07	168	1
CHIRIBOGA	0	CHR	46,79	116,97	23	1
CHIRIBOGA	1	CHR	46,79	116,97	23	1
CHIRIBOGA	2	CHR	46,79	116,97	23	1
CINCO_ESQUINAS	0	SES	180,99	452,47	90	1
CINCO_ESQUINAS	1	SES	180,99	452,47	90	1
CINCO_ESQUINAS	2	SES	180,99	452,47	90	1
CIUADADELA_UNION_NAV AL	0	CDN	127,94	319,86	63	1
CIUADADELA_UNION_NAV AL	1	CDN	127,94	319,86	63	1
CIUADADELA_UNION_NAV AL	2	CDN	127,94	319,86	63	1
CLEMENTE_BALLEN	0	CLB	354,12	885,29	177	1
CLEMENTE_BALLEN	1	CLB	354,12	885,29	177	1
CLEMENTE_BALLEN	2	CLB	354,12	885,29	177	1
CLINICA_COTOCOLLAO	0	CCT	267,28	668,21	133	1
CLINICA_COTOCOLLAO	1	CCT	267,28	668,21	133	1
CLINICA_COTOCOLLAO	2	CCT	267,28	668,21	133	1
CLUB_LOS_CHILLOS	1	CLC	244,45	611,11	122	1
CLUB_LOS_CHILLOS	2	CLC	244,45	611,11	122	1
COFAVI	0	COF	182,11	455,29	91	1
COFAVI	1	COF	182,11	455,29	91	1
COL_SIMON_BOLIVAR	0	COB	157,15	392,87	78	1
COL_SIMON_BOLIVAR	1	COB	157,15	392,87	78	1
COL_SIMON_BOLIVAR	2	COB	157,15	392,87	78	1
COLEG_24_DE_MAYO	0	CVM	138,94	347,34	69	1
COLEG_24_DE_MAYO	1	CVM	138,94	347,34	69	1
COLISEO_RUMINAHUI	0	RMI	383,98	959,96	191	1
COLISEO_RUMINAHUI	1	RMI	383,98	959,96	191	1
COLISEO_RUMINAHUI	2	RMI	383,98	959,96	191	1
COMITE_DEL_PUEBLO	0	CDP	253,43	633,57	126	1
COMITE_DEL_PUEBLO	1	CDP	253,43	633,57	126	1
COMITE_DEL_PUEBLO	2	CDP	253,43	633,57	126	1
CONCEPCION	0	COP	182,17	455,43	91	1
CONCEPCION	2	COP	182,17	455,43	91	1
CONDADO	0	CND	322,05	805,14	161	1
CONDADO	1	CND	322,05	805,14	161	1
CONDADO	2	CND	322,05	805,14	161	1
CONDADO_BAJO	0	CBA	319,08	797,69	159	1
CONDADO_BAJO	1	CBA	319,08	797,69	159	1
CONDADO_BAJO	2	CBA	319,08	797,69	159	1
CONDOMINIOS_LA_LUZ	0	CDL	175,18	437,96	87	1
CONDOMINIOS_LA_LUZ	1	CDL	175,18	437,96	87	1
CONDOMINIOS_LA_LUZ	2	CDL	175,18	437,96	87	1
CONFITECA	0	CFI	138,94	347,34	69	1
CONFITECA	1	CFI	138,94	347,34	69	1
CONFITECA	2	CFI	138,94	347,34	69	1

Continuación 

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
CONOCOTO	0	CNC	859,17	2.147,92	429	2
CONOCOTO	1	CNC	859,17	2.147,92	429	2
CONOCOTO	2	CNC	859,17	2.147,92	429	2
CONOCOTO_CENTRO	0	CNT	384,87	962,16	192	1
CONOCOTO_CENTRO	1	CNT	384,87	962,16	192	1
CONOCOTO_CENTRO	2	CNT	384,87	962,16	192	1
CONOCOTO_SUR	0	COU	780,87	1.952,17	390	2
CONOCOTO_SUR	1	COU	780,87	1.952,17	390	2
CONOCOTO_SUR	2	COU	780,87	1.952,17	390	2
CORUNA	0	CRU	260,22	650,54	130	1
CORUNA	1	CRU	260,22	650,54	130	1
COTOCOLLAO	0	COT	351,21	878,03	175	1
COTOCOLLAO	1	COT	351,21	878,03	175	1
COTOCOLLAO	2	COT	351,21	878,03	175	1
COTOGCHOA	0	TOG	615,76	1.539,40	307	2
COTOGCHOA	1	TOG	615,76	1.539,40	307	2
COTOGCHOA	2	TOG	615,76	1.539,40	307	2
COUNTRY_EJERCITO	0	CYE	138,94	347,34	69	1
COUNTRY_EJERCITO	1	CYE	138,94	347,34	69	1
COUNTRY_EJERCITO	2	CYE	138,94	347,34	69	1
CUERO_CAICEDO	0	CU1	138,94	347,34	69	1
CUERO_CAICEDO	1	CU1	138,94	347,34	69	1
CUERO_CAICEDO	2	CU1	138,94	347,34	69	1
CUMBAYA	0	CUM	295,33	738,33	147	1
CUMBAYA	1	CUM	295,33	738,33	147	1
CUMBAYA	2	CUM	295,33	738,33	147	1
CUMBAYA_CENTRO	0	CBC	267,78	669,45	133	1
CUMBAYA_CENTRO	1	CBC	267,78	669,45	133	1
CUMBAYA_CENTRO	2	CBC	267,78	669,45	133	1
DE_LOS_CONQUISTADORES	0	DLC	46,79	116,97	23	1
DE_LOS_CONQUISTADORES	1	DLC	46,79	116,97	23	1
DE_LOS_CONQUISTADORES	2	DLC	46,79	116,97	23	1
DOS_PUENTES	0	DOS	323,82	809,56	161	1
DOS_PUENTES	1	DOS	323,82	809,56	161	1
DOS_PUENTES	2	DOS	323,82	809,56	161	1
EDEN_NORTE	0	EDN	288,04	720,11	144	1
EDEN_NORTE	1	EDN	288,04	720,11	144	1
EDEN_NORTE	2	EDN	288,04	720,11	144	1
EL_ARENAL	0	ARN	46,79	116,97	23	1
EL_ARENAL	1	ARN	46,79	116,97	23	1
EL_ARENAL	2	ARN	46,79	116,97	23	1
EL_BEATERIO	0	BEA	138,94	347,34	69	1
EL_BEATERIO	1	BEA	138,94	347,34	69	1
EL_BEATERIO	2	BEA	138,94	347,34	69	1
EL_BOSQUE	0	BOS	264,39	660,98	132	1
EL_BOSQUE	1	BOS	264,39	660,98	132	1
EL_CAMAL	0	CMA	221,86	554,64	110	1
EL_CAMAL	1	CMA	221,86	554,64	110	1
EL_CAMAL	2	CMA	221,86	554,64	110	1
EL_CARMELO	0	CLO	99,29	248,23	49	1
EL_CARMELO	1	CLO	99,29	248,23	49	1
EL_CARMELO	2	CLO	99,29	248,23	49	1
EL_COMERCIO	0	ECM	291,15	727,86	145	1
EL_COMERCIO	1	ECM	291,15	727,86	145	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
EL_COMERCIO	2	ECM	291,15	727,86	145	1
EL_EDEN	0	ELD	390,85	977,14	195	1
EL_EDEN	1	ELD	390,85	977,14	195	1
EL_EJIDO	0	EJI	141,28	353,21	70	1
EL_EJIDO	1	EJI	141,28	353,21	70	1
EL_EJIDO	2	EJI	141,28	353,21	70	1
EL_LABRADOR	0	LRD	155,64	389,10	77	1
EL_LABRADOR	1	LRD	155,64	389,10	77	1
EL_LABRADOR	2	LRD	155,64	389,10	77	1
EL_PEDREGAL	0	PEG	183,93	459,82	91	1
EL_PEDREGAL	2	PEG	183,93	459,82	91	1
EL_PINTADO	0	PTA	440,38	1.100,96	220	1
EL_PINTADO	1	PTA	440,38	1.100,96	220	1
EL_PINTADO	2	PTA	440,38	1.100,96	220	1
EL_TEJAR	0	TEJ	313,81	784,52	156	1
EL_TEJAR	1	TEJ	313,81	784,52	156	1
EL_TEJAR	2	TEJ	313,81	784,52	156	1
EL_TREBOL	0	TRE	228,38	570,96	114	1
EL_TREBOL	1	TRE	228,38	570,96	114	1
EL_TREBOL	2	TRE	228,38	570,96	114	1
ELOY_ALFARO	0	ELF	241,18	602,95	120	1
ELOY_ALFARO	1	ELF	241,18	602,95	120	1
EMAAP	0	EMA	259,52	648,79	129	1
EMAAP	1	EMA	259,52	648,79	129	1
EMAAP	2	EMA	259,52	648,79	129	1
EQUUS	0	EQU	449,02	1.122,55	224	1
EQUUS	1	EQU	449,02	1.122,55	224	1
EQUUS	2	EQU	449,02	1.122,55	224	1
ESPE	0	EPE	138,94	347,34	69	1
ESPE	1	EPE	138,94	347,34	69	1
ESPE	2	EPE	138,94	347,34	69	1
FLORESTA	0	FLS	84,03	210,08	42	1
FLORESTA	1	FLS	84,03	210,08	42	1
FLORESTA	2	FLS	84,03	210,08	42	1
FLORIDA_OESTE	0	FOU	138,94	347,34	69	1
FLORIDA_OESTE	1	FOU	138,94	347,34	69	1
FLORIDA_OESTE	2	FOU	138,94	347,34	69	1
FUNDEPORTE	0	FUT	497,60	1.244,00	248	1
FUNDEPORTE	1	FUT	497,60	1.244,00	248	1
FUNDEPORTE	2	FUT	497,60	1.244,00	248	1
FUNDEPORTE_2	0	MFU	138,94	347,34	69	1
FUNDEPORTE_2	1	MFU	138,94	347,34	69	1
FUNDEPORTE_2	2	MFU	138,94	347,34	69	1
GASPAR_D_VILLAROEL	1	GDV	138,94	347,34	69	1
GASPAR_D_VILLAROEL	2	GDV	138,94	347,34	69	1
GATAZO	0	GTZ	238,51	596,27	119	1
GATAZO	1	GTZ	238,51	596,27	119	1
GATAZO	2	GTZ	238,51	596,27	119	1
GONZALES_SUAREZ	0	GS1	148,02	370,05	74	1
GONZALES_SUAREZ	1	GS1	148,02	370,05	74	1
GRANADOS	0	GRA	385,51	963,78	192	1
GRANADOS	1	GRA	385,51	963,78	192	1
GRANADOS	2	GRA	385,51	963,78	192	1
GRANDA_CENTENO	0	GDA	215,35	538,37	107	1
GRANDA_CENTENO	1	GDA	215,35	538,37	107	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO O LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
GRANDA_CENTENO	2	GDA	215,35	538,37	107	1
GUALAQUINCHA	0	GUA	675,17	1.687,94	337	2
GUALAQUINCHA	2	GUA	675,17	1.687,94	337	2
GUANGOPOLO	0	GOP	103,18	257,94	51	1
GUANGOPOLO	1	GOP	103,18	257,94	51	1
GUANGOPOLO	2	GOP	103,18	257,94	51	1
GUANGUILTAHUA	0	GHU	58,84	147,11	29	1
GUANGUILTAHUA	1	GHU	58,84	147,11	29	1
GUAPULO	0	GPL	125,06	312,65	62	1
GUAPULO	1	GPL	125,06	312,65	62	1
GUAPULO	2	GPL	125,06	312,65	62	1
HOSP_DEL_IESS	0	IES	138,94	347,34	69	1
HOSP_DEL_IESS	1	IES	138,94	347,34	69	1
HOSP_DEL_IESS	2	IES	138,94	347,34	69	1
HOSP_VALLES	0	HOV	138,94	347,34	69	1
HOSP_VALLES	1	HOV	138,94	347,34	69	1
HOSP_VALLES	2	HOV	138,94	347,34	69	1
HOSPITAL_METROPOLITANO	0	HMP	138,94	347,34	69	1
HOSPITAL_METROPOLITANO	2	HMP	138,94	347,34	69	1
IBM	0	IBM	202,59	506,46	101	1
IBM	1	IBM	202,59	506,46	101	1
IBM	2	IBM	202,59	506,46	101	1
ILSA	0	ILS	125,02	312,55	62	1
ILSA	1	ILS	125,02	312,55	62	1
ILSA	2	ILS	125,02	312,55	62	1
INAQUITO	1	INA	237,22	593,04	118	1
INAQUITO	2	INA	237,22	593,04	118	1
INIAP	0	INI	636,69	1.591,73	318	2
INIAP	1	INI	636,69	1.591,73	318	2
INIAP	2	INI	636,69	1.591,73	318	2
INTER_CUMBAYA	0	MIT	140,14	350,36	70	1
INTER_CUMBAYA	2	MIT	140,14	350,36	70	1
JACARANDA	0	JAC	138,94	347,34	69	1
JACARANDA	1	JAC	138,94	347,34	69	1
JACARANDA	2	JAC	138,94	347,34	69	1
JARDINES_DE_CAPELO	0	JDC	46,79	116,97	23	1
JARDINES_DE_CAPELO	1	JDC	46,79	116,97	23	1
JARDINES_DE_CAPELO	2	JDC	46,79	116,97	23	1
JORGE_PIEDRA	0	JOP	194,18	485,45	97	1
JORGE_PIEDRA	2	JOP	194,18	485,45	97	1
KENNEDY	0	KND	230,93	577,32	115	1
KENNEDY	1	KND	230,93	577,32	115	1
LA_ARMENIA	0	ARM	472,31	1.180,78	236	1
LA_ARMENIA	1	ARM	472,31	1.180,78	236	1
LA_ARMENIA	2	ARM	472,31	1.180,78	236	1
LA_ARMEVIA_2	0	AR2	138,94	347,34	69	1
LA_ARMEVIA_2	1	AR2	138,94	347,34	69	1
LA_ARMEVIA_2	2	AR2	138,94	347,34	69	1
LA_BASILICA	0	LSI	94,29	235,73	47	1
LA_BASILICA	2	LSI	94,29	235,73	47	1
LA_CAROLINA	0	LCA	196,18	490,45	98	1
LA_CAROLINA	1	LCA	196,18	490,45	98	1
LA_CAROLINA	2	LCA	196,18	490,45	98	1
LA_COLINA	0	LCL	46,79	116,97	23	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
LA_COLINA	1	LCL	46,79	116,97	23	1
LA_COLINA	2	LCL	46,79	116,97	23	1
LA_ECUATORIANA	0	ETA	520,46	1.301,16	260	1
LA_ECUATORIANA	1	ETA	520,46	1.301,16	260	1
LA_ECUATORIANA	2	ETA	520,46	1.301,16	260	1
LA_ESPERANZA	0	ESP	46,79	116,97	23	1
LA_ESPERANZA	1	ESP	46,79	116,97	23	1
LA_ESPERANZA	2	ESP	46,79	116,97	23	1
LA_FLORIDA	0	LFR	154,41	386,02	77	1
LA_FLORIDA	1	LFR	154,41	386,02	77	1
LA_FLORIDA	2	LFR	154,41	386,02	77	1
LA_GASCA	0	GAS	308,47	771,16	154	1
LA_GASCA	2	GAS	308,47	771,16	154	1
LA_GUAJIRA	0	GAJ	46,79	116,97	23	1
LA_GUAJIRA	1	GAJ	46,79	116,97	23	1
LA_GUAJIRA	2	GAJ	46,79	116,97	23	1
LA_HACIENDA	0	LCH	46,79	116,97	23	1
LA_HACIENDA	1	LCH	46,79	116,97	23	1
LA_HACIENDA	2	LCH	46,79	116,97	23	1
LA_JOSEFINA	0	LJS	427,84	1.069,59	213	1
LA_JOSEFINA	1	LJS	427,84	1.069,59	213	1
LA_JOSEFINA	2	LJS	427,84	1.069,59	213	1
LA_LUZ	0	LUZ	193,37	483,41	96	1
LA_LUZ	1	LUZ	193,37	483,41	96	1
LA_MAGDALENA	0	MAG	277,47	693,67	138	1
LA_MAGDALENA	1	MAG	277,47	693,67	138	1
LA_MAGDALENA	2	MAG	277,47	693,67	138	1
LA_MARIN	0	LAM	233,28	583,20	116	1
LA_MARIN	1	LAM	233,28	583,20	116	1
LA_MARIN	2	LAM	233,28	583,20	116	1
LA_MORITA	0	MOR	478,10	1.195,26	239	1
LA_MORITA	1	MOR	478,10	1.195,26	239	1
LA_MORITA	2	MOR	478,10	1.195,26	239	1
LA_MORITA_2	0	LMR	46,79	116,97	23	1
LA_MORITA_2	1	LMR	46,79	116,97	23	1
LA_MORITA_2	2	LMR	46,79	116,97	23	1
LA_PRADERA	0	LPD	46,79	116,97	23	1
LA_PRADERA	1	LPD	46,79	116,97	23	1
LA_PRADERA	2	LPD	46,79	116,97	23	1
LA_PRIMAVERA	0	PRI	385,06	962,64	192	1
LA_PRIMAVERA	1	PRI	385,06	962,64	192	1
LA_PRIMAVERA	2	PRI	385,06	962,64	192	1
LA_PRIMAVERA_2	0	PR2	46,79	116,97	23	1
LA_PRIMAVERA_2	1	PR2	46,79	116,97	23	1
LA_PRIMAVERA_2	2	PR2	46,79	116,97	23	1
LA_QUINTANA	0	LAQ	328,93	822,32	164	1
LA_QUINTANA	1	LAQ	328,93	822,32	164	1
LA_QUINTANA	2	LAQ	328,93	822,32	164	1
LA_RABIDA	0	RAB	229,01	572,52	114	1
LA_RABIDA	1	RAB	229,01	572,52	114	1
LA_RABIDA	2	RAB	229,01	572,52	114	1
LA_TOLA_POMASQUI	0	TPI	46,79	116,97	23	1
LA_TOLA_POMASQUI	1	TPI	46,79	116,97	23	1
LA_TOLA_POMASQUI	2	TPI	46,79	116,97	23	1
LA_Y	0	LAY	83,93	209,82	41	1

Continuación 

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
LA_Y	1	LAY	83,93	209,82	41	1
LAS_CASAS	0	LCS	137,07	342,66	68	1
LAS_CASAS	2	LCS	137,07	342,66	68	1
LAURELES	0	LAU	488,13	1.220,33	244	1
LAURELES	1	LAU	488,13	1.220,33	244	1
LAURELES	2	LAU	488,13	1.220,33	244	1
LDU	0	LDU	330,50	826,26	165	1
LDU	1	LDU	330,50	826,26	165	1
LDU	2	LDU	330,50	826,26	165	1
LLANO_GRANDE	0	LLA	893,04	2.232,59	446	2
LLANO_GRANDE	1	LLA	893,04	2.232,59	446	2
LLANO_GRANDE	2	LLA	893,04	2.232,59	446	2
LLANO_GRANDE_NORTE	0	LGN	46,79	116,97	23	1
LLANO_GRANDE_NORTE	1	LGN	46,79	116,97	23	1
LLANO_GRANDE_NORTE	2	LGN	46,79	116,97	23	1
LLANO_GRANDE_SUR	0	LGS	46,79	116,97	23	1
LLANO_GRANDE_SUR	1	LGS	46,79	116,97	23	1
LLANO_GRANDE_SUR	2	LGS	46,79	116,97	23	1
LOMA_DE_PUENGASI	0	LPG	320,57	801,43	160	1
LOMA_DE_PUENGASI	1	LPG	320,57	801,43	160	1
LOMA_DE_PUENGASI	2	LPG	320,57	801,43	160	1
LOS_ARRAYANES	0	ARY	143,36	358,41	71	1
LOS_ARRAYANES	1	ARY	143,36	358,41	71	1
LOS_ARRAYANES	2	ARY	143,36	358,41	71	1
LOS_EUCALIPTOS	0	LEU	46,79	116,97	23	1
LOS_EUCALIPTOS	1	LEU	46,79	116,97	23	1
LOS_EUCALIPTOS	2	LEU	46,79	116,97	23	1
LOS_NOGALES	0	LNO	46,79	116,97	23	1
LOS_NOGALES	1	LNO	46,79	116,97	23	1
LOS_NOGALES	2	LNO	46,79	116,97	23	1
MADRE	0	MAD	173,87	434,67	86	1
MADRE	1	MAD	173,87	434,67	86	1
MADRE	2	MAD	173,87	434,67	86	1
MALDONADO	0	MLD	322,23	805,57	161	1
MALDONADO	1	MLD	322,23	805,57	161	1
MALDONADO	2	MLD	322,23	805,57	161	1
MANOSCA	0	MNO	300,90	752,26	150	1
MANOSCA	1	MNO	300,90	752,26	150	1
MANOSCA	2	MNO	300,90	752,26	150	1
MANUEL_BURBANO	0	MBB	46,79	116,97	23	1
MANUEL_BURBANO	1	MBB	46,79	116,97	23	1
MANUEL_BURBANO	2	MBB	46,79	116,97	23	1
MANUEL_BURBANO_2	0	MB2	46,79	116,97	23	1
MANUEL_BURBANO_2	1	MB2	46,79	116,97	23	1
MANUEL_BURBANO_2	2	MB2	46,79	116,97	23	1
MARIANA_JESUS	0	MDJ	46,79	116,97	23	1
MARIANA_JESUS	2	MDJ	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS	0	MRT	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS	1	MRT	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS	2	MRT	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS_NORTE	0	MRN	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS_NORTE	1	MRN	46,79	116,97	23	1
MARIANITAS_NORTE	2	MRN	46,79	116,97	23	1
MARITZA_GARZON	0	MRG	46,79	116,97	23	1
MARITZA_GARZON	1	MRG	46,79	116,97	23	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
MARITZA_GARZON	2	MRG	46,79	116,97	23	1
MAT_BAN_PICHINCHA	0	MBP	46,79	116,97	23	1
MAT_BAN_PICHINCHA	1	MBP	46,79	116,97	23	1
MATERNIDAD	0	MNI	46,79	116,97	23	1
MATERNIDAD	1	MNI	46,79	116,97	23	1
MATERNIDAD	2	MNI	46,79	116,97	23	1
MATOVELLE	1	MAV	135,37	338,44	67	1
MATOVELLE	2	MAV	135,37	338,44	67	1
MEDITROPOLI	0	ME1	46,79	116,97	23	1
MEDITROPOLI	1	ME1	46,79	116,97	23	1
MENA_2	0	MED	705,32	1.763,31	352	2
MENA_2	1	MED	705,32	1.763,31	352	2
MENA_2	2	MED	705,32	1.763,31	352	2
MINIST_FINANZAS	0	MNF	46,79	116,97	23	1
MINIST_FINANZAS	1	MNF	46,79	116,97	23	1
MINIST_FINANZAS	2	MNF	46,79	116,97	23	1
MIRAFLORES	0	MRF	306,41	766,03	153	1
MIRAFLORES	1	MRF	306,41	766,03	153	1
MIRAFLORES	2	MRF	306,41	766,03	153	1
MIRASIERRA	0	MRS	46,79	116,97	23	1
MIRASIERRA	1	MRS	46,79	116,97	23	1
MIRASIERRA	2	MRS	46,79	116,97	23	1
MONJAS	0	MON	628,01	1.570,03	314	2
MONJAS	1	MON	628,01	1.570,03	314	2
MONJAS	2	MON	628,01	1.570,03	314	2
MONTESERRIN	0	MN1	55,01	137,53	27	1
MONTESERRIN	1	MN1	55,01	137,53	27	1
MONTUFAR	0	MTF	572,08	1.430,19	286	1
MONTUFAR	1	MTF	572,08	1.430,19	286	1
MONTUFAR	2	MTF	572,08	1.430,19	286	1
MULTICENTRO	0	MUL	161,71	404,27	80	1
MULTICENTRO	1	MUL	161,71	404,27	80	1
MULTICENTRO	2	MUL	161,71	404,27	80	1
NAC_UNIDAS	0	NAC	138,94	347,34	69	1
NAC_UNIDAS	1	NAC	138,94	347,34	69	1
NAVARRO	0	NAV	131,26	328,15	65	1
NAVARRO	1	NAV	131,26	328,15	65	1
NAVARRO	2	NAV	131,26	328,15	65	1
NAYON	0	NAY	143,43	358,57	71	1
NAYON	1	NAY	143,43	358,57	71	1
NAYON	2	NAY	143,43	358,57	71	1
NUEVA_AURORA	0	NAU	46,79	116,97	23	1
NUEVA_AURORA	1	NAU	46,79	116,97	23	1
NUEVA_AURORA	2	NAU	46,79	116,97	23	1
OCCIDENTAL	0	OC1	138,94	347,34	69	1
OCCIDENTAL	1	OC1	138,94	347,34	69	1
OFELIA	0	OFE	330,94	827,34	165	1
OFELIA	1	OFE	330,94	827,34	165	1
OFELIA	2	OFE	330,94	827,34	165	1
OLMEDO_ANDRADE	1	OLA	138,94	347,34	69	1
OLMEDO_ANDRADE	2	OLA	138,94	347,34	69	1
ORELLANA	0	OLL	138,94	347,34	69	1
ORELLANA	1	OLL	138,94	347,34	69	1
ORELLANA	2	OLL	138,94	347,34	69	1
PARKENOR	0	PKR	168,44	421,11	84	1

Continuación 

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTAD O LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
PARKENOR	1	PKR	168,44	421,11	84	1
PARKENOR	2	PKR	168,44	421,11	84	1
PARQUE_INGLES	0	PQI	181,19	452,99	90	1
PARQUE_INGLES	1	PQI	181,19	452,99	90	1
PARQUE_INGLES	2	PQI	181,19	452,99	90	1
PARQUES_RECUERDOS	0	PRE	138,94	347,34	69	1
PARQUES_RECUERDOS	1	PRE	138,94	347,34	69	1
PARQUES_RECUERDOS	2	PRE	138,94	347,34	69	1
PASTEUR	0	PTS	159,55	398,88	79	1
PASTEUR	1	PTS	159,55	398,88	79	1
PASTEUR	2	PTS	159,55	398,88	79	1
PATRIA	0	PTR	257,06	642,65	128	1
PATRIA	1	PTR	257,06	642,65	128	1
PATRIA	2	PTR	257,06	642,65	128	1
PEAJE_CHILLOS	0	PE1	138,94	347,34	69	1
PEAJE_CHILLOS	1	PE1	138,94	347,34	69	1
PEAJE_CHILLOS	2	PE1	138,94	347,34	69	1
PEAJE_NORTE	0	PJN	138,94	347,34	69	1
PEAJE_NORTE	1	PJN	138,94	347,34	69	1
PEAJE_NORTE	2	PJN	138,94	347,34	69	1
PFIZER	0	PF1658	138,94	347,34	69	1
PFIZER	1	PF1658	138,94	347,34	69	1
PFIZER	2	PF1658	138,94	347,34	69	1
PIFO_CENTRO	0	PIT	272,93	682,32	136	1
PIFO_CENTRO	1	PIT	272,93	682,32	136	1
PIFO_CENTRO	2	PIT	272,93	682,32	136	1
PINAR_ALTO	0	PIA	270,21	675,53	135	1
PINAR_ALTO	2	PIA	270,21	675,53	135	1
PLAYA_CHICA	0	PYC	477,52	1.193,81	238	1
PLAYA_CHICA	1	PYC	477,52	1.193,81	238	1
PLAYA_CHICA	2	PYC	477,52	1.193,81	238	1
PLAZA_DE_TOROS	0	PDT	185,58	463,96	92	1
PLAZA_DE_TOROS	1	PDT	185,58	463,96	92	1
PLAZA_DE_TOROS	2	PDT	185,58	463,96	92	1
PLAZA_FOCH	0	FOC	228,29	570,73	114	1
PLAZA_FOCH	1	FOC	228,29	570,73	114	1
PLAZA_FOCH	2	FOC	228,29	570,73	114	1
PLAZA_SANTO_DOMINGO	0	PSD	176,43	441,07	88	1
PLAZA_SANTO_DOMINGO	1	PSD	176,43	441,07	88	1
PLAZA_SANTO_DOMINGO	2	PSD	176,43	441,07	88	1
PLYWOOD	0	PLY	459,62	1.149,05	229	1
PLYWOOD	1	PLY	459,62	1.149,05	229	1
PLYWOOD	2	PLY	459,62	1.149,05	229	1
POLITECNICA	0	EPN	292,02	730,05	146	1
POLITECNICA	1	EPN	292,02	730,05	146	1
POLITECNICA	2	EPN	292,02	730,05	146	1
POMASQUI	0	POM	502,66	1.256,64	251	1
POMASQUI	1	POM	502,66	1.256,64	251	1
POMASQUI	2	POM	502,66	1.256,64	251	1
POMASQUI_2	0	PO2	138,94	347,34	69	1
POMASQUI_2	1	PO2	138,94	347,34	69	1
POMASQUI_2	2	PO2	138,94	347,34	69	1
POMASQUI_SUR	0	POS	138,94	347,34	69	1
POMASQUI_SUR	1	POS	138,94	347,34	69	1
PONCEANO	0	PON	140,44	351,10	70	1

Continuación 

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
PONCEANO	1	PON	140,44	351,10	70	1
PONCEANO_ALTO	0	NOA	141,12	352,81	70	1
PONCEANO_ALTO	1	NOA	141,12	352,81	70	1
PUEMBO	0	PUE	217,14	542,85	108	1
PUEMBO	1	PUE	217,14	542,85	108	1
PUEMBO	2	PUE	217,14	542,85	108	1
PUEMBO_2	0	PM2	138,94	347,34	69	1
PUEMBO_2	1	PM2	138,94	347,34	69	1
PUEMBO_2	2	PM2	138,94	347,34	69	1
PUENTE_DEL_GUAMBRA	0	PDG	118,54	296,36	59	1
PUENTE_DEL_GUAMBRA	1	PDG	118,54	296,36	59	1
PUENTE_DEL_GUAMBRA	2	PDG	118,54	296,36	59	1
PULULAHUA	0	PUL	46,79	116,97	23	1
PULULAHUA	1	PUL	46,79	116,97	23	1
PULULAHUA	2	PUL	46,79	116,97	23	1
PUSUQUI	0	PUS	605,19	1.512,98	302	2
PUSUQUI	1	PUS	605,19	1.512,98	302	2
PUSUQUI	2	PUS	605,19	1.512,98	302	2
QUICENTRO_SUR	0	QSO	46,79	116,97	23	1
QUICENTRO_SUR	1	QSO	46,79	116,97	23	1
QUICENTRO_SUR	2	QSO	46,79	116,97	23	1
QUINTA_GUADALUPE	0	QGD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_GUADALUPE	1	QGD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_GUADALUPE	2	QGD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_LA_MERY	0	QLM	46,79	116,97	23	1
QUINTA_LA_MERY	1	QLM	46,79	116,97	23	1
QUINTA_LA_MERY	2	QLM	46,79	116,97	23	1
QUINTA_MADRIGAL	0	QMD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_MADRIGAL	1	QMD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_MADRIGAL	2	QMD	46,79	116,97	23	1
QUINTA_SORAYA	0	QRY	46,79	116,97	23	1
QUINTA_SORAYA	1	QRY	46,79	116,97	23	1
QUINTA_SORAYA	2	QRY	46,79	116,97	23	1
QUITO_NORTE	1	QNR	203,31	508,29	101	1
QUITO_NORTE	2	QNR	203,31	508,29	101	1
QUITO_SUR	0	QSR	612,28	1.530,69	306	2
QUITO_SUR	1	QSR	612,28	1.530,69	306	2
QUITO_SUR	2	QSR	612,28	1.530,69	306	2
QUITO_TENNIS	0	QTN	186,76	466,91	93	1
QUITO_TENNIS	1	QTN	186,76	466,91	93	1
QUITO_TENNIS	2	QTN	186,76	466,91	93	1
QUITUMBE	0	ETQ	138,94	347,34	69	1
QUITUMBE	1	ETQ	138,94	347,34	69	1
QUITUMBE	2	ETQ	138,94	347,34	69	1
RANCHO_SAN_FRANCISCO	0	RSF	340,09	850,22	170	1
RANCHO_SAN_FRANCISCO	2	RSF	340,09	850,22	170	1
REAL_AUDIENCIA	0	AUD	192,58	481,44	96	1
REAL_AUDIENCIA	1	AUD	192,58	481,44	96	1
RECOLETA	0	RCL	138,94	347,34	69	1
RECOLETA	1	RCL	138,94	347,34	69	1
RECOLETA	2	RCL	138,94	347,34	69	1
RECREO	0	REC	284,18	710,44	142	1
RECREO	1	REC	284,18	710,44	142	1
RECREO	2	REC	284,18	710,44	142	1
RODRIGO_DE_CHAVEZ	0	RCH	198,97	497,43	99	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
RODRIGO_DE_CHAVEZ	1	RCH	198,97	497,43	99	1
RODRIGO_DE_CHAVEZ	2	RCH	198,97	497,43	99	1
RUMILOMA	0	RUM	138,94	347,34	69	1
RUMILOMA	1	RUM	138,94	347,34	69	1
RUMILOMA	2	RUM	138,94	347,34	69	1
RUMINAHUI	0	MRU	138,94	347,34	69	1
RUMINAHUI	1	MRU	138,94	347,34	69	1
RUMINAHUI	2	MRU	138,94	347,34	69	1
SAN_ANTONIO	0	STO	697,38	1.743,45	348	2
SAN_ANTONIO	1	STO	697,38	1.743,45	348	2
SAN_ANTONIO	2	STO	697,38	1.743,45	348	2
SAN_ANTONIO_CENTRO	0	SAC	169,58	423,96	84	1
SAN_ANTONIO_CENTRO	1	SAC	169,58	423,96	84	1
SAN_ANTONIO_CENTRO	2	SAC	169,58	423,96	84	1
SAN_ANTONIO_SUR	0	SAS	138,94	347,34	69	1
SAN_ANTONIO_SUR	1	SAS	138,94	347,34	69	1
SAN_ANTONIO_SUR	2	SAS	138,94	347,34	69	1
SAN_BARTO_CENTRO	0	SBC	138,94	347,34	69	1
SAN_BARTO_CENTRO	1	SBC	138,94	347,34	69	1
SAN_BARTOLO	0	BAR	277,84	694,60	138	1
SAN_BARTOLO	1	BAR	277,84	694,60	138	1
SAN_BARTOLO	2	BAR	277,84	694,60	138	1
SAN_CAMILO	0	SCA	138,94	347,34	69	1
SAN_CAMILO	1	SCA	138,94	347,34	69	1
SAN_CAMILO	2	SCA	138,94	347,34	69	1
SAN_FRAN_CHUROLOMA	0	SFC	138,94	347,34	69	1
SAN_FRAN_CHUROLOMA	1	SFC	138,94	347,34	69	1
SAN_FRAN_CHUROLOMA	2	SFC	138,94	347,34	69	1
SAN_FRANCISCO	0	SFR	138,94	347,34	69	1
SAN_FRANCISCO	1	SFR	138,94	347,34	69	1
SAN_FRANCISCO	2	SFR	138,94	347,34	69	1
SAN_ISIDRO_ALTO	0	SIA	165,66	414,15	82	1
SAN_ISIDRO_ALTO	1	SIA	165,66	414,15	82	1
SAN_JOSE_COLLACQUI	0	SJC	46,79	116,97	23	1
SAN_JOSE_COLLACQUI	1	SJC	46,79	116,97	23	1
SAN_JOSE_COLLACQUI	2	SJC	46,79	116,97	23	1
SAN_LUIS_SHOPPIN	0	LUS	46,79	116,97	23	1
SAN_LUIS_SHOPPIN	1	LUS	46,79	116,97	23	1
SAN_LUIS_SHOPPIN	2	LUS	46,79	116,97	23	1
SAN_PED_CLAVER	0	SPC	46,79	116,97	23	1
SAN_PED_CLAVER	1	SPC	46,79	116,97	23	1
SAN_PED_CLAVER	2	SPC	46,79	116,97	23	1
SAN_RAFAEL	0	SRF	557,86	1.394,66	278	1
SAN_RAFAEL	1	SRF	557,86	1.394,66	278	1
SAN_RAFAEL	2	SRF	557,86	1.394,66	278	1
SANGOLQUI	0	SAN	767,29	1.918,23	383	2
SANGOLQUI	1	SAN	767,29	1.918,23	383	2
SANGOLQUI	2	SAN	767,29	1.918,23	383	2
SANTA_INES	0	STI	275,96	689,90	137	1
SANTA_INES	1	STI	275,96	689,90	137	1
SANTA_INES	2	STI	275,96	689,90	137	1
SANTA_ISABEL	0	STB	46,79	116,97	23	1
SANTA_ISABEL	1	STB	46,79	116,97	23	1
SANTA_ISABEL	2	STB	46,79	116,97	23	1
SANTA_LUCIA	0	USL	46,79	116,97	23	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
SANTA_LUCIA	1	USL	46,79	116,97	23	1
SEIS_D_DICIEMBRE	0	SDC	46,79	116,97	23	1
SEIS_D_DICIEMBRE	1	SDC	46,79	116,97	23	1
SEIS_D_DICIEMBRE	2	SDC	46,79	116,97	23	1
SHYRIS	1	SHY	136,13	340,32	68	1
SHYRIS	2	SHY	136,13	340,32	68	1
SOLANDA	0	SDA	278,52	696,31	139	1
SOLANDA	1	SDA	278,52	696,31	139	1
SOLANDA	2	SDA	278,52	696,31	139	1
SOLANDA_SUR	0	SLS	146,19	365,47	73	1
SOLANDA_SUR	1	SLS	146,19	365,47	73	1
SOLANDA_SUR	2	SLS	146,19	365,47	73	1
SOLANDA_SUR_2	0	SS2	208,27	520,67	104	1
SOLANDA_SUR_2	1	SS2	208,27	520,67	104	1
SOLANDA_SUR_2	2	SS2	208,27	520,67	104	1
SOLCA	0	SLA	260,92	652,29	130	1
SOLCA	1	SLA	260,92	652,29	130	1
TABABELA	0	TBE	46,79	116,97	23	1
TABABELA	1	TBE	46,79	116,97	23	1
TABABELA	2	TBE	46,79	116,97	23	1
TEATRO_SUCRE	0	TES	235,73	589,33	117	1
TEATRO_SUCRE	1	TES	235,73	589,33	117	1
TEATRO_SUCRE	2	TES	235,73	589,33	117	1
TELEGRAFO	0	TEL	206,47	516,17	103	1
TELEGRAFO	1	TEL	206,47	516,17	103	1
TELEGRAFO	2	TEL	206,47	516,17	103	1
THOMAS_BERLANGA	0	THO	138,94	347,34	69	1
THOMAS_BERLANGA	1	THO	138,94	347,34	69	1
THOMAS_BERLANGA	2	THO	138,94	347,34	69	1
TOLA_CHICA	0	TLC	46,79	116,97	23	1
TOLA_CHICA	1	TLC	46,79	116,97	23	1
TOLA_CHICA	2	TLC	46,79	116,97	23	1
TOLA_DE_TUMBACO	0	TDT	46,79	116,97	23	1
TOLA_DE_TUMBACO	1	TDT	46,79	116,97	23	1
TOLA_DE_TUMBACO	2	TDT	46,79	116,97	23	1
TUFINO	0	TUF	183,83	459,57	91	1
TUFINO	1	TUF	183,83	459,57	91	1
TUFINO	2	TUF	183,83	459,57	91	1
TULIPANES	0	TUL	239,64	599,10	119	1
TULIPANES	1	TUL	239,64	599,10	119	1
TUMBACO	0	TMB	649,30	1.623,25	324	2
TUMBACO	1	TMB	649,30	1.623,25	324	2
TUMBACO	2	TMB	649,30	1.623,25	324	2
TUMBACO_CENTRO	0	TBC	388,29	970,73	194	1
TUMBACO_CENTRO	1	TBC	388,29	970,73	194	1
TUMBACO_CENTRO	2	TBC	388,29	970,73	194	1
TURUBAMBA	0	TUR	395,59	988,98	197	1
TURUBAMBA	1	TUR	395,59	988,98	197	1
TURUBAMBA	2	TUR	395,59	988,98	197	1
TURUBAMBA_BAJO	0	TUB	429,13	1.072,84	214	1
TURUBAMBA_BAJO	1	TUB	429,13	1.072,84	214	1
TURUBAMBA_BAJO	2	TUB	429,13	1.072,84	214	1
ULLOA	0	ULL	78,22	195,54	39	1
ULLOA	2	ULL	78,22	195,54	39	1
UNIVERSO_UIO	0	UNI	187,76	469,40	93	1


 Continuación

NOMBRE	SECTOR	SIGLA	TRAFICO CURSADO 3G (Gbytes)	TRAFICO PROYECTADO LTE (Gbytes)	NUMERO DE USUARIOS POTENCIALES	CATEGORIZACION POR VOLUMEN DE TRAFICO
UNIVERSO_UIO	1	UNI	187,76	469,40	93	1
UNIVERSO_UIO	2	UNI	187,76	469,40	93	1
URB_EL_CONDADO	0	UEC	46,79	116,97	23	1
URB_EL_CONDADO	2	UEC	46,79	116,97	23	1
URB_PUERTA_SOL	0	UPS	46,79	116,97	23	1
URB_PUERTA_SOL	1	UPS	46,79	116,97	23	1
URB_PUERTA_SOL	2	UPS	46,79	116,97	23	1
URB_SANTIAGO	0	USB	374,11	935,28	187	1
URB_SANTIAGO	1	USB	374,11	935,28	187	1
URB_SANTIAGO	2	USB	374,11	935,28	187	1
USHIMANA	0	SHI	257,55	643,86	128	1
USHIMANA	1	SHI	257,55	643,86	128	1
USHIMANA	2	SHI	257,55	643,86	128	1
UTE	0	UTE	95,43	238,58	47	1
UTE	2	UTE	95,43	238,58	47	1
VEINTICINCO_JULIO	0	VDJ	46,79	116,97	23	1
VEINTICINCO_JULIO	1	VDJ	46,79	116,97	23	1
VEINTICINCO_JULIO	2	VDJ	46,79	116,97	23	1
VENCED_PICHINCHA	0	VDP	46,79	116,97	23	1
VENCED_PICHINCHA	1	VDP	46,79	116,97	23	1
VENCED_PICHINCHA	2	VDP	46,79	116,97	23	1
VIA_CALDERON	0	VCL	46,79	116,97	23	1
VIA_CALDERON	1	VCL	46,79	116,97	23	1
VIA_CALDERON	2	VCL	46,79	116,97	23	1
VIA_GUAYLLABAMBA	0	VGY	46,79	116,97	23	1
VIA_GUAYLLABAMBA	1	VGY	46,79	116,97	23	1
VIA_GUAYLLABAMBA	2	VGY	46,79	116,97	23	1
VIA_LLANO_GRANDE	0	VLG	46,79	116,97	23	1
VIA_LLANO_GRANDE	1	VLG	46,79	116,97	23	1
VIA_LLANO_GRANDE	2	VLG	46,79	116,97	23	1
VILLAFLORA	0	VIL	349,99	874,97	174	1
VILLAFLORA	1	VIL	349,99	874,97	174	1
VILLAFLORA	2	VIL	349,99	874,97	174	1
VILLAVEGA	0	VLV	46,79	116,97	23	1
VILLAVEGA	1	VLV	46,79	116,97	23	1
VILLAVEGA	2	VLV	46,79	116,97	23	1
VOZANDES	0	VOZ	245,93	614,82	122	1
VOZANDES	1	VOZ	245,93	614,82	122	1
VOZANDES	2	VOZ	245,93	614,82	122	1
YANBAL	0	YAN	433,67	1.084,18	216	1
YANBAL	1	YAN	433,67	1.084,18	216	1
YANBAL	2	YAN	433,67	1.084,18	216	1
ZAMBIZA	0	ZAB	249,46	623,64	124	1
ZAMBIZA	1	ZAB	249,46	623,64	124	1
ZAMBIZA	2	ZAB	249,46	623,64	124	1

De los resultados se concluye que no se necesita sitios adicionales por capacidad en el presente diseño de red. Adicionalmente los 15 eNodeB que se encuentran en un rango de consumo de tráfico bordeando los 3000 GB son buenos candidatos para implementar el sistema MIMO y de esta manera mejorar la percepción del usuario. El mapa de distribución de tráfico se muestra en la figura 34.



Figura 34. Mapa de tráfico

CAPITULO IV

SIMULACION INTERFAZ E-UTRAN EN LA CIUDAD DE QUITO

4.1 SOFTWARE DE COBERTURA

Para el presente proyecto se está usando la herramienta de predicción y planeación de cobertura xWizard del fabricante Ericsson. xWizard soporta todas las tecnologías de acceso de radio que se han desplegado comercialmente desde hace 15 años, empezando por AMPS, redes 2G como GSM-GPRS, iDEN, TDMA, CDMA, IS-95, redes 3G UMTS/HSDPA y CDMA2000 1xRTT y EV-DO, hasta tecnologías 4G WiMAX 802.16 y LTE.

Las predicciones son basadas en modelos exactos para cualquier red independientemente de la generación, tecnología o banda de frecuencia. xWizard ofrece un amplio rango de modelos de propagación que trabajan en el rango de frecuencias desde los 300 MHz hasta los 4500 MHz y pueden ser automáticamente optimizados usando un manejador de datos avanzado, logrando la convergencia de los modelos de afinamiento. El ajuste de los *clutters*, puede también ser optimizado automáticamente usando manejadores de datos para mejorar los modelos de propagación. xWizard permite además mejorar las predicciones de cobertura usando datos de *drive test* de las celdas.

xWizard además de proveer *plots* de cobertura, muestra también los niveles de potencia de transmisión (*uplink* y *downlink*) basados en los *clutters* disponibles. Otra ventaja es la utilización para realizar análisis de capacidad y dominancia de la celda en puntos determinados, muestra además análisis de calidad (RxQual) basados en niveles de interferencia identificando áreas problema a ser optimizadas, permite adicionar fácilmente nuevos sitios en caso de ser necesarios para solventar problemas de cobertura, dominancia o capacidad.

4.1.1 ABRIR CREAR UN PROYECTO

Para crear un proyecto nuevo en la herramienta es necesario inicialmente cargar la información básica que son:

- Tecnología.- Para el presente proyecto se escogerá la tecnología LTE
- Sistema de medida (métrico, inglés)
- Terreno.- Se refiere a los archivos en los cuales se encuentra la información de alturas de la zona geográfica en la que se realizarán las predicciones
- Clutter ID.- Se refiere a los archivos en los que se encuentra la información de la clasificación de las áreas geográficas en función de la densidad poblacional y características de los edificios, como son Densa urbana, urbana, sub urbana, rural, industrial, forestal, etc
- Ajuste de Clutter.- Es un archivo que permitirá hacer ajustes en caso de que el clutter ID no encuentre algún tipo de clasificación particular.

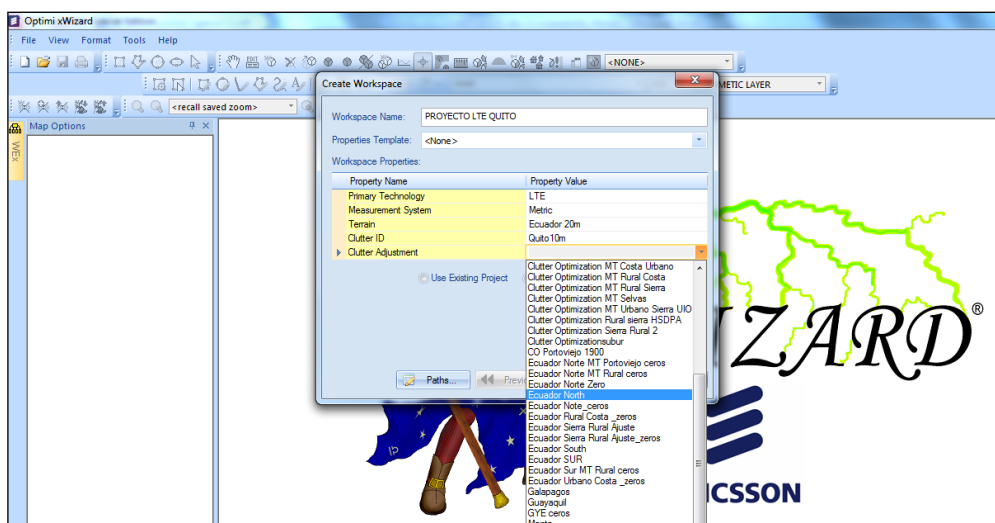


Figura 35. Creación de un proyecto en la herramienta de predicción xWizard

A continuación se procederá a editar el proyecto “*Workspace*”, definiendo los límites de las coordenadas geográficas en las cuales se trabajará, así como las unidades de latitud y longitud. Para el presente proyecto se usará la denominación de grados, minutos y segundos en el sistema WGS 1984. Se debe definir también el sistema de medición que para este proyecto será el sistema métrico.

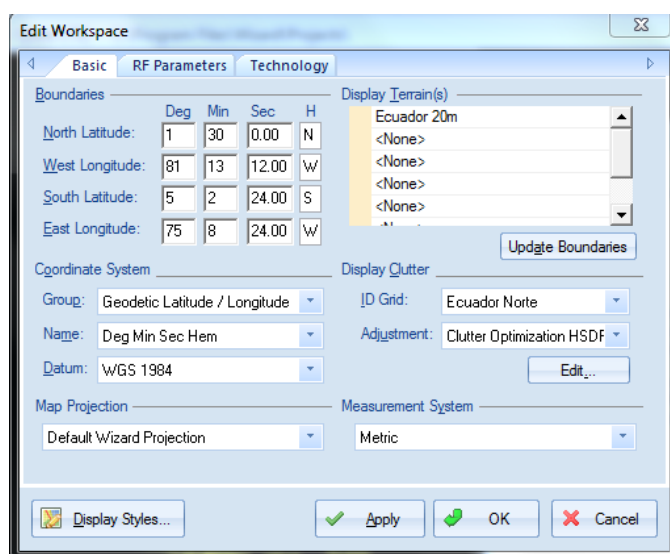


Figura 36. Parámetros básicos de edición de un proyecto

Otro paso importante a seguir dentro de la creación un proyecto en X-Wizard, es la definición de los directorios en los que se guardará las siguientes librerías:

- Archivos del proyecto
- Tipo de terreno
- Información de clutter
- Patrón de radiación de las antenas

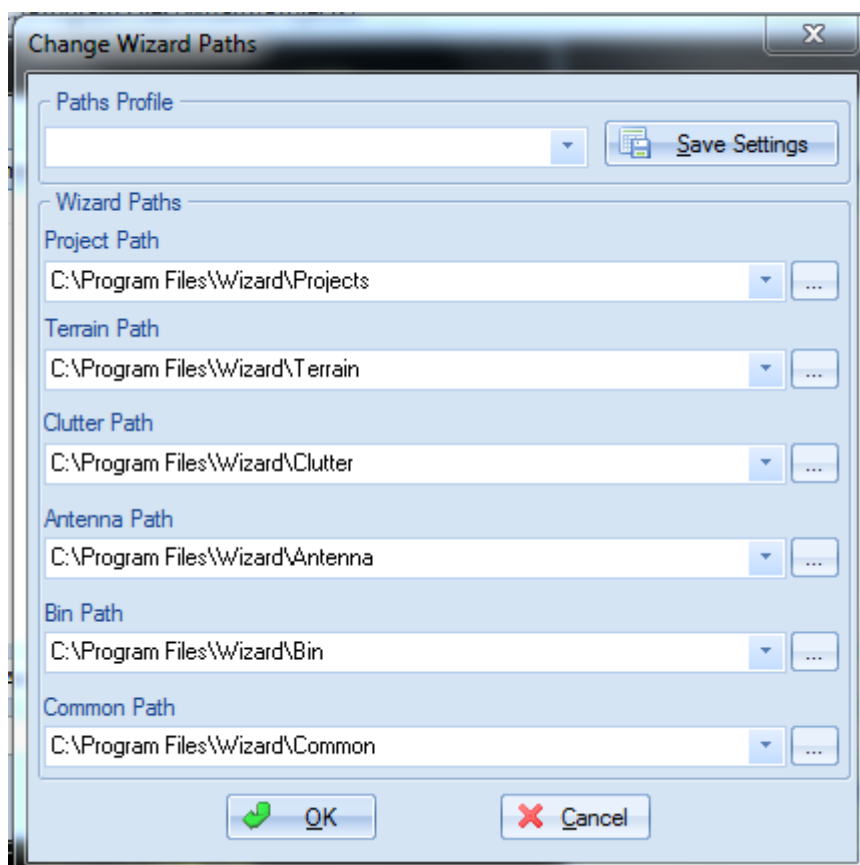
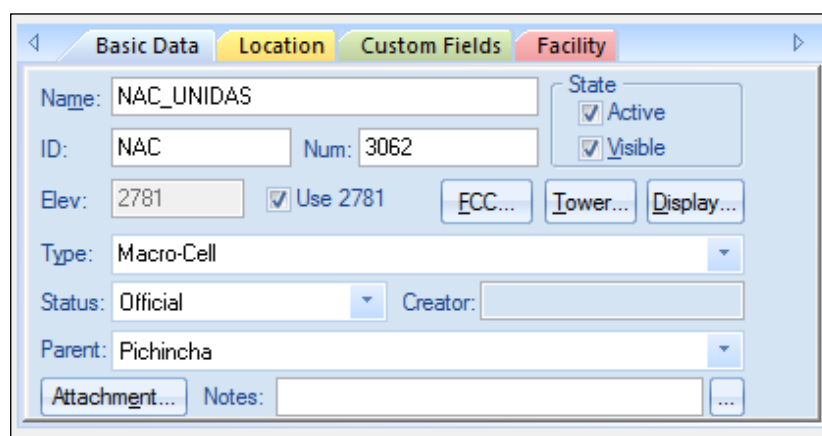


Figura 37. Creación de directorios para información básica del proyecto

4.1.2 CREAR Y CONFIGURAR LA RED

Una vez creado el proyecto, se procede a crear y configurar la red, es decir, crear uno a uno los eNodeB, con sus características particulares, la herramienta x-Wizard, proporciona ventanas amigables que permiten ingresar tanto la información básica como son el nombre del eNodeB, coordenadas geográficas, tipo de antena, hasta las más especializadas como son los modelos de antena, parámetros de operación, rangos de frecuencias, etc. A continuación se presenta gráficamente con un ejemplo de un eNodeB denominado NAC_UNIDAS, la información a ingresar en las diferentes vistas:

4.1.2.1 INFORMACION BASICA DEL eNodeB



Field	Value
Name	NAC_UNIDAS
ID	NAC
Num	3062
Elev	2781
Type	Macro-Cell
Status	Official
Parent	Pichincha

Figura 38. Información básica del eNodeB

4.1.2.2 LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL eNode B

Figura 39. Localización geográfica del eNodeB

4.1.2.3 INFORMACION BÁSICA DE LOS SECTORES DEL eNodeB

Field	TX 1 (ID: 0/0/SV)	TX 2 (ID: 1/0/SV)	TX 3 (ID: 3/0/SV)
Active	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Transmitter ID	0/0/SV	1/0/SV	3/0/SV
HCS Tier	0	0	0
Cell ID in BSC	30062	31062	33062
Nominal Radius[km]:	10.00	10.00	10.00
Notes			
Display Styles	LS	LS	LS

Figura 40. Información básica de los sectores del eNodeB

4.1.2.4 INFORMACION DE LAS ANTENAS A INSTALAR DEL eNodeB

Field	TX 1 (ID: 0/0/SV)	TX 2 (ID: 1/0/SV)	TX 3 (ID: 3/0/SV)
Antenna Model	HWX-6516DS1-VTM_05D...	HWX-6516DS1-VTM_05D...	HWXX-6516DS-VTM_10D...
Frequency Band	ALL BANDS	ALL BANDS	ALL BANDS
Electrical Tilt	0	0	0
Antenna Pattern	HWX-6516DS1-VTM_05D...	HWX-6516DS1-VTM_05D...	HWXX-6516DS-VTM_10D...
Sector Width	65	65	61
Mechanical Tilt	1	1	-2
Total Tilt	1	1	-2
Rad Center	174.0	174.0	21.0
Azimuth	30	136	330
Number of Panels	N/A	N/A	N/A
Panels			
Use NCA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
NCA			

Figura 41. Información de las antenas a instalar en el eNodeB

4.1.2.5 INFORMACION DE RADIOFRECUENCIAS DEL eNodeB

Field	TX 1 (ID: 0/0/SV)	TX 2 (ID: 1/0/SV)	TX 3 (ID: 3/0/SV)
ERP[Watts]	753.41	753.41	651.67
Power Budget			
# of Feed Lines	1	1	1
Clutter File	Quito10m	Quito10m	Quito10m
Clutter Adjustment	Clutter Optimization HSDPA...	Clutter Optimization HSDPA...	Clutter Optimization HSDPA...
Use TX Parameters	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Propagation Parameters	Default Lee Parameters tur...	Default Lee Parameters tur...	Default Lee Parameters tur...
View Params			

Figura 42. Información de radio frecuencia del eNodeB

4.1.2.6 INFORMACION DE PARAMETROS DE FRECUENCIA Y POTENCIA DEL eNodeB

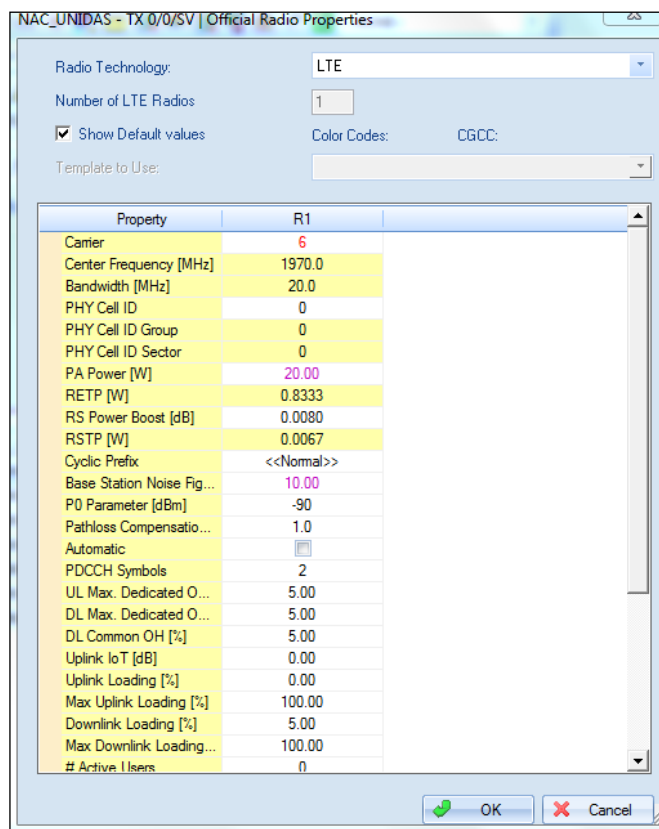


Figura 43. Información de los parámetros de frecuencia y potencia del eNodeB

Después de ingresar toda la información indicada en las ventanas anteriores, se define el eNodeB creado como un sitio “*Official*”, y en este momento, la herramienta de predicción procede a visualizar en su pantalla principal el E-Node B con sus sectores y orientaciones definidas.

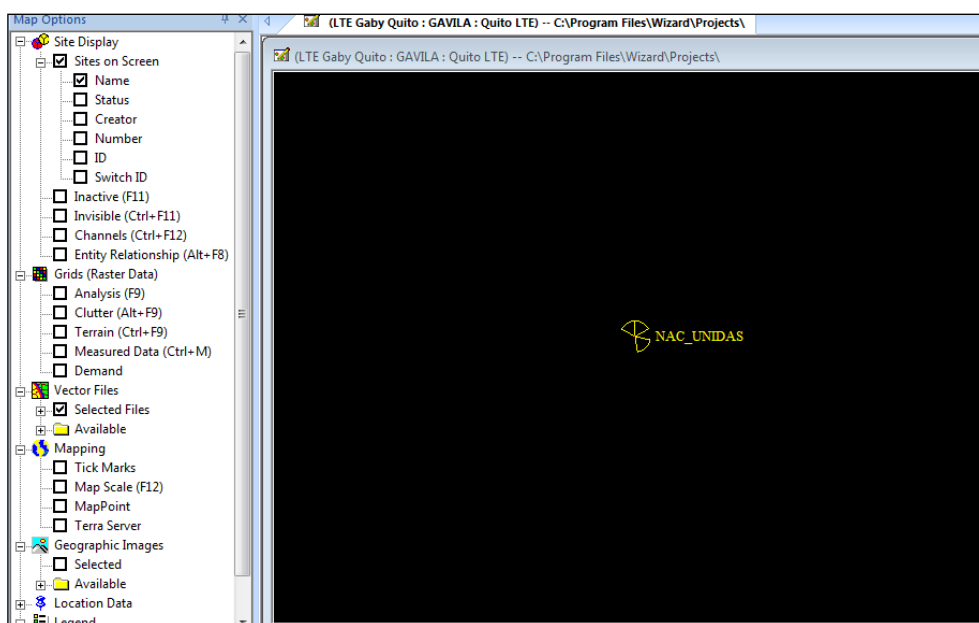


Figura 44. Creación del eNodeB

El siguiente paso es realizar la predicción de cobertura para determinar el área de cobertura del elemento creado

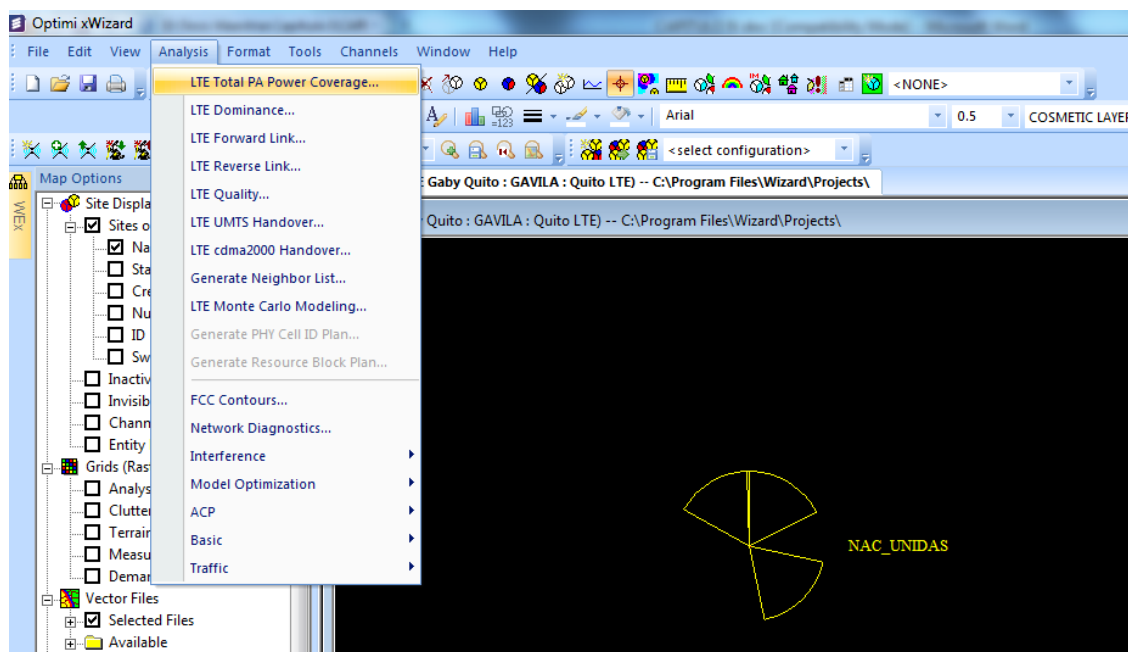


Figura 45. Predicción de cobertura del eNodeB

Finalmente en la pantalla principal se visualizará los resultados de la predicción creada, con estos resultados, el analista podrá analizar la necesidad de realizar cambios en los sectores del eNodeB para que este cumpla con los objetivos que fueron creados o en su defecto de no requerir cambios, procederá a realizar la contratación e implementación del sitio.

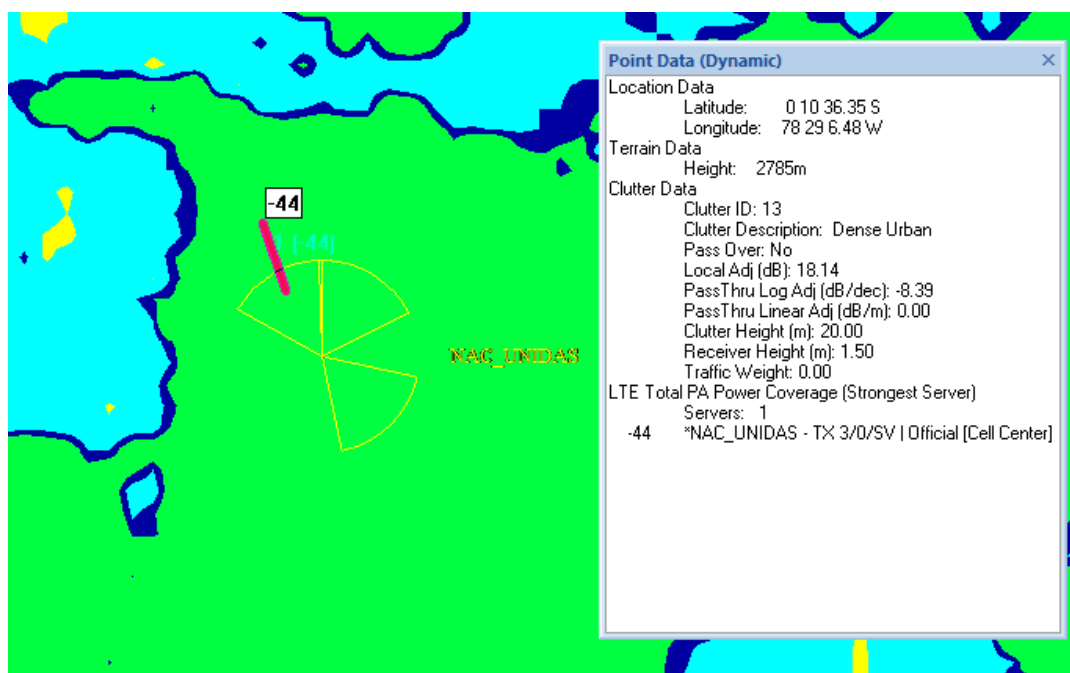


Figura 46. Resultados de la predicción de cobertura del eNodeB

4.1.3 PREDICCIONES DE COBERTURA SEGÚN NIVEL DE SEÑAL

Para el presente proyecto se ha creado y optimizado 291 eNodeB de acuerdo al procedimiento indicado en la sección 4.1.2 y posteriormente se ha realizado la predicción de cobertura, obteniendo el mapa de cobertura de una red LTE del DMQ. A continuación se presenta una muestra de los resultados obtenidos en la predicción de cobertura para el área geográfica de los valles de Cumbayá y Tumbaco. En el

anexo 3 se presenta la información completa de toda el área geográfica indicada en el presente documento.

Las muestras de color verde, son aquellas que se encuentran en el rango entre 0 y -65 dBm y son las mejores, las muestras de color azul, son aquellas que se encuentran en el rango entre -65 y -69 dBm, las muestras de color celeste, son aquellas que se encuentran en el rango entre -69 y -78 dBm, las muestras de color amarillos, son aquellas que se encuentran en el rango de -78 a -86 dBm, y finalmente las de color rojo son aquellas con valores menores a -86 dBm en las cuales no se garantiza una buena cobertura celular y por lo tanto las velocidades de transmisión serán muy bajas.

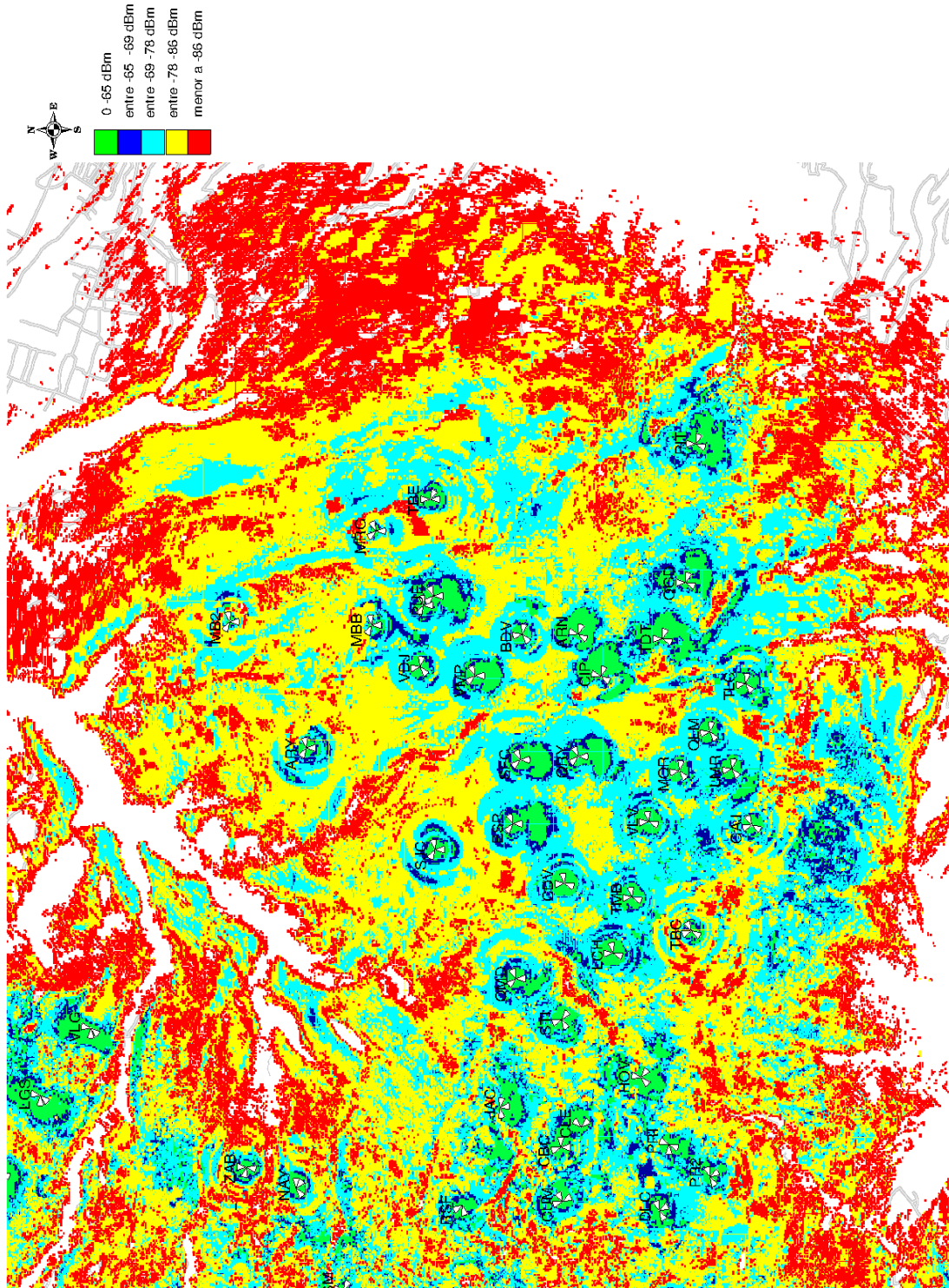


Figura 47. Resultados de la predicción de cobertura del valle de Cumbayá y Tumbaco

4.1.4 PREDICCIÓN DE COBERTURA SEGÚN CALIDAD DE SEÑAL

En el diseño de una red celular además de la cobertura y la capacidad instalada, es necesario tomar cuenta también la calidad de señal. En el proceso de diseño únicamente se puede determinar los niveles de calidad tomando en cuenta la relación de calidad con respecto a la interferencia presentada por los diferentes niveles de señal de todos los sectores que llegan a un punto específico. La herramienta x-Wizard puede entregar *plots* de calidad basados en la relación portadora interferencia (C/I).

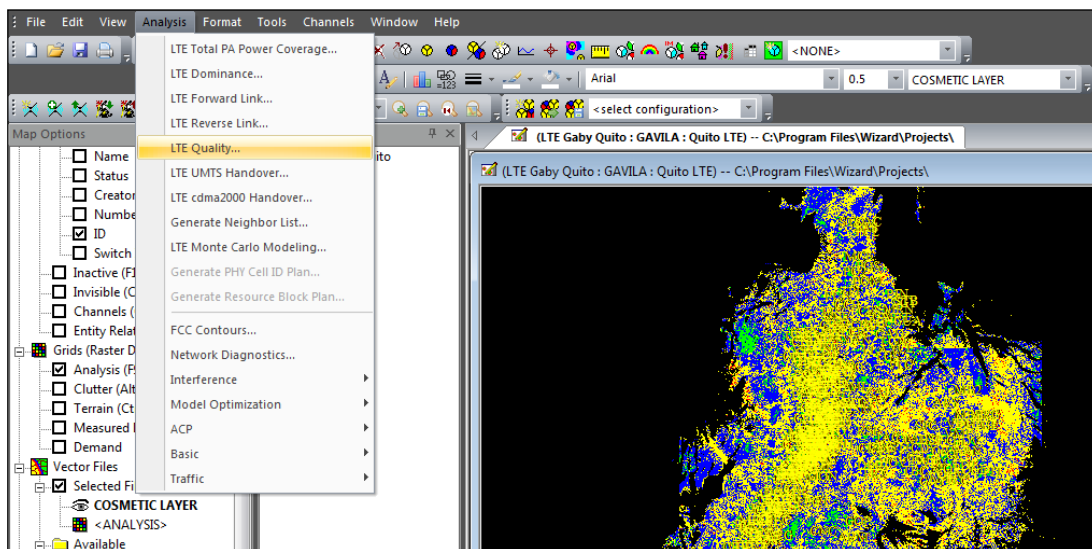


Figura 48. Predicción calidad de señal

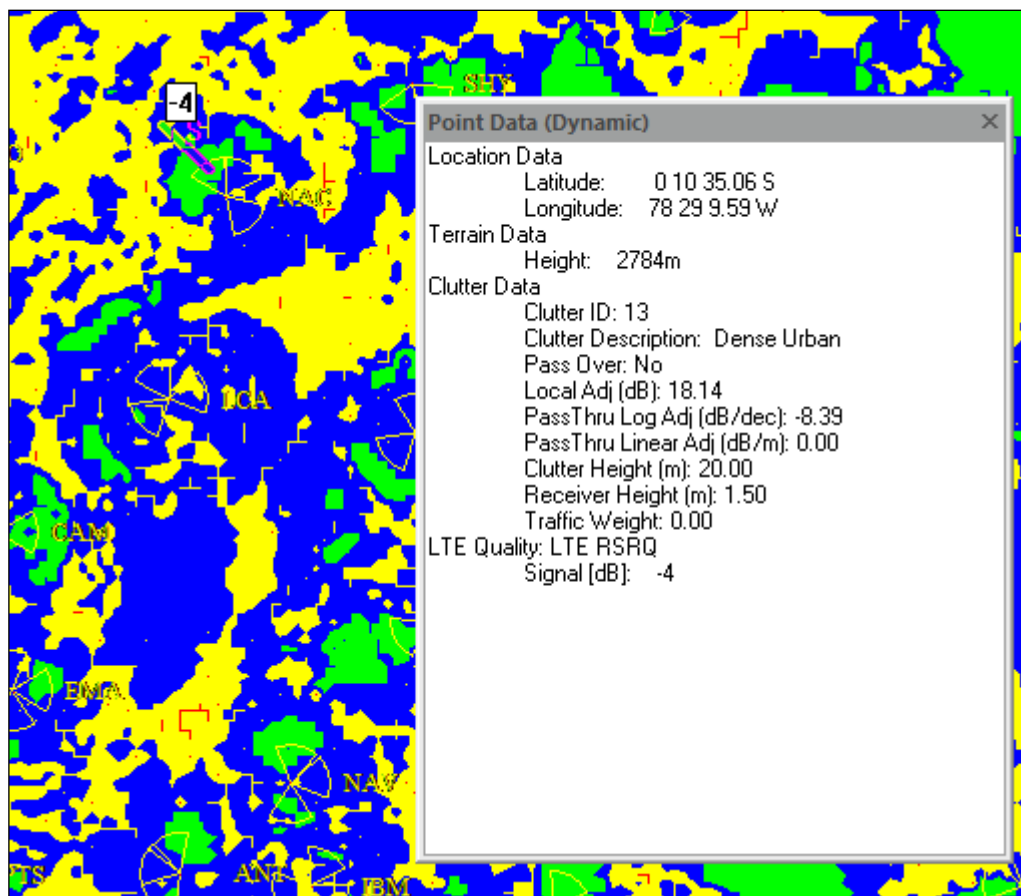


Figura 49. Resultados de la predicción calidad de señal

Para el presente proyecto se ha seleccionado los 291 E-Node B y posteriormente se ha realizado la predicción de calidad, obteniendo el mapa de calidad de una red LTE del DMQ. A continuación se presenta una muestra de los resultados obtenidos en la predicción de calidad para el área geográfica de los valles de Cumbayá y Tumbaco. En el anexo 4 se presenta la información completa de toda el área geográfica del DMQ.

Las muestras de color verde se encuentran en el rango de 0 a -3dB, las muestras de color azul, se encuentran en el rango entre -3 y -5 dB, las muestras de color amarillo se encuentran en el rango entre -5 y -8 dB y las muestras de color rojo son las menores a -8dB.

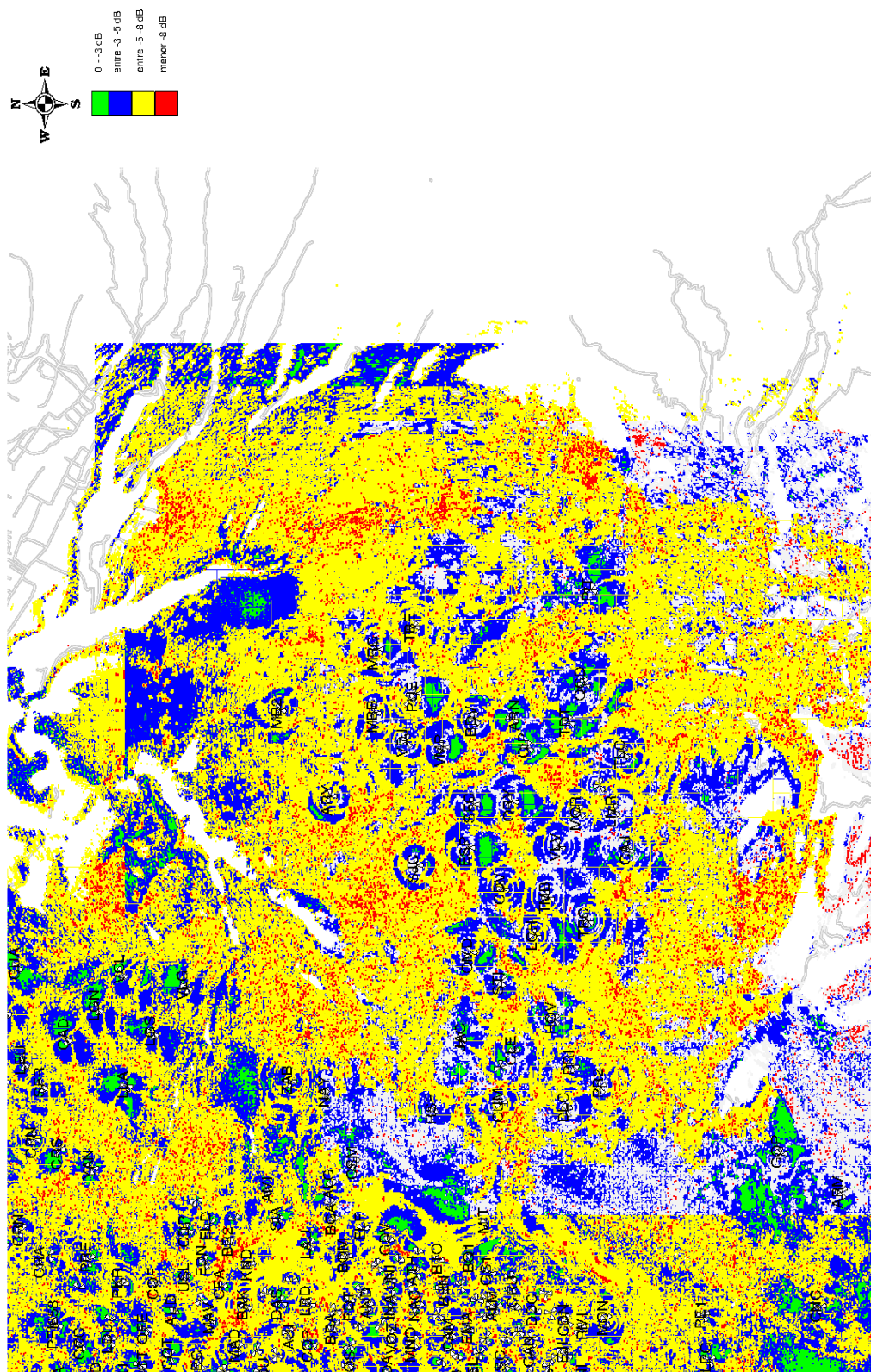


Figura 50. Resultados de las predicción de calidad del valle de Cumbayá y Tumbaco

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

4.2.1 ANALISIS DE RESULTADOS DE PREDICCIONES

4.2.1.1 PREDICCIONES DE COBERTURA

Dado que la tecnología LTE se presenta como una tecnología que permite navegación a velocidades altas, se hace indispensable que la red desplegada pueda prestar niveles de señal mayores a -86 dBm (valor óptimo para ambientes indoor),

El presente proyecto ha mostrado los siguientes resultados en cuanto a niveles de cobertura.

Tabla 17.

% de muestras de cobertura en DENSO URBANO

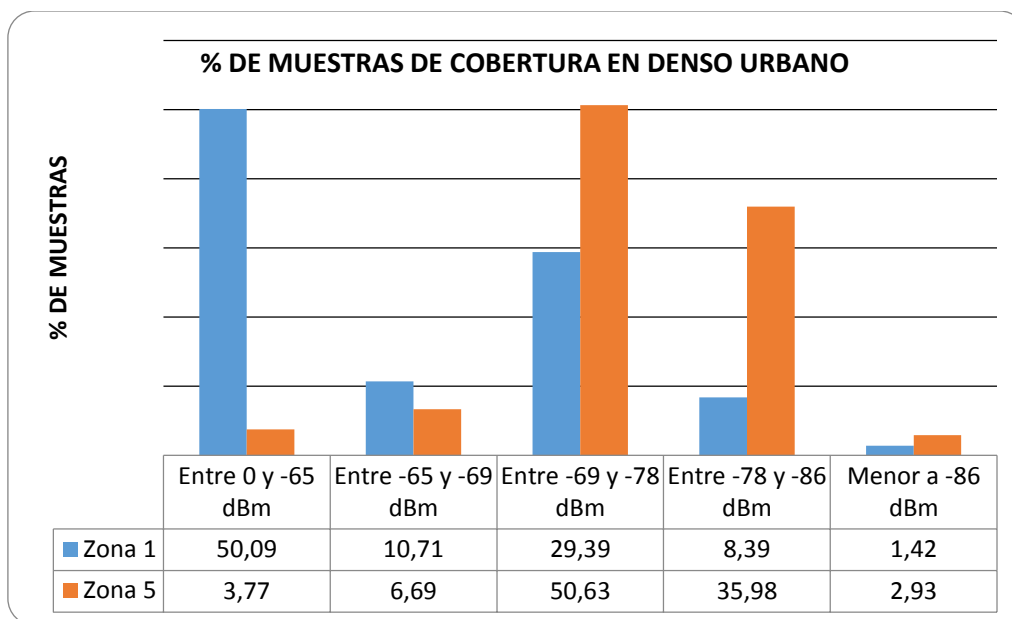
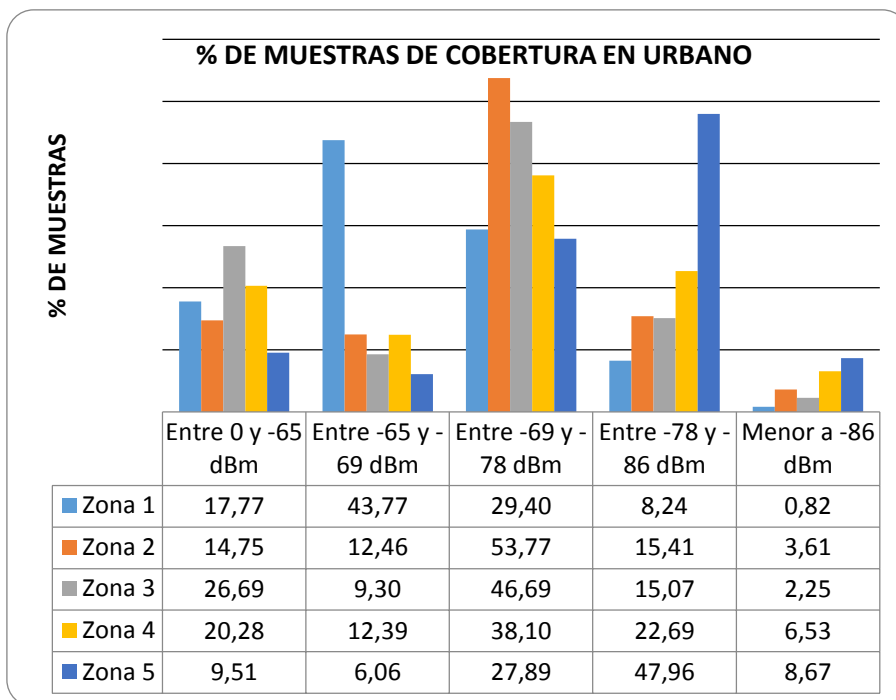


Tabla 18.

% de muestras de cobertura en URBANO

**Tabla 19.**

% de muestras de cobertura en SUB URBANO

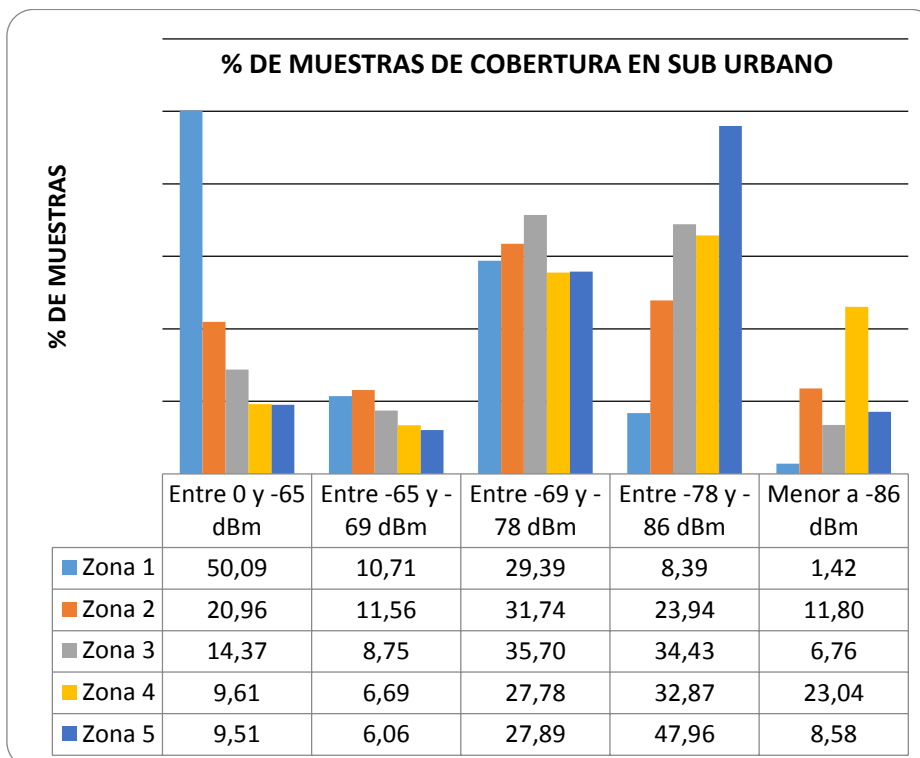
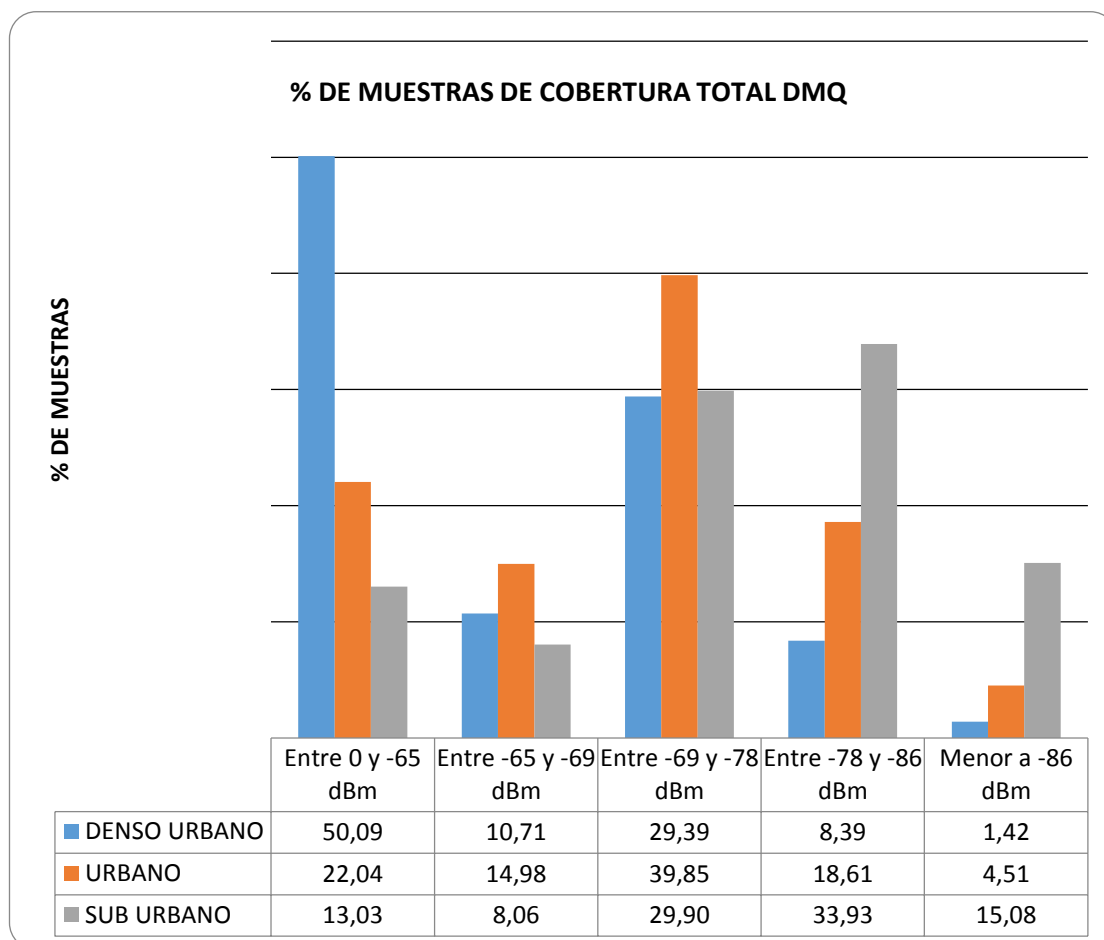


Tabla 20.

% de muestras de cobertura TOTAL DMQ

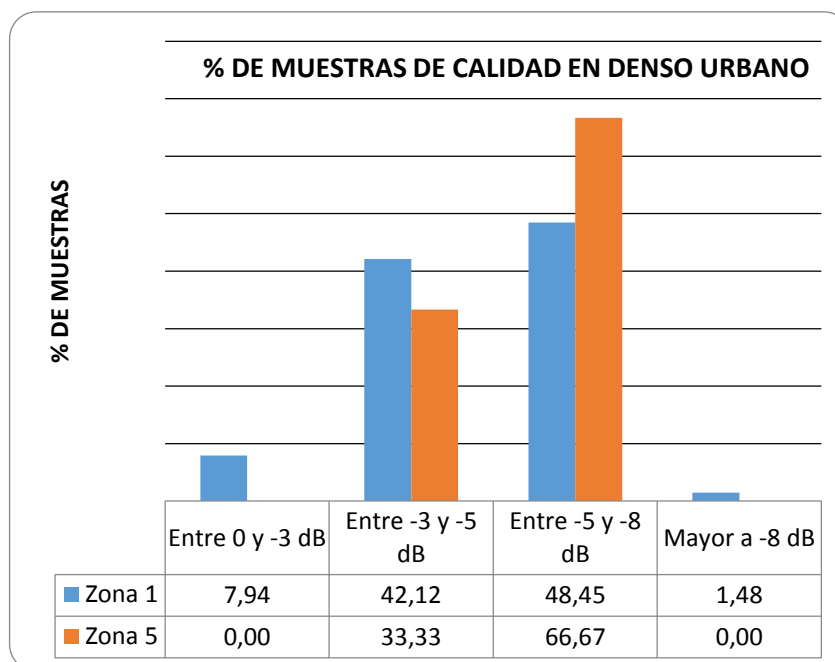


4.2.1.2 PREDICCIONES DE CALIDAD

En cuanto a calidad, se ha determinado que la relación de interferencia con respecto a la portadora (señal dominante), no deben ser menores a -8 dB, para el presente proyecto se ha obtenido los siguientes resultados de calidad.

Tabla 21.

% de muestras de calidad en DENSO URBANO

**Tabla 22.**

% de muestras de calidad en URBANO

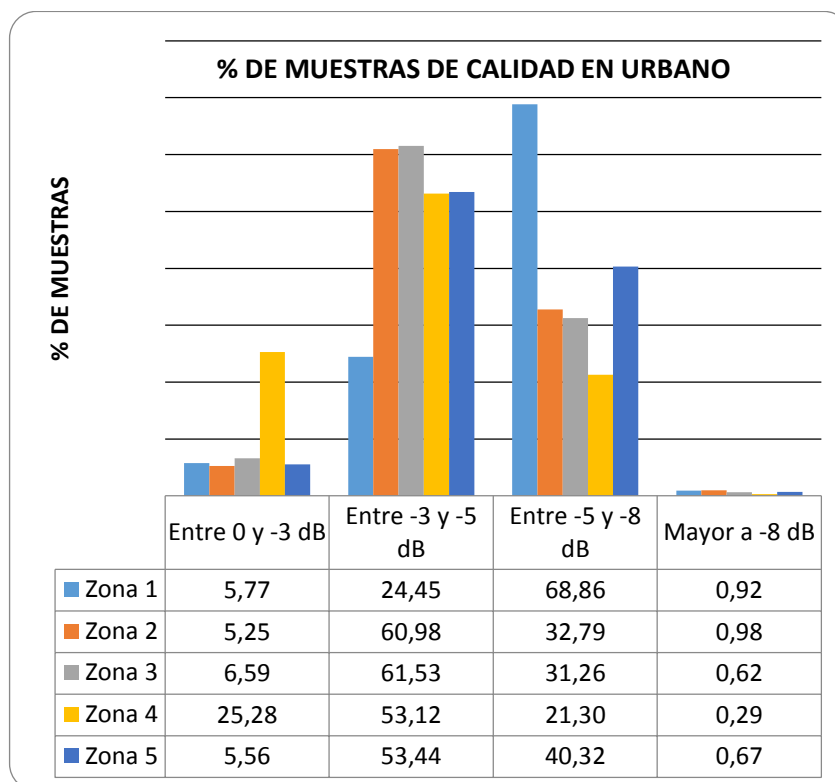
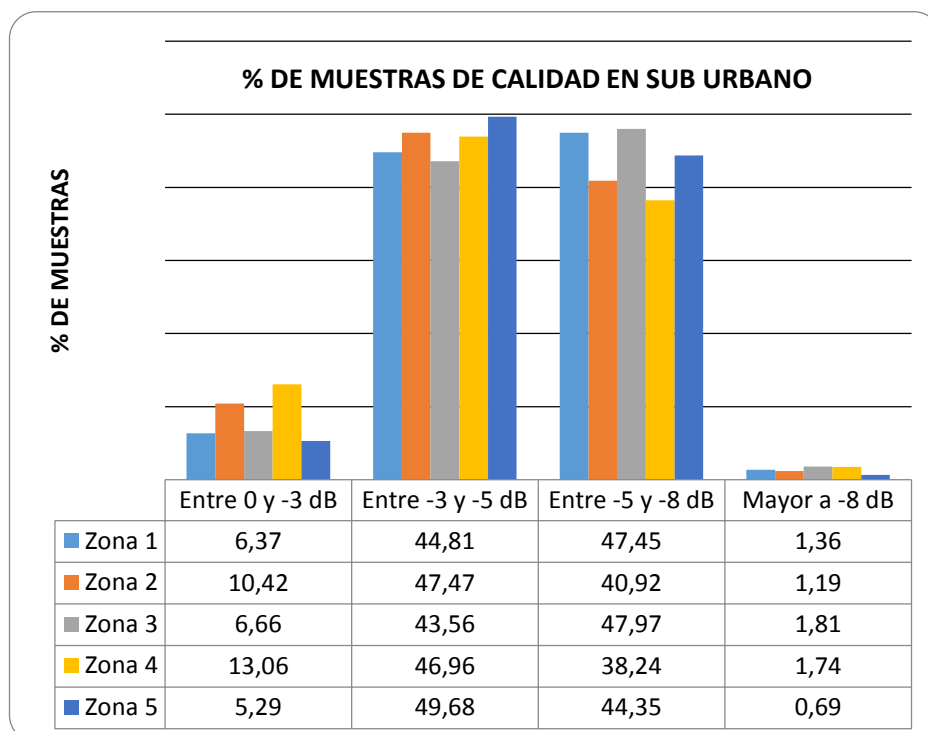
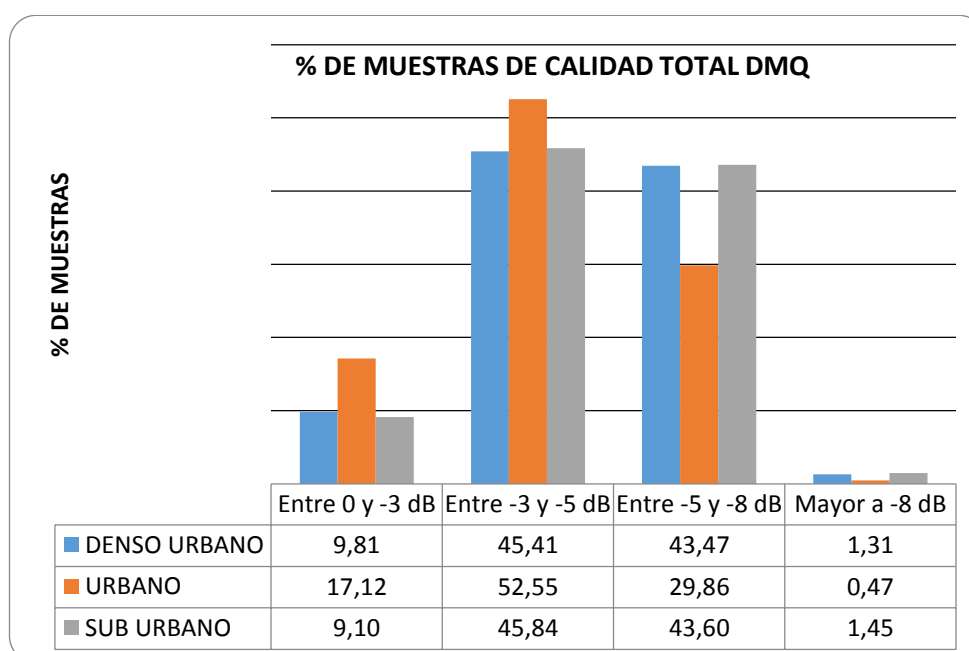


Tabla 23.

% de muestras de calidad en SUB URBANO

**Tabla 24.**

% de muestras de calidad TOTAL DMQ



Es importante indicar que si bien es cierto, las predicciones obtenidas tanto para cobertura como para calidad, presentan resultados muy buenos, estas son basadas únicamente en modelos matemáticos teóricos. Que tratan de modelar el comportamiento de la señal celular en ambientes ideales. Sin embargo, en el despliegue de la red celular, es muy probable que el operador celular se encuentre con zonas puntuales en las que posiblemente no tenga los valores de cobertura necesarios para brindar un óptimo servicio celular y necesite reacomodar las orientaciones y tilts de las antenas de los eNodeB vecinos o en su defecto desplegar un nuevo sitio, es posible también que existan sectores en los que la calidad de señal sea muy pobre y se necesite una optimización más específica, para lo cual se deberá realizar *drive test* y analizar si la solución será cambiar parámetros lógicos para controlar los niveles de señal de un eNodeB en particular o cambios físicos para modificar los patrones de radiación de las antenas.

4.2.2. ANALISIS DEL PLAN DE FRECUENCIAS

Actualmente, la gran limitante de los operadores celulares para desplegar una red LTE es sin duda alguna la del espectro radioeléctrico, aunque LTE les permite “reacomodar” sus frecuencias para reservar una cantidad suficiente de espectro y desplegar sus redes de cuarta generación, ya que como se indicó en el capítulo 2, en el apartado 2.2, la red LTE necesita una portadora de 20 MHz, pero inicialmente puede trabajar con anchos de banda de 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15MHz hasta llegar a 20 MHz.

En el Ecuador, el Estado ha concesionado el espectro radioeléctrico en la banda de 850 MHz a las operadoras celulares Telefónica y Claro equitativamente con un

ancho de banda de 2X12.5 MHz, para cada una, esta distribución se muestra en la figura 51, mientras que la banda de 1900 MHz ha sido concesionada para las operadoras Claro, Telefónica y CNT con anchos de banda de 2X5MHz para Telefónica y Claro y 2X20 MHz para CNT, tomado en cuenta que CNT tiene un acuerdo con Telefónica que ha cedido 2X5 MHz a cambio de *roaming* de la red GSM y UMTS de Telefónica para los usuarios de CNT. En la banda de 1900 MHz aún se tiene 2 portadoras de 2X15 MHz disponibles para ser subastadas. En la figura 52, se muestra la distribución de la banda de 1900 MHz.

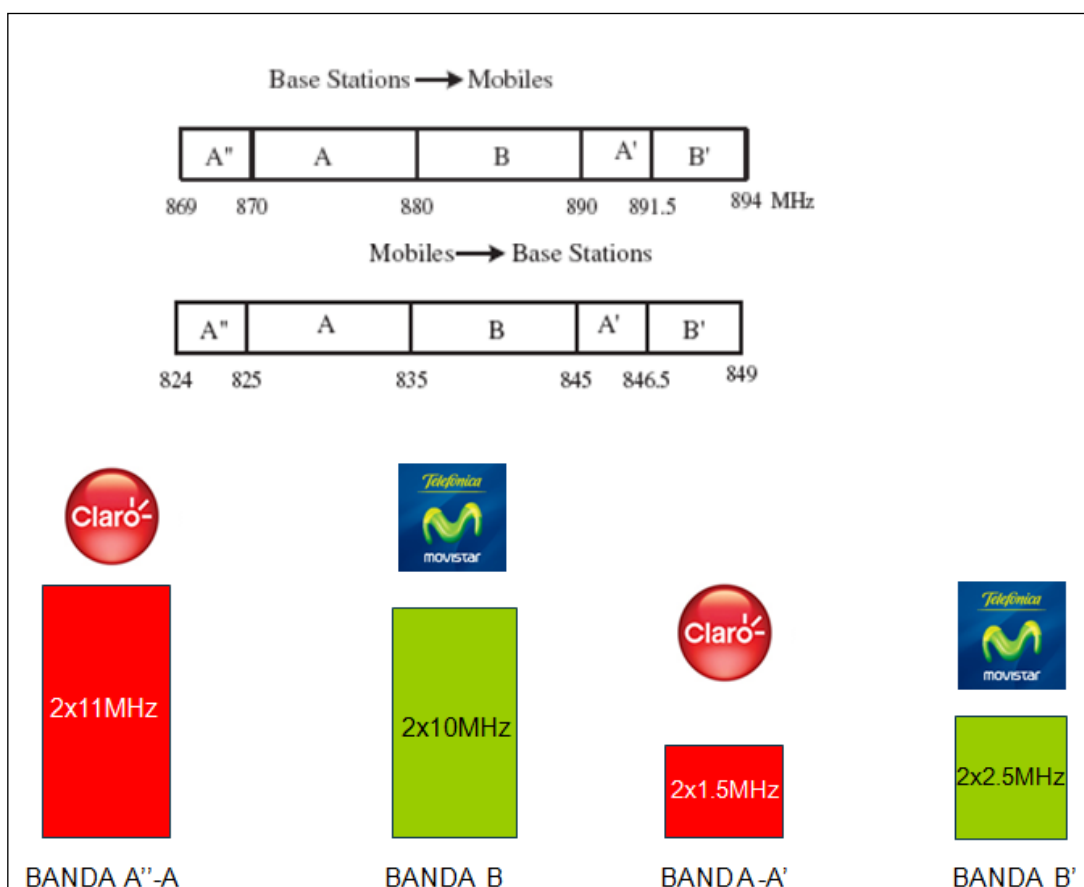


Figura 51. Distribución de la banda de frecuencias de 850 MHz para las operadoras celulares

Fuente: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones

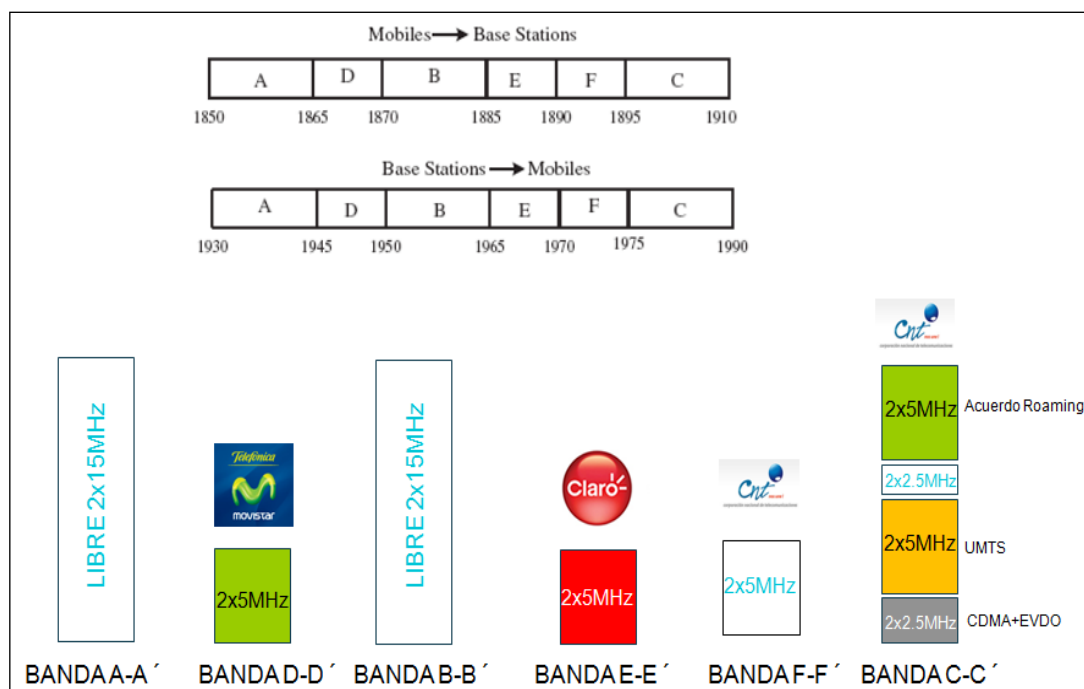


Figura 52. Distribución de la banda de frecuencias de 1900 MHz para las operadoras celulares

Fuente: Secretaría Nacional de Telecomunicaciones

Bajo estas condiciones, la única operadora que podría desplegar una red UMTS sin necesidad de solicitar espectro adicional sería CNT, mientras que Telefónica y Claro necesariamente deberían solicitar más espectro al Estado Ecuatoriano. Según lo indicado en el capítulo 3, las bandas disponibles en Ecuador para el sistema LTE son las siguientes:

- 698 – 806 MHz
- 824 – 849 MHz
- 869 – 894 MHz
- 1 710 – 2 025 MHz

- 2 100 – 2 200 MHz
- 2500 – 2690 MHz

Para el presente proyecto y tomando, en base a los razonamientos indicados en el capítulo 3, se ha seleccionado, la banda de los 2600 MHz.

CAPITULO V

ANALISIS ECONOMICO

5.1 INFRAESTRUCTURA NECESARIA

La infraestructura necesaria para el despliegue de la red E-UTRAN del Distrito metropolitano de Quito (DMQ), es la siguiente:

eNodeB.- El modelo de e-Node B que se ha utilizado en el presente proyecto es el “*Flexi Multiradio Base Estation*” del proveedor Nokia Siemens Networks (NSN), esta es una macrocelda, no requiere gabinetes para su instalación, posee 3 sectores con amplificadores de 210 W de potencia, se ha diseñado bajo el estándar 3GPP release 8, es de fácil instalación, comisionamiento y mantenimiento además soporta la configuración 2X2 MIMO.

Este eNodeB, es además muy versátil reduciendo costos de renta de sitios, ya que puede ser instalado sobre una pared a través de soportes, estos módulos también pueden ser instalados sobre el piso. Los costos de mantenimiento son bajos ya que no es necesaria ninguna rutina de mantenimiento, todos los módulos son perfectamente accesibles y protegidos contra los daños ambientales, existe además la posibilidad de realizar trabajos remotos de detección de falla y reparación a través de puestos de comunicación con el edificio de monitoreo central.

Dependiendo de la necesidad del operador celular se proporcionará los módulos específicos para el rango de frecuencias de operación, así como el software necesario

y funcionalidades específicas adicionales que serán requeridas para brindar servicios de aplicaciones específicas del operador, un ejemplo típico de funcionalidades (software) básicas requeridas para un eNodesB es:

- Licencia LTE, WCDMA, HSPA
- Ancho de banda variable en pasos de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz
- Activación de 1, 2 ó 3 sectores
- Potencia de radiofrecuencias por sector de 8, 20, 40 ó 60 W.
- Regulación de tilt remoto para las antenas
- Disponibilidad Dual band
- Diversidad en up-link
- Interface de transporte
- Métodos de Sincronización disponibles por ejemplo GPS.

Una ventaja especialmente importante para este tipo de soluciones es que este equipo puede ser implementado en sitios en los que se tiene ya un equipo celular de tecnología 2G y/o 3G, utilizando gabinetes existentes e incluso energía, existe además la posibilidad de compartir antenas entre tecnologías, con arreglos especiales. (Networks)



Figura 53. eNodeB

Fuente: NOKIA SIEMENS NETWORK

Antenas.- Se ha seleccionado 3 modelos de antenas de la marca COMMSCOPE:

HWXX-6516DS-VTM.- Trabaja en las bandas de 1710 a 1880, 1850 a 1990, 1920 a 2170, 2300 a 2500, 2500 a 2690 MHZ, está en el rango de 17.7 a 18.2 dBi de ganancia, apertura horizontal entre 61 y 65 grados, apertura vertical entre 5.1 y 7.5 grados.



W2X-6516DS-VTM.- Trabaja en las bandas de 2300 a 2500, 2500 a 2700 MHZ, está en el rango de 18.3 a 18.8 dBi de ganancia, apertura horizontal entre 64 y 65 grados, apertura vertical entre 5.8 y 6.2 grados.



HWX-6516DS1-VTM.- Trabaja en las bandas de 1710 a 1880, 1850 a 1990, 1920 a 2170, 2300 a 2500, 2500 a 2690 MHZ, está en el rango de 17.4 a 18.5 dBi de ganancia, apertura horizontal entre 61 y 67 grados, apertura vertical entre 5.1 y 6.7 grados.



En el anexo 5 se muestra las características físicas y técnicas de las antenas seleccionadas.

5.2 PRESUPUESTO REFERENCIAL

De acuerdo a la investigación de mercado, el precio de un e-Node B, con las características indicadas anteriormente es de \$ 18.995, dividido en \$ 15.120 el *hardware* y \$3.875 las licencias de *software*. Para el presente proyecto es necesario la adquisición de 291 e-Node B por lo tanto se requiere un presupuesto de \$5'527.545.

En cuanto al número de antenas, resultó que es necesario la instalación de 805 sectores, por lo tanto se necesitaría 805 antenas, sin embargo, debido a que existen 15 eNodeB que tendrían un tráfico relativamente alto, para mejorar el desempeño de estos se propone instalar el sistema MIMO, para lo cual se necesitaría una antena adicional por sector, resultando un total de 848 antenas, tomando en cuenta un valor promedio de \$1.600 por antena, se requiere alrededor de \$1'356.800.

La conexión entre los módulos de RF y las antenas para los eNodeB se la realiza a través de fibra óptica, el costo en el mercado de cada metro de fibra óptica es de

\$1.41, para el presente proyecto se ha calculado que se necesita alrededor de 14.866 metros, por lo tanto el presupuesto necesario para este ITEM es de \$20.961,06.

Es necesario además realizar trabajos de obra civil y eléctrica para la instalación de los e-Node B, el costo de materiales y mano de obra para los 291 eNodeB está alrededor de los \$6'900.000 El costo de la instalación de los equipos eNodeB es alrededor de \$8.000, lo que genera un presupuesto necesario de \$2'328.000.

Finalmente desarrollar la infraestructura necesaria para colocar las antenas ya sea en soportes sobre una terraza o de ser el caso construir un monopolo, generará costos de alrededor \$3'400.000 En las figuras 54 y 55, se muestra un plano tipo de una estación sobre terraza y una con monopolo respectivamente.

Se presenta a continuación un cuadro resumen con las cantidades de material necesario y los costos referenciales para cada ITEM.

Tabla 25.

Presupuesto referencial

ITEM	Costo por unidad (\$)	Cantidad	Total (\$)
Antenas	1.600,00	848	1.356.800,00
Fibra Optica	1,41 c/metro	14866	20.961,00
Instalación eNodeB	8.000,00	291	2.328.000,00
E-NodeB Hw	15.000,00	291	4.365.000,00
E-NodeB SW	4.000,00	291	1.164.000,00
Obra civil	13.500,00	291	3.928.500,00
Obra Eléctrica	10.500,00	291	3.055.500,00
Estructura terraza	2.700,00	180	486.000,00
Estructura Monopolo	27.000,00	111	2.997.000,00
TOTAL			19.701.761,00

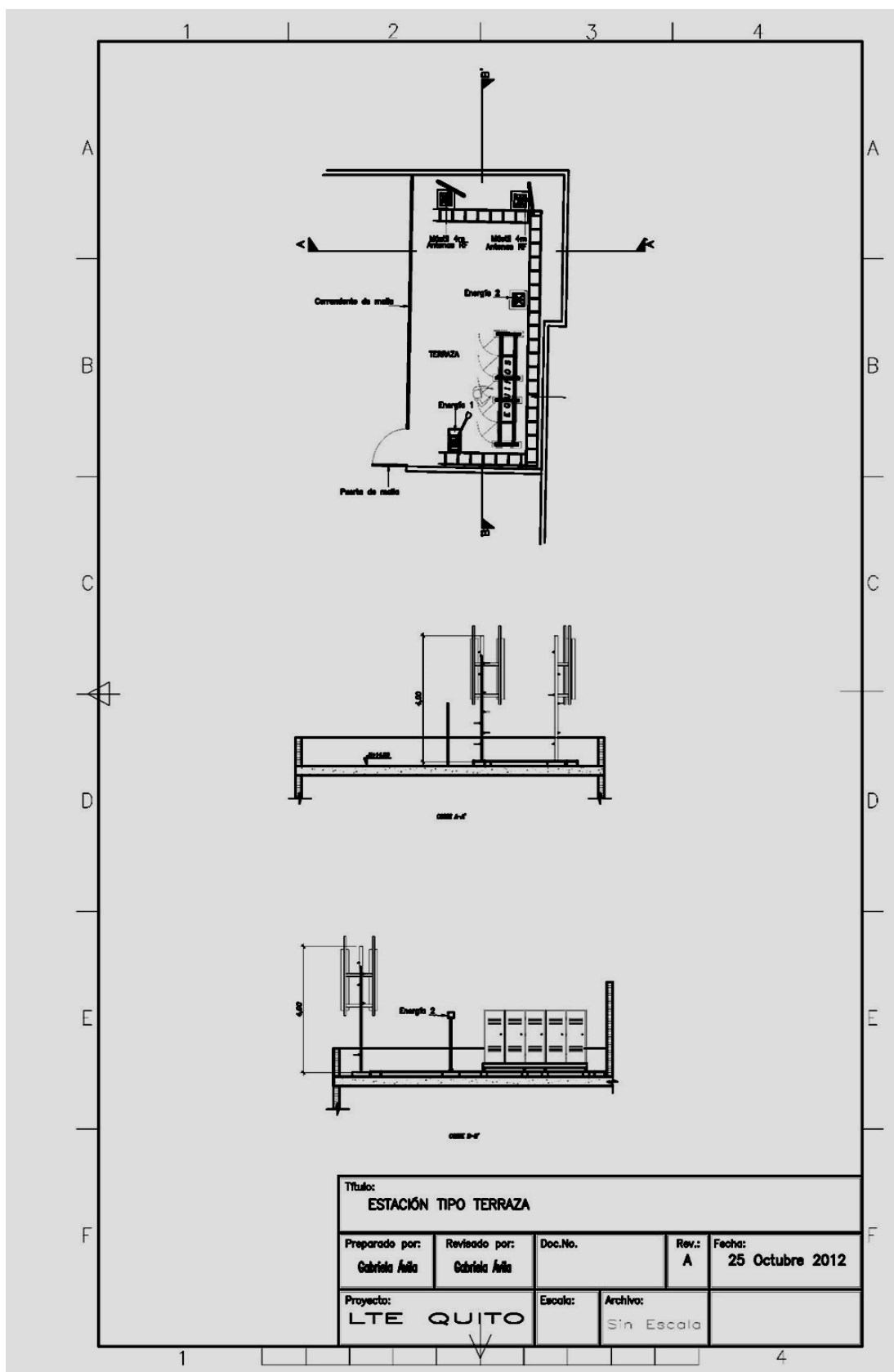


Figura 54. Estación tipo terraza

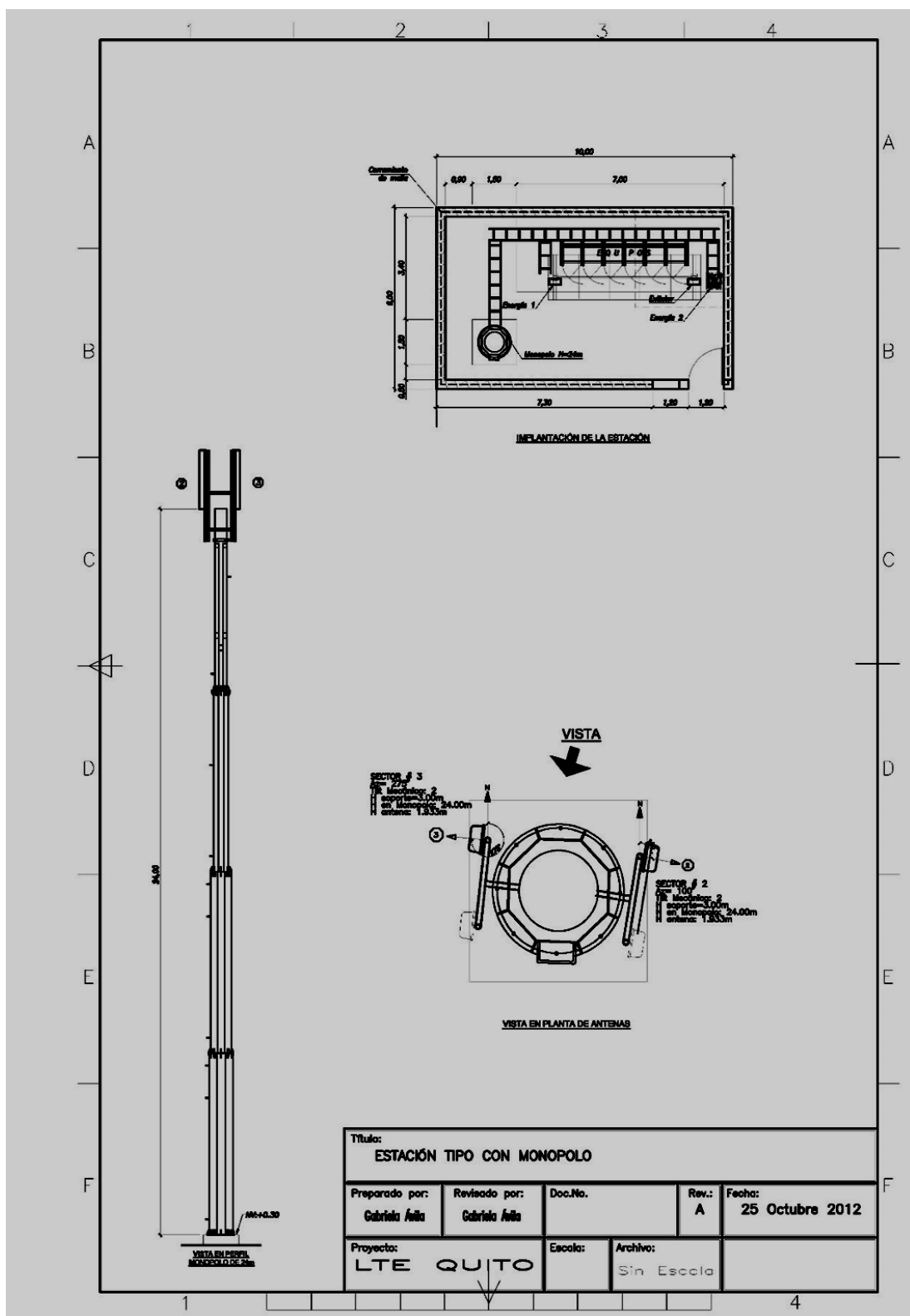


Figura 55. Estación tipo suelo

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Con la finalidad de prestar un óptimo servicio celular, equilibrando las necesidades de capacidad, cobertura y calidad en el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito y tomando en cuenta el peor escenario en cuanto a la asignación del espectro celular que para el presente caso de estudio es la banda de los 2600 MHz, se concluye que en el interfaz E-Utran se deberá desplegar 291 e-Node B.

Después de realizar el diseño de cada e-Node B y la simulación en la herramienta de predicción, en el ítem cobertura se obtuvieron muy buenos resultados, así, el 98.58% de las muestras del área densa urbana del DMQ se encuentran en rangos óptimos, aunque en contraste en el área sub urbana apenas el 84.92% presenta muestras de señal mayores a -86 dBm. Se concluye entonces que al instalar 291 e-Node B en las coordenadas indicadas, se puede prestar un buen servicio con valores apropiados de cobertura, ya que una red se considera buena cuando se obtiene el 96% de probabilidad de servicio, en este caso en el área densa urbana que es el área en donde se tendrá mayor concentración de usuarios, se obtuvo una probabilidad de cobertura mayor al 96%. Para el área sub-urbana se obtuvieron valores menores de probabilidad de cobertura, sin embargo, se debe tener en cuenta que en este caso

tenemos *clutters* forestales, por lo tanto no es necesario llegar a presentar porcentajes altos de penetración de señal ya que no se espera una alta concentración de usuarios.

Para el análisis de resultados en el ítem calidad, se concluye que al tener apenas el 1.5% de las muestras con probabilidad de tener una relación portadora – interferencia de -8 dB, no existe interferencia ya que las antenas de los sectores de la red celular se encuentran diseñados con una altura, orientación y *tilt* adecuados evitando la sobre propagación de los mismos, así como también el número de e-Node B es el correcto para el área geográfica a cubrir.

En cuanto a capacidad, por la naturaleza del proyecto, en el cual se está diseñando una nueva red LTE en base a estadísticas de tráfico de una red de tercera generación y tomando en cuenta que la red LTE al presentar mayores ventajas de capacidad y velocidad de transmisión de datos puede cursar hasta 3 veces más tráfico que una red UMTS, comparando con valores teóricos de capacidad de los nuevos e-Node B 4600 GBytes/mes, se concluye que ninguno de los 291 e-Nodeb superan el valor teórico de capacidad, por lo tanto no es necesario, desplegar más e-Node B para cubrir las necesidades de capacidad de tráfico de los primeros usuarios LTE.

La definición del espectro a ser usado para desplegar la red LTE, es un punto crítico, ya que a partir de esta premisa se deberá ajustar la cantidad de e-Node B a ser desplegados, así como también se deberá desarrollar el portafolio de equipos a ser comercializados, tomando en cuenta que el costo de los terminales es directamente proporcional a los servicios que ofrece y la cantidad de bandas en las que pueden operar.

LTE es una red de cuarta generación que permitirá a las operadoras celulares entregar a sus clientes mejores servicios de datos y aplicaciones acorde al mundo moderno, por lo tanto el desplegar esta red se está volviendo una necesidad primordial en nuestro país.

6.2 RECOMENDACIONES

Debido a que la implementación de una nueva red celular requiere alta inversión, es recomendable iniciar el despliegue y comercialización del servicio en una específica área de cobertura en la cual existe el mayor potencial de usuarios de datos, para posteriormente, una vez creada la necesidad, la operadora celular vaya desplegando su nueva red a nivel nacional.

Dado que la principal ventaja de LTE desde el punto de vista del usuario son las altas velocidades de transmisión de datos, es muy importante que la operadora celular además de desplegar la red, cree aplicaciones específicas de acuerdo a las necesidades de sus potenciales clientes para de esta manera lograr el 100% de aceptación y captación de nuevos clientes.

El estado ecuatoriano, debe flexibilizar los requerimientos de espectro celular de tal manera que las operadoras puedan desplegar sus redes celulares de cuarta generación logrando el desarrollo tecnológico del país, que finalmente beneficia a todos los ecuatorianos.

ACRONIMOS:

1G – Primera Generación
2G – Segunda Generación
3G – Tercera Generación
4G – Cuarta Generación
1XEVD0 – One Carrier Evolved, Data Optimized
1XEVDV - One Carrier Evolved, Data Voice
3GPP – Third Generation Partnership Project
AMPS - Advanced Mobile Phone System
ARP - Allocation and Retention Priority
ARQ - Automatic Repeat ReQuest
ATM – Asynchronous Transfer Mode
BSS - Base Station Subsystem
CDMA – Code Division Multiple Access
CN - Core Network
DMQ - Distrito Metropolitano de Quito
EDGE – Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eNB - evolved NodeB
EPC – Evolved Packet Core
EPS – Evolved Packet System
ETSI - European Technology Standard Institute
E-UTRAN – Enhanced UMTS Terrestrial Radio Access Network
FCC – Federal Communications Commissions
FDD – Frequency Division Duplex
FM – Frecuencia Modulada
GERAN – GSM EDGE Radio Access Network
GPRS – General Packet Radio Service
HSPA – High Speed Packet Access

HSPA + - High Speed Packet Access Advanced
HSUPA - High Speed Uplink Packet Access
IMS – IP Multimedia Subsystem
IMTS – Improved Mobile Telephone Service
IMT 2000 - International Mobile Telephone 2000
ISDN – Integrated Services Digital Network
IP – Internet Protocol
ITU – International Telecommunications Union
LTE - Long Term Evolution
MAC - Medium Access Control
MIMO – Multiple Input Multiple Output
MMS – Multimedia Messaging System
NMT 450 - Nordic Mobile Telephony 450 MHz
NMT 900 - Nordic Mobile Telephony 900 MHz
MS - Mobile Station
MSC – Mobile Switching Center
NMS - Network Maintenance Subsystem
NSS - Network Switching Subsystem
OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA - Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PDN – Packet Data Network
PLMN – Public Land Mobile Net
PRB – Physical Resource Block
PSTN – Public Switched Telephone Network
QoS – Quality of Service
RAN - Radio Access Network
RRC - Radio Resource Control
SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiple Access

SMS – Short Message Service

SMARTPHONE – Teléfono Inteligente

SUPERTEL – Superintendencia de Telecomunicaciones

TDD – Time Division Duplex

TDMA – Time Division Multiple Access

TD-CDMA – Time Division Code Division Multiple Access

TFT - Traffic flow template

TIC - Tecnología de la Información y Comunicación

TTI – Transmission Time Interval

UE - User Equipment

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System

UTRAN – UMTS Territorial Radio Access Network

VoIP – Voice over Internet Protocol

WAP – Wireless Application Protocol

WCDMA – Wideband CDMA

WCDMA - Wide-Band Code Division Multiple Access

WIMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access

BIBLIOGRAFIA

Agusti,R., Bernardo, F., Casadeval.,Ferrús,R., Pérez,J.,Oriol,R. (2010).

Americas, 3. (2009). *3GPP Broadband Evolution to IMT*. (A. 4G, Ed.)

Concepts, F. (Junio2008). *Mobile Internet Device And Chip Marcket Opportunities*.

Ecuador, P. N. (2012).

Farley, T. (2007). (A. h. technology, Editor, & T. C.-P. Revolution, Productor)

Obtenido de

http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_tel%C3%A9fono_m%C3%B3vil

http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_del_tel%C3%A9fono_m%C3%B3vil. (s.f.).

<http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml#HISTOR>. (s.f.).

Leach, A. (Junio 2009). *Ovum Comment*. the silver lining of the declining handset market.

Networks, N. S. (s.f.). Flexi Multiradio Base Station LTE Mode product Overview.

DN09108014.

Racines, C. (2008). Ecuador.

Ruvalcaba, D. (2005). <http://es.scribd.com/doc/28418922/Nacimiento-del-telefono>.