Pontificia Universidad Católica del Ecuador

PUCE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

DIMENSIONAMIENTO DE UN CLÚSTER DE RED LTE PARA BRINDAR COBERTURA EN LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE LOJA

CARLOS JAVIER CASTILLO CUENCA

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN REDES DE COMUNICACIONES

Quito – 2017

AUTORÍA

Yo, **Carlos Javier Castillo Cuenca**, portador de la cédula de ciudadanía No. **1104689334**, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Carlos Javier Castillo Cuenca

Tabla de contenido

AUTORÍA i

Lista de tablas iv

Lista de figuras v

1 Introducción vii

2 Justificación ix

3 Antecedentes x

4 Objetivos xi

4.1 Objetivo General: xi

4.2 Objetivos Específicos: xi

5 Desarrollo Caso de Estudio 1

5.1 Redes móviles y su evolución 1

5.2 Análisis del estado actual del despliegue de redes LTE en Ecuador y en la provincia de Loja 19

5.3 Proyección de posibles usuarios LTE en la zona de cobertura 29

5.4 Dimensionamiento matemático del número de eNodeB de acuerdo al área de cobertura 33

5.5 Dimensionamiento matemático del número de eNodeB de acuerdo a la capacidad necesaria de la red 41

5.6 Diseño del cluster LTE en el software de simulación ATOLL 52

5.7 Predicciones de cobertura en el software de simulación ATOLL 57

5.8 Predicción de parámetros de desempeño de la red LTE en el software de simulación ATOLL 61

5.8.1 Predicción de medidas de nivel físico en la red LTE..... 61

5.8.2 Predicción de medidas de Throughput para el Uplink y Downlink de la red LTE 64

5.9 Presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja 66

6 Conclusiones..... 68

7 Recomendaciones 71

8 Bibliografía..... 72

9 Anexos..... 75

9.1 Plan nominal del despliegue de sitios 75

9.2 Datasheet Routers Coriant 8630 77

9.3 Datasheet Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio BTS..... 80

9.4 Datasheet Antena Commscope HWX-6516DS1-VTM 82

9.5 Documento ATOLL con el despliegue y predicciones LTE..... 85

Lista de tablas

Tabla 1 Caracteristicas de GSM 2

Tabla 2 Comparación entre GPRS y EDGE 3

Tabla 3 Comparativa entre GSM y UMTS (WCDMA) 6

Tabla 4 Evolución de velocidades de datos de HSPA 8

Tabla 5 Comparativa entre LTE y LTE Advanced 17

Tabla 6 estadísticas del uso de teléfonos celulares en Ecuador 23

Tabla 7 Parámetros estadísticos a considera para el diseño dela red LTE en la ciudad de Loja 30

Tabla 8 Proceso de planeación de redes inalámbricas 32

Tabla 9 Parámetros técnicos para el diseño de la red LTE en la ciudad de Loja 33

Tabla 10 Parámetros del modelo de servicios para el cálculo de capacidad de una red inalámbrica 42

Tabla 11 Resultados del throughput por servicio basado en el modelo de servicio 43

Tabla 12 parámetros del modelo de tráfico para el cálculo de capacidad de una red inalámbrica 44

Tabla 13 Throughput total basado en el modelo de servicios y de trafico 45

Tabla 14 Recursos por ancho de banda de portadora LTE 50

Tabla 15 Parámetros técnicos a introducir en el software de planificación ATOLL 54

Tabla 16 Despliegue de sitios LTE 55

Tabla 17 Parámetros del transmisor configurados en ATOLL 56

Tabla 18 Valores de referencia de los principales parámetros de LTE 61

Tabla 19 Parámetros del modelo de servicio configurados en ATOLL 64

Tabla 20 Presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja 67

Lista de figuras

Figura 1 IMT-2000: Especificaciones de las Interfaces Radio[4] 5

Figura 2 Releases del 3GPP para las especificaciones para UMTS 7

Fig. 3 Crecimiento de los subscriptores móviles 9

Figura 4 Penetración del servicio de banda ancha móvil a nivel mundial (Porcentaje de población) 10

Figura 5 Incremento del tráfico de voz 11

Figura 6 Incremento del tráfico de datos 11

Figura 7 Evolución de las recomendaciones de ITU[8] 13

Figura 8 Desarrollo de LTE por el grupo 3GPP [8] 14

Figura 9 3GPP Especificaciones de LTE 14

Figura 10 Arquitectura básica de LTE 16

Figura 11 Crecimiento de suscriptores LTE a nivel mundial. 18

Figura 12 Proyección a 2020 del número de suscriptores por tecnología 18

Figura 13 Porcentaje de asignación de espectro por operador 20

Figura 14 Esquema de frecuencias adoptada por Ecuador para servicios SMA [12] 20

Figura 15 Asequibilidad comparada por decil de ingreso en América Latina 21

Figura 16 Estado de la banda ancha en América Latina 22

Figura 17 Líneas activas de Servicio Móvil Avanzado SMA 23

Figura 18 Densidad de usuarios con teléfono celular por provincia [17] 24

Figura 19 Usuarios LTE hasta el año 2016 25

Figura 20 Infraestructura de Redes Móviles en Ecuador 25

Figura 21 Estado de la infraestructura LTE en la Provincia de Loja 26

Figura 22 Zona a brindar cobertura 4G 28

Figura 23 Proyección del crecimiento de usuarios LTE en Ecuador a 2020 29

Figura 24 Esquema del Resource Block 48

Figura 25 Proceso de creación de proyecto de planificación de una red en ATOLL [24]..... 53

Figura 26 Despliegue geografico de los eNodeB 56

Figura 27 Mapa de alturas de la ciudad de Loja..... 57

Figura 28 Predicción de la cobertura por intensidad de señal en el Downlink 58

Figura 29 Distribución porcentual de los niveles de señal en el área de cobertura 59

Figura 30 Número de servidoras..... 60

Figura 31 Predicción del RSRP y el RSRQ de la red diseñada..... 62

Figura 32 Predicción del SINR para la red diseñada 63

Figura 33 Throughput de Uplink y Downlink de la red diseñada 64

Figura 34 Estadísticas del Throughput de Uplink y Downlink de la red diseñada..... 65

1 Introducción

Las redes móviles han generado que el usuario no este atado a su línea telefónica convencional en su hogar, desde el inicio de las comunicaciones inalámbricas móviles el usuario tiene la libertad de usar la red desde cualquier ubicación geográfica que posea cobertura, en el principio las comunicaciones móviles fueros pensadas solo para tráfico de voz sin embargo con el desarrollo tecnológico y la llegada de la era digital, se dio origen a nuevas clases de necesidades como navegar por Internet, interactuar entre usuarios de forma diferente a una conversación telefónica entre otras, para lo cual nuevos servicios como WAP o SMS se implementaron en las redes móviles como GSM y CDMA. La evolución de las redes móviles ha sido tan descomunal que se ha pasado de ofrecer en la interfaz aire capacidades de 160 kbps con GPRS en la época de los 90 hasta ofrecer capacidades de 1Gbps con LTE Advanced en la actualidad.

Hoy por hoy la banda ancha móvil ha superado en gran medida a las conexiones de banda ancha fija y esto es gracias a las tecnologías 3G y 4G con las cuales hoy se puede dar accesos de alta a velocidad a lugares en los cuales no existe infraestructura de red fija, la facilidad de despliegue y el precio accesible de los dispositivos terminales está logrando reducir la brecha digital en países en vías de desarrollo, es así que para Ecuador según datos de la Asociación GSM o GSMA por sus siglas en inglés, la banda ancha móvil es la única que está disponible para las personas con la menor taza de ingresos y adicionalmente tiene una cobertura de alrededor del 95% de los centros poblados.

En Ecuador desde el año 2014 se han empezado a desplegar redes LTE con el fin de impulsar el acceso a Internet contenido en Plan Nacional del Buen Vivir y cuya finalidad es disminuir la tan mencionada brecha digital, sin embargo el despliegue de las redes LTE se ha centrado en las principales ciudades como lo son Quito, Guayaquil y Cuenca, dejando relegadas

a otras ciudades las cuales tienen desplegadas redes 2G y 3G pero ya presentan la necesidad de redes LTE, es por esto que en este documento se pretende dimensionar un clúster de red LTE para brindar cobertura en la zona céntrica de la ciudad de Loja.

Para el desarrollo del caso de estudio, primero se analizará la historia y evolución de las redes móviles, pasando por un análisis de la situación actual del despliegue de las redes LTE en Ecuador y en la ciudad de Loja, para finalmente concluir con el dimensionamiento, simulación y presupuesto del despliegue de la red LTE.

2 Justificación

Con los beneficios de las redes de banda ancha móvil provisto por la tecnología LTE como lo es la oficina móvil, el usuario puede acceder de forma rápida a sus archivos almacenados en la nube, realizar pagos de servicios y transacciones mientras se moviliza a su oficina o casa, responder correos electrónicos desde su Tablet o Smartphone, transmitir en vivo mediante redes sociales acontecimientos relevantes o simplemente para distraerse navegando en internet, el proyecto denominado ”DIMENSIONAMIENTO DE UN CLÚSTER DE RED LTE PARA BRINDAR COBERTURA EN LA ZONA COMERCIAL DE LA CIUDAD DE LOJA” pretende dotar de acceso de banda ancha inalámbrica en toda la zona comercial de la ciudad Loja, lo cual fomentara el uso servicios como lo es el Internet de las cosas IoT, teletrabajo, comercio electrónico, oficina móvil entre otros servicios que necesitan una conexión de alta velocidad para funcionar de forma eficiente y que sirven para facilitarle la vida al usuario. Adicionalmente a esto, este diseño pretende llegar a los usuarios de las operadoras móviles privadas ya que en la actualidad solo CNT EP brinda el servicio de 4G en la provincia de Loja lo cual discrimina al usuario que no desea cambiarse operadora.

Con el despliegue de esta red LTE se da un nuevo paso en el crecimiento de la ciudad de Loja ya que cubre las necesidades de una ciudad que se proyecta como una de las más innovadoras en el país, implementado soluciones tecnológicas para procesos o servicios que el usuario le demanda, queriendo convertirse en una Smart City y para que estos servicios innovadores funcionen, se deben tener conexiones de alta capacidad las cuales pueden ser provistos por enlaces inalámbricos mediante redes móviles LTE.

3 Antecedentes

Desde que se lanzó la primera red LTE en Noruega en el año 2009, tuvo que pasar 5 años para que el operador estatal de Ecuador, CNT EP lance a servicio comercial su red LTE enfocada en las ciudades principales del país, las operadoras privadas CLARO y Movistar también venían solicitando espectro para desplegar sus redes y que finalmente luego de varias negociaciones para el año 2015 con la concesión de nuevo espectro radioeléctrico también lanzaron a servicio comercial sus redes LTE, sin embargo al igual que CNT EP, se enfocaron en las principales ciudades del país. Para la provincia de Loja ya son alrededor de 4 años en los que solo los usuarios de CNT EP con una cobertura limitada gozan del servicio de banda ancha mediante la red LTE, a esto se debe añadir que CNT EP tiene una participación del 12.5% del mercado del Servicio Móvil Avanzado, el 87.5% restante se lo dividen las operadoras privadas, con estos datos claramente se puede concluir que la mayor parte de usuarios de redes móviles en la ciudad de Loja carecen del servicio de banda ancha móvil provistos por redes LTE.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General:

Realizar una propuesta para el cálculo y diseño de una red LTE que provea del servicio de banda ancha en la zona comercial de la ciudad de Loja.

4.2 Objetivos Específicos:

1. Analizar el estado actual del despliegue de redes LTE en Ecuador.
2. Dimensionar el número de posibles usuarios LTE en el área de cobertura propuesto, basándose en estadísticas del crecimiento de suscriptores LTE en el Ecuador.
3. Dimensionar de forma matemática el número de eNodeB necesarios para brindar la cobertura propuesta.
4. Dimensionar de forma matemática el tráfico que la red LTE generaría basándose en modelos de tráfico y servicio.
5. Diseñar un clúster LTE, empleando la plataforma de simulación de redes inalámbricas ATOLL
6. Predecir mediante el software ATOLL la cobertura y los principales parámetros que describen el desempeño de las redes LTE.
7. Elaborar un presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja.

5 Desarrollo Caso de Estudio

5.1 Redes móviles y su evolución

Desde que se implementó por primera vez el concepto de redes móviles con las tecnologías denominas de primera generación (1G) o analógicas como lo era la AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) que fue desplegada en el año 1983 en los Estados Unidos, los requerimientos del usuario han ido cambiando con lo que ha surgido la necesidad de que la tecnología evolucione ya que el medio de radio es un medio finito sobre el cual se debe implementar soluciones que satisfagan los nuevos requerimientos del usuario móvil.

Es así que desde los sistemas analógicos se dio un gran paso hacia los sistemas digitales como lo son GSM (Global System for Mobile Communications), PCS/IS-136 también llamado TDMA, IS-95/cdmaONE o simplemente CDMA, tecnologías de segunda generación cuyas aplicaciones de mayor éxito son la telefonía móvil y los mensajes cortos o SMS, dentro de los requerimientos las tecnologías de segunda generación se tiene que deben manejar un mayor número de llamadas de voz usando el mismo espectro que las tecnologías de primera generación, para lograr esto se implementaron sistemas basados en TDMA (Time Division Multiple Access) y en CDMA (Code Division Multiple Access). El sistema 2G de mayor éxito a nivel mundial es el GSM que alcanza una penetración superior al 80% [1]. En 1991 el sistema GSM entro a servicio comercial en algunas redes de Europa, para el año de 1992 el sistema se implanto en Australia, siendo el primer país fuera de Europa que adopta el sistema, desde esta fecha el servicio se implementó en la mayoría de países del mundo.

Dentro de las principales características de GSM, constan que fue el primer estándar en implementar la SIM (*Subscriber Identity Module*) con la cual el teléfono del usuario no estaba atado a un solo operador, SMS, conexiones de voz y conexiones de datos de hasta 9,6 kbps.

Para satisfacer las necesidades del usuario en cuanto a las conexiones de datos, GSM desarrollo dos mejoras, la primera fue GPRS (General Packet Radio Service) alcanzando hasta 115 kbps y posteriormente con EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) que alcanza velocidades de hasta 384 kbps [2]. En la tabla 1 y 2 se aprecia una breve descripción de las características del sistema GSM.

Tabla 1 Características de GSM

	GSM 900	**GSM 1800**	**GSM 1900**
Ascendente (Uplink)	890-915 MHz	1710-1785 MHz	1850-1910 MHz
Descendente (Downlink)	935-960 MHz	1805-1880 MHz	1930-1990 MHz
Ancho de banda	25 MHz	75 MHz	60 MHz
Separación portadoras	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Distancia duplex	45 MHz	95 MHz	80 MHz
Número de portadoras	124	374	299
Radio típico de célula	300 m-35 km	100 m-15 km	100 m-15 km
Potencia del terminal	0,8-2 W	0,25-1 W	0,25-1 W

Tabla 2 Comparación entre GPRS y EDGE

	GPRS	EDGE
Modulación	GMSK	8-PSK/GMSK
Velocidad de símbolo 2	70 Ksimb/s	270 Ksimb/s
Velocidad de modulación de bit	270 Kbps	810 Kbps
Velocidad de datos de radio por intervalo de tiempo	22,8 Kbps	69,2 Kbps
Velocidad de datos de usuario por intervalo de tiempo	20 Kbps	59,2 Kbps
Velocidad de datos de usuario (8 intervalos de tiempo)	160 Kbps (182,4 Kbps)	473,6 Kbps (553,6 Kbps)

Luego del éxito de las redes digitales, surgieron nuevos servicios que son diferentes a los de voz y a los SMS, estos servicios se basan en redes conmutadas de paquetes tales como videoconferencia, mensajes multimedia MMS, video en streaming, entre otros servicios y cuyos requerimientos de ancho de banda son superiores a los ofrecidos por las tecnologías de segunda generación como lo son EDGE o CDMA20001X, es así que tras la finalización del desarrollo de GSM surgieron las primeras propuestas para el diseño de un nuevo sistema de comunicaciones móviles, el nuevo estándar se planteó como un estándar unificador, por una iniciativa de la ITU (International Telecommunication Union), este nuevo estándar pensado a ser global se lo denomino IMT-2000, y que está destinado a satisfacer las necesidades emergentes de las telecomunicaciones móviles en el siglo XXI, en las que los suscriptores de telecomunicaciones móviles pueden acceder a servicios de voz, datos, Internet y multimedia en cualquier momento y en cualquier lugar. Se reconoce que las normas internacionales o mundiales son necesarias no sólo para garantizar la movilidad global y la prestación de

servicios a través de las redes de las familias IMT-2000 (International Mobile Telecommunications), sino también para integrar las redes inalámbricas y de cable con el fin de proporcionar servicios de telecomunicaciones e información transparentes a los usuarios. [3]

El sistema IMT-2000 define las siguientes características que deben poseer los nuevos sistemas para ser considerados de tercera generación [4]:

- Tazas de transmisión mayores a 2 Mbps en ambientes inside y en ambientes outdoor en la que el usuario se moviliza a velocidades menores a 10 Km/h; 384 Kbps para usuarios que se movilizan a más de 120 Km/h en áreas urbanas; y 144 Kbps para usuarios que se movilizan a altas velocidades en ambientes rurales.
- Acceso a Internet
- Transmisión operando en modos de circuit switching y en packet switching
- Servicios multimedia y en tiempo real, como también servicios de localización
- Uso de diferentes servicios de forma simultanea
- Roaming global
- Disponibilidad de los servicios de forma independiente en relación a la ubicación del usuario y la interfaz radio usada
- Alto nivel de seguridad de la información enviada
- Transición suave de los sistemas de segunda generación a los de 3G.
- El acceso a la interfaz radio se realizará mediante FDD (Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex) y transmisión de banda ancha mediante CDMA.

La figura 1 se presenta las recomendaciones de la ITU para el desarrollo del nuevo estándar de redes móviles de tercera generación:

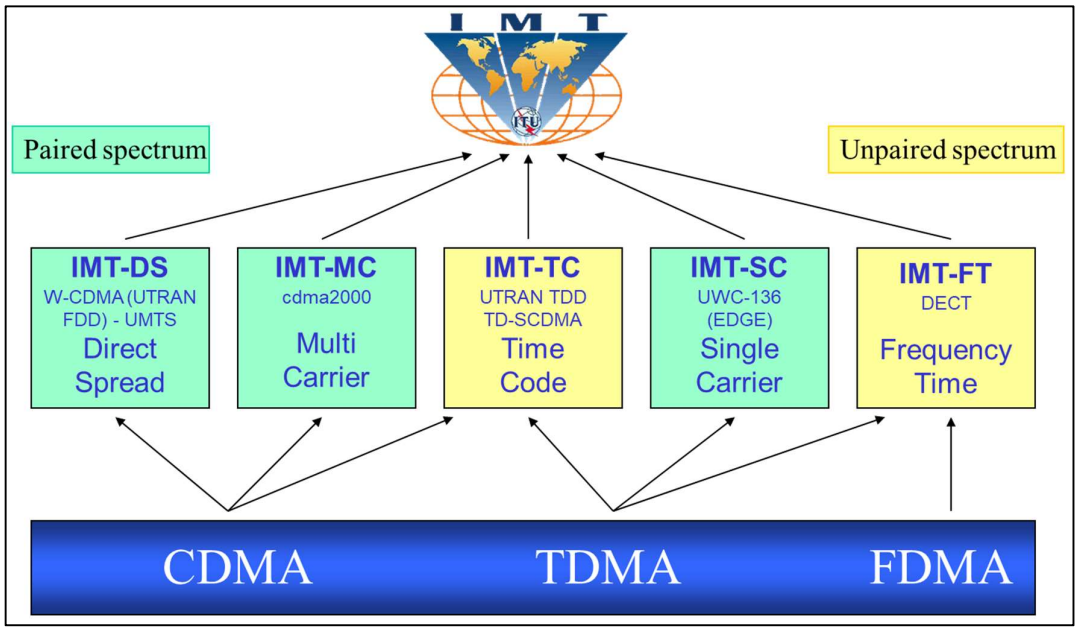


Figura 1 IMT-2000: Especificaciones de las Interfaces Radio[4]

Con las recomendaciones del IMT-2000 y con el objetivo de estandarizar el nuevo sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación, en 1988 se conformó el grupo 3GPP (Third Generation Partnership Project) el cual tiene un acuerdo de colaboración entre diferentes organismos de estandarización mundiales para el desarrollo y evolución de especificaciones técnicas del estándar WCDMA de IMT-2000, que es la base del sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), sistema que basado en la arquitectura de los sistemas GSM.

El nuevo sistema UMTS adoptado por la 3GPP, se basa en la creación de una nueva interfaz aire de mayor ancho de banda, en concreto el ancho de banda para las portadoras es de 5MHz en comparación a los 200KHz empleados en GSM, también se definieron nuevas frecuencias de operación pudiendo trabajar con los modos FDD o TDD, adicional la técnica de acceso al medio que en GSM se basaba en TDMA ahora es reemplazada por WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) la que posee mayor eficiencia espectral y la misma frecuencia se emplea en toda la red, los usuarios son atendidos de forma simultanea ya que a cada uno se le

asigna código diferente, en la tabla 3 se presenta la comparativa de las interfaces de radio entre UMTS y GSM.

Tabla 3 Comparativa entre GSM y UMTS (WCDMA)

	WCDMA	**GSM**
Separación entre portadoras	5 MHz CDMA	200 KHz TDMA
Factor de reúso de frecuencia	1	≈ 4 al8
Frecuencia control potencia	1500 Hz ambos enlaces	2 Hz o menor
Traspaso intra-Sistema	Soft y softer handover	Hard handover
Búsqueda de celdas	Canal de sincronización y códigos de scrambling	Canales de frecuencia
Control de la calidad	Algoritmo para la gestión de recursos radio	Planificación de red / frecuencias
Diversidad de Frecuencia	Receptor RAKE	Ecualización y salto de frecuencia (FH)
Paquetes de datos	Asignación de paquetes basada en la carga	Ranuras de tiempo (TS) con GPRS
Diversidad de transmisión en el enlace descendente	Soporte para la mejora de la capacidad	Sin soporte en el estándar (aplicable)

El grupo 3GPP, luego de trabajar en el proceso de estandarización de UMTS con el fin cumplir con los parámetros del IMT-2000, es decir cumplir con los **Requerimientos**, diseñar la **Arquitectura**, **Detallar** todas las especificaciones técnicas y realizar la **Pruebas** y **Verificaciones** en ambientes reales, finalmente en 1999 lanza la primera versión o reléase de las especificaciones de UMTS con la cual ya se inició el despliegue de las primeras redes 3G

basadas en el estándar adoptado por el 3GPP [5]. Los inicios del despliegue de las redes fueron lentos debido a que los operadores debieron invertir gran cantidad de dinero por la compra de las licencias de las frecuencias UMTS, en Ecuador en el año 2008 se desplego la primera red 3G, para el año 2009 ya se poseían 2 redes correspondientes a CLARO y Movistar, para el año 2012 la empresa pública CNT EP también implemento su red 3G.

A partir del primer reléase de UMTS denominado Release 99 se han realizado nuevas versiones en las cuales se ha mejorado drásticamente la velocidad de conexión de datos, en la figura 2 se presenta un resumen de los Releases emitidos por el 3GPP para la evolución de las redes 3G y su proyección hacia las redes de cuarta generación 4G.

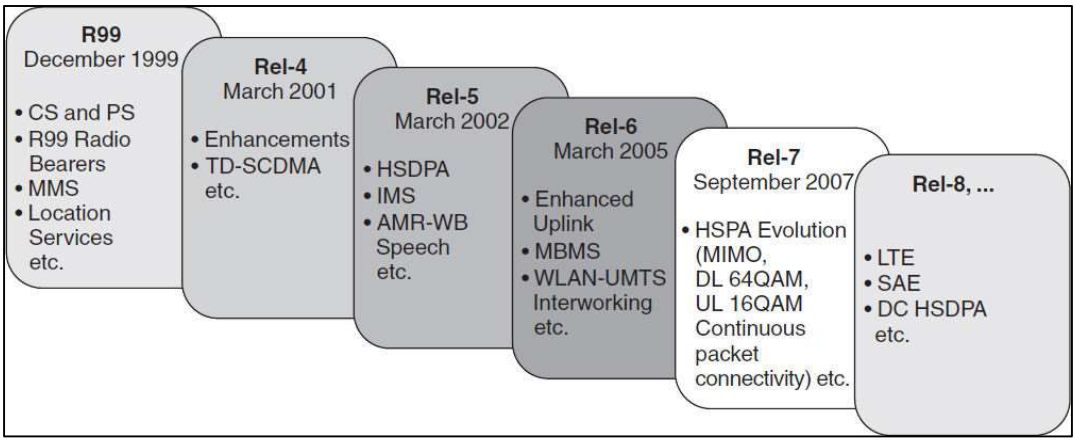


Figura 2 Releases del 3GPP para las especificaciones para UMTS

En los Releases 5 y 6 se define el termino HSPA (High Speed Packet Access) que engloba a las tecnologías HSDPA (High Speed Downlink Packet) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), estas tecnologías utilizan de forma más eficiente el espectro radioeléctrico empleando modulaciones de mayor orden como lo es 16QAM o hasta 64QAM de forma adaptativa, con lo cual se logró mejorar de la velocidad y disminuir la latencia en la trasferencia de datos tanto en el canal descendente como ascendente. La conjugación de estas tecnologías se denominó

HSPA+ con la que se alcanza velocidades teóricas de 14 Mbps para el downlink y 5 Mbps en el uplink, en la tabla 4 se presenta la evolución del HSPA.

Tabla 4 Evolución de velocidades de datos de HSPA

Nombre	**Release del 3GPP**	**Velocidad Downlink**	**Velocidad Uplink**
HSDPA	Release 5	14,4 Mbit/s	384 kbit/s
HSUPA	Release 6	14,4 Mbit/s	5,76 Mbit/s
HSPA+	Release 7	28 Mbit/s	11,5 Mbit/s
HSPA+ MIMO	Release 8	42 Mbit/s	11,5 Mbit/s

El éxito de los sistemas de comunicaciones de voz y datos móviles ha hecho que en cortos periodos de tiempo el crecimiento en usuarios y tráfico se eleve de forma exponencial, es así que a nivel de subscriptores para el año 2000 se tenía menos de 1 billón y para el 2008 los subscriptores registrados a nivel mundial se elevaron a más de 4 billones, lo que da un crecimiento de alrededor del 300% en solo 8 años, esto ha significado que diariamente más de un millón de nuevos usuarios sean registrados en las diferentes redes móviles del planeta. Adicionalmente para 2008 la penetración mundial del servicio de comunicaciones móviles se acercaba al 60% de la población, es decir de cada 10 personas del planeta, 6 de ellos tenían una suscripción a alguna de las operadoras de servicios móviles. [6]

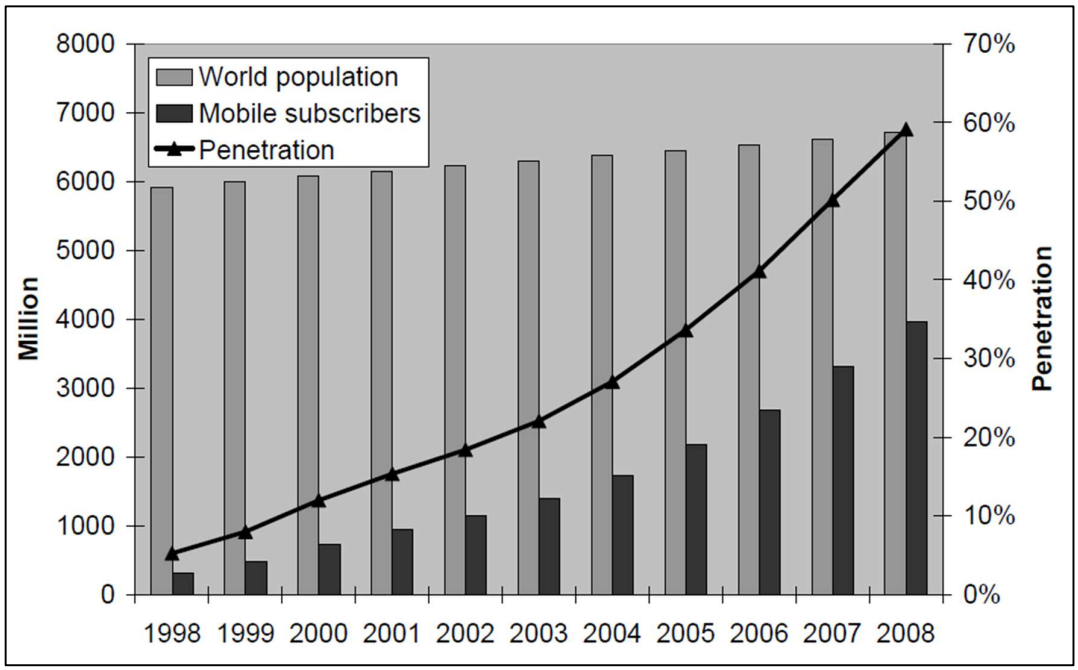


Figura 3 Crecimiento de los subscriptores móviles

Al día de hoy, según el reporte Mobile subscriptions Q1 2017 generado por Ericsson, el número de suscriptores de servicios de banda ancha móvil que usan tecnologías de HSPA (3G), LTE (4G), 5G, CDMA2000 EV-DO, TD-SCDMA y Mobile WiMAX es de 5.2 billones, no se incluye suscriptores de WCDMA sin HSPA y GPRS/EDGE (2G), con estos datos, el porcentaje de penetración del servicio de comunicaciones móviles de banda ancha es del 108% a nivel mundial, en la figura 4 se aprecian los porcentajes de penetración por distintas regiones del planeta.

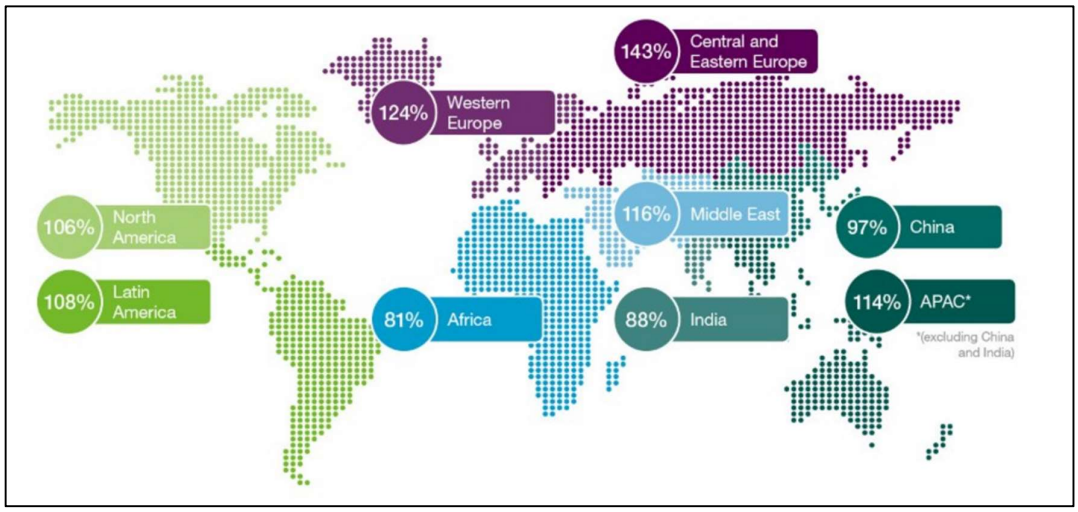


Figura 4 Penetración del servicio de banda ancha móvil a nivel mundial (Porcentaje de población)

De igual forma que el aumento de suscriptores, el tráfico en las redes ha aumentado drásticamente, sin embargo, el tráfico de voz que en las redes 2G era el dominante, con el despliegue de HSPA que provee ancha banda móvil y las tarifas planas con precios cómodos ofrecidas por los operadores, el tráfico de voz ha quedado relegado a segundo plano y hoy el tráfico de datos es el que mayor volumen representa en las redes mundiales. La nuevas aplicaciones y servicios como juegos interactivos, videoconferencias, voz IP, televisión móvil entre otros, necesitan conexiones de datos de alta velocidad lo que ha causado que el enfoque del negocio y la tecnología pasen de redes conmutadas por circuitos a redes conmutadas por paquetes, basados especialmente en el protocolo IP.

Según el reporte de Ericcson, para el 2017 el tráfico de voz se estima que llegue a 1700 billones de minutos, en el 2016 el tráfico de voz llego a 1673, esto es un crecimiento del 2% mientras que el tráfico de datos en 2016 fue de 612 PBytes/mes y al final de 2017 se estima que el tráfico llegue a los 956 PBytes/mes lo que representa un crecimiento del 56% en tan solo

un año, las figuras 5 y 6, se puede observar la tendencia del crecimiento del tráfico de voz y datos respectivamente desde el año 2010 hasta el 2017.

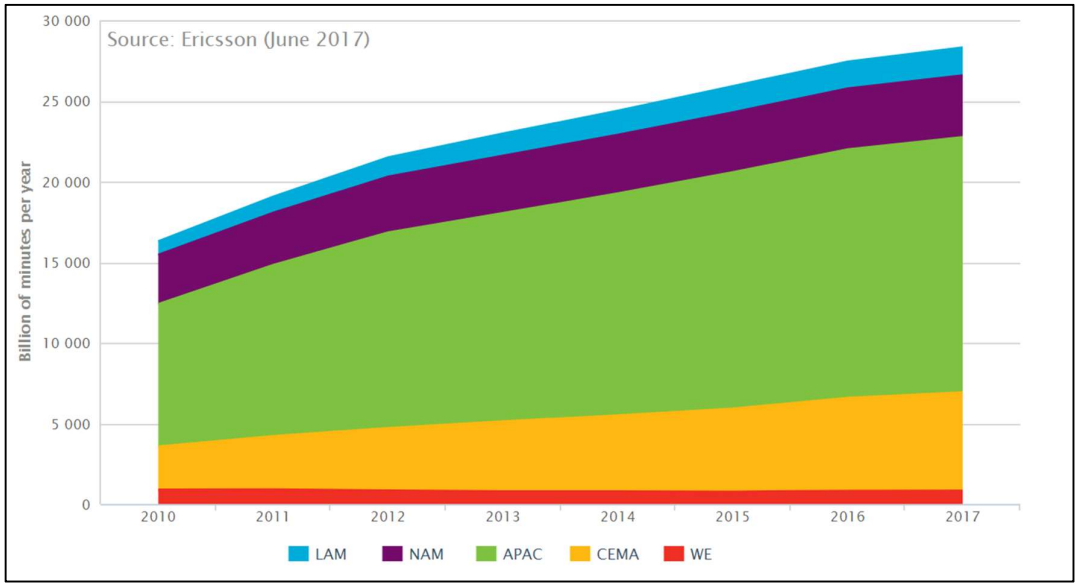


Figura 5 Incremento del tráfico de voz

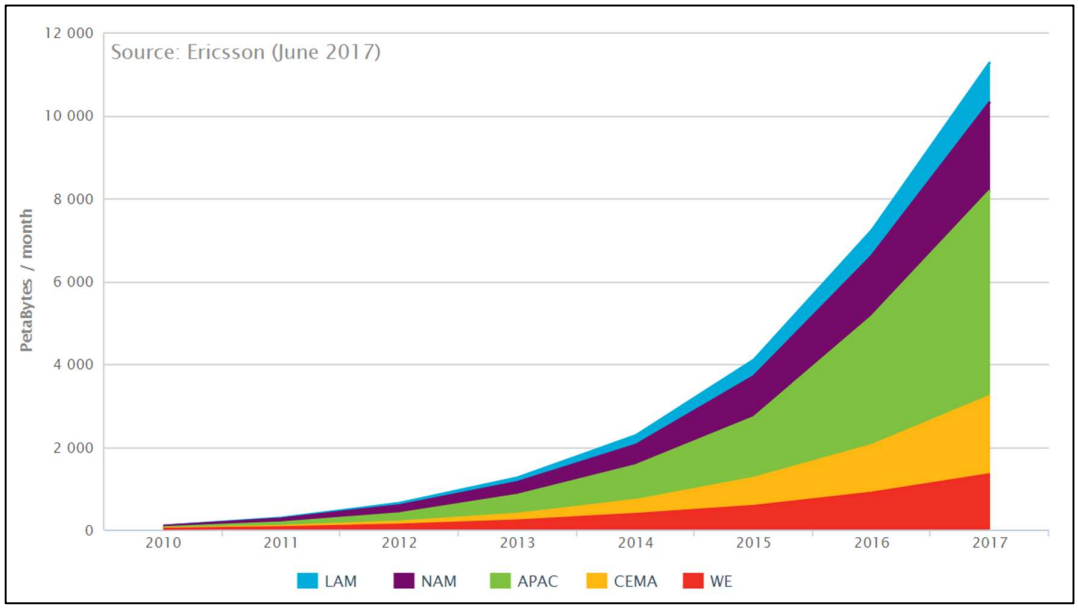


Figura 6 Incremento del tráfico de datos

Con esta nueva tendencia de tráfico en las redes mundiales, la ITU anuncio la próxima generación de estándares para las comunicaciones globales de banda ancha inalámbrica, conocidas como IMT-Advanced. A raíz de una evaluación detallada basada en criterios técnicos y operacionales estrictos, la ITU ha determinado que "LTE-Advanced" y "WirelessMAN-Advanced" deberían recibir la designación oficial de IMT-Advanced, en la figura 7 se presenta la evolución del IMT. [7]

Los requisitos para el IMT-Advanced son [8]:

- Tazas de transmisión de 1Gbps para usuarios estacionarios y de 100Mbps para usuarios en movimiento a altas velocidades.
- Interoperabilidad con estándares inalámbricos existentes.
- Recursos de red con asignación dinámica, redes SON (Self Organizing Network).
- Ancho de banda de portadoras escalable desde 5MHz hasta 40MHz.
- Eficiencia espectral pico de 30 bps/Hz para el enlace descendente y 15 bps para el enlace ascendente.
- Core de red basado netamente en IP (conmutación de paquetes)
- Latencia menor a 10 ms para el user plane y de 50 ms para el control plane.
- Soporte de roaming global.
- QoS para servicios multimedia.

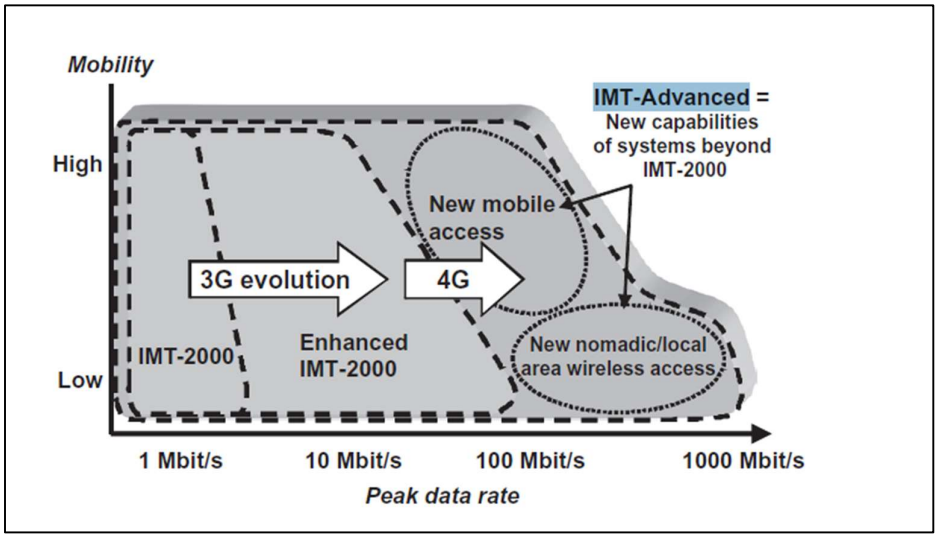


Figura 7 Evolución de las recomendaciones de ITU[8]

Como evolución al HSPA, el grupo 3GPP desde 2008 con su release 8 ya presento la nueva tecnologia de redes moviles denomida Long Term Evolution (LTE) la cual aun no cumplia los requerimeintos para ser denominada de cuarta generacion, sin embargo presentaba una gran evolución en relacion a su suscesora HSPA, con LTE se ofrece capacidades teoricas de 100Mbps para el enlace descente y 50Mbps para el enlace ascendente. Para el año 2011 el grupo 3GPP en su release 11 presenta oficialmnete el estandar LTE Advanced y se convierte en uno de los estandares acepatados por el IMT Advanced como tecnoclogia 4G, en la figura

8 y 9 se presenta la evolución y los realease del 3GPP que se presentaron hasta llegara al LTE Advanced

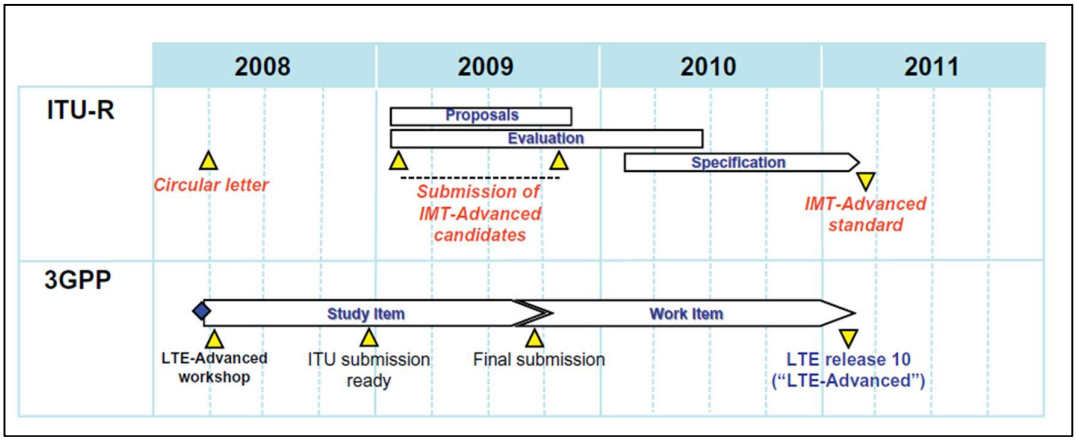


Figura 8 Desarrollo de LTE por el grupo 3GPP [8]

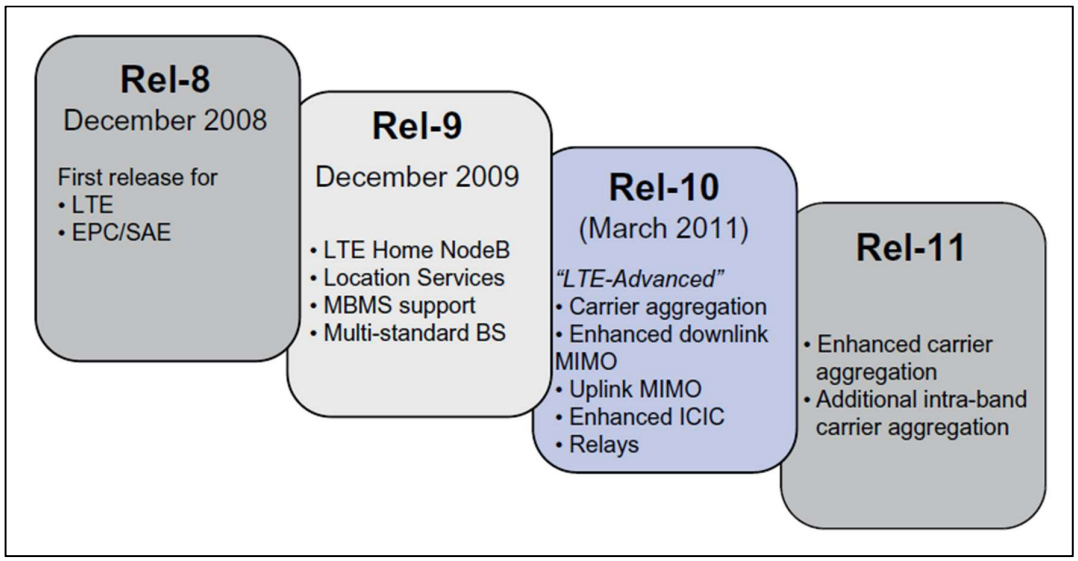


Figura 9 3GPP Especificaciones de LTE

LTE emplea en el acceso radio OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) para el enlace descendente y SC-FDMS (Single Carrier – Frequency Division Multiple Access) con lo cual se disminuye la interferencia y se incrementa la eficiencia espectral, el modo de funcionamiento puede ser tanto en FDD (Frequency Duplex Division) como en TDD (Time

Duplex Division), para la codificación se emplea esquemas dinámicos con BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM. Las portadoras pueden ir desde 1,25MHz hasta 20 MHz. [9]

El core de LTE es totalmente diferente al core empleado en GSM y UMTS, es totalmente basado en IP, gracias a esto se logra disminuir la latencia, en la figura 10 se presenta la nueva arquitectura de LTE, como se aprecia, la arquitectura de LTE es muy simple en relación a GSM o UMTS y consta de dos partes principales [2]:

- E-UTRAN (Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access): aquí básicamente están los eNodeB o Enhanced NodeB los mismos que se interconectan con otros eNodeB y hacia el core con el plano de control o señalización (MME) y el plano de usuario (Serving-GW). El eNodeB se encarga de la gestión dinámica de los recursos de radio, selecciona el MME asociado a un terminal o UE, enruta los datos de usuario al Serving-GW, se encarga de la configuración y la transmisión de notificación de mensajes de llamada entrante y de mensajes de información, también encarga de la medición y configuración de informes de medición de la movilidad para realizar el handover con otros eNodeB.
- EPC (Evolved Packet Core): también llamado SAE Core (System Architecture Evolution), es quien interconecta diversas redes de acceso como GSM/UMTS, consiste en una red de paquetes basado en IP, posee tres entidades principales:
    - MME (Mobility Management Entity) quien se encarga de obtener la información del usuario almacenada en el HSS (Home Subscriber Server) para autentificar y autorizar al usuario para establecer una conexión entre la UTRAN y alguna red externa empleando mensajes de señalización. También es quien se encarga de interconectar los eNodeB con las redes GSM/UMTS administrando funciones de movilidad y en ocasiones recolecta información para la tarificación.

- Serving-GW es un equipo que gestiona el intercambio de tráfico de usuario entre red de acceso y núcleo de red IP
- PDN-GW (Packet data Network Gateway), gestiona el intercambio de tráfico con redes externas (Packet Data Networks) y es el punto de monitoreo de las políticas de conexión y servicio establecidas en el PCRF (Policy and Charging Rules Function)

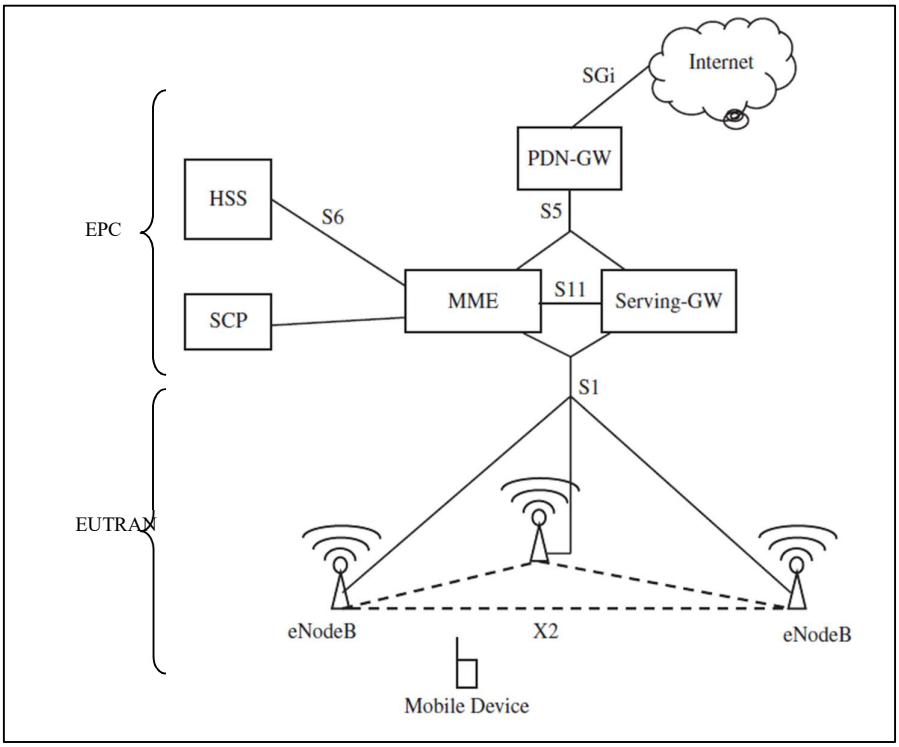


Figura 10 Arquitectura básica de LTE

Con LTE se mejoró considerablemente las velocidades en las redes móviles sin embargo con la evolución de LTE a LTE Advanced descrita desde el reléase 10 este estándar entro dentro las tecnologías 4G aprobadas por el IMT Advanced , con LTE Advanced se tiene previsto satisfacer diversos requisitos de las aplicaciones avanzadas basadas en conmutación de paquetes vía protocolo IP y desarrollada tanto para ambientes fijos como móviles, en la tabla 5 se presentan las principales diferencias entre LTE y LTE Advanced.

Tabla 5 Comparativa entre LTE y LTE Advanced

Parámetros		**LTE**	**LTE-Advanced**
Ancho de Banda escalable		1,4 - 20 MHz	20-100 MHz
Peak data rate downlink	DL	300 Mbps	1 Gbps
	UL	75 Mbps	500 Mbps
Ancho de banda de transmisión	DL	20 MHz	100 MHz
	UL	20 MHz	40 MHz
Eficiencia espectral pico [bps/Hz]	DL	15	30
	UL	3,75	15

Las principales funcionalidades de LTE Advanced que la hacen superior a su predecesora son que se puede emplear agregación de portadora, mejoras en el enlace ascendente y descendente, funciones de regeneración/retransmisión (relay) para mejorar la cobertura y el despliegue, MIMO mejorado, SON mejorado, capacidad de ser una red heterogénea.

El despliegue de las redes LTE para mayo del 2017 a nivel mundial según la GSA (Global mobile Suppliers Association) se encuentra en el siguiente estado [10]:

- En total hay 801 Operadores invirtiendo LTE
- 591 redes LTE han sido lanzadas comercialmente
- 57 redes están en proceso de construcción
- 27 redes están en pruebas
- 126 redes se encuentran como proyectos para un futuro despliegue

El crecimiento de LTE se refleja en el número de suscriptores, desde diciembre del 2009 con la puesta en operación de la primera red LTE en Noruega, el incremento de suscriptores ha sido de forma acelerada, del reporte de movilidad de Ericsson para el año 2017 se tendrá alrededor de 2500 millones de usuarios, esto equivale a alrededor de un tercio del total de suscriptores de redes móviles, en la figura 11 se presenta el incremento de los suscriptores LTE y en la figura 12 se contrasta una proyección hasta 2020 de LTE en relación a las otras tecnologías vigentes y en la que se refleja que LTE será la tecnología dominante.

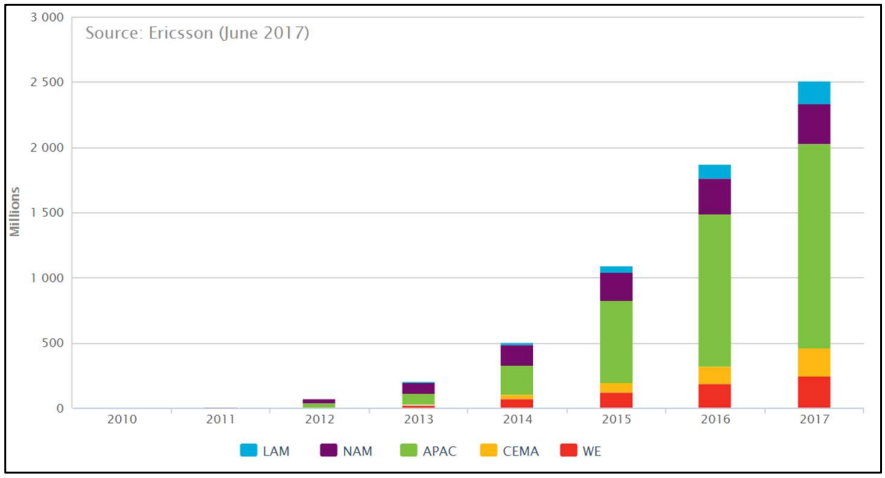


Figura 11 Crecimiento de suscriptores LTE a nivel mundial.

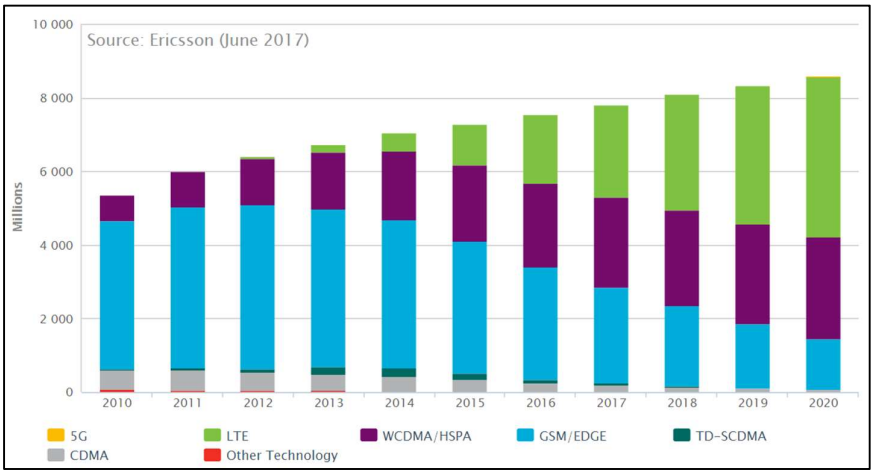


Figura 12 Proyección a 2020 del número de suscriptores por tecnología

Sin duda LTE está revolucionando las redes móviles con lo cual se explotan nuevos servicios y han surgido nuevos nichos de negocio, sin embargo, como ha ocurrido con todas las tecnologías anteriores, los grupos de trabajo ya están trabajando para materializar las redes de quinta generación 5G, las cuales sobrepasaran las características de LTE, siendo más eficientes en todo ámbito, hoy por hoy 81 operadoras en 42 países se encuentran analizando los pre estándares de 5G [10].

5.2 Análisis del estado actual del despliegue de redes LTE en Ecuador y en la provincia de Loja

La primera red LTE del Ecuador fue lanzada comercialmente en el primer trimestre del año 2014, fue el operador estatal CNT EP a quien se le otorgó la licencia de operación en dos segmentos de 20MHz de la banda AWS (Advanced Wireless Services), CNT, también obtuvo espectro en 700 MHz. [11]

En febrero de 2015 el gobierno ecuatoriano emitió licencias en la banda AWS a CONECEL (CLARO Ecuador) respaldado por América Movil y Movistar Ecuador, filial de Telefónica, es así que para finales del 2015 ya se tenían desplegadas 3 redes LTE en el Ecuador, siendo las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca las que poseían la mayor cobertura, finalmente las bandas de operación para el servicio LTE en Ecuador son [12]:

- **CNT**: 1700/2100MHz (AWS o Banda 4) AB 40MHz - 700MHz (APT - Banda 28) AB 30MHz
- **Movistar**: 1900 MHz (Banda 2) AB 40MHz
- **CLARO**: 1700/2100MHz (AWS o Banda 4) AB 40MHz

Según la resolución 292-10-CONATEL-2008, el espectro asignado para servicios SMA (Servicio Móvil Avanzado) se divide en las bandas [13]:

a) 824 MHz a 849 MHz

b) 869 MHz a 894 MHz

c) 1710 MHz a 2025 MHz

d) 2110 MHz a 2200 MHz

El porcentaje de asignación de estas bandas de frecuencia entre las operadoras concesionadas se presenta en la figura 13. [13][15]

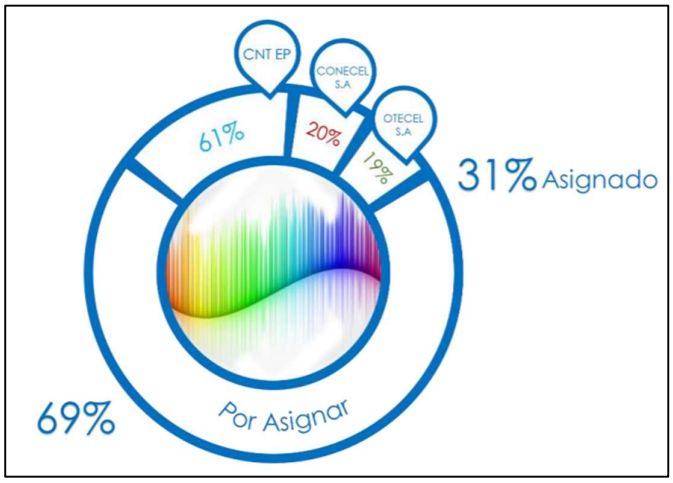


Figura 13 Porcentaje de asignación de espectro por operador

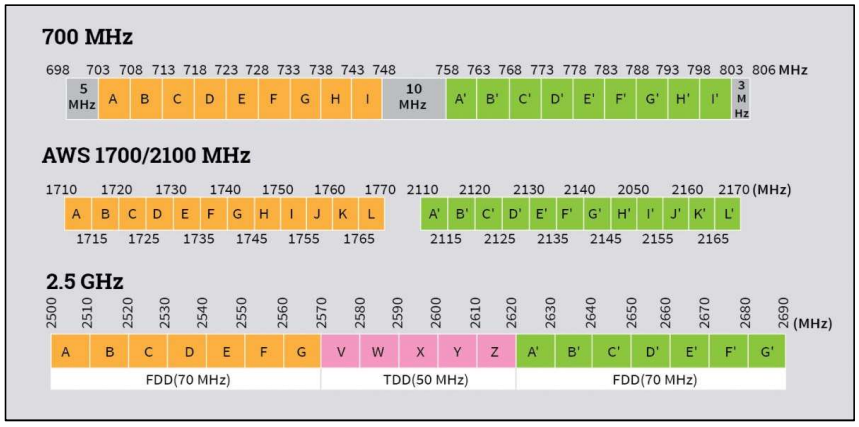


Figura 14 Esquema de frecuencias adoptada por Ecuador para servicios SMA [12]

En Ecuador y en América Latina la Banda Ancha Móvil ha facilitado el acceso a Internet a la mayoría de la población con lo cual se ha disminuido el porcentaje de la brecha digital, con la masificación de los servicios y la competencia en el mercado se ha logrado disminuir los precios de las tarifas, es así que, según un estudio de la GSMA del 2016, la banda ancha móvil es la más asequible por todas las clases sociales, en la figura 15 se evidencia que en Ecuador el acceso a internet de las personas con menos ingresos es a través de redes móviles empleando su teléfono celular, esto ha incentivado al gobierno a que dentro de su PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR se promueva el despliegue y evolución de redes móviles.

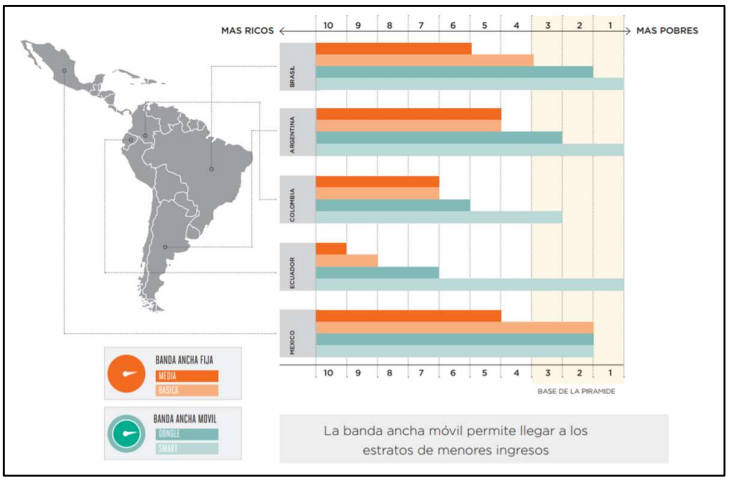


Figura 15 Asequibilidad comparada por decil de ingreso en América Latina

De la misma forma la GSMA en su reporte de **Cerrar la brecha de cobertura Inclusión digital en América Latina del 2016**, coloca a Ecuador dentro de Latinoamérica como uno de los países con mayor cobertura de banda ancha móvil, en la figura 16 se aprecia el estado actual de la cobertura de banda ancha en América Latina [14].

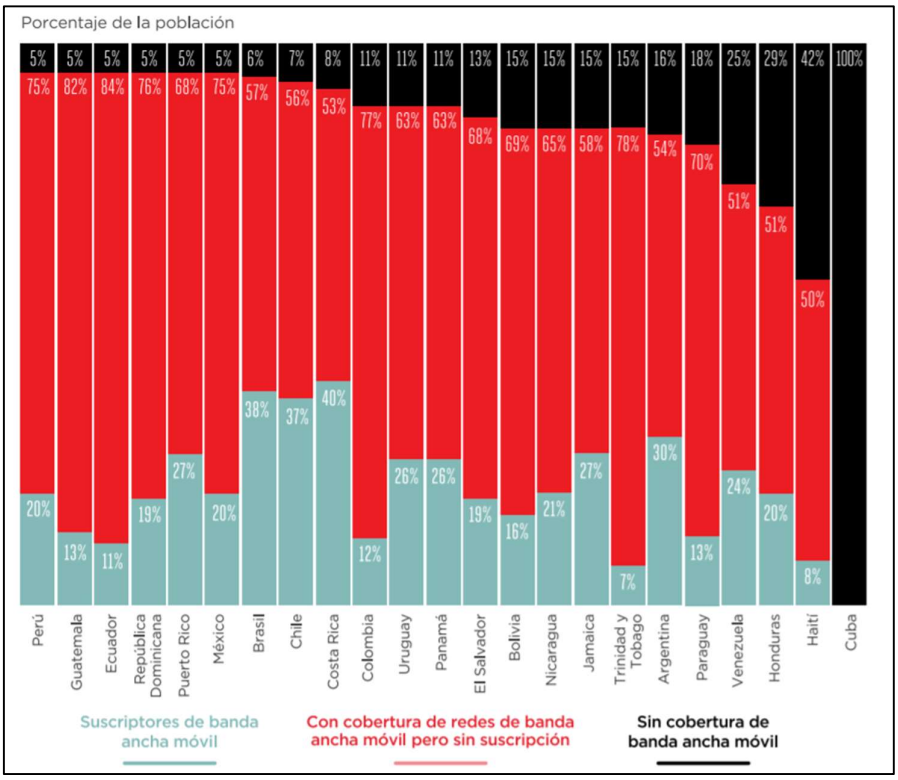


Figura 16 Estado de la banda ancha en América Latina

En Ecuador, desde el lanzamiento de la red LTE por parte de CNT en el 2014 y seguidamente en 2015 con la puesta en servicio de las redes de CLARO y Movistar, el incremento del tráfico de datos móviles y de suscriptores se ha elevado exponencialmente tal como lo presenta la ARCOTEL en uno de sus Boletines estadísticos del segundo trimestre del 2017 [16], en el que se indica que desde los aproximadamente 30000 usuarios que se tenían en 2014 en la actualidad ya son más de 3410000 usuarios registrados en LTE, en la figura 17 se aprecia el contraste de las líneas activas entre las tecnologías en operación.

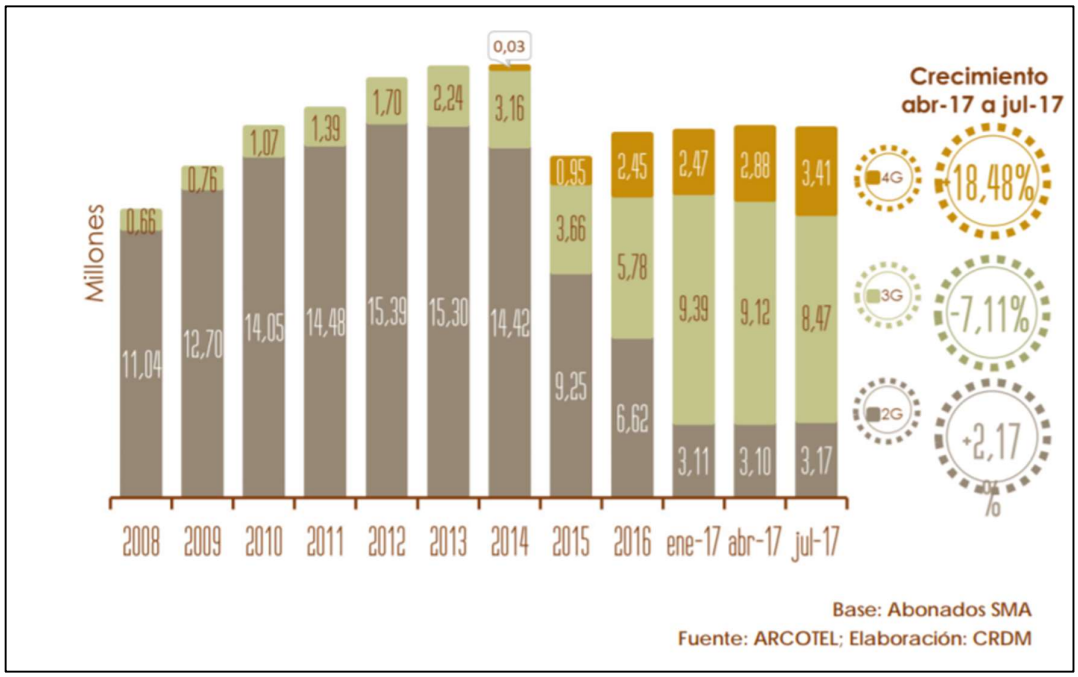


Figura 17 Líneas activas de Servicio Móvil Avanzado SMA

Según el reporte del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) del 2016 sobre el estado de la TICs, para 2016 más de 8 millones de personas en Ecuador cuentan con una línea activa y que de esos dispositivos más de 4 millones son Smartphone, los cuales les permite aprovechar las ventajas de la banda ancha móvil [17].

Tabla 6 estadísticas del uso de teléfonos celulares en Ecuador

Desagregación	2011	2012	2013	2014	2015
Población Total	14478129	14682556	15872755	16148648	16404531
Población de 5 años y más	10533003	10864147	11200371	11159255	14746884
Tiene teléfono celular activado	6209858	6859938	7453781	7820597	8174520

El teléfono es SMARTPHONE	522640	839705	1261944	1928108	3084886
En su teléfono utiliza redes sociales	365427	641914	1081620	1722159	2807282

Según datos de la ARCOTEL para agosto de 2017 la densidad de las líneas activas es del 90,15%, es decir de cada 10 ecuatorianos 9 tiene una línea, en la figura 18 adicionalmente se aprecia la densidad de dispositivos celulares por provincia, para el caso en particular de la provincia de Loja se tiene una densidad de 57,4%, considerando que su población es de 448966 se puede concluir que alrededor de 257706 habitantes poseen un teléfono celular con una línea activa, de estos habitantes y siguiendo la tendencia nacional de que el 80% de las líneas activas son 3G y 4G se tiene un mercado con necesidad de banda ancha móvil de cerca de 206164 usuarios, realizando este mismo análisis para la ciudad de Loja con una población de 175077, el número de usuarios de banda ancha móvil es de 80395.

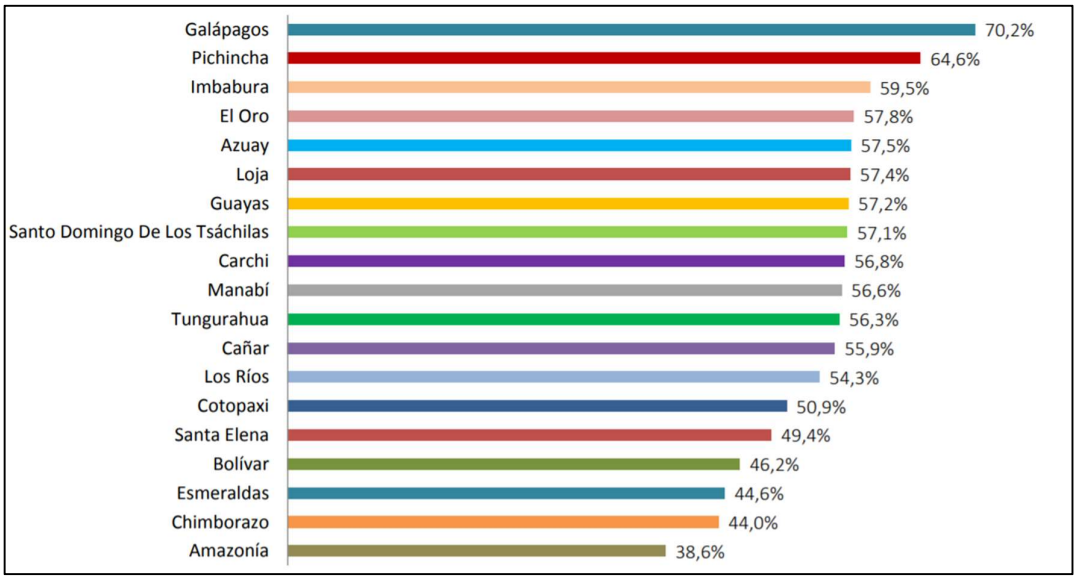


Figura 18 Densidad de usuarios con teléfono celular por provincia [17]

Con el incremento de usuarios y el constante incremento del tráfico de datos es necesario el despliegue de las redes móviles de alta capacidad como LTE, en Ecuador la infraestructura de redes móviles en su mayoría está desplegada para tecnologías GSM y UMTS, esto contrasta con el incremento de usuarios LTE por lo que se ve la necesidad de continuar con el despliegue de infraestructura que soporte LTE a nivel nacional, en la figura 19 y 20 se evidencia el incremento de usuarios LTE por operador y el número de radio bases de la red LTE.

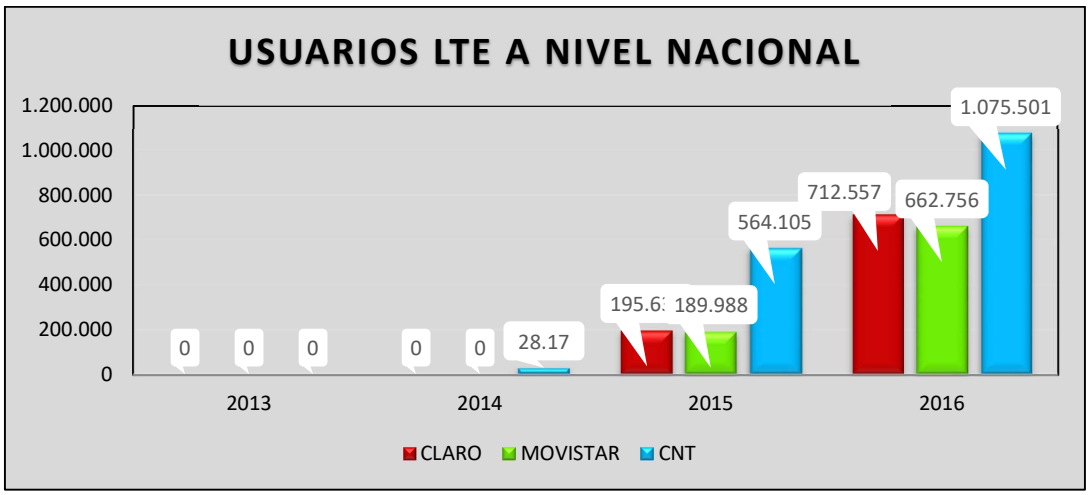


Figura 19 Usuarios LTE hasta el año 2016

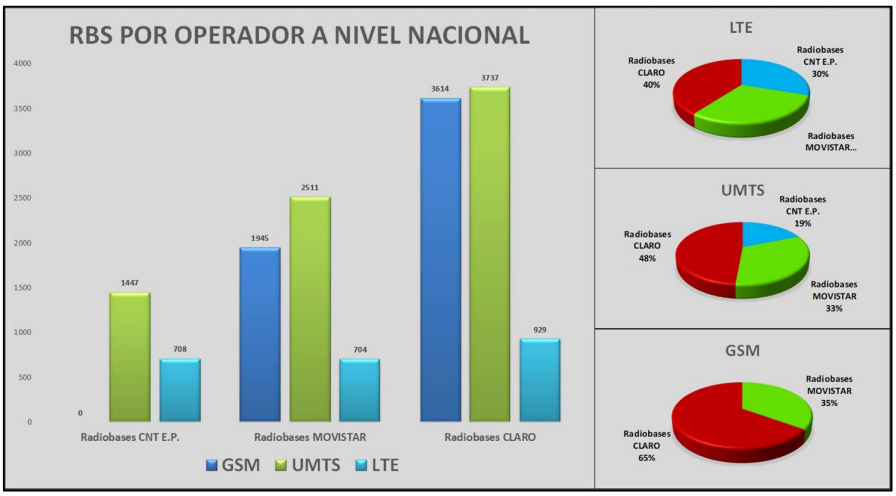


Figura 20 Infraestructura de Redes Móviles en Ecuador, cantidad de radio bases por tecnología

Refiriéndose al estado de la red LTE en la provincia de Loja y ya conociendo la cantidad de usuarios que necesitan banda ancha móvil, en la figura 21 se aprecia el estado actual en cuanto a la infraestructura LTE, se evidencia que existe una necesidad por desplegar redes 4G para los usuarios de otras operadoras ya que actualmente solo CNT EP opera con cobertura 4G y las redes 2G y 3G ya presentan síntomas de saturación lo que impacta en que el usuario percibe un servicio de mala calidad experimentando altos tiempos de retardo o latencias, bajas tasas de velocidad en descarga, problemas de acceso a la interfaz aire entre otros.

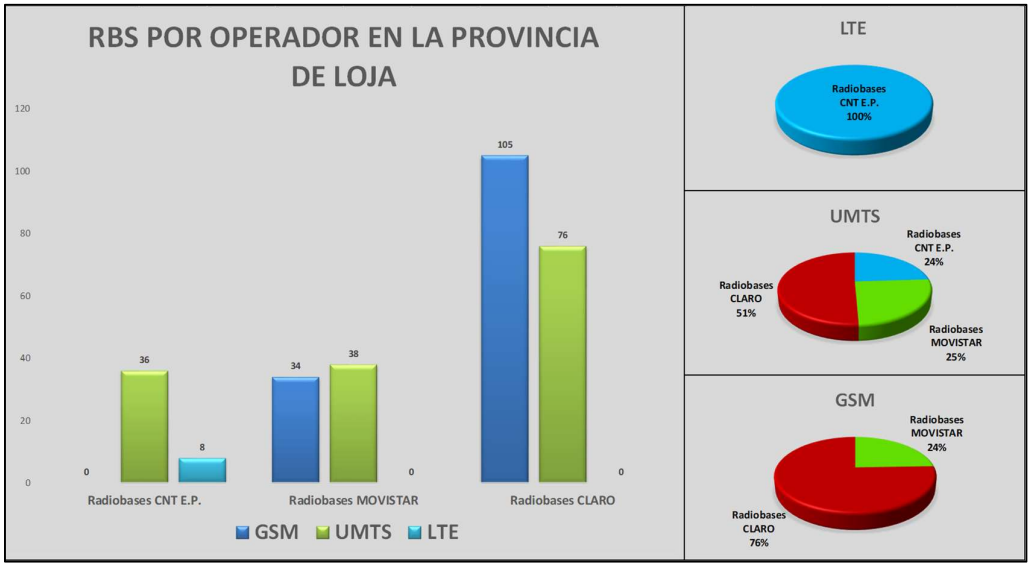


Figura 21 Estado de la infraestructura LTE en la Provincia de Loja

Centrándose en la provincia de Loja, el presente estudio pretende diseñar una red LTE cuya cobertura será para la zona comercial de la ciudad de Loja, capital de la provincia de Loja en la que se concentra la mayoría de los usuarios de redes celulares.

La zona de cobertura se la ha seleccionado de acuerdo a la zona comercial de la ciudad de Loja, a la cual se la ha delimitado de la siguiente forma:

- Norte: Zona del Terminal Terrestre, parque recreacional Jipiro y el Complejo Ferial
- Sur: Mercado La Tebaida, centro comercial La Pradera

- Occidente: Desde la Zona del Terminal Terrestre se recorre toda la Av Manuel Carrión hasta el sur continuando por la Av. Pio Jaramillo y por la Calle Argentina.
- Oriente: Desde la zona del Complejo Ferial se recorre hasta la Av. Isidro Ayora, continuando por la localidad de la UTPL (Universidad Técnica Particular de Loja), se continua por la Av. Orillas del Zamora hasta el Estadio Reina del Cisne, finalmente por la Av. Eduardo Kingman hasta llegar al centro comercial La Pradera.

Con esta delimitación se asegura cobertura a las instituciones gubernamentales y municipales, principales centros de estudio, centros comerciales y mercados, centros financieros y hoteles, en la figura 22, se presenta la zona de cobertura que tiene un área de 5,56 Km^2.

Conociendo ya la problemática de la falta de redes LTE en la provincia de Loja, en las siguientes secciones se presentará el diseño de una red LTE para brindar cobertura en la zona comercial de la Ciudad de Loja, se realizarán cálculos y simulaciones de cobertura y capacidad para finalmente establecer un presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE.

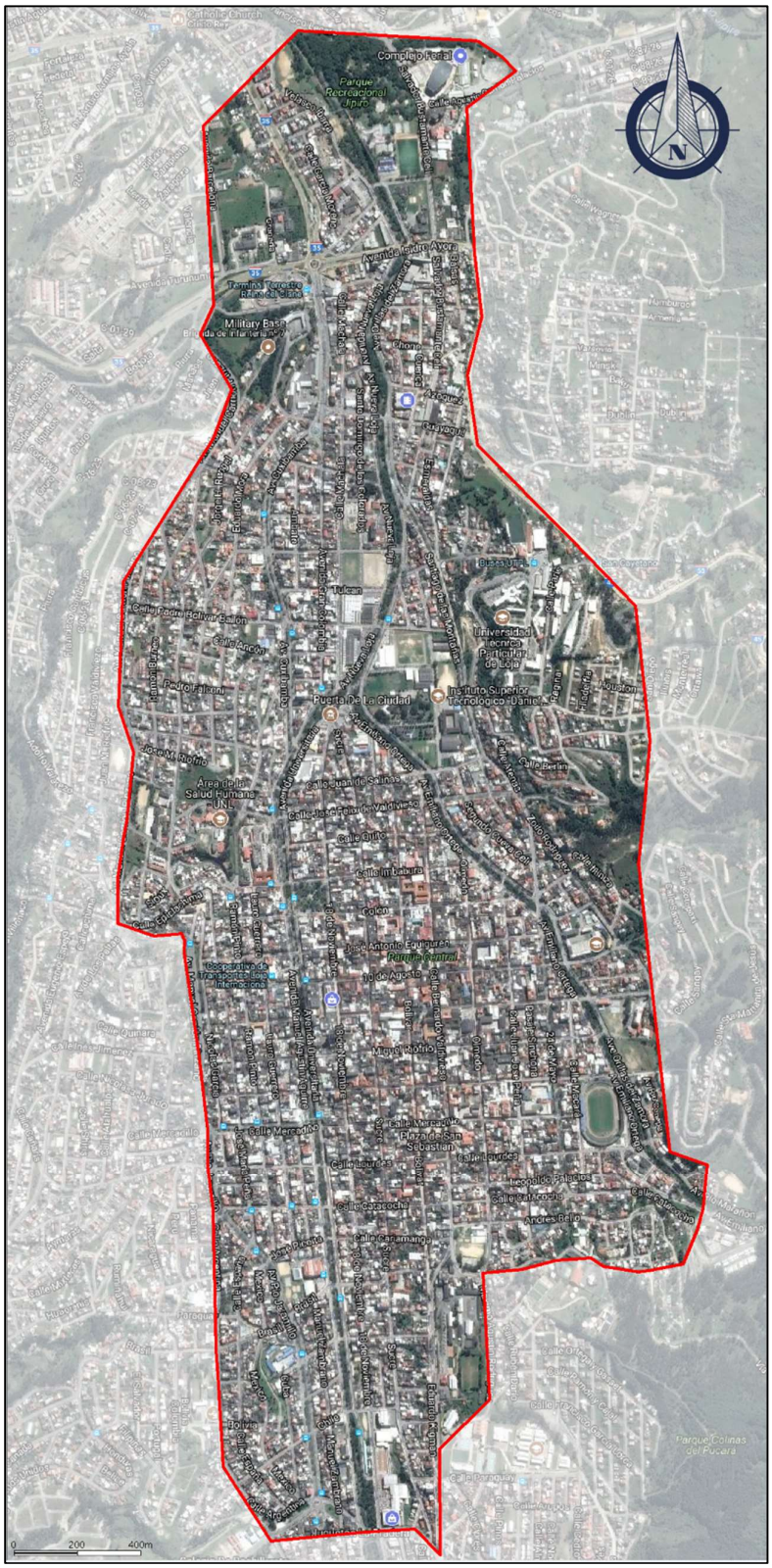


Figura 22 Zona a brindar cobertura 4G

5.3 Proyección de posibles usuarios LTE en la zona de cobertura

De acuerdo a estadísticas de la ARCOTEL el crecimiento de suscriptores LTE en Ecuador tiene una tendencia exponencial, es así que desde el 2015 hasta el 2016 el crecimiento fue del 158% es decir el número de suscriptores casi se triplican en un solo año, en la figura 23 se presenta la proyección de usuarios a 2020 la cual tendría un incremento del 121% de suscriptores tomando como referencia al año 2016, es decir que para 2020 el número de usuarios o suscriptores LTE sería de 5407872

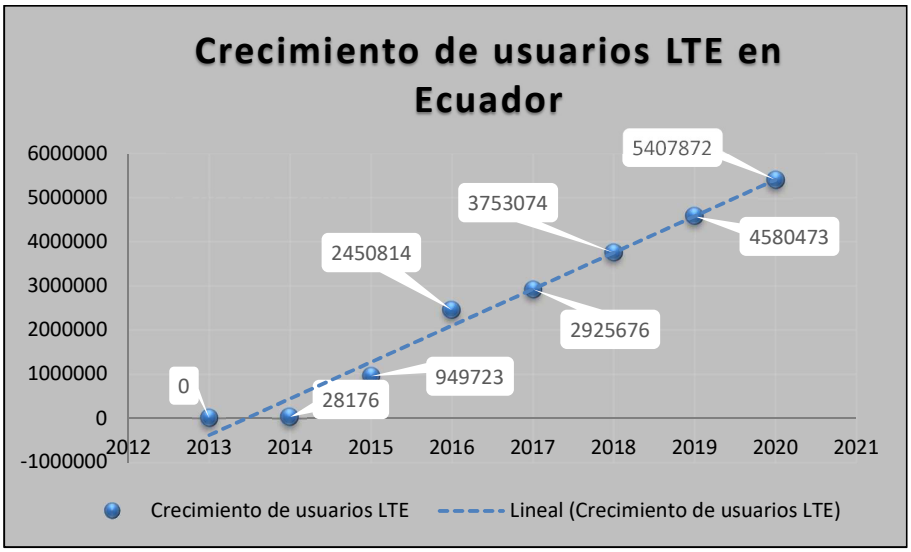


Figura 23 Proyección del crecimiento de usuarios LTE en Ecuador a 2020

Conociendo el crecimiento de suscriptores LTE para 2020 se realizará el cálculo de los usuarios que se estima que se encuentren en el área de cobertura de los 5,56 Km^2 de la zona comercial de la ciudad Loja y que están en el segmento del mercado provisto por los usuarios de las operadoras privadas, para eso se emplean los siguientes datos:

Tabla 7 Parámetros estadísticos a considera para el diseño dela red LTE en la ciudad de Loja

Población del Cantón Loja:	175077 Habitantes
Habitantes por Km^2 Cantón Loja*	632,19 Hab/Km^2
Área de cobertura de la red a diseñar	5,56 Km^2
Número de habitantes en la zona de cobertura	3515 Habitantes
Tasa de penetración de dispositivos celular en la provincia de Loja	57%
Porcentaje nacional de penetración de SmartPhone**	80%
Penetración de SmartPhone provincia de Loja	46%
Tasa de crecimiento Ecuador a 2020 usuarios LTE(%)	121%
Usuarios LTE Ecuador (2016)	2450814
Porcentaje actual de usuarios LTE (2016)	16,5%
Proyección Usuarios LTE Ecuador (2020)	5407872
Participación del mercado red móvil (CNT)	12,51%
Participación del mercado red móvil (Otras operadoras)	87,49%
Participación por operador privado***	43,745%
Proyección Usuarios LTE Ecuador (2020) por operador privado	2365673

*Valor obtenido del INEC [18]

** Valor obtenido del INEC [17]

*** Se asume que las dos operadoras privadas poseen igual participación de mercado.

Con los datos de la tabla 7, se procede a calcular el número de usuarios inicial que puede tener la red móvil, para eso se emplea la ecuación 1.

$$U_O = a \times b \times d \times N \qquad (1)$$

Donde:

- **Uo:** Numero inicial de usuarios
- **a:** Porcentaje de usuarios móviles
- **b:** Porcentaje de participación del mercado del operador
- **d:** Porcentaje de usuarios LTE
- **N:** Número de habitantes en la zona de cobertura

Así que:

$$U_O = 46\% \times 43{,}745\% \times 16{,}5\% \times 3515$$

$$U_O = 115{,}7 \text{ Usuarios}$$

Con los usuarios iniciales y asumiendo que todos se encuentran en ambientes urbanos se procede a calcular el número de usuarios de la red para el 2020 siguiendo la siguiente ecuación:

$$U_n = U_O(1 + gf)^n \qquad (2)$$

Donde:

- **Un:** Número de usuarios proyectados
- **Uo:** Numero inicial de usuarios
- **gf:** Factor de crecimiento
- **n:** Años de proyección

Así que:

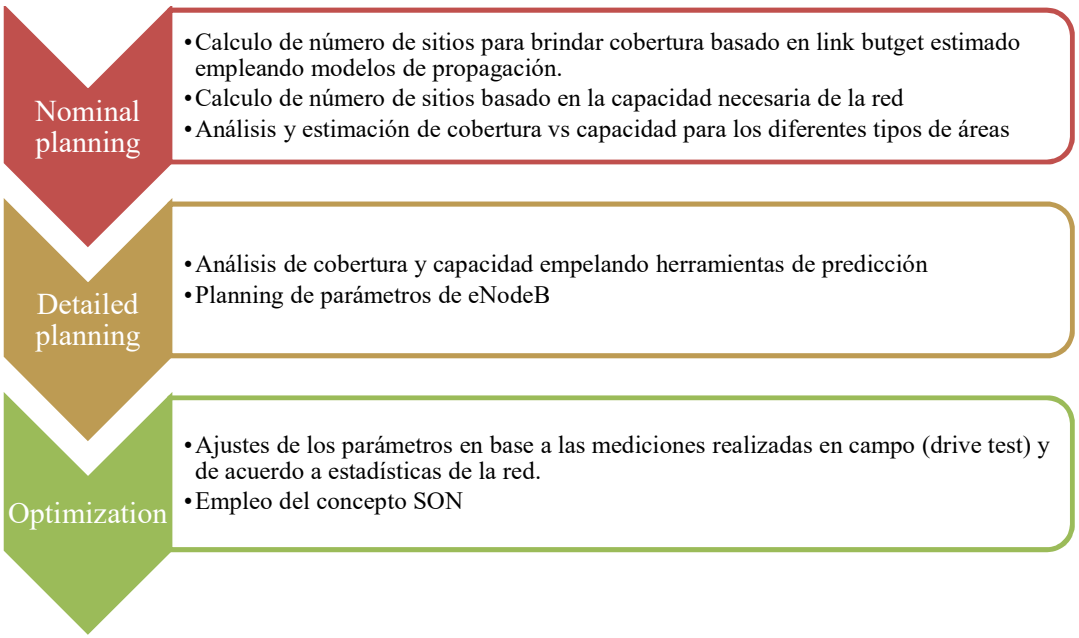
$$U_n = U_o(1 + gf)^n$$

$$U_n = 115{,}7\ (1 + 121\%)^4$$

$$U_n = 2760\ \text{Usuarios}$$

Para 2020 se estima que dentro del área de cobertura propuesto, la red debe poseer los recursos para gestionar 2760 usuarios, los siguientes pasos serán calcular el número de estaciones base para brindar la cobertura y la capacidad para los usuarios previstos siguiendo un proceso estándar que se emplea durante el despliegue de redes inalámbricas, en la tabla 8 se presenta este proceso

Tabla 8 Proceso de planeación de redes inalámbricas



La fase de optimización no se abarca en el presente estudio, debido a que en esta fase se corrigen parámetros de acuerdo a los resultados de las mediciones en campo de la red ya implementada.

5.4 Dimensionamiento matemático del número de eNodeB de acuerdo al área de cobertura

En esta fase del proceso de planificación se estima el número de sitios requeridos para proveer la cobertura deseada y en la cual se asegura que los niveles de potencia de la señal en el borde de la celda son los adecuados para brindar un servicio de calidad.

Para calcular el número de sitios, se debe basar en el cálculo del Link Budget o presupuesto del enlace, el cual consiste en estimar la atenuación máxima permitida de la señal entre la antena de la estación base con el dispositivo móvil y viceversa, ha esta atenuación se la conoce también como perdida máxima del trayecto y es la que limita el rango máximo de cobertura de una celda, está perdida es calculada empleando un modelo de propagación apropiado. Empleando el rango máximo de cobertura se puede llegar a la conclusión cuantos son los sitios necesarios para brindar cobertura en el área de interés. [19]

Para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja, se emplearán los siguientes datos:

Tabla 9 Parámetros técnicos para el diseño de la red LTE en la ciudad de Loja

Parámetros del Sistema	
Modo del Sistema LTE	FDD
Frecuencia (MHz)	1900
Ancho de banda (MHz)	10
Condiciones de propagación	ETU70Hz - EPA5Hz
Resource blocks	50
Parámetros del eNodeB	
Potencia TX (dBm)	46

Ganancia de antena Tx(dB)	18
Ganancia de antena Rx(dB)	18
Feeder Loss (dB)	3
Body Loss (dB)	0,5
Ganacia MIMO	0
SINR	-4,3
Thermal noise level (dBm/Hz)	-174
Parámetros del UE	
Categoria	3
Potencia TX (dBm)	23
Body Loss (dB)	0
Ganancia de antena Tx(dB)	0
Ganancia de antena Rx(dB)	18
SINR	-7,3
Otros parámetros	
Noise Factor	5
Penetration Loss (dB)	8
Shadow fading - desviación estandar (common urban area) (dB)	8

Como se aprecia en la tabla 9, la frecuencia a emplear en el sistema LTE será 1900 MHz y trabajará en modo FDD (Frequency Division Duplex) por lo cual uno de los modelos de propagación que más se adapta a estos parámetros es el COST231 o también llamado COST – Hata.

El modelo COST231 es un modelo de propagación empírico, es decir basado en medidas realizadas en ambientes específicos, este modelo es aplicable para las frecuencias entre 1500MHz y los 2000MHz lo cual se adapta para la frecuencia elegida en el proyecto, otros modelos empíricos como el Hata o el Okumura no cubren la frecuencia de 1900MHz. Dentro de las principales características del modelo COST231 se tiene [20]:

- Frecuencia: 1500 – 2000 MHz
- Altura de la antena de transmisión (base station): 30 – 200 m
- Altura de la antena de recepción (mobile): 1 – 10 m
- Distancia del enlace: 1 – 20 Km

Así el Path Loss determinado por este modelo es:

$$L(dB) = 46{,}3 + 33{,}9\log(f_c) - 13{,}82\log(h_t) - a(h_r) + [44{,}9 - 6{,}55\log(h_t)]\log(d) + C \qquad (3)$$

Donde:

- **L(dB):** Path loss
- **f_c:** Frecuencia en MHz
- **h_t:** Altura de estación base en metros
- **h_r:** Altura del móvil en metros
- **$a(h_r)$:** Factor de corrección de altura
- **d:** Distancia del enlace en Km
- **C = 0** para ciudades o áreas suburbanas con una densidad media de arboles
- **C = 3** para centros metropolitanos

El factor de corrección se emplea de acuerdo a las siguientes condiciones:

Para zonas urbanas:

$$a(h_r) = 3{,}2(\log(11{,}75h_r))^2 - 4{,}97 \qquad (4)$$

Para zonas suburbanas

$$a(h_r) = (1{,}1\log(f_c) - 0{,}7)h_r - (1{,}56\log(f) - 0{,}8) \qquad (5)$$

Empleando el modelo de propagación se calcula el radio de la celda, para eso antes se debe calcular el EIRP o Effective Isotropic Radiated Power y que se trata de la potencia adicionada por la ganancia de la antena menos cualquier pedida producida, el EIRP se calcula empleando la siguiente ecuación [20]:

$$EIRP_{dB} = P_{TxdBm} + G_{TxdB} - L_{WGdB} - L_{RdBm} \qquad (6)$$

Donde:

- **EIRP:** Effective Isotropic Radiated Power
- **P_{Tx}:** Potencia del transmisor
- **G_{Tx}:** Ganancia de la antena del transmisor
- **L_{WG}:** Perdida en la guía de onda
- **L_R:** Perdidas randomicas

Para el estudio actual, el EIRP se calculará de la siguiente forma:

$$EIRP = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{feeder} - L_{body} + \quad G_{MIMO} \qquad (7)$$

Donde:

- **EIRP:** Effective Isotropic Radiated Power
- **P_{Tx}:** Potencia del transmisor
- **G_{Tx}:** Ganancia de la antena del transmisor
- **L_{feeder}:** Perdida en el feeder

- **L_{body}:** Perdidas Body Loss
- **G_{MIMO}:** Ganancia del arreglo MIMO

Tomado los datos de la tabla 9, se tiene:

UPLINK:

$$EIRP = 46 + 18 - 3 - 0{,}5 + \quad 0$$

$$EIRP = 60{,}5\ dB$$

DOWNLINK:

$$EIRP = 23 + 0 - 0 - 0 + \quad 0$$

$$EIRP = 23\ dB$$

A continuación, se procede a determinar la sensibilidad del receptor empleando la siguiente ecuación:

$$S_{Rx} = -174\frac{dBm}{Hz} + 10\log(15Khz \times 12RB) + NF + SINR \qquad (8)$$

Donde:

- **S_{Rx}:** Sensibilidad del receptor
- **-174dBm/Hz:** Thermal noise level
- **RB:** Numero de Resources Blokes LTE
- **NF:** Noise Factor
- **SINR:** Signal to Interference Ratio

Usando los datos de la tabla 9 se tiene que:

UPLINK:

$$S_{Rx} = -174\frac{dBm}{Hz} + 10\log(15Khz \times 12 \times 50) + 5 - 4{,}3$$

$$S_{Rx} = -103{,}76\ dBm$$

DOWNLINK:

$$S_{Rx} = -174\frac{dBm}{Hz} + 10\log(15Khz \times 12 \times 50) + 5 - 7{,}3$$

$$S_{Rx} = -106{,}76\ dBm$$

Finalmente se determina la máxima perdida permitida del enlace o MAPL (Maximum Allowable Path Loss):

$$MAPL = EIRP - S_{Rx} + G_{Rx} - L_P - \sigma \qquad (9)$$

Donde:

- **MAPL:** Maximum Allowable Path Loss
- **EIRP:** Effective Isotropic Radiated Power
- **S_{Rx}:** Sensibilidad del receptor
- **G_{Rx}:** Ganancia del receptor
- **L_p:** Perdida por penetración o Penetration Loss
- **σ :** Shadow fading - desviación estándar

Las perdidas máximas para el sistema a diseñar son:

UPLINK:

$$MAPL = 60{,}5 - (-103{,}76) + 18 - 8 - 8$$

$$MAPL = 166{,}3\ dB$$

DOWLINK:

$$MAPL = 23 - (-106{,}76) + 18 - 8 - 8$$

$$MAPL = 131{,}8\ dB$$

Con el valor del MAPL de Downlink ya se puede estimar el radio de la celda ya que el dispositivo móvil por su limitante en tamaño no puede poseer gran equipamiento y autonomía de energía en comparación a la estación base. Con el valor del MAPL se despeja la distancia o en este caso el radio (R) de la ecuación del modelo de propagación COST231, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$R = 10^{\left(\frac{L - A + a(h_r) - C}{B}\right)} \qquad (10)$$

Donde:

- **R:** Radio de la celda (en la fórmula de COST231 se trata de la distancia [d])
- **L:** Path Loss
- $\boldsymbol{a(h_r)}$**:** Factor de corrección de altura (Se considera para una zona urbana)
- **A** = $46{,}3 + 33{,}9\log(f_c) - 13{,}82\log(h_t)$
- **B** = $44{,}9 - 6{,}55\log(h_t)$
- **C = 3** (se considera para el cálculo que se trata de una zona metropolitana)

El máximo radio de la celda es:

$$R = 10^{\left(\frac{131{,}8 - 137{,}02\ \ (-0{,}00092) - 3}{35{,}224}\right)}$$

$$R = 0{,}5825\ Km$$

El área de cobertura del nodo con tres sectores se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_{eNodeB} = \frac{9\sqrt[2]{3}}{8} R^2 \qquad (11)$$

Donde:

- **A_{eNodeB}:** Área de cobertura de un eNodeB en un esquema de tres sectores
- **R:** Radio de la celda

Así se tiene que el área es:

$$A_{eNode} = \frac{9\sqrt[2]{3}}{8} 0{,}5825^2$$

$$A_{eNodeB} = 0{,}66m^2$$

Con el área de cobertura por eNodeB, el número de nodos necesarios para cubrir el área en estudio de 5,56 Km^2 se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\#eNodeB = \frac{A_D}{A_{eNod}} \qquad (12)$$

Donde:

- **$\#eNodeB$:** Número de nodos LTE necesarios para dar cobertura
- **A_D:** Área de diseño a brindar cobertura
- **A_{eNodeB}:** Área de cobertura de un eNodeB en un esquema de tres sectores

El número de nodos LTE para brindar la cobertura desea es:

$$\#eNodeB = \frac{5{,}56}{0{,}66}$$

$$\#eNodeB \approx 9$$

Se necesita 9 nodos para asegurar la cobertura del área de la zona comercial de Loja.

5.5 Dimensionamiento matemático del número de eNodeB de acuerdo a la capacidad necesaria de la red

Conocido ya el número de eNodeB necesarios para brindar cobertura en el área de interés, es necesario realizar un análisis de capacidad con el cual se determinará si en número de nodos abastece a las demandas de tráfico de los usuarios, ya que puede existir casos en los que la capacidad no es suficiente y se deba incluir más nodos dentro del área de cobertura o casos en los que los nodos calculados en la etapa de del Link Budget son suficientes.

Para iniciar el proceso de cálculo de capacidad, es necesario conocer o estimar el tráfico que un usuario normal genera, para esto es necesario basarse en un modelo de servicio y un modelo de tráfico en el cual se seleccionan los servicios y el promedio de uso que el usuario emplea en sus labores cotidianas, en la tabla 10 se aprecia el modelo de servicio que se emplea para el cálculo de la capacidad, este modelo es una recomendación del fabricante HUAWEI y se diferencian los principales servicios que cursan por una red de banda ancha considerando paramentos del Point-to-Point Protocol (PPP) y el Block Error Rate (BLER) que generalmente estos servicios presentan. [21]

Tabla 10 Parámetros del modelo de servicios para el cálculo de capacidad de una red inalámbrica

Service Model	**Uplink**				**Downlink**			
Service$_i$	**Bearer rate (kbps)**	**PPP Sessions Time (s)**	**PPP Sessions Duty ratio**	**BLER**	**Bearer rate (kbps)**	**PPP Sessions Time (s)**	**PPP Sessions Duty ratio**	**BLER**
VoIP	26,9	80	0,4	1%	26,9	80	0,4	1%
Video Phone	62,53	70	1	1%	62,53	70	1	1%
Video Conference	62,53	1800	1	1%	62,53	1800	1	1%
Real Time Gaming	31,26	1800	0,2	1%	125,06	1800	0,4	1%
Streaming Media	31,26	3600	0,05	1%	250,11	3600	0,95	1%
Web Browsing	62,53	1800	0,05	1%	250,11	1800	0,05	1%
File Transfer	140,69	600	1	1%	750,34	600	1	1%
Email	140,69	50	1	1%	750,34	15	1	1%
P2P File Sharing	250,11	1200	1	1%	750,34	1200	1	1%

Dentro del estudio, se considera que la red proveerá los siguientes servicios:

- VoIP
- Video Conference
- Streaming Media
- Web Browsing
- Email

Elegido los servicios a brindar, se procede a calcular el throughput del servicio por sesión por usuario:

$$Throughput_S = \frac{Bearer\ rate \times PPP\ Sessions\ Time \times PPP\ Sessions\ Duty\ ratio}{1 - BLER} \quad (13)$$

Donde:

- **Throughputs:** Throughput por servicio
- **Bearer rate:** Es la velocidad de transferencia datos necesaria para el funcionamiento del servicio
- **PPP Sessions Time:** Tiempo en que una sesión del protocolo permanece activa
- **PPP Sessions Duty ratio:** Porcentaje por sesión en que se usa el canal de transmisión
- **BLER:** Block Error Rate

Así el throughput por servicio se detalla en la tabla 11:

Tabla 11 Resultados del throughput por servicio basado en el modelo de servicio

Service Model	**Uplink**	**Downlink**
Service$_i$	**Throughput per service session (kbps)**	**Throughput per service session (kbps)**
VoIP	869,49	869,49
Video Conference	113690,91	113690,91
Streaming Media	5683,64	864016,36
Web Browsing	5684,55	22737,27
Email	7105,56	11368,79

Continuando con el cálculo de la capacidad y conociendo los requerimientos de throughput por servicio, es necesario calcular el tráfico que genera un usuario basándose en un modelo de

tráfico, en la tabla 12 se presenta el modelo de tráfico recomendado por el fabricante HUAWEI para ambientes urbanos. [22]

Tabla 12 parámetros del modelo de tráfico para el cálculo de capacidad de una red inalámbrica

Service$_i$	**Traffic Penetration Ratio**	**BHSA**	**Peak to Average Ratio**
VoIP	100%	1,3	20%
Video Phone	20%	0,16	20%
Video Conference	15%	0,15	20%
Real Time Gaming	20%	0,2	20%
Streaming Media	15%	0,15	20%
Web Browsing	100%	0,4	20%
File Transfer	20%	0,2	20%
Email	10%	0,3	20%
P2P File Sharing	20%	0,3	20%

El throughput por usuario se lo calcula de la siguiente forma:

$$Throughput_u = \sum_{Service} [Throughput_S \times BHSA \times Penetration\ Ratio \times (1 + Peak\ to\ Average\ Ratio)] \quad (14)$$

Donde:

- **Throughput$_u$:** Throughput por usuario
- **Throughput$_S$:** Throughput por servicio
- **BHSA:** Busy Hour Session Attempts para un usuario
- **Penetration Ratio:** Porcentaje de la demanda del servicio
- **Peak to Average Ratio:** Desviación estándar

Empleando los datos de la tabla 12 se tiene que el throughput por usuario es para el uplink de 3143,25 bps y para el downlink es de 13033,92 bps, en la tabla 13 se detallan los valores.

Tabla 13 Throughput total basado en el modelo de servicios y de trafico

Service Model & Traffic	**Uplink**	**Downlink**
Service$_i$	**Single User Throughput (bps)**	**Single User Throughput (bps)**
VoIP	376,78	376,78
Video Conference	1515,88	1515,88
Streaming Media	42,63	6480,12
Web Browsing	1136,91	4547,45
Email	71,06	113,69
TOTAL	3143,25	13033,92

Continuando con el diseño, se procede a calcular el throughput total de la red empelando la siguiente ecuación:

$$Throughput_N = U \times Throughput_u \qquad (15)$$

Donde:

- **Throughput$_N$:** Throughput de la red
- **U:** Total de usuarios de la red
- **Throughput$_u$:** Throughput por usuario

Conociendo que la red está proyectada para 2760 usuarios se tiene que el Throughput de la red es:

UPLINK:

$$Throughput_N = 2760 \times 3143{,}25$$

$$Throughput_N = 8675371{,}932\ bps$$

$$Throughput_N = 8472\ Kbps$$

DOWNLINK:

$$Throughput_N = 2760 \times 13033{,}92$$

$$Throughput_N = 35973625{,}82\ bps$$

$$Throughput_N = 35131\ Kbps$$

Adicional al throughput de la red hay que considerar el overload en la red causado por procesos de control y señalización, por lo general se recomienda considerar un 25% de overload en relación al tráfico de usuarios. Sumando el tráfico de overload al 25% se tiene:

UPLINK:

$$Throughput_N = 10{,}34\ Mbps$$

DOWNLINK:

$$Throughput_N = 42{,}88\ Mbps$$

El sistema debe tener la capacidad para cubrir el throughput calculado de 10,34 Mbps en el Uplink y 42,88 Mbps, para determinar si el sistema cumple con el parámetro de capacidad, se debe calcular la capacidad que un eNodeB puede entregar, como ya se había mencionado anteriormente en este diseño se considera que un nodo está configurado con tres sectores, es

así que el throughput por eNodeB empleando el modo FDD se lo determina de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Throughput_{eNodeB} = Número\ de\ símbolos\ \times Esquema\ de\ codificación \qquad (16)$$

Donde:

- **$Throughput_{eNodeB}$:** Throughput del eNodeB (3 sectores)
- **Numero de símbolos:** Número de símbolos del total de resource blocks disponibles por portadora.
- **Esquema de codificación:** Número de bits por símbolos de la codificación empleada

Para entender mejor la ecuación 16 se debe conocer los siguientes términos que describen el estándar LTE [23]:

- Resource element: o abreviado RE, se trata de la unidad más pequeña de transmisión en LTE tanto para el uplink como para el downlink, técnicamente consiste en una subportadora modulada en el tiempo de un símbolo OFDM, por lo general se envían 7 símbolos por slot de tiempo.
- Subcarrier Spacing: se trata de la separación entre subportadoras, en LTE esto es de 15KHz, considerar que no se trata de un valor de banda de guarda, para evitar interferencia entre símbolos o ISI se emplea un periodo de guarda llamado Ciclic Prefix.
- Ciclic Prefix: un conjunto de muestras que se duplican del inicio del símbolo y se adicionan al final de un símbolo, esto es un proceso cíclico que sirve para recuperar la señal y evitar la interferencia entre símbolos. Existen dos esquemas de este ciclo, el CP Norma cuando emplea 7 símbolos ODFM en la trama y CP Extendido cuando se emplean 6 símbolos OFDM en la trama, el uso del normal o extendido se diferencia

para cortas y largas distancias de transmisión respectivamente. Usualmente se emplea el CP Normal.

- Time Slot: es el tiempo de duración de la trama, para una transmisión de 7 símbolos OFDM este tiempo es de 0,5ms.
- Resource Block: Es una unidad de transmisión que consiste de 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia y un slot de tiempo de 0,5 ms en el dominio del tiempo. Por tanto 12 subportadoras por 7 símbolos equivalen a 84 Resources Elements, adicional el ancho de banda total del Resource Block es de 180 KHz.

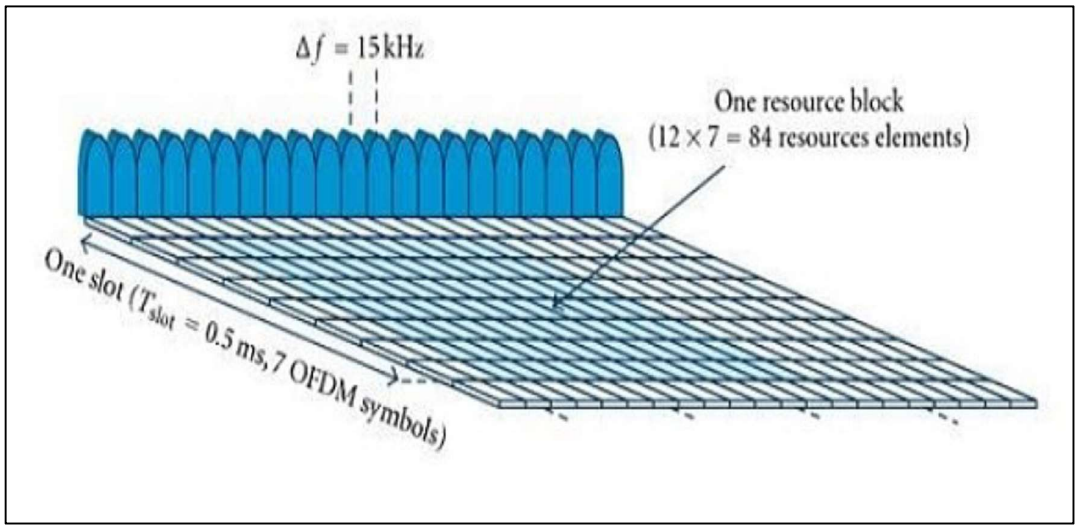


Figura 24 Esquema del Resource Block

En la figura 24 se aprecia de forma gráfica como se conforma un Resource Block.

El número de Resource Blocks varía de acuerdo al ancho de banda de la portadora y que en LTE pueden ser de 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz y 20MHz, para determinar el número de Resource Blocks se asume que el 10% del total del ancho de banda de la portadora es considerado como banda de guarda, para el diseño de la red LTE para la zona comercial de la ciudad de Loja, el ancho de banda es de 10MHz por consiguiente el ancho de banda efectivo

será de 9MHz, con este dato se encuentra el número de portadoras disponibles y el número de Resource Blocks totales, así:

$$Número\ de\ subportadoras = \frac{AB_{efectivo}}{15KHz} \qquad (17)$$

$$Número\ de\ subportadoras = \frac{9MHz}{15KHz}$$

$$Número\ de\ subportadoras = 600$$

Para un ancho de banda de 10MHz se tienen disponibles 600 portadoras, para determinar los Resource Block disponibles se emplea la siguiente ecuación:

$$Número\ de\ Resource\ Blocks = \frac{AB_{efectivo}}{AB_{RB}} \qquad (17)$$

Donde:

- **$AB_{efectivo}$:** Ancho de banda de la portadora menos el 10% de banda de guarda
- **AB_{RB}:** Ancho de banda de un Resource Block

Así se tiene que en número de Resource Blocks para un ancho de banda de 10MHz es:

$$Número\ de\ Resource\ Blocks = \frac{9MHz}{180KHz}$$

$$Número\ de\ Resource\ Blocks = 50$$

Como ya se describió al inicio de esta sección, el número de Resource Block para 10MHz es de 50, con lo que se demuestra matemáticamente como se obtiene este valor, en la tabla 14 se aprecia el número de Resource Block por ancho de banda de la portadora.

Tabla 14 Recursos por ancho de banda de portadora LTE

AB de la portadora	**1,4 MHz**	**3 MHz**	**5 MHz**	**10 MHz**	**15 MHz**	**20 MHz**
AB efectivo (MHz)	1,26	2,7	4,5	9	13,5	18
Numero de portadoras	84	180	300	600	900	1200
Numero de RB	7	15	25	50	75	100

El total de símbolos que se pueden transmitir por el total de Resource Blocks es:

$$Número\ de\ Simbolos = Número\ de\ Resource\ Blocks \times 12 \times 7 \times 2 \qquad (18)$$

Donde:

- **12:** Numero de portadoras por RB
- **7:** Numero de símbolos OFBM por RB
- **2:** 2 slots de tiempo (0,5 ms) por cada ms

Así se tiene que el número de símbolos por segundo para 50 RB es:

$$Número\ de\ Simbolos = 50 \times 12 \times 7 \times 2$$

$$Número\ de\ Simbolos = 8400\ Símbolos/ms$$

o

$$Número\ de\ Simbolos = 8{,}4\ MSps$$

Aplicando la ecuación 16 y considerando un esquema de codificación de QPSK 1/1 que trasmite 1 bits por símbolo, con este esquema de modulación y que es el de más bajo orden se garantiza que los usuarios del borde de las celdas tengan la calidad de servicio adecuada, por lo tanto, se tiene que el throughput del eNodeB es:

$$Throughput_{eNodeB} = 8{,}4\ MSps\ \times 1\frac{bit}{s}$$

$$Throughput_{eNodeB} = 8{,}4Mbps$$

El throughput teórico del eNodeB es de 50,4Mbps, a esto se debe restarle el 25% de overload al igual que cuando se calculó el throughput de la red, esto debido al tráfico generado por señalización y control, además se debe considerar que se empleara un esquema MIMO single stream, es decir de 2 antenas TX/RX en la estación base y 1 antena TX/RX en el terminal del usuario, con lo que se tiene que la velocidad del downlink se duplica, por lo tanto, la capacidad del eNodeB es:

UPLINK:

$$Throughput_{eNodeB} = 6{,}3\ Mbps$$

DOWNLINK:

$$Throughput_{eNodeB} = 12{,}6\ Mbps$$

Los valores calculados deben ser multiplicados por el número de sectores con los cuales el nodo vaya a ser configurado, en el caso de la red LTE para la zona céntrica de la ciudad de Loja, los eNodeB tienen una configuración con 3 sectores, con lo cual el Throughput del eNodeB será de 18,9 Mbps para el uplink y de 37,8 Mbps para el downlink.

Otra forma de calcular el Throughput del eNodeB es empleando las tablas de Transport Block Size que la 3GPP tiene publicadas en el documento de especificaciones técnicas LTE: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA):Physical layer procedures: (3GPP TS 36.213 version 8.8.0 Release 8), en el cual se ubica en las columnas el número de Resource Blocks disponibles y en las filas se encuentra el índice del esquema de modulación, en la intersección se encuentra el valor del bloque de transporte el cual será el throughput del nodo,

si se emplea MIMO, se deberá multiplicar por 2 o por 4 según sea el esquema de MIMO aplicado. [24]

Conociendo la capacidad del nodo, se procede a calcular el número de eNodeB necesarios para satisfacer la capacidad de la red, para eso se emplea la siguiente ecuación:

$$Número\ de\ eNodeB = \left[max\left(\frac{DL\ Throughput_N}{DL\ Throughput_{eNodeB}}, \frac{UL\ Throughput_N}{Throughput_{eNodeB}}\right)\right] \qquad (19)$$

Así se tiene que:

$$Número\ de\ eNodeB = \left[max\left(\frac{42{,}88\ Mbps}{37{,}8\ Mbps}, \frac{10{,}34\ Mbps}{18{,}9\ Mbps}\right)\right]$$

$$Número\ de\ eNodeB = [max(1.13\ , 0.55)]$$

$$Número\ de\ eNodeB \approx 2$$

Para satisfacer la capacidad del tráfico esperado para los 2760 usuarios se necesita de solo 2 eNodeB (configurados con 3 sectores), pero por motivos de cobertura el sistema se ve forzado a desplegar los 9 eNodeB calculados en la etapa del Link Budget.

5.6 Diseño del cluster LTE en el software de simulación ATOLL

Una vez realizada la etapa de cálculo de cobertura y capacidad, se empleará el software ATOLL para desplegar los sitios geográficamente y proceder con las simulaciones respectivas, esto con el fin de obtener una visión del desempeño que tendrá la red antes del despliegue.

ATOLL es una plataforma de software para el diseño y optimización de redes inalámbricas que permite a los operadores móviles realizar la planificación de sus redes móviles, estudiar comportamientos en la interfaz radio, estimar zonas de cobertura y optimizar de la mejor forma los parámetros de la red. ATOLL permite trabajar con las tecnologías 3GPP (GSM / UMTS / LTE / NB-IoT) y 3GPP2 (CDMA / LTE / NB-IoT). [25]

Los aspectos más destacados de ATOLL son:

- Modelado de redes multi-tecnología
- Predicción y planificación y optimización basadas en mediciones
- GIS de alto rendimiento
- Funciones integradas de automatización y personalización

En la figura 25 se presenta el flujo del proceso para crear un proyecto de planificación de una red inalámbrica en ATOLL, para el presente caso de estudio no se analizará ni desarrollará paso a paso el flujo, se presentará de forma directa las configuraciones y predicciones que este software permite obtener.

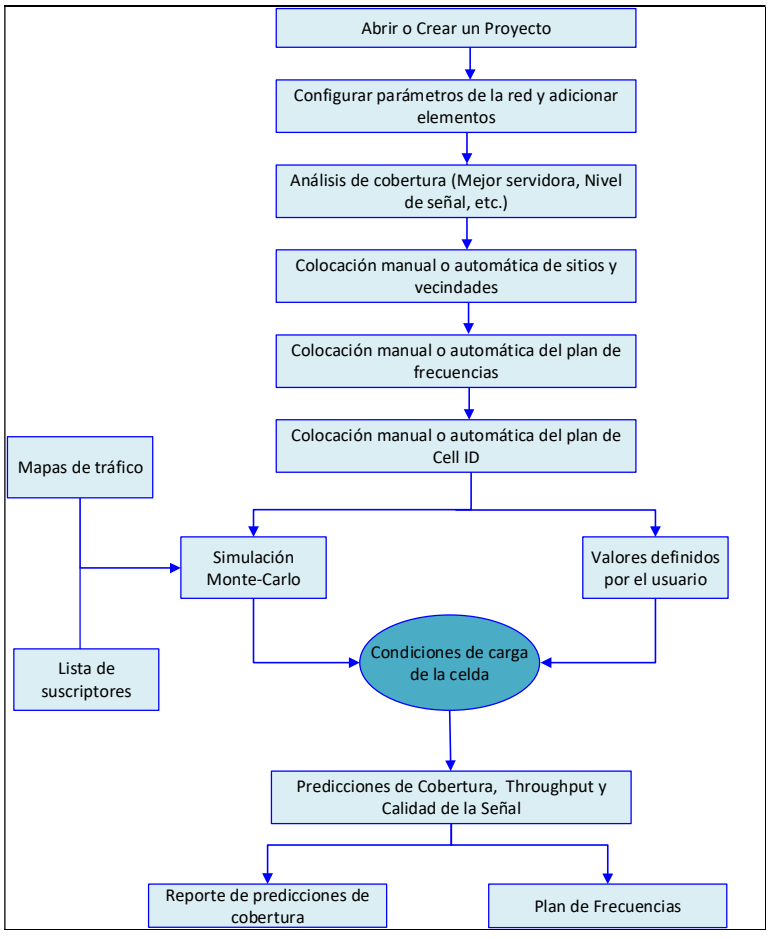


Figura 25 Proceso de creación de proyecto de planificación de una red en ATOLL [25]

Para el despliegue de los sitios en ATOLL, se consideran los valores de los parámetros con los cuales se ha diseñado teóricamente la red y que posteriormente se ingresarán en el software de simulación:

Tabla 15 Parámetros técnicos a introducir en el software de planificación ATOLL

Parámetros del Sistema	
Modo del Sistema LTE	FDD
Frecuencia (MHz)	1900 E-UTRAN Band 2
Ancho de banda (MHz)	10
Modelo propagación	COST231
Resource blocks	50
Parámetros del eNodeB	
Potencia TX (dBm)	46
Ganancia de antena Tx(dB)	18
Ganancia de antena Rx(dB)	18
Parámetros del UE	
Categoría	3
Potencia TX (dBm)	23
Ganancia de antena Tx(dB)	0
Ganancia de antena Rx(dB)	18

Para el despliegue de los sitios se ha considerado que se implementarán dos tipos de sitios, primero se tiene sitios nuevos en los cuales todos los trabajos de obra civil, arrendamiento de instalaciones, entre otros deberán ser gestionados previo al montaje del equipamiento LTE, y

los sitios overlayer, es decir que en el sitio ya se tiene la infraestructura montada para redes GSM o UMTS con lo cual solo se deberá adecuar las instalaciones para albergar el nuevo equipamiento. Con los sitios overlayer se tiene las limitantes en cuanto al diseño ya que si existen problemas en sus alrededores ya sea de cobertura o interferencia se debe optimizar sin realizar cambios de alturas o de emplazamientos, mientras que en un sitio nuevo se puede elegir emplazamientos estratégicos para el objetivo de brindar la cobertura deseada. En la tabla 16 se presenta los sitios desplegados luego de las simulaciones realizadas en ATOLL.

Tabla 16 Despliegue de sitios LTE

Nombre	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Tipo de sitio
Estadio	79°11'49,6"W	4°0'11,6"S	[2.086]	Overlayer
Loja Centro	79°12'31,01"W	3°59'36,36"S	[2.094]	Overlayer
Loja Este	79°12'4,13"W	3°59'55,7"S	[2.062]	Overlayer
Loja IESS	79°12'19,43"W	3°59'6,07"S	[2.043]	Overlayer
Loja Sur	79°12'15,96"W	4°0'27,11"S	[2.066]	Overlayer
Loja Terminal	79°12'13,41"W	3°58'37,07"S	[2.034]	Nuevo
Orillas del Zamora	79°11'59,27"W	3°59'36,9"S	[2.053]	Nuevo
Universidad Internacional	79°12'17,29"W	4°0'7,84"S	[2.058]	Nuevo
UTPL	79°11'54,84"W	3°59'17,92"S	[2.107]	Nuevo

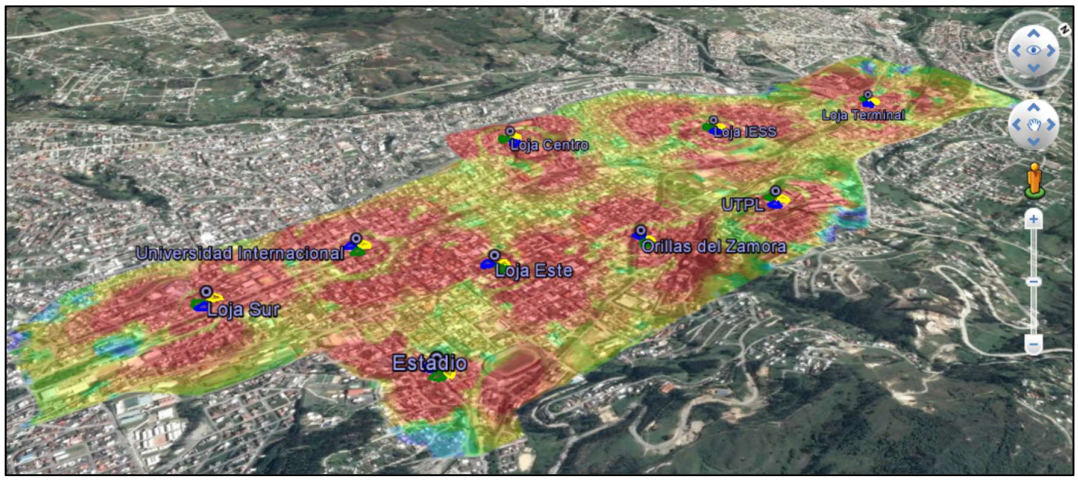


Figura 26 Despliegue geográfico de los eNodeB

Los sectores o transmisores en ATOLL se han configurado con los siguientes parámetros:

Tabla 17 Parámetros del transmisor configurados en ATOLL

Elemento	Valor
Antenna	HWX-6516DS1-VTM
Number of Transmission Antenna Ports	2
Number of Reception Antenna Ports	2
Transmitter Equipment	Default eNode-B Equipment
TMA Equipment	Default TMA Equipment
Feeder Equipment	1/2" at 2100 MHz
Main Propagation Model	Cost-Hata
Main Calculation Radius (m)	4.000
Main Resolution (m)	10

En el anexo 1 se presenta todo el plan LTE de los sitios con sus respectivos sectores y sus configuraciones aplicadas.

5.7 Predicciones de cobertura en el software de simulación ATOLL

Para predecir la cobertura, se debe cargar en ATOLL el mapa de elevaciones del emplazamiento en el que se va a desplegar la red, el mapa empleado en la simulación es el de la región de Loja (mapas disponibles en: https://earthexplorer.usgs.gov/), en la figura 27 se aprecia el mapa de alturas de la ciudad de Loja, en este mapa se aprecia que la altura de la zona en la que se desplegará la red se encuentra entre los 1900msnm y los 2010msnm.

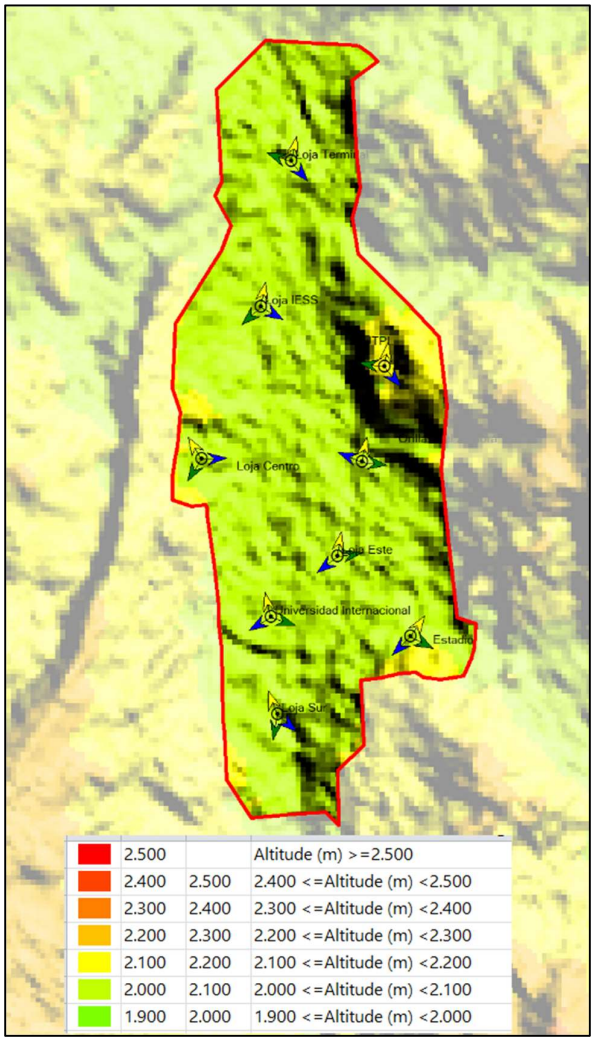


Figura 27 Mapa de alturas de la ciudad de Loja

Con los parámetros de radio ingresados en cada transmisor y adicionalmente cargado el mapa de elevación de la ciudad de Loja se ha obtenido la predicción de cobertura por intensidad de señal, en la figura 28 se presenta la predicción de la cobertura para la red desplegada:

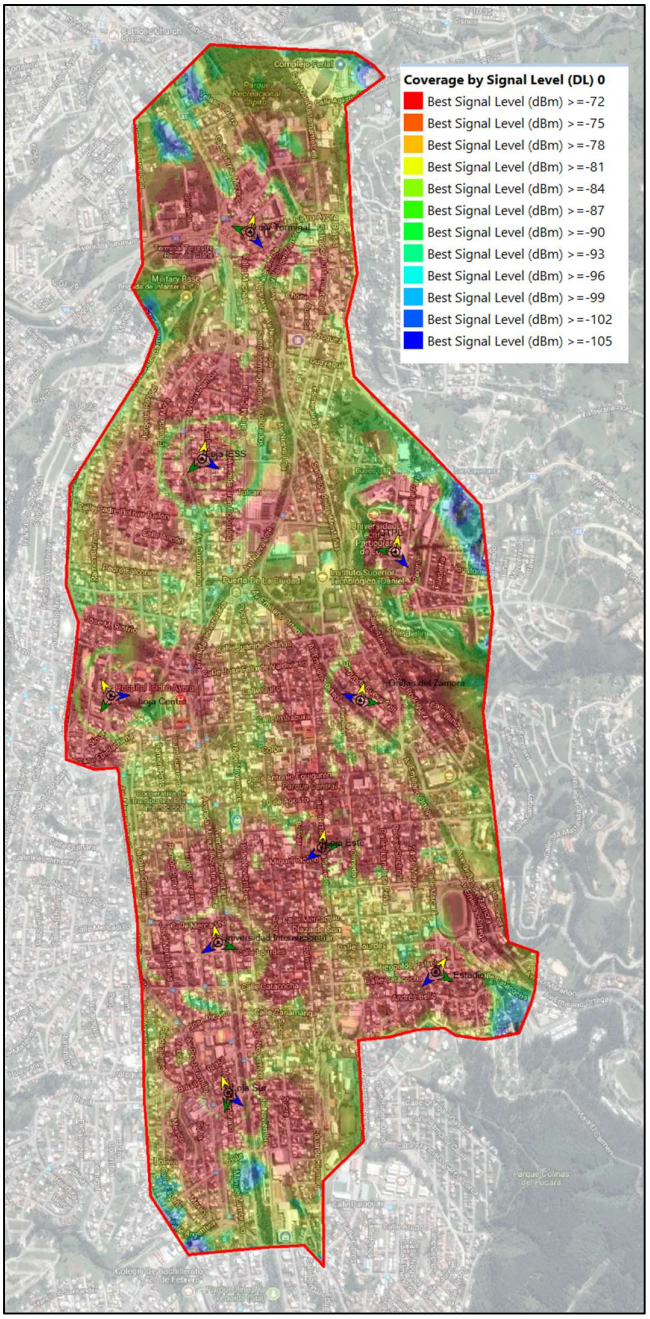


Figura 28 Predicción de la cobertura por intensidad de señal en el Downlink

En el mapa se aprecia que la cobertura en la zona de interés es muy buena, para completar este análisis en la figura 29 se presenta estadísticamente que más del 97% del área de cobertura tiene niveles de potencia de señal de por encima de los -90 dBm lo que significa gran velocidad de transferencia de datos, se considera que por debajo de los -105 dBm se comienza a tener problemas en la conexión.

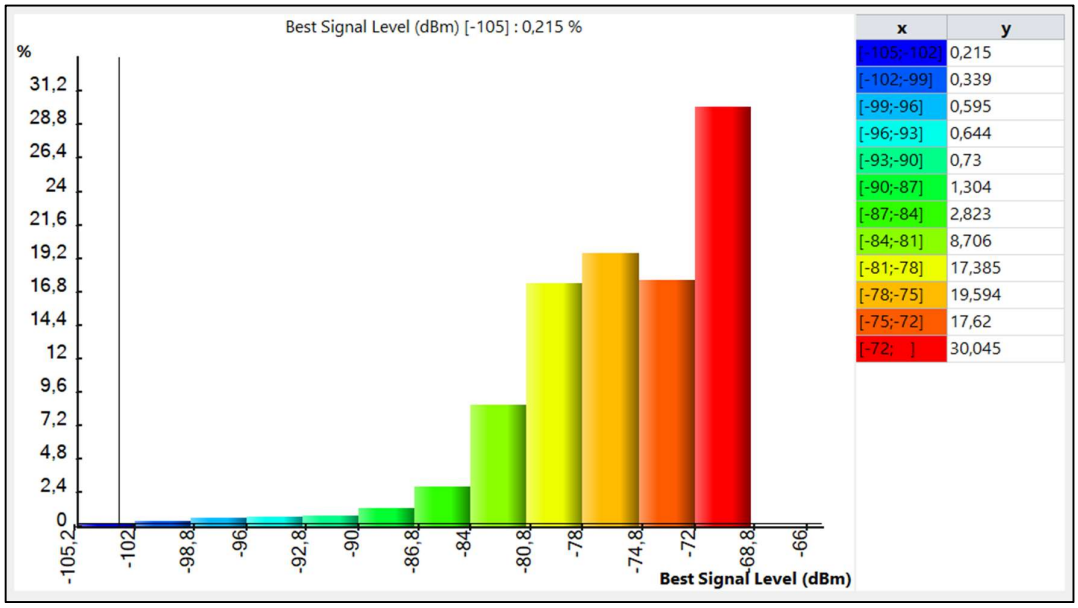


Figura 29 Distribución porcentual de los niveles de señal en el área de cobertura

Un factor importante que se debe analizar es el solapamiento de celdas, mientras menor sea el número de servidoras a un área de cobertura menor será la interferencia generada por estaciones vecinas, en la figura 30 se aprecia que más del 75% del área de cobertura está cubierto por menos de 2 servidoras

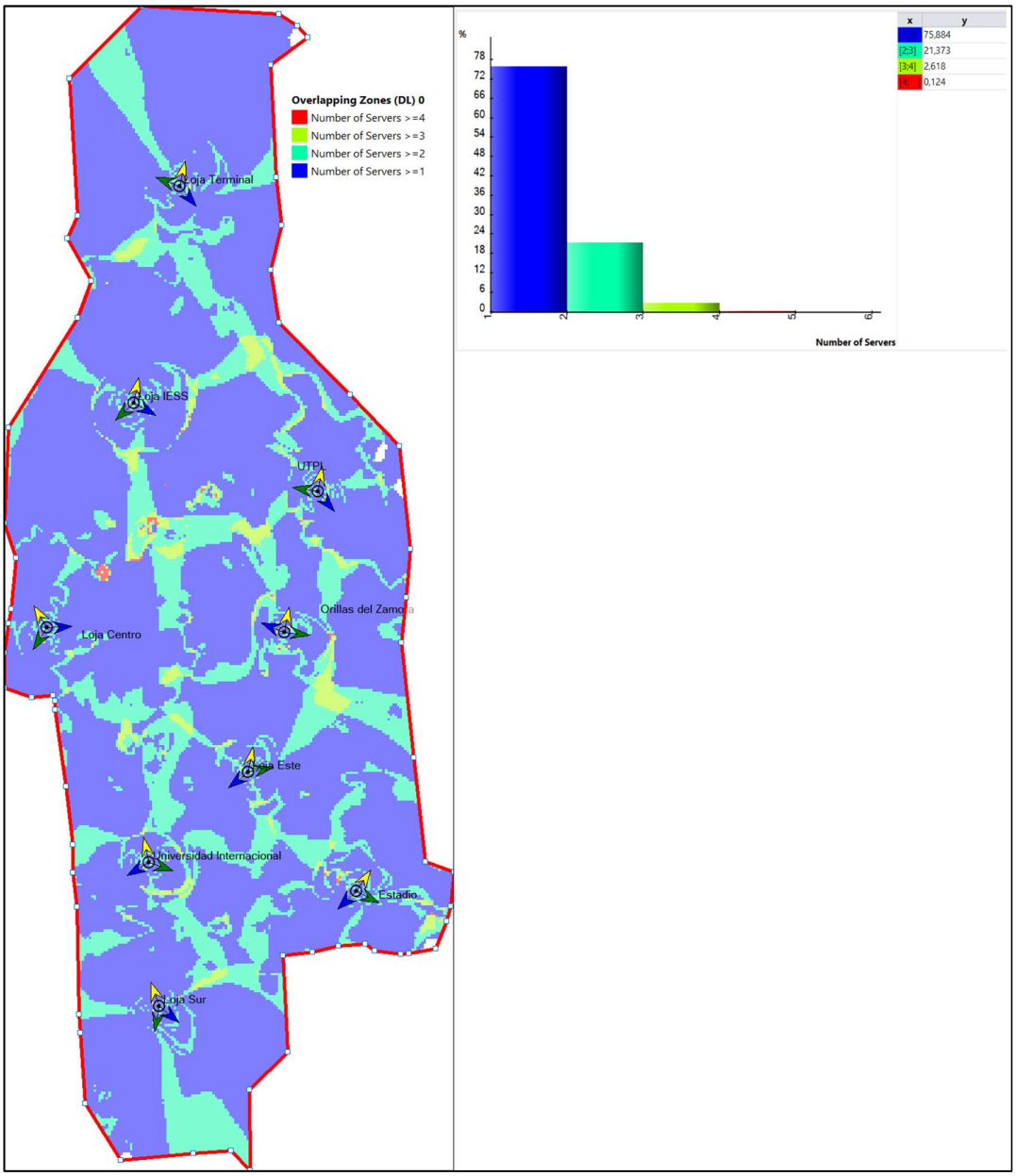


Figura 30 Número de servidoras

5.8 Predicción de parámetros de desempeño de la red LTE en el software de simulación ATOLL

5.8.1 Predicción de medidas de nivel físico en la red LTE.

Para determinar las condiciones de una red LTE a nivel de la interfaz de radio, existen tres medidas que deben ser evaluadas [23]:

- RSRP: Se trata del Reference Signal Received Power o potencia recibida de la señal de referencia que es un promedio de la potencia por portadora LTE calculada sobre todas las señales de referencia, su propósito es de detectar la mejor servidora cuando se inicia el proceso de handover.
- RSRQ: Se trata del Reference Signal Received Quality o la calidad recibida de la señal de referencia con la cual se establece cual es la mejor servidora para un determinado abonado.
- SINR: Se trata del Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio o relación señal a ruido, el SINR cuantifica la relación entre las condiciones de RF y el rendimiento de la red.

En la tabla 18 se presentan los valores para identificar si una transmisión es adecuada o no:

Tabla 18 Valores de referencia de los principales parámetros de LTE

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Condiciones de la interfaz aire (RF)	**Excelente**	> -75	> -9	>= 20
	Bueno	-75 a -95	-9 a -12	13 a 20
	Neutral	-95 a -100	-12 a -13	0 a 13
	Poco aceptable	<= 100	< -13	<= 0

En la figura 31 se presenta la predicción del RSRP y el RSRQ donde se concluye que existirá un buen desempeño de la red debido a que los parámetros están por encima de los limites considerados como poco aceptables.

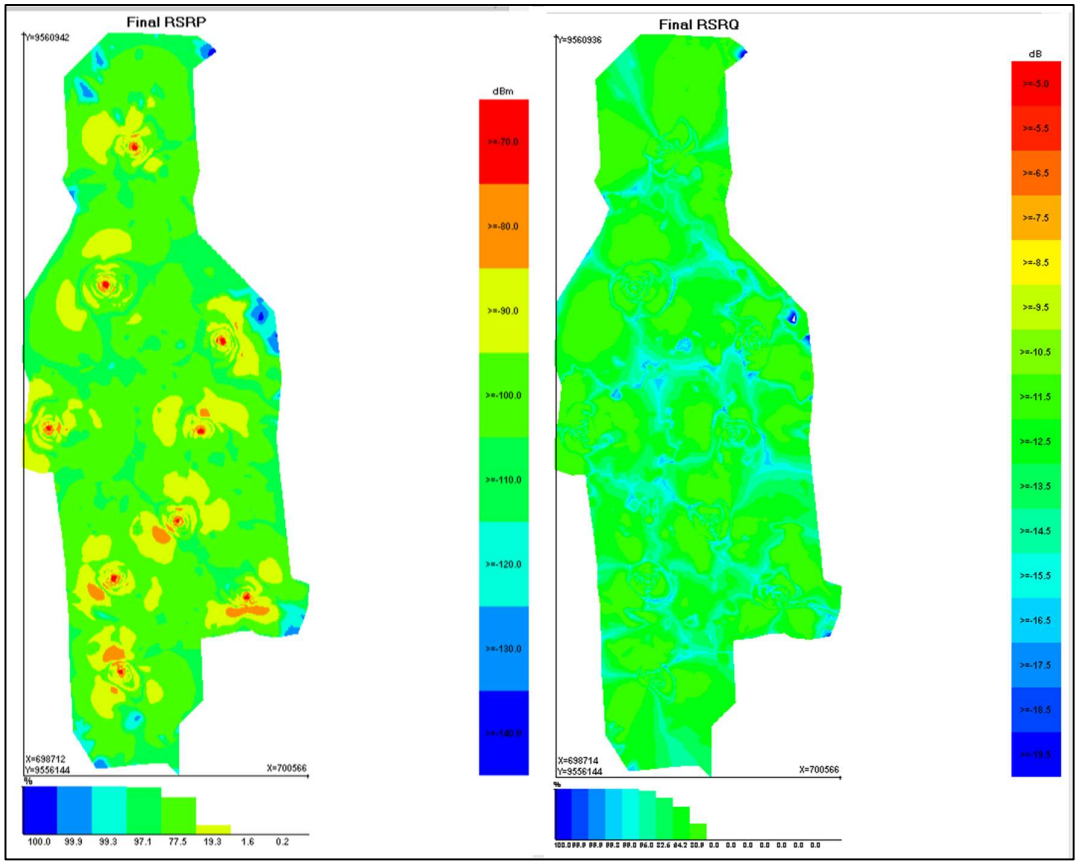


Figura 31 Predicción del RSRP y el RSRQ de la red diseñada

El SINR en ATOLL se lo determina simulando los niveles de interferencia de la portadora del canal físico compartido usado para el downlink o también conocido como PDSCH, así el SINR para la red diseñada se presenta en la gráfica 32.

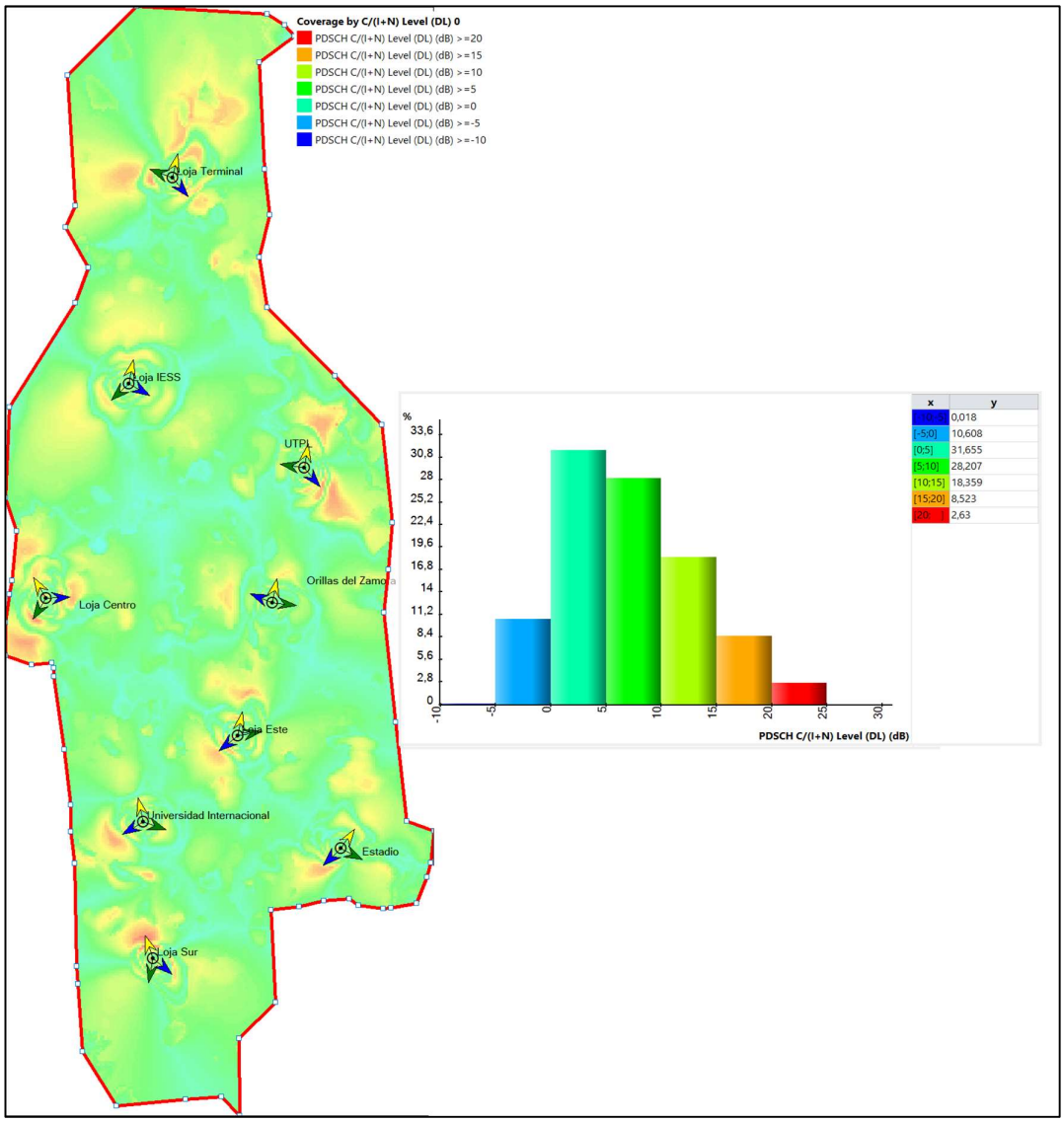


Figura 32 Predicción del SINR para la red diseñada

Finalmente, con la predicción del SINR se determina que la red no presentara ningún problema en cuanto a la interfaz aire, más del 99% del área de cobertura presenta un valor SINR mayor de 0 lo cual indica que la red brindara las condiciones óptimas para los usuarios de la red.

5.8.2 Predicción de medidas de Throughput para el Uplink y Downlink de la red LTE

ATOLL también permite predecir el throughput por usuario tanto para el uplink como para el downlink, de acuerdo al cálculo de capacidad se ha ingresado los siguientes servicios al software de simulación:

Tabla 19 Parámetros del modelo de servicio configurados en ATOLL

	Name	Type	Average Requested Throughput (DL) (kbps)	Average Requested Throughput (UL) (kbps)
▶	Email	Data	11.368,8	7.105,56
	Streaming Media	Data	5.683,64	864.016
	Video Conferencin	Data	113.691	113.691
	VoIP	Voice	869,49	869,49
	Web Browsing	Data	22.737,3	5.684,55

En la figura 32 y 33 se presenta la predicción del throughput de uplink y downlink.

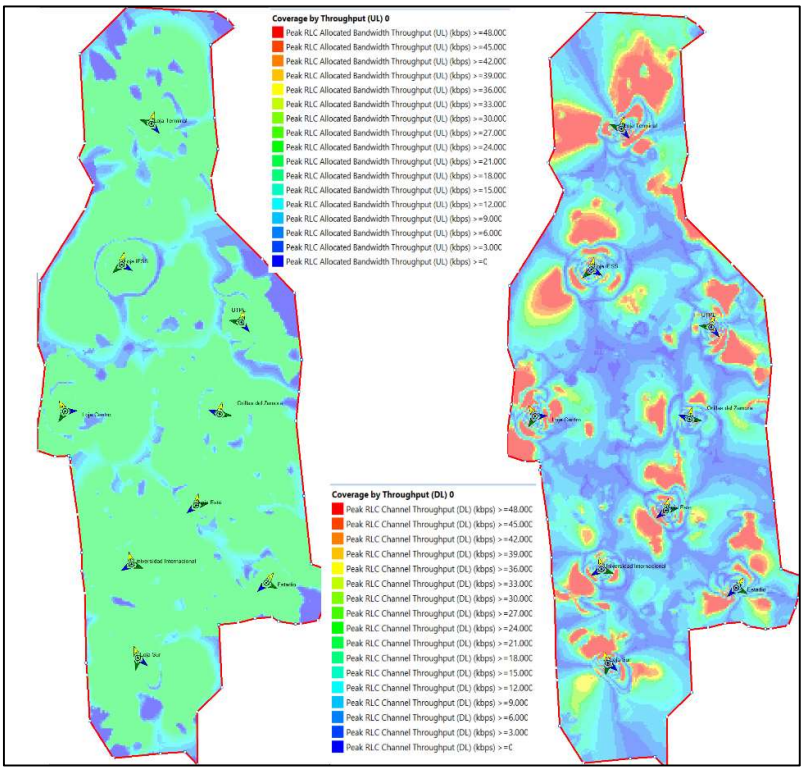


Figura 33 Throughput de Uplink y Downlink de la red diseñada

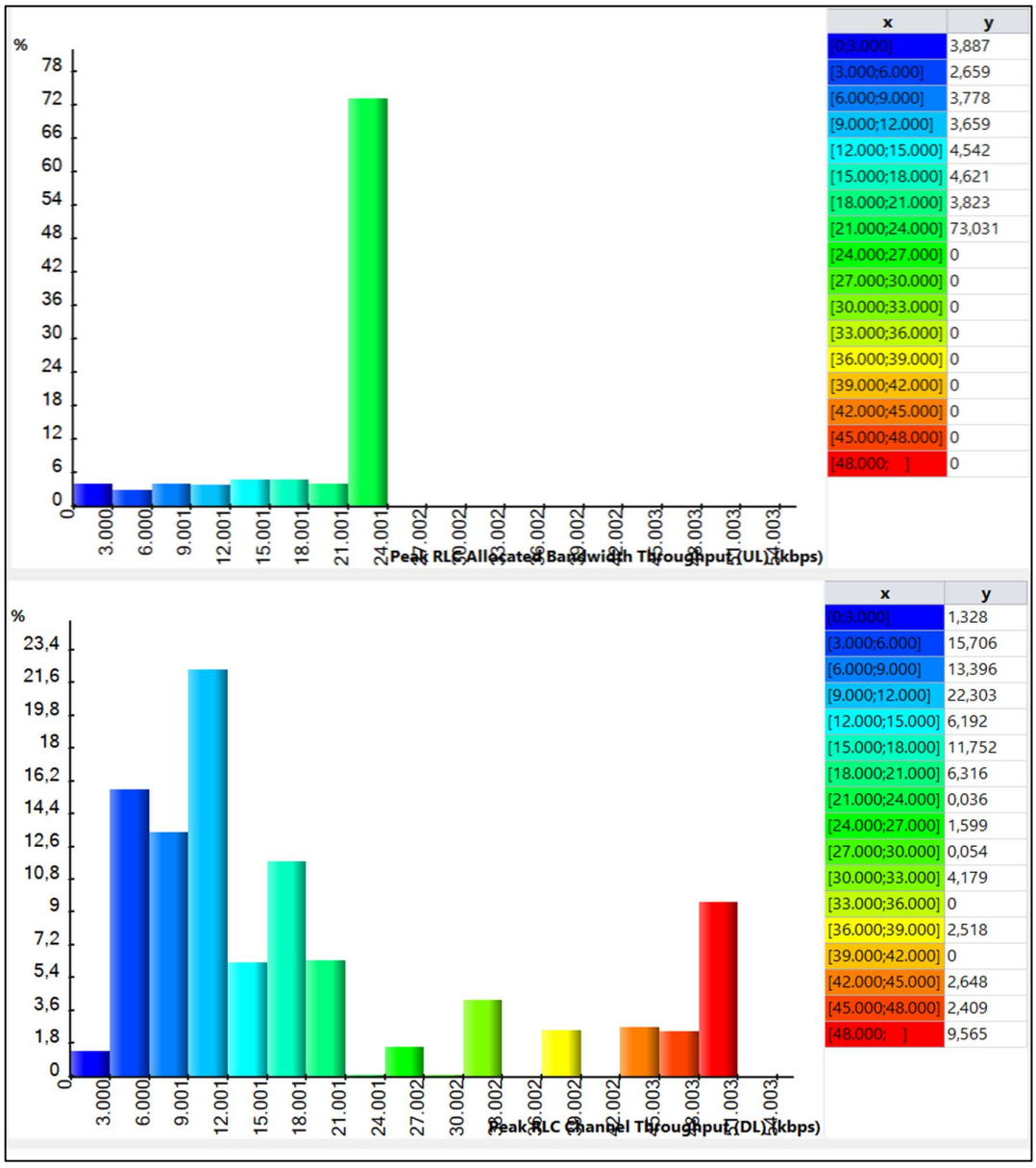


Figura 34 Estadísticas del Throughput de Uplink y Downlink de la red diseñada

Con las predicciones del throughput se determina que la red entrega el throughput necesario para los servicios que el usuario empleará de acuerdo a lo obtenido en el apartado de cálculo de capacidad y que es para el uplink 3,143 Kbps y para el downlink 13,033Kbps.

5.9 Presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja

Una vez diseñada la red, se establecerá un presupuesto referencial del costo del despliegue sin contar con los costos de adquisición o alquiler del emplazamiento, para eso se presentan 5 items principales que se toman en cuenta para el despliegue:

- Despliegue de la red de transporte MBH: al ser LTE una red de alta capacidad en la interfaz aire, es necesario que cada eNodeB tenga un enlace de alta capacidad que lo conecta con los elementos del EPC (Evolved Packet Core), por lo general el transporte del eNodoB es con un enlace de fibra óptica en una red en anillo conocida como Mobile Backhaul. Para este anillo de fibra óptica se empleará Routers Coriant 8630 y para el tendido de fibra se deben emplear contratistas locales. En el anexo 2 se presenta el datasheet del equipo Coriant.
- Adecuaciones de infraestructura: para el despliegue de los nodos nuevos, se debe realizar adecuaciones de infraestructura al emplazamiento en donde serán instalados, por ejemplo, colocación de la torre, escalerillas, mimetización de antenas entre otros.
- Equipment eNodeB: se trata del nodo LTE que para este diseño se sugiere el Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio BTS el cual brinda la facilidad de migrar de tecnologías solo con el cambio de tarjetas con lo cual si se desea aumentar capacidad ya sea en 2G o 3G se puede adicionar tarjetas al equipo. En el anexo 3 se presenta el datasheet del eNodoB Nokia.
- Ran Services eNodeB: se trata de los servicios adicionales que se necesita para desplegar la red LTE, por ejemplo, comisionamiento de nodos, cableado de conexión entre el eNodeB y las antenas, mano de obra experta en radio frecuencia (RF).
- Antenas: se trata de las antenas que serán montadas, se ha seleccionado una antena Commscope modelo HWX-6516DS1-VTM la cual trabaja en la banda deseada y

presenta un excelente RF pattern. En el anexo 4 se presenta el datasheet la antena Commscope.

En la tabla 20 se presenta la tabla con el presupuesto referencial para el despliegue de los 9 eNodeB para la ciudad de Loja, en la cual se indica que el costo estimado para el despliegue sería de alrededor de seiscientos noventa y seis mil doscientos dos dólares americanos con ochenta y tres centavos.

Tabla 20 Presupuesto referencial para el despliegue de la red LTE en la ciudad de Loja

Ciudad	Descripción	Precio/Unitario (Dólares)	Cantidad	Elemento de red	Tipo de obra	TOTAL (Dólares)
LOJA	LTE Loja - MBH	121000	1	Backhaul	HW+Services+SW	121000
LOJA	LTE Loja - Adecuaciones de Infraestructura	6077	4	Other	Other	24308
LOJA	LTE Loja - Equipment eNodeB	13355,76	9	eNodeB	HW+SW	120201,82
LOJA	LTE Loja - Ran Services eNodeB	11631,58	9	eNodeB	Services	104684,21
LOJA	LTE Loja - Antenas	4024,8	81	Antennas	Other	326008,8

TOTAL	**696202,83**

6 Conclusiones

- La alta taza de tráfico en las redes mundiales producidos por la masificación de servicios electrónicos demanda que las redes de acceso tengan altas tasas de velocidad de transferencia de datos a lo cual LTE está preparada y tiene la ventaja brindar de la movilidad para el usuario.
- En Ecuador el crecimiento de suscriptores del servicio LTE ha sido acelerado sin embargo este crecimiento puede ser frenado debido a la falta de despliegue de la red que brinde cobertura en todo el país, actualmente ciudades como Quito, Guayaquil, Cuneca entre otras pocas, son las que tienen cobertura LTE de los tres operadores móviles.
- La infraestructura para LTE en el Ecuador luego de ya cuatro años de operación representa alrededor del 15% de la planta instalada de la red celular móvil que brinda el servicio móvil avanzado SMA, sin embargo, en relación a número de suscriptores LTE presenta similar número que GSM, los suscriptores en esta tecnología rondan el 22% del total de líneas activas del país.
- El despliegue de una red inalámbrica como lo es LTE, conlleva a un proceso que es retroalimentado por la mediciones en campo, es así que de la etapa del cálculo matemático de propagación y capacidad, se pasa al proceso de simulación y predicciones del desempeño que tendrá, una vez instalada la infraestructura y antes del paso a servicio comercial se deben realizar mediciones para identificar algún problema externo que no fue considerado en las etapas previas para proceder a implementar correcciones.
- Empelando el modelo de propagación COST231 se obtiene diámetros de radios de cobertura acordes a lo que la industria viene trabajando, para las redes inalámbricas de alta capacidad la taza de errores se incrementa por los altos volúmenes de datos

trasferidos y un parámetro que limita esto es la sensibilidad de los receptores, si la señal recibida rodea los limites inferiores las velocidades de transferencia son bajas es por eso que en LTE ya no se habla de macro-celdas con radios de cobertura de kilómetros, se habla de microceldas, picoceldas y hasta femtoceldas con radios de cobertura de centenas de metros.

- Para el área de cobertura de la zona comercial de Loja, se ha estimado que 2760 usuarios usaran la red, esto basado en análisis del crecimiento de suscriptores LTE a 2020, la densidad de la población y la participación del mercado de las operadoras privadas.
- Los cálculos de capacidad de la red LTE se basan en modelos de tráfico y de servicios cuyos valores son resultados de análisis estadísticos de los datos generados por los usuarios, en el diseño de la red se han estimado que el usuario utiliza los servicios de VoIP, Video Conference, Streaming Media, Web Browsing y Email dando como resultado que el throughput necesario para el uplink de 3,14 Kbps y para el downlink es de 13,03 Kbps, los valores estándar tomados por la industria son de 11,21 Kbps y para el downlink es de 41,27 Kbps.
- Dentro del cálculo de cobertura se han estimado que es necesario mínimo 9 eNodeB mientras que del análisis de capacidad se ha estimado que solo es necesario 2 eNodeB para gestionar todo el tráfico de datos previsto, son casos como estos en los que el sistema a pesar de estar sobredimensionado en capacidad, por las condiciones geográficas y por los efectos de la atenuación de las señales es necesario implementar más estaciones con el fin de brindar la cobertura y la calidad del servicio deseado.
- El software de simulación de redes inalámbricas ATOLL provee las herramientas necesarias a los operadores móviles para el diseño, simulación y optimización de sus redes inalámbricas como LTE, UMTS o GSM.

- Para determinar el desempeño de una red LTE antes de ser implementada, los parámetros importantes para una red LTE que se pueden predecir en ATOLL son la Cobertura por intensidad de señal, el RSRP, el RSRQ, el SINR y el Throughput.
- De las predicciones de los parámetros de desempeño para LTE realizadas en ATOLL, dan como resultado que en la mayoría del área de cobertura están dentro de valores aceptables.
- El presupuesto nominal basado en ítems generales, dan como resultado que la inversión que un operador móvil deberá realizar es de 696202,83 USD, sin embargo, hay que considerar que existen otros rubros que en el desplegué final deberán también ser considerados.

7 Recomendaciones

- Para realizar el planning de radio frecuencia o más conocido como el RF Planning y el Planning de Capacidad es recomendable tomar valores de las recomendaciones dictadas por los fabricantes como lo son Ericsson, HUAWEI, Alcatel, Nokia entre otros.
- Para obtener los mapas de elevación se puede ingresar a la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/) donde los mapas están disponibles de forma gratuita y para pasar el mapa a un formato que es aceptado por ATOLL se puede emplear el software Global Mapper con el cual se puede generar el archivo con extensión gdr y que contienen la información necesaria para crear un mapa de isolíneas o contorno y mapas tridimensionales.
- Emplear sitios overlayer puede disminuir el costo final del proyecto, otra forma de disminuir costos es compartir infraestructura la cual por la ley ecuatoriana el operador que necesite puede solicitar arredramiento de la infraestructura a un operador que ya tiene desplegada la infraestructura en el área de cobertura de interés.
- Para el dimensionamiento de las redes inalámbricas, los operadores han desarrollado plantillas en hojas de cálculo o programas en los cuales todos los cálculos matemáticos son transparentes para el personal que diseña y los valores de variables como el SINR son estimados de acuerdo a los parámetros básicos ingresados.

8 Bibliografía

[1] C. Cox, AN INTRODUCTION TO LTE: LTE, LTE-ADVANCED, SAE AND 4G MOBILE COMMUNICATIONS, 1ra ed. Ed. John Wiley & Sons Ltd, UK, 2012.

[2] J. Huidobro, Comunicaciones Móviles: Sistemas GSM, UMTS y LTE, 1ra ed. Ed. Alfaomega RA-MA, España, 2014.

[3] UIT, IMT-2000 Background, [en línea] <http://www.itu.int/en/ITU-T/imt-2000/Pages/background.aspx. >, [consulta: 6 de julio de 2017]

[4] UIT, What is IMT-2000, [en línea] <www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000.ppt>, [consulta: 6 de julio de 2017]

[5] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold, P. Beming, 3G EVOLUTION: HSPA AND LTE FOR MOBILE BROADBAND, 2da ed. Ed. Elsevier, UK, 2008.

[6] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker, LTE – The UMTS: Long Term Evolution From Theory to Practice, 2da ed. Ed. John Wiley & Sons Ltd, UK, 2011.

[7] UIT, IMT-Advanced, [en línea] <http://www.itu.int/net/newsroom/wrc/2012/reports/imt_advanced.aspx >, [consulta: 18 de julio de 2017]

[8] S. Hamalainen, H. Sanneck, C. Sartori, LTE SELF-ORGANISING NETWORKS (SON) NETWORK MANAGEMENT AUTOMATION FOR OPERATIONAL EFFICIENCY, 1ra ed. Ed. John Wiley & Sons Ltd, UK, 2012.

[9] E. Dahlman, S. Pakkvall, J. Skold, 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband, 1ra ed. Ed. Elsevier, UK, 2011.

[10] GSA, LTE - LTE Global Network Status, [en línea] <https://gsacom.com/paper/lte-global-network-status/>, [consulta: 19 de agosto de 2017]

[11] GSMA, Situación de AWS en las Américas, [en línea] <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2014/05/GSMA-Latam-AWS-Americas-reporte.pdf >, [consulta: 20 de agosto de 2017]

[12] CONATEL, Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012, Ecuador, 2012.

[13] CONATEL, Resolución 2008-CONATEL-GEN-10-292, Ecuador, 2008.

[14] GSMA, Cerrar la brecha de cobertura Inclusión digital en América Latina, [en línea] <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/05/report-closing_coverage_gap-4-ES.pdf>, [consulta: 23 de agosto de 2017]

[15] ARCOTEL, Servicio Movil Avanzado: Boletin Nº1 del sector de Telecomunicaciones diciembre 2014, [en línea] <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/BOLETIN-No.1-SMA.pdf>, [consulta: 29 de agosto de 2017]

[16] ARCOTEL, Boletín Estadístico II trimestre 2017, [en línea] < http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICOIITRIMESTRE-Septiembre-2017_def.pdf>, [consulta: 29 de agosto de 2017]

[17] INEC, Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC´S) 2016, [en línea] <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2016/170125.Presentacion_Tics_2016.pdf>, [consulta: 3 de septiembre de 2017]

[18] INEC, DENSIDAD POBLACIONAL A NIVEL PARROQUIAL, [en línea] <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Tabulados_CPV_2010/2_Densidad_Pobla_Nac_Prov_Cant_Parr.XLSX>, [consulta: 3 de septiembre de 2017]

[19] H. Holma, A. Toskala, LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, 1ra ed. Ed. John Wiley & Sons Ltd, UK, 2009.

[20] J. Seybold, Introduction to RF Propagation, 1ra ed. Ed. John Wiley & Sons Ltd, USA, 2005.

[21] HUAWEI, LTE Radio Network Planning Introduction, 2013.

[22] HUAWEI, LTE Radio Network Capacity Dimensioning, 2013.

[23] P. Kanwar, M. Luthra, S. Malik, R. Atri, White Paper Througput Calculation for LTE TDD and FDD System, 2012.

[24] 3GPP, LTE: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA): Physical layer procedures: (3GPP TS 36.213 version 8.8.0 Release 8), [en línea] < http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136213/08.08.00_60/ts_136213v080800p.pdf>, [consulta: 4 de septiembre de 2017]

[25] FORSK, Atoll Overview, [en línea] <http://www.forsk.com/atoll-overview>, [consulta: 10 de septiembre de 2017]

[26] FORSK, Atoll Radio Planning & Optimisation Software, User Manual LTE Version 3.1.0, 2013

9 Anexos

9.1 Plan nominal del despliegue de sitios

Site	Transmitter	Active	Transmitter Type	Antenna	Height (m)	Azimuth (°)	Mechanical Downtilt (°)	Number of Transmission Antenna Ports	Number of Reception Antenna Ports	Transmitter Equipment	TMA Equipment	Feeder Equipment	Transmission Feeder Length (m)	Reception Feeder Length (m)	Miscellaneous Transmission Losses (dB)	Miscellaneous Reception Losses (dB)	Transmission losses (dB)	Reception losses (dB)	Noise Figure (dB)	Main Propagation Model	Comments
Estadio	Estadio_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	19	39	8	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	
Estadio	Estadio_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	230	4	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	
Estadio	Estadio_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	121	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Centro	Loja Centro_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	334	1	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Centro	Loja Centro_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	25	91	9	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Centro	Loja Centro_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	25	217	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Este	Loja Este_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	27	16	5	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Este	Loja Este_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	27	237	6	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Este	Loja Este_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	27	84	2	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja IESS	Loja IESS_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	30	16	4	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja IESS	Loja IESS_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	30	124	2	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja IESS	Loja IESS_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	30	232	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Sur	Loja Sur_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	22	345	5	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Sur	Loja Sur_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	22	135	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Sur	Loja Sur_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	22	195	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Terminal	Loja Terminal_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	25	296	1	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	18	0	0	0	2,85	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Terminal	Loja Terminal_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	144	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	18	0	0	0	2,85	-2,16	4	Cost-Hata	
Loja Terminal	Loja Terminal_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	25	18	3	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Orillas del Zamora	Orillas del Zamora_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	15	16	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Orillas del Zamora	Orillas del Zamora_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	297	5	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Orillas del Zamora	Orillas del Zamora_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	101	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	25	0	0	0	3,58	-2,16	4	Cost-Hata	
Universidad Internacional	Universidad Internacional_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	27	351	1	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Universidad Internacional	Universidad Internacional_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	27	243	5	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	
Universidad Internacional	Universidad Internacional_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	27	114	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	20	0	0	0	3,06	-2,16	4	Cost-Hata	

UTPL	UTPL_1	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	30	14	4	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	
UTPL	UTPL_2	True	Intra-network (Server and Interferer)	HWX-6516DS1-VTM_Port 1 +45_00DT_1920	25	144	0	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	
UTPL	UTPL_3	True	Intra-network (Server and Interferer)	HBXX-6516DS-VTM_Port 1 +45_01DT_1920	25	285	2	2	2	Default eNode-B Equipment	Default TMA Equipment	1/2" at 2100 MHz	30	0	0	0	4,09	-2,16	4	Cost-Hata	

9.2 Datasheet Routers Coriant 8630



8630 Smart Router

Fully Redundant and Flexible Hub and Aggregation Site Router with Multiple Scalability Options

The Coriant® 8630 Smart Router is an IP/MPLS-based router integrating a complete set of carrier-class functions. The main applications of the 8630 Smart Router are managing traffic aggregation in FMC, LTE, 4G, 3G, and 2G mobile networks and delivering Ethernet and IP VPN services. Purpose-built for mobile networks, the cost-efficient 8630 Smart Router is size-optimized to function in operators' hub and aggregation sites for traffic grooming and transport in 2G, 3G, and LTE networks – from base stations to the mobile core.

MANAGING TRAFFIC AGGREGATION WITH A VARIETY OF CONFIGURATION OPTIONS

The 8630 Smart Router offers full-feature support for 2G, 3G, and the mobile evolution toward LTE, LTE-A, and 5G along with the requirements of Fixed Mobile Convergence (FMC). The device has a hardware-based forwarding architecture that enables high performance and predictable reliability despite complex service requirements. In a compact 5RU form factor, the 8630 Smart Router fits into a standard 19-inch rack and can be equipped with a maximum of two Control and DC Power Cards (CDCs) and up to 4 line cards. These line cards can be either Ethernet Line Cards (ELC1s) or Interface Module Concentrator (IFC) cards. In a configuration with four ELC1s, the bi-directional switching capacity is 100 Gbps. The IFC may contain up to two Interface Modules (IFMs). A wide selection of interface modules is available with a mixture of protocols (e.g., IP, MPLS, Ethernet, ATM, Frame Relay, and TDM). The integrated CDC implements management, routing, signaling, timing, and powering. With support for various interfaces from 10G Ethernet to channelized TDM and POS, the 8630 Smart Router offers the full redundancy needed in carrier networks.

SUPPORTING ROBUST SYNCHRONIZATION

The synchronization capabilities of the 8630 Smart Router are essential for LTE, LTE-A, and future 5G networks. In addition to frequency synchronization, the 8630 Smart Router supports 1588 Phase synchronization that is required by LTE-A and LTE-TDD along with 5G applications in the future. Phase synchronization can be provided using the innovative Coriant® Integrated GPS (SNSS) SFP receiver supported by the 8630 Smart Router. The integrated features of the 8630 Smart Router also enable simple migration to phase synchronization. The 8630 Smart Router multicast capabilities support applications such as IPTV and eMBMS broadcast delivery.

ENABLING EXTENSIVE PROTECTION FUNCTIONALITY

The 8630 Smart Router provides a broad set of element and system-level protection functions. At the hardware level, the 8630 Smart Router supports carrier-class functions including power and control card redundancy, distributed switching architecture, and stored configuration backups of all line cards.

BENEFITS OF THE CORIANT® 8630 SMART ROUTER

- **Manage traffic aggregation** in LTE, 3G, and 2G networks and deliver Ethernet and IP VPN services
- **Provide full-duplex switching capacity of 100 Gbps**
- **Enable flexible LTE network architectures**
- **Reduce operational expenses** with intelligent network management
- **Deploy a range of synchronization options**
- **Provide full element and network-level redundancy**



The Coriant® Smart Router Series

The Smart Router series offers versatile and scalable solutions for mobile backhaul from small aggregation sites to controller and gateway sites. In addition, Smart Routers serve fixed and mobile convergence and cloud computing networking needs. These solutions are designed to meet the ever-growing requirements of data hungry mobile and enterprise users. All of the Smart Routers are LTE-ready and provide an extensive Ethernet and IP/MPLS feature set. Simultaneous support for multiservice applications in access and aggregation networks protects earlier network investments. The Smart Router product family is supported by the 8000 INM, which is an easy to use end-to-end network management solution. The 8000 INM minimizes operational and maintenance costs and scales up to tens of thousands of network elements.

IMPLEMENTING AN OPEN, PROGRAMMABLE, AUTOMATED SDN SOLUTION

The 8630 Smart Router is fully supported by the Coriant Transcend™ SDN Packet Controller. The Packet Controller is an integral component of the overall Coriant Transcend™ SDN Solution suite, a modular SDN software suite that combines the benefits of open, programmable, and automated multi-layer (Layer 0-3) SDN architecture and a proven portfolio of IP/MPLS edge routing and packet optical transport solutions to enable dynamic, end-to-end network control.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Physical Dimensions
- 450 x 224 x 300 mm / 17.7 x 8.8 x 11.8 in (W x H x D)
- Standard 19-inch, 23-inch, or ETSI 600 mm rack mounting
- 7.85 kg / 17.31 lb including adapters and fan modules
- 5RU high

Power and Cooling
- -48 Vdc power feed with optional protection
- Power consumption: maximum 740 W (typical value dependent on the element configuration)
- 4 fans in 2 modules, fan speed controlled by control cards

Architecture
- Hardware-based forwarding
- Distributed switching architecture

Forwarding Plane
- IPv4 and IPv6 routing
- IPv4 multicast
- MPLS switching (LSR and LER)
- Ethernet MAC switching

Functionality
- IP VPN (RFC 4364)
- 6vPE support
- VPLS and H-VPLS
- Integrated Routing and Bridging
- Ethernet/VLAN, SAToP, CESoPSN, ATM, Frame Relay, and HDLC pseudowires
- Single and multi-segment pseudowires
- 802.1ad QinQ
- Seamless MPLS
- MPLS-TP Bidirectional LSP
- MPLS-TP 1:1 Linear Protection
- MPLS-TP OAM
- TDM cross connection
- ATM VP/VC switching
- ATM cell concatenation
- ATM IMA
- MC / ML-PPP, PPPmux
- Y.1731 frame loss, frame delay, and frame delay variation measurement
- IEEE 802.1ag Ethernet OAM loopback, continuity check, ping, and link trace
- IP header compression
- Two Way Active Measurement Protocol (TWAMP)
- BFD (Static routes, OSPF, ISIS, RSVP-TE)

Forwarding Capacity
- 25 Gbps per ELC1
- 3.5 Gbps per IFC
- 100 Gbps with fully equipped system**

Chassis Configuration
- Two slots for CDCs (CDC1-A, CDC1-B or CDC2-B)
- Four slots for line cards (ELC1, IFC1-A, IFC1-B, IFC2-B)

Interface Modules (IFM)
- 8-Port Ethernet 10/100/1000BASE-TX R2 IFM
- 8-Port Ethernet 100/1000BASE-X R2 IFM
- 1-Port 10GBASE-R R2 IFM (3 Gbps)
- 2+6-Port Ethernet 10/100/1000BASE-COMBO IFM
- 8-Port STM-1/OC-3 POS IFM
- 4-Port STM-4/OC-12 POS IFM
- 1-Port STM-16/OC-48 POS IFM
- 4-Port STM-1/OC-3 ATM IFM
- 4-Port chSTM-1/OC-3 Multiservice IFM
- 24-Port chE1/T1 Multiservice IFM

Resiliency and Load Balancing
- 1+1 CDC protection (DC power, control and timing)
- Non-stop forwarding with control plane redundancy and graceful restart
- Switching distributed to all line cards
- 1+1 MSP/APS protection
- Ethernet Link Protection
- Ethernet Link Aggregation
- 1:1 RSVP-TE LSP protection
- Fast Reroute (FRR)
- Pseudowire redundancy (Ethernet, ATM, TDM)
- VRRP
- IP load balancing (Equal Cost Multipath [ECMP])
- IPv4 and IP VPN load balancing to RSVP-TE tunnels

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Security
- Wire-speed IP Access Control Lists
- Denial of service protection
- Radius and TACACS+ authentication and accounting
- SSH-2 for FTP and Telnet
- MD5, SHA-1 authentication

Synchronization
- ITU-T [G.813] option 1
- ITU-T [G.8262]
- Telcordia [GR-1244] Stratum-3
- Station Clock Input and Output ports on CDC
- Pulse-per-Second (PPS) input and output (CDC2)
- Time-of-Day input (CDC2)
- E1/T1, SDH/SONET line synchronization
- Synchronous Ethernet
- SSM over Ethernet [G.8264]
- Adaptive synchronization from SAToP and CESoPSN pseudowires
- IEEE 1588v2 Slave Clock for frequency sync
- IEEE 1588v2 Boundary Clock for phase sync
- SyncE assist
- Support for the Integrated GPS (GNSS) SFP receiver

Routing and MPLS Label Distribution Protocols
- OSPF-TE, ISIS-TE, BGP, and MP-BGP
- LDP, RSVP-TE
- PIM-SM and PIM-SSM

Traffic Management
- DiffServ support for up to 7 traffic classes
- DiffServ aware MPLS Traffic Engineering (DS-TE)
- IEEE 802.1P/Q mapping to IP or MPLS
- Policing and shaping
- Port, VLAN group, and VLAN shaping
- RED/WRED queue management
- Strict Priority and WFQ scheduling
- Access Control Lists (ACL)
- ATM service categories: CBR, rt-VBR, nrt-VBR, UBR+, UBR
- ATM VC queuing/shaping

Management
- CLI with SSH2, FTP with SSH2
- SNMPv1 and SNMPv2 monitoring
- Coriant® 8000 Intelligent Network Manager (INM)
- Coriant Transcend™ SDN Packet Controller

Standards
- Safety: EN 60950-1:2006 and IEC60950-1:2005
- EMC:
  - EN 300 386:2008
  - FCC 47 CFR Part 15, Subpart B, Class A
- RTTE Directive 1999/5/EC
- NEBS level 3 compliance: SR-3580*
- GR-1089-CORE: Issue 3, October 2002*
- GR-63-CORE: Issue 2, April 2002*
- MEF 9 and 14 compliance

Environmental Conditions
- Storage: ETSI EN 300 019-1-1, Class 1.1
  - Temperature: -5°C to 45°C / 23°F to 113°F
- Transportation: ETSI EN 300 019-1-2, Class 2.3
  - Temperature: -40°C to 70°C / -40°F to 158°F
- Operating conditions: ETSI EN 300 019-1-3, Class 3.2 (non-condensing)
  - Temperature: -5°C to 45°C / 23°F to 113°F
  - Relative humidity: 5% to 95%

** Tested to be compliant with NEBS Level 3 according to GR-1089-CORE Issue 3 and GR-63-CORE Issue 2 in 2006*

*** For maximum configurations temperature range defined in manuals*

These trademarks are owned by Coriant or its affiliates: Coriant®, Coriant CloudWave™, Coriant Dynamic Optical Cloud™, Coriant Groove™, Coriant Transcend™, mTera® , Nano™, and Pico™. Other trademarks are the property of their respective owners. Statements herein may contain projections regarding future products, features, or technology and resulting commercial or technical benefits, which may or may not occur. This publication does not constitute legal obligation to deliver any material, code, or functionality. This document does not modify or supplement any product specifications or warranties. Copyright © 2016 Coriant. All Rights Reserved. 74C.0025 Rev. D 02/16

Coriant

www.coriant.com

9.3 Datasheet Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio BTS

Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio BTS – All-purpose Flexi BTS featuring 3 technologies in 1

Nokia Siemens Networks

This multi-standard base station offers unique site benefits and paves a smooth path to LTE in both paired and unpaired spectrum.

It takes efficient sites to keep pace with persistent mobile traffic growth. Our new Multiradio BTS paves an evolutionary path to unprecedented performance and spectral efficiency.

Mobile broadband has finally arrived with a compelling DSL-like user experience.

This advanced hardware is ready for software upgrades to EDGE evolution, HSPA evolution, and LTE with common IP/Ethernet transport.

Boosting efficiency and improving users' experience

With data traffic increasing exponentially and costs spiraling, operators must keep pace, improve efficiency, and cut the per-bit cost of network equipment. Our solutioneers have developed a single hardware platform for multiple technologies that does all this and more. Flexi Multiradio BTS features software-powered radio and transport capability, affording you the opportunity to step up from a voice-optimized network to IP-centric and flat architecture anytime you wish. Not only will you benefit from more efficient network operations, your peerless BTS platform will help you drive down OPEX, contain CAPEX, and secure your investments for many tomorrows to come.



Flexi 3-sector RF module

Unrivaled in integration density

GSM/EDGE, WCDMA/(I-)HSPA, and LTE – our all-in-one Flexi Multiradio BTS offers all three. And it is brought to you by the leader in both baseband (BB) and radio frequency (RF) technology:

- Multiband-enabled and ready for LTE processing technology, the baseband is a multimode solution that handles GSM/EDGE, HSPA and LTE
- The RF module's multicarrier, multi-standard power amplifiers allow you to build BTS sites at lowest cost and take an evolutionary path to high capacity

Our integrated, three-sector RF module handles all 3 technologies concurrently and resides in a single 25-liter unit with 3x60W output power. And that level of integration density is unequaled in the industry.

Our Flexi base stations leave such a small footprint that you can use them to build the world's smallest macro BTS site.

Environmentally responsible

Energy efficiency is another big bonus. Our Flexi base station's design dramatically reduces power consumption. The first Flexi version draws as much as 70% less power than conventional systems. What's more, Flexi Multiradio BTS will be even more economical, adding another 40% cut to the energy savings equation.

Our solutioneers weren't satisfied with simply setting new benchmarks for energy efficiency, so they enabled the introduction of renewable energy sources such as solar panels and wind turbines in real-world deployments.

Cost-efficient from front to end

Flexi BTS is scalable, modular, lightweight, and compact. Its field-proven design affords you more installation options – you can mount it on walls, poles, and even out of sight. All modules are IP65-compliant, and rugged enough for outdoor use without needing shelters or air-conditioning. Distributed architecture, with the RF module or a remote radio head mounted close to the antenna, eliminates feeder losses. With all these advantages, you can acquire precisely the sites you need and operate them most cost-effectively. One technician can easily carry and install all modules, so the cost of installing Flexi Multiradio BTS is also far lower.

With IP/Ethernet connectivity built in, Flexi Multiradio BTS offers cost-effective, direct interfaces to hybrid and full-packet backhaul networks. And because these interfaces are integrated in the system module, it is affordable software rather than costly hardware that charts a smooth evolutionary course towards IP/Ethernet transport.

Flexi Multiradio BTS lets you capitalize on the enhanced efficiency of flat, all-packet network architecture and the topology of LTE networks available today with HSPA terminals. Even if you are dealing with very high traffic loads, Flexi Multiradio BTS has all the answers. It supports flat I-HSPA architecture, with the shortcut across the user plane, direct from the BTS to the Nokia Siemens Flexi ISN cutting latency and costs.

Our NetAct OSS, a multi-technology and multi-vendor platform, gives you a wide range of flexible solutions to choose from, all of which make the best of software-defined radio and transport capabilities.

The 1Gbps baseband is also LTE-ready and future-proof. What's more, software-driven evolution will not adversely impact Flexi Multiradio BTS hardware. Fewer site visits, effective obsolescent hardware management, and far less logistical effort add up to make Flexi a very cost-effective solution indeed.

From anywhere to LTE

While GSM traffic continues to surge, and vendors and operators are busy extending HSPA capacity and coverage, the next technology for even higher spectral and network efficiency is already on its way. As standardized in 3GPP Release 8, LTE will deliver data at speeds ranging up to 173 Mbps (MIMO 2x2). Designed to support several carrier bandwidths in discrete increments from 1.4 to 20 MHz, LTE is better equipped to accommodate multiple technologies.

Flexi Multiradio BTS also supports the evolutionary trajectory of EDGE and HSPA. EDGE is sure to attain new performance levels, for example, with Dual Carrier and EGPRS-2 software features which together enable speeds up to 1.2 Mbps and lower latency. HSPA evolution, as standardized in R7 and 8, will enable higher peak rates, lower handset power consumption, and faster call setup.

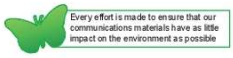
Factoring a wide range of 3GPP features into your networking equation, Flexi Multiradio BTS is ready for every evolutionary advance. And all it takes is nothing more complicated than a simple software upgrade.

At the forefront of mobile broadband with Flexi Multiradio BTS

Flexi Multiradio BTS delivers highest mobile broadband performance at lowest operating cost. And it does this now with GSM/EDGE and HSPA, and soon with LTE and any combination of all three.

Technical data	
Installation options	Modular base station for indoor and outdoor installation; floor, wall, pole, mast mountable; supports distributed and feeder-less site setups
Frequency bands	Flexi Multiradio BTS is geared to support multiple paired and unpaired bands: 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 and 2600 MHz. Availability depends on market and operator requirements.
Maximum capacity	Up to 6+6+6 GSM or 4+4+4 WCDMA or 1+1+1 LTE at 20 MHz or flexible combination of the above technologies in concurrent mode. For higher capacity several modules can be deployed on a single site.
Multi-radio configuration	1 Flexi 3-sector RF module + 1 system module for GSM/EDGE + 1 system module for WCDMA/HSPA and LTE. Remote Radio Head (RRH) solution also supported.
RF power amplifier technology	Multicarrier power amplifier (multi-standard)
Height x width x depth	133 x 447 x 560 mm per module, indoors and outdoors. Fits in any 19" rack.
Volume net	25 liters per module
Weight	25 kg per module
Operating temperature range	-35 °C to +55 °C
Power supply	40.5 – 57 VDC, 184 – 276 VAC with power module
Typical power consumption	790W for combined GSM and WCDMA site
Output power	240W per RF module or 40W + 40W per Remote Radio Head (RRH)
Ingress protection class	IP 65

Order-No. C401-00341-DS-200901-1-EN
Copyright © 2009 Nokia Siemens Networks. All rights reserved.
Nokia is a registered trademark of Nokia Corporation,
Siemens is a registered trademark of Siemens AG.
The wave logo is a trademark of Nokia Siemens Networks Oy.
Other company and product names mentioned in this document
may be trademarks of their respective owners,
and they are mentioned for identification purposes only.
This publication is issued to provide information only and is not to form part of any order or contract.
The products and services described herein are subject to availability and change without notice.



www.nokiasiemensnetworks.com

9.4 Datasheet Antena Commscope HWX-6516DS1-VTM

Product Specifications

COMMSCOPE®



HWX-6516DS1-VTM

2-port sector antenna, 2x 1710–2690 MHz, 65° HPBW, RET compatible

- Provides a future-ready antenna solution with flexibility to reassign antenna, for example GSM 1800 service to 2.6GHz LTE at a later date
- Employs state-of-the-art ultra wideband technology providing excellent RF performance in all bands
- RF technology flexible—suitable for LTE, UMTS, CDMA, GSM, AWS, WiMAX, and other applications from 1.7–2.7 GHz
- Excellent RF pattern control over the full operating band and tilt range for desired coverage and interference containment

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	1710–1880	1850–1990	1920–2170	2300–2500	2500–2690
Gain, dBi	17.3	17.4	18.2	18.4	18.7
Beamwidth, Horizontal, degrees	68	66	65	61	60
Beamwidth, Vertical, degrees	6.8	6.4	6.1	5.4	5.0
Beam Tilt, degrees	0–10	0–10	0–10	0–10	0–10
USLS (First Lobe), dB	17	17	17	20	20
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	30	30	30	32	29
CPR at Boresight, dB	17	19	20	21	17
CPR at Sector, dB	14	12	11	10	9
Isolation, dB	30	30	30	30	30
VSWR | Return Loss, dB	1.5 | 14.0	1.5 | 14.0	1.5 | 14.0	1.5 | 14.0	1.5 | 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-150	-150	-150	-150	-150
Input Power per Port, maximum, watts	350	350	350	300	300
Polarization	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm	50 ohm

Electrical Specifications, BASTA*

Frequency Band, MHz	1710–1880	1850–1990	1920–2170	2300–2500	2500–2690
Gain by all Beam Tilts, average, dBi	17.2	17.2	17.7	18.3	18.5
Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB	±0.3	±0.3	±0.7	±0.2	±0.4
Gain by Beam Tilt, average, dBi	0 ° | 17.1 5 ° | 17.2 10 ° | 16.9	0 ° | 17.2 5 ° | 17.3 10 ° | 16.9	0 ° | 17.7 5 ° | 17.8 10 ° | 17.4	0 ° | 18.1 5 ° | 18.4 10 ° | 18.1	0 ° | 18.6 5 ° | 18.7 10 ° | 18.1
Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees	±2.4	±2.3	±1.9	±2.2	±1.9
Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees	±0.3	±0.2	±0.4	±0.3	±0.3
USLS, beampeak to 20° above beampeak, dB	18	17	17	21	20
Front-to-Back Total Power at 180° ± 30°, dB	27	27	27	28	26
CPR at Boresight, dB	17	19	20	21	17
CPR at Sector, dB	14	12	11	10	9

* CommScope® supports NGMN recommendations on Base Station Antenna Standards (BASTA). To learn more about the benefits of BASTA, download the whitepaper Time to Raise the Bar on BSAs.

General Specifications

Operating Frequency Band	1710 – 2690 MHz
Antenna Type	Sector
Band	Single band
Performance Note	Outdoor usage

©2017 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope.
All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: August 31, 2017

Product Specifications

COMMSCOPE®

HWX-6516DS1-VTM

Mechanical Specifications

RF Connector Quantity, total	2
RF Connector Quantity, high band	2
RF Connector Interface	7-16 DIN Female
Color	Light gray
Grounding Type	RF connector inner conductor and body grounded to reflector and mounting bracket
Radiator Material	Low loss circuit board
Radome Material	PVC, UV resistant
RF Connector Location	Bottom
Wind Loading, frontal	273.0 N @ 150 km/h 61.4 lbf @ 150 km/h
Wind Loading, lateral	111.0 N @ 150 km/h 25.0 lbf @ 150 km/h
Wind Loading, rear	350.0 N @ 150 km/h 78.7 lbf @ 150 km/h
Wind Speed, maximum	241 km/h | 150 mph

Dimensions

Length	1390.0 mm | 54.7 in
Width	170.0 mm | 6.7 in
Depth	105.0 mm | 4.1 in
Net Weight, without mounting kit	6.0 kg | 13.2 lb

Packed Dimensions

Length	1696.0 mm | 66.8 in
Width	270.0 mm | 10.6 in
Depth	208.0 mm | 8.2 in
Shipping Weight	14.6 kg | 32.2 lb

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2011/65/EU	Compliant by Exemption
China RoHS SJ/T 11364-2006	Above Maximum Concentration Value (MCV)
ISO 9001:2008	Designed, manufactured and/or distributed under this quality management system



Included Products

DB390 — Pipe Mounting Kit for 2.4 - 4.5 in (60 - 115 mm) OD round members. Use for narrow panel antennas. Includes two pipe mounts.

DB5098E — Downtilt Mounting Kit for 2.4 - 4.5 in (60 - 115 mm) OD round members

©2017 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope.
All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: August 31, 2017

Product Specifications

COMMSCOPE®

HWX-6516DS1-VTM

* Footnotes

Performance Note	Severe environmental conditions may degrade optimum performance

©2017 CommScope, Inc. All rights reserved. All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks, respectively, of CommScope.
All specifications are subject to change without notice. See www.commscope.com for the most current information. Revised: August 31, 2017

9.5 Documento ATOLL con el despliegue y predicciones LTE



Despliegue LTE
Ciudad de Loja.rar