



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

Diseño de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT

AUTOR:

Saltos Salcedo, José Fabricio

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

Guayaquil, Ecuador

12 de septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Saltos Salcedo, José Fabricio como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Bohórquez Heras, Daniel Bayardo

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Saltos Salcedo, José Fabricio**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Diseño de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2016

EL AUTOR

Saltos Salcedo, José Fabricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Saltos Salcedo, José Fabricio**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Diseño de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

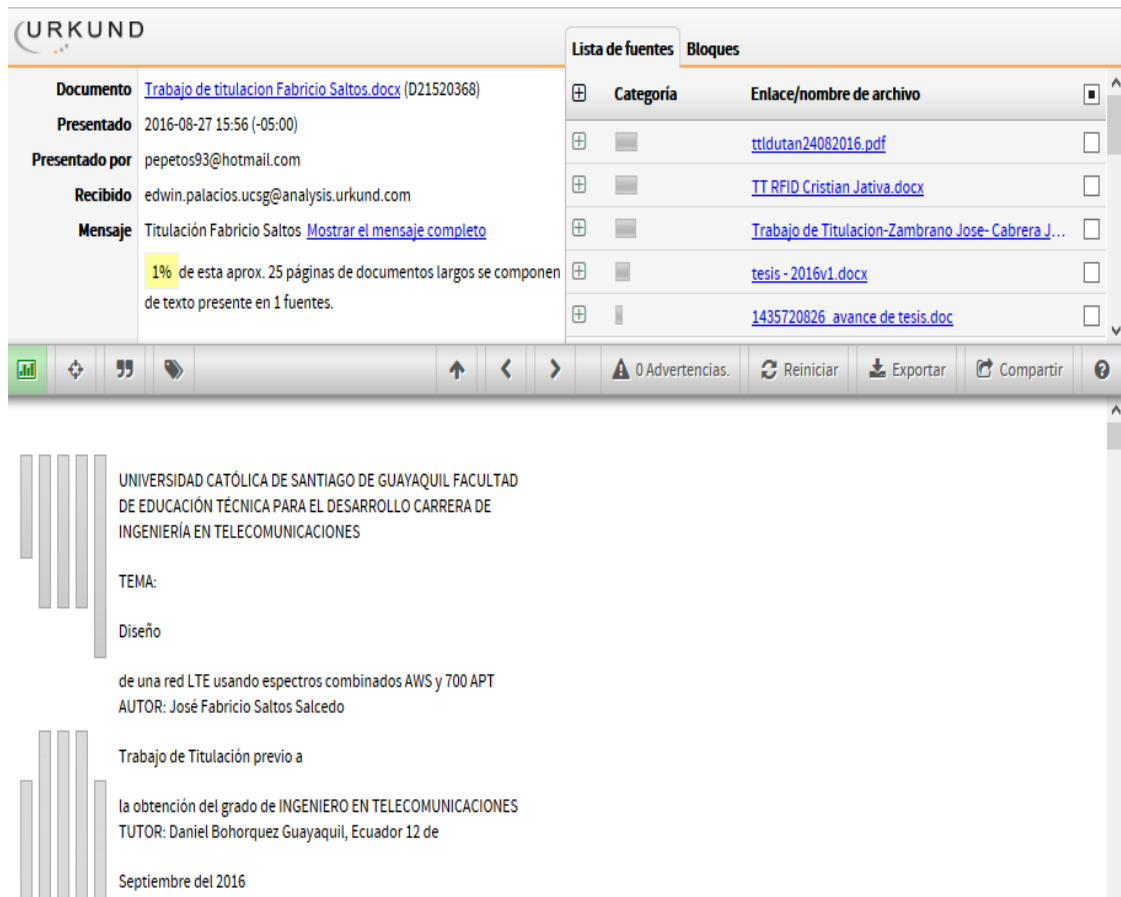
Guayaquil, a los 12 del mes de septiembre del año 2016

EL AUTOR

Saltos Salcedo, José Fabricio

REPORTE DE URKUND

Informe del Trabajo de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con 1% de coincidencias perteneciente al estudiante, **SALTOS SALCEDO JOSÉ FABRICIO**.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document summary is provided:

- Documento:** Trabajo de titulación Fabricio Saltos.docx (D21520368)
- Presentado:** 2016-08-27 15:56 (-05:00)
- Presentado por:** pepetos93@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Titulación Fabricio Saltos [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight in the message section indicates: "1% de esta aprox. 25 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes."

On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) tab is active, showing a table with the following data:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	ttldutan24082016.pdf
	TT RFID Cristian Jativa.docx
	Trabajo de Titulacion-Zambrano Jose- Cabrera J...
	tesis - 2016v1.docx
	1435720826_avance de tesis.doc

At the bottom of the interface, a toolbar includes icons for navigation and actions, along with the text "0 Advertencias." and buttons for "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir".

Below the interface, the document's metadata is displayed:

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:
Diseño

de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT
AUTOR: José Fabricio Saltos Salcedo

Trabajo de Titulación previo a
la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
TUTOR: Daniel Bohorquez Guayaquil, Ecuador 12 de
Septiembre del 2016

M. Sc. Daniel B. Bohórquez Heras

Docente Ocasional – Tutor.

DEDICATORIA

A mis padres Vicente Saltos y Katty Salcedo.
A mis hermanas Andrea y Gabriela Saltos, y a mi cuñado Marcel Navarrete.
A todos mis familiares y amigos que han estado conmigo durante todo este
proceso.

EL AUTOR

Saltos Salcedo José Fabricio

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios quién ha sido la guía que me ha llevado por este camino y me ha ayudado a superar las adversidades con las cuales he tenido que lidiar.

A mi familia que ha sido han sido el pilar fundamental, y con su apoyo y cariño, me han permitido alcanzar varias metas en mi vida.

A mi tutor Daniel Bohórquez, que con su esfuerzo y paciencia me ha guiado en la realización de este proyecto.

EL AUTOR

Saltos Salcedo, José Fabricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

BOHORQUEZ HERAS, DANIEL BAYARDO
PROFESOR

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DE TITULACIÓN

Índice General

Índice de Figuras	XII
Índice de Tablas	XIV
Resumen.....	XV
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	16
1.1.Introducción.	16
1.2.Antecedentes.....	16
1.3.Justificación del Problema.	18
1.4.Definición del Problema.	18
1.5.Objetivosdel Problema de Investigación.	19
1.5.1.Objetivo General.	19
1.5.2.Objetivos Específicos.....	19
1.6.Hipótesis.	19
1.7.Metodología de Investigación.	19
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
2.1.Fundamentos teóricos y evolución de las redes celulares.....	20
2.1.1.Primera generación celular.....	20
2.2.Segunda generación celular	20
2.2.1.Referencias técnicas de la segunda generación celular.....	20
2.2.2.Conepto de una red celular GSM.....	21
2.2.3.Evolución de los sistemas celulares de segunda generación.	23
2.3.Tercera generación celular	24
2.3.1.Referencias técnicas de la tercera generación celular .	24
2.3.2.Concepto de una red celular UMTS.....	24
2.3.3.Evolución de los sistemas celulares de tercera generación	26
2.4 Cuarta generación celular	27

2.4.1. Antecedentes históricos de LTE	27
2.4.2. Objetivos de LTE	28
2.4.3. Inicios de LTE	28
2.4.3.1. OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal):	29
2.4.3.2. SC-FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia de única portadora)	30
2.4.3.3 Multiple input multiple output MIMO:	30
2.5. Arquitectura de red	32
2.5.1. Equipo de usuario UE	33
2.5.2. UTRAN Evolucionado E-UTRAN	34
2.5.3. Núcleo de paquetes evolucionados (EPC)	35
2.5.4. Interfaz de radio LTE	36
2.5.4.1 Interfaz S1-U	37
2.5.4.2 Interfaz S1-MME.	38
2.5.4.3 Interfaz X2	39
2.6. Análisis y desempeño de una red LTE	40
2.6.1 Comparativa de LTE con tecnologías celulares anteriores	41
2.6.2. Análisis de desempeño	43
2.7. Denominación de bandas	46
2.7.1 Banda de 700MHz APT	47
2.7.2 Banda de AWS	49
CAPÍTULO 3: SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS	51
3.1. Diseño de una red LTE.	51
3.1.1. Clutter classes.	51
3.1.2. 9955 RNP	53
3.1.3. Diseño y parámetros de una red LTE.	58
3.2. Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia AWS en sitio rural.	62
3.3. Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia 700 APT en sitio rural.	67

3.4.Diseño y predicción de una red LTE en bandas de frecuencia AWS y 700 APT en sitio rural.	69
3.5.Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia AWS en sitio urbano.	73
3.6.Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia 700 APT en sitio urbano.	74
3.7.Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia AWS y 700 APT en sitio urbano.	75
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	77
4.1.Conclusiones.	77
4.2.Recomendaciones.	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: .Arquitectura de la red GSM.....	22
Figura 2. 2: .Arquitectura de la red UMTS.....	25
Figura 2. 3: .Evolución de UMTS	26
Figura 2. 4: .Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple	29
Figura 2. 5: .MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced	31
Figura 2. 6: .Arquitectura de la red LTE EPS	33
Figura 2. 7: .Arquitectura de LTE E-UTRAN	34
Figura 2. 8: .Subcapas de la capa de enlace	36
Figura 2. 9: .Interfaz S1	38
Figura 2. 10: .Interfaz S1 X2	39
Figura 2. 11: .Latencia en la evolución de las tecnologías 2G a 4G	41
Figura 2. 12: Bandas de frecuencia definidas para LTE a nivel mundial	46
Figura 2. 13: Plan APT para la banda de los 700 MHz.....	48

Capítulo 3

Figura 3. 1: Clutter classes.....	51
Figura 3. 2: Clutter classes en Guayaquil.....	52
Figura 3. 3: Pérdida de dB con relacion a cada clutter classes.....	53
Figura 3. 4: Cobertura 3G comercial.	54
Figura 3. 5: Cobertura 3G comercial y planificada.....	55
Figura 3. 6: Cobertura 3G comercial y planificada; y LTE comercial	56
Figura 3. 7: Cobertua 3G-LTE comercial y planificada.	57
Figura 3. 8: Cobertua 3G-LTE comercial y planificada en conjunto con LTE 700 APT.	58
Figura 3. 9: Nodo Chongón Centro.....	62
Figura 3. 10: Predicción de cobertura LTE AWS en sitio rural.	64

Figura 3. 11: Predicción de cobertura LTE AWS en sitio rural.	65
Figura 3. 12: Predicción de cobertura LTE AWS en sitio rural.	66
Figura 3. 13: Predicción de cobertura LTE 700 APT en sitio rural.	67
Figura 3. 14: Predicción de cobertura LTE 700 APT en sitio rural.	68
Figura 3. 15: Predicción de cobertura LTE 700 APT en sitio rural.	68
Figura 3. 16: Polígono Chongón Centro.	69
Figura 3. 17: Simulación cobertura AWS.	70
Figura 3. 18: Simulación cobertura 700 APT.	71
Figura 3. 19: Simulación cobertura AWS y 700 APT en sitio rural.	72
Figura 3. 20: Nodo Sauces.	73
Figura 3. 21: Simulación cobertura AWS en sitio urbano.	74
Figura 3. 22: Simulación cobertura 700 APT en sitio urbano.	75
Figura 3. 23: Simulación cobertura AWS y 700 APT en sitio urbano.	76

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1. : KPI's de accesibilidad	83
Tabla 2.2. : KPI's de retención	84
Tabla 2.3. : KPI's de integridad.....	84
Tabla 2.4. : KPI's de disponibilidad.....	85
Tabla 2.5. : KPI's de movilidad.....	85
Tabla 2.6. : Frecuencias correspondientes a banda LTE son:1930-1995 MHz (downlink) y 1950-1915 MHz (Uplink).....	86

Capítulo 3

Tabla 2.1. :Información básica de un sitio LTE	58
Tabla 2.2. : Configuración de un sitio LTE AWS	59
Tabla 2.3. : Configuración de un sitio LTE 700 APT.	60
Tabla 2.4. : Tabla comparativa entre configuración AWS y 700 APT en un mismo nodo.	61

Resumen

El presente proyecto abarca el Diseño de una red LTE usando espectros combinados AWS y 700 APT, el cual fue planeado en un sitio rural y un sitio urbano.

El proyecto surge como la opción para hacer que ambas bandas de frecuencia trabajen en conjunto y así mejorar la experiencia de usuario, en una zona urbana, podemos tener ambas frecuencias y tener un rango mayor de cobertura y a su vez penetrar en edificaciones u oficinas; y para reducir el número de nodos en zonas rurales ya que con una estación de 700 APT podremos cubrir fácilmente 5 o 6 estaciones de AWS.

En el primer capítulo: se hace una breve introducción a las telecomunicaciones y se habla de las tecnologías previas a LTE, como lo son GSM, WCDMA, HSDPA, HSUPA y HSPA.

El segundo capítulo: abarca el fundamento teórico y la evolución de las redes celulares. Se describe la segunda, la tercera y la cuarta generación celular; haciendo énfasis en esta última en las bandas de frecuencia AWS y 700 APT.

En el capítulo 3: se presenta el diseño de una red LTE usando espectros combinados usando la herramienta 9955 Radio Network Planning para hacer las predicciones y simulaciones respectivas, mientras que con Google Earth se realizaban los polígonos de cobertura y se veía la zona que se logró abarcar. En este capítulo se realizaron simulaciones en un sitio rural y urbano para demostrar las diferencias de cobertura.

El capítulo 4: indica los escenarios que se deben tener en cuenta para hacer el diseño de una red LTE; además de las ventajas que aportaría 700 APT a una red actual de AWS.

Palabras claves: DOWNLINK, UPLINK, BANDA DE FRECUENCIA, NODOS, EQUIPO DE TRANSMISION, MIMO, LTE AWS, 700 APT.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción.

En el presente proyecto se realizarán las predicciones y simulaciones de una red LTE funcionando en la banda de frecuencia AWS, 700 APT y trabajando en conjunto. Se realizarán las pruebas en una zona rural y una zona urbana para demostrar la diferencia del comportamiento de la propagación.

1.2. Antecedentes.

Las telecomunicaciones como todos los tipos de tecnología están en una evolución constante, tanto como en los equipos transmisores como en los receptores; varios años atrás la comunidad estaba satisfecha de alcanzar los 97Kb/s teóricos en GSM, luego con GPRS que es una evolución de GSM, se alcanzaban 32 Kb/s reales, así mismo podemos hablar de EDGE que se puede definir como un puente entre 2G/3G donde se podía alcanzar una velocidad de transmisión de 480 Kb/s; viendo estos valores nos damos cuenta que la velocidad de transmisión en ese entonces era muy inferior a la que tenemos en la actualidad como son 3G y 4G, donde ambas tecnologías tienen sus propias divisiones:

Tipos de redes móviles 3G

- **UMTS/WCDMA**

Es la tecnología más utilizada y está basada en GSM, además UMTS funciona desde los 450 a 2600 MHz.

- **HSPA**

High Speed Packet Access, es definido normalmente como la combinación entre el HSDPA y el HSUPA. Su velocidad de downlink promedio es de 7Mbps.

- **HSUPA**

High Speed Uplink Packet Access, fue una evolución de HSDPA con el fin de mejorar los niveles de subida de datos.

- **HSDPA**

High Speed Downlink Packet Access, en sus inicios ofrecía velocidades de entre 0,5 y 0,9 Mbps.

Tipos de tecnología 4G

- **LTE**

Conocida también como 4G, ofrece una mejora notable tanto en niveles de descarga como de subida de datos, ofreciéndonos en downlink un promedio de 90 Mbps y en uplink 35 Mbps.

Aunque oficialmente no sea conocida como LTE, se ha anunciado que sus resultados son muy superiores a los conocidos en 3G

Con esta información podemos enfocarnos en la tecnología de LTE, en dos espectros diferentes; el AWS y el 700 APT.

LTE AWS

Se dice a menudo incorrectamente como 1700/2100, es una red inalámbrica de telecomunicaciones de banda de frecuencias utilizadas para móviles de voz y servicios de datos, video y mensajería.

AWS opera en dos bandas de frecuencias: 2110-2155 MHz para enlace de descarga y 1710-1755 MHz para el enlace de carga.

LTE 700 APT

El presente de la frecuencia de 700 MHz en la canalización Asia Pacifico (700 MHz APT o banda 28) puede dar impresión de atrasado en la producción de dispositivos LTE que puedan ser utilizados para los operadores que utilicen esta banda.

La mayor diferencia de la banda 28 con los fracasos experimentados por WiMAX en 3.5 GHz o CDMA en 450 MHz es el compromiso con el desarrollo de equipos en 700 MHz APT por parte de todos los fabricantes globales de infraestructura y dispositivos para redes inalámbricas de telecomunicaciones.

1.3. Justificación del Problema.

En la actualidad la Corporación Nacional de Telecomunicaciones(CNT) están siendo los pioneros usando LTE 700 APT, esta tecnología recién esta siendo implementada en el Ecuador, pero ya se usa con éxito en otros países como: Australia, Colombia, Brasil, Corea del Sur, China, entre otros. Lo que se busca con esta tecnología es reducir los costos de instalación de radio bases y a la vez aumentar el alcance de cobertura, ya que estos nodos tendrán una cobertura de aproximadamente 4-5 Km en la ciudad y de 7 Km en el campo, mientras que AWS tiene un alcance aproximado de 1 Km; por lo que con una estación de 700 APT podríamos cubrir unas 4 o 5 estaciones de AWS. Debido a eso se realiza el estudio y comparación entre ambos espectros y buscar la manera de trabajar juntos.

1.4. Definición del Problema.

Necesidad de realizar el estudio y diseñar una red usando espectros combinados para mejorar la cobertura indoor en zonas urbanas y ampliar la cobertura outdoor, balancear la carga de tráfico y aumentar la capacidad de usuarios.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar un estudio técnico del funcionamiento de la tecnología Long Term Evolution (LTE) en los espectros AWS y 700 APT que permita planificar el desarrollo de redes LTE con espectros combinados.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Estudiar la tecnología LTE y su comportamiento en función del espectro de operación asignado.
- Planificar las redes LTE en el espectro AWS.
- Planifica las redes LTE en el espectro 700 APT.
- Planificar las redes LTE en el espectro combinados AWS y 700 APT.

1.6. Hipótesis.

Usando el diseño de una red de espectros combinados AWS y 700 APT podremos mejorar la experiencia de usuario debido a que podremos controlar la sobrecarga de tráfico de AWS porque sería absorbida por 700 APT, además de que podremos mejorar la cobertura outdoor con una macrocelda de 700 y mejor la cobertura indoor con unas 4 o 5 estaciones de AWS en las zonas más traficadas.

1.7. Metodología de Investigación.

El presente trabajo de titulación de carácter académico tiene como enfoque utilizar varios tipos de estudios aplicables a proyectos tecnológicos con fines académicos para uso teórico como sistemático. El empleo de los métodos sistemáticos y técnico están enfocados en la modelación del objeto donde se trabaja mediante la identificación de sus elementos tanto en su funcionamiento como en su relación para determina su dinámica y su estructura.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Fundamentación teóricos y evolución de las redes celulares

En el presente capítulo se mencionará de forma general los fundamentos técnicos y teóricos de las tecnologías celulares y la evolución de las mismas. Finalmente, se detallará ampliamente la tecnología celular que actualmente se está implementando en nuestro país.

2.1.1 Primera generación celular

La primera generación de telefonía celular se caracterizó por ser completamente analógica y su uso exclusivo para llamadas de voz. El uso del estándar predominante para esta generación es la AMPS (Sistema telefónico móvil avanzado), el cual utiliza diferentes portadoras de frecuencia para crear canales de comunicaciones en una técnica conocida como acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) con un ancho de banda de 30kHz para 832 canales dúplex: 21 para el establecimiento de llamada y el resto para la comunicación de voz. Contaba con mecanismos de seguridad débiles que permitían ser fácilmente vulnerados. (José Manuel Huidobro Moya, 1998)

2.2 Segunda generación celular

La segunda generación celular difiere con respecto a la primera generación celular en cuanto a su tipo de modulación, arquitectura e interfaz de aire. La segunda generación celular es completamente digital, lo cual marcó una nueva tendencia en el uso de la tecnología celular, lo cual dejó obsoleta a la primera generación.

2.2.1 Referencias técnicas de la segunda generación celular

Esta generación es caracterizada por manejarse en el ámbito digital, lo que involucró la disminución del costo, consumo y tamaño de la potencia de

los equipos móviles, además de permitir transmitir voz, datos, mensajes de texto o incluir un identificador de llamadas. (F.J. Palacio, C.R. Castro y P. Zambrano, junio 2012).

Con la segunda generación celular se logró aumentar las velocidades de transmisión de información. Dentro 2G se destacan los sistemas TDMA, CDMA y GSM.

- TDMA (Multiplexación por división de tiempo), es usado principalmente en los sistemas de transmisión digitales ya que permite la transmisión de señales y ocupa un canal a partir de distintas fuentes, aprovechando así el medio de transmisión.
- CDMA (Acceso múltiple por división de códigos), transmite una señal de radio a través de un rango de frecuencia amplio por medio de un espectro ensanchado. (F.J. Palacio, C.R. Castro y P. Zambrano, junio 2012).
- El estándar Sistema global para las comunicaciones móviles (GSM) es la que predominó en esta generación. GSM tiene diferentes bandas de frecuencias, dentro del territorio ecuatoriano utiliza las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, mientras que en Estados Unidos se usa la banda de 1900 MHz (F.J. Palacio y C.R. Castro, Junio 2012).

GSM utiliza un ancho de banda entre canales 200 kHz, velocidad canal 272 kbps, modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), divide cada banda de 200 KHz en 8 canales TDMA de 33.8 kbps, cada uno de los cuales soporta llamadas de voz a 13 kbps. (F.J. Palacio y C.R. Castro, Junio 2012).

2.2.2 Concepto de una red celular GSM

Una red de telefonía celular está basada en celdas, es decir zonas circulares para proporcionar cobertura a un área determinada. Se aplica el

concepto de reutilización de frecuencias, la cual proporciona un incremento en la capacidad de una red celular.

La arquitectura de una red GSM se divide en 3 segmentos principales, los cuales son: Network Management Subsystem (NMS), Base Station Subsystem (BSS) y Network Switching Subsystem (NSS)

Luego de estos, vienen otros segmentos como el Mobile Station (MS) que es el teléfono móvil que el usuario posee, con el cual hace interacción con la red celular.

Dentro del MS encontramos dos elementos claves:

- Subscriber Indetify Module (SIM), conocida comercialmente como chip, es aquel que le asignará una operadora establecida al usuario.
- Moblie Equipment (ME) que es el teléfono móvil de la persona.

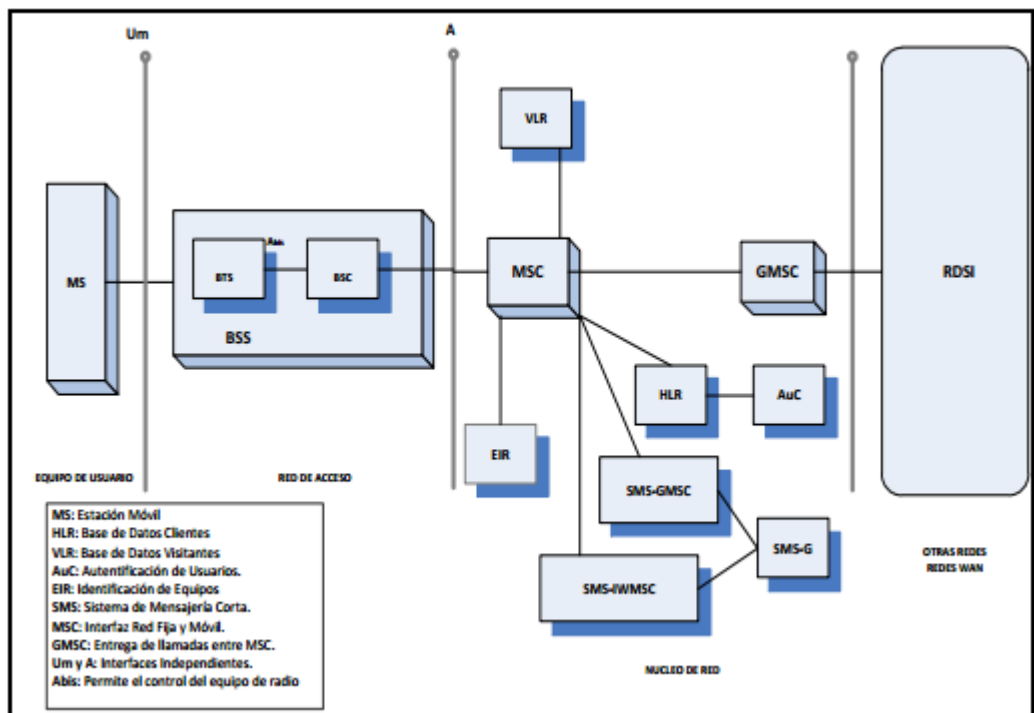


Figura 2. 1: Arquitectura de la Red GSM

Fuente: (Panchón, 2004)

La BSS se compone de la BSC (Base Station Controller) que es aquella que se encarga de la liberación y asignación de frecuencias; y de la BTS (Base Transceiver Station) que es el elemento que proporciona la cobertura.

Gracias a esto la BSS está encargada de controlar el tráfico y la señalización de llamadas.

Permitiendo de esta manera la realización de handovers (cambio de una celda a otra).

2.2.3 Evolución de los sistemas celulares de segunda generación

La generación 2.5G, es una versión mejorada de 2G y cuenta con las características que se mencionan a continuación:

- Servicio de Radio transmisión de Paquetes Generales (General Packet Radio Service GPRS) extiende la arquitectura del estándar GSM para permitir la transferencia de datos del paquete con una tasa de datos teóricos de alrededor de 171,2 Kbps (hasta 114 Kbps en la práctica). Gracias a su modo de transferencia en paquetes, las transmisiones de datos sólo usan la red cuando es necesario.
- “Tasa de Datos Mejorada para GSM evolucionada (Enhanced Data Rates for GSM Evolution EDGE) puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes. Provee hasta 3 veces la capacidad de GPRS en servicios avanzados móviles como: descarga de video, video clips, musicales, mensajes multimedia, acceso rápido a internet y e-mail.” (Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant, 1995).

2.3 Tercera generación celular

Esta es la llamada 3G que se fundamenta en estándares de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

UMTS destaca varias ventajas como: configuración de la calidad de servicio (QoS), integración de las diferentes tecnologías de modulación y estándares de redes fijas y móviles, entorno de servicios personalizado, entre otros.

2.3.1 Referencias técnicas de la tercera generación celular

Es una tecnología inalámbrica de voz y datos a alta velocidad que integra la familia de normas inalámbricas de tercera generación (3G) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. La tecnología radial utilizada en UMTS es la WCDMA, o CDMA en banda amplia. Como resultado de esto, las siglas “UMTS” y “WCDMA” a menudo se utilizan de manera intercambiable.

UMTS es una tecnología basada en Protocolo de Internet (IP) que da soporte a voz y datos en paquetes con un ancho de banda entre portadoras de 5 MHz con el cual alcanza una tasa de transferencia de datos con velocidades pico de hasta 2 Mbps.

2.3.2 Concepto de una red celular UMTS

El equipo UMTS debe ser compatible con el de GSM ya que el cambio de una tecnología a otra ha de ser paulatino.

Dentro de UMTS encontramos dos características que interactúan entre sí, los cuales son:

- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Acces Network) que es la red de acceso. Esta está conformada por la RNC (Radio Network Controller) y por el Nodo

B que es un punto de acceso. Al igual que en GSM entre la BSC y la BTS, su función es proveer un método de acceso. y,

- Core Network (CN) que es la infraestructura del dominio de la red. La red de acceso (UTRAN) está conformada por un punto de acceso llamado Nodo B y el controlador o Radio Network Controller (RNC) los cuales en conjunto proveen el método de acceso ya sea por dominio de paquetes PS o dominio de circuitos CS. Su relación es similar a la existente en GSM entre la BTS y el BSC. Luego de esto la RNC puede tomar diferentes opciones dependiendo si es requerida la transmisión de paquetes de datos y transmisión de voz durante una llamada. Ambas etapas en conjunto, es decir la etapa de voz y la de dominio de paquetes, son denominadas como el núcleo de la red (CN). (H. Kaaranen , A. Ahtiainen , L. Laitinen y S. Naghian, 2005).

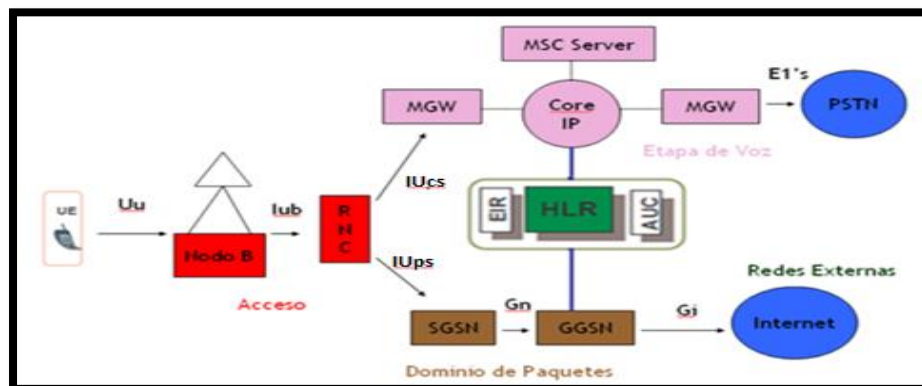


Figura 2. 2: DISEÑO DE UNA RED UMTS

Fuente: (Korhonen, 2003)

Tal como se refleja en la figura 2.2, “se puede observar que encontramos una etapa IP dentro de la etapa de voz; esto facilita la tarea de conmutación y el control de movilidad a través del Mobile Switching Center(MSC) Server.” (H. Kaaranen , A. Ahtiainen , L. Laitinen y S. Naghian, 2005).

2.3.3 Evolución de los sistemas celulares de tercera generación

Luego de la implementación de UMTS se han notado mejoras que crecen día a día, como lo son las videoconferencias, el envío de mensajes multimedia mediante internet, descarga de audio y videos directamente desde un servidor web. Gracias a la evolución constante, el teléfono móvil pasó de ser un simple medio de comunicación, a un aparato multifuncional con conexión a internet.

Debido a estos factores, los sistemas de tercera generación se actualizan/mejoran a través de “releases” por parte de la 3GPP.

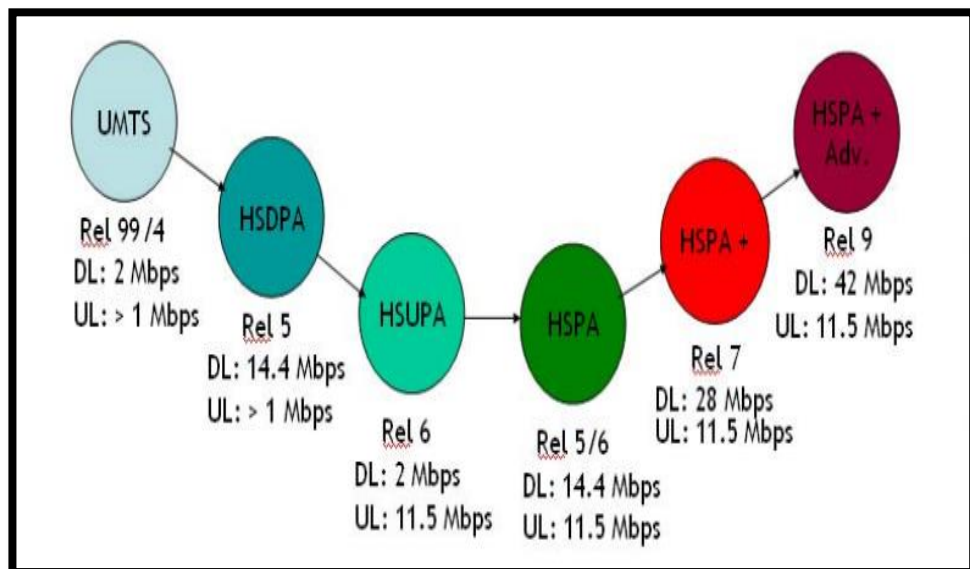


Figura 2. 3: Evolución UMTS

Fuente: (Korhonen, 2003)

Como se refleja en la figura 2.3, cada release mejoró el diseño de una red UMTS, con esto mejorando sus velocidades de carga y descarga desde el UMTS hasta HSPA+ donde tenemos valores de descarga de hasta 42 Mbps y de carga de 11.5 Mbps. (Ing. Edgar Velarde, 2013).

2.4 Cuarta generación celular

LTE (Long Term Evolution) ofrece a los usuarios una sesión de datos con velocidades superiores con respecto a tecnologías anteriores, además de prometer a los usuarios una mayor eficiencia a un menor costo.

2.4.1 Antecedentes históricos de LTE

Hasta el momento LTE es la evolución más avanzada de 3GPP, previo a esto hubo un proceso de evolución al que fueron sometidas las tecnologías para llegar a:

Release 99: Contenía los aspectos básicos de WCDMA y fue publicado a finales de 1999.

Los releases eran nombrados por el año de publicación, pero desde el 2001 se tomó una nueva nomenclatura, empezando por release 4.

Release 4: Estaba basado en TDD y TD-SCDMA y fue lanzado en marzo 2001.

Release 5: Se destinó a HSDPA y fue culminado en marzo 2002.

Release 6: Mejorando el release 5, fue destinado a HSUPA y fue terminado en diciembre 2004.

Release 7: Mejoró HSDPA y HSUPA y se entregó en junio 2007.

Release 8: Es denominada HSPA y ya está terminado en la actualidad.

Release 9: Cumple con los estándares de IMT-Advanced de la ITU, describe LTE y su desarrollo a la par con release 10 que define 4G. (SOTO, K, 2009).

2.4.2 Objetivos de LTE

Las tasas de datos máxima para el enlace descendente y el enlace ascendente en el Release 8 de LTE se fijaron en 150 Mbps y 50 Mbps, respectivamente, dentro de un ancho de banda en 20 MHz, siendo esto, uno de los objetivos principales para LTE.

Existen otros varios requerimientos planteados al momento de la realización de la tecnología LTE. Estos requerimientos fueron propuestos por parte de la 3GPP y se los puede resumir de la siguiente manera:

- Reducción de los retardos en la comunicación,
- Mayor eficiencia espectral, lo que implica reducción de coste por bit.
- Flexibilidad del uso del espectro.
- Mayor flexibilidad de uso del espectro.
- Arquitectura de red más simple.
- Movilidad sin fallas o fisuras en la red.

2.4.3 Inicios de LTE

Desde hace mucho tiempo se han hecho investigaciones para la mejora de los proveedores de servicios de telecomunicaciones, se han establecido estándares y parámetros que se deben cumplir para mejorar la calidad de.

Se hizo el uso de una multiportadora para LTE, es uno de los parámetros más significativos por parte de 3GPP, ya que debido a esto se determinó que SC-FDMA será usado en el enlace de subida o de envío de información, mientras que OFDMA será usada para el enlace de bajada o recepción de información. (Paredes, 2014)

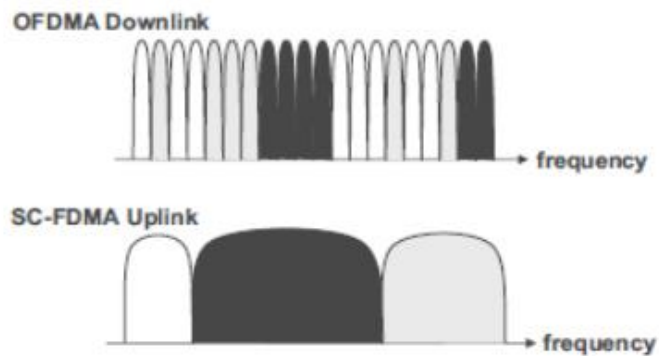


Figura 2. 4: OFDMA & SC-FDMA.

Fuente: (Paredes, 2014)

2.4.3.1 OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal)

Aumenta la flexibilidad de acceso de los usuarios al sistema mediante multiplexación de sub-portadoras.

El OFDMA es utilizado para el enlace descendente con el objetivo de contrarrestar la interferencia de multitrayectoria en el canal de radio y proveer una mayor eficiencia espectral ya que no se necesitan bandas de guarda. (Guevara & Vásques) (Harri Holma and Antti Toskala, 2009).

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

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

- Los anchos de banda disponibles en el espectro pueden utilizarse sin cambiar los parámetros fundamentales del sistema o diseño de equipos.
- Se facilita la reutilización de frecuencias y por ende significará ahorro del ancho de banda.

2.4.3.2 Acceso múltiple por división de frecuencia de única portadora SC-FDMA

La motivación que había detrás de la elección de SC-FDMA era las características que posee, es decir que tiene un pico de potencia inferior a la relación promedio existente, la cual considera que es una prioridad muy deseada para tener un amplificador de potencia eficiente por lo que permite ahorrar energía de la batería en el dispositivo móvil para la transmisión del enlace.

SC-FDMA al igual que OFDM, divide el ancho de banda con la diferencia de que los símbolos son modulados de manera independiente por la subportadora, como resultado de esto se obtiene una combinación lineal de todos los símbolos de datos transmitidos en ese intervalo de tiempo. (Paredes, 2014)

De esta manera SC-FDMA transmite una señal en cada período de símbolo de las subportadoras, manteniendo así su portadora fundamental.

2.4.3.3 Multiple input multiple output (MIMO)

La función principal de MIMO es permitir que el equipo pueda hacer una conexión múltiple a varias antenas, de esta manera permite el aumento de los datos de descarga y de carga.

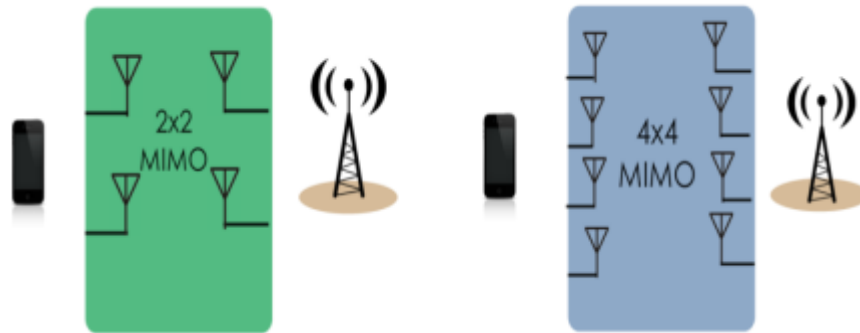


Figura 2. 5: Múltiples Arreglos de Antenas

Fuente: Lee, J., Han, J. & Zhang, J. (. J Wireless Com Network (2009)

Para obtener el mejor funcionamiento de MIMO se necesita que haya equidad en ambos extremos de la transmisión, si esto no se cumple la mejora del aumento de datos será dada al número de antenas del extremo que menos antenas tenga. No obstante, la integridad y estabilidad en la transmisión se mantienen en situaciones de desplazamiento a 15-120 Km/h y en algunos casos la movilidad se mantiene hasta 350 Km/h. Una transmisión de datos a tasa elevada se divide en múltiples tramas más reducidas las cuales se modula y transmite a través de una antena diferente en un momento determinado, utilizando la misma frecuencia de canal que el resto de las antenas. Tanto el rango de cobertura como el aumento de la tasa de transmisión van a depender el número de antenas con diversidad que se tengamos. Una vez contemos con la información sobre el canal, se puede hacer una pre codificación de los datos que vamos a enviar ajustando los desfases de las señales transmitidas y de la potencia de cada antena. (Juho Lee,¹ Jin-Kyu Han,¹ and Jianzhong (Charlie) Zhang, July, 2010).

Debido al tipo, se puede clasificar:

- Multiplexaje: Es recomendable usarlo cuando las condiciones del canal son favorables, ya que envía diferentes tipos de información en un mismo intervalo de tiempo.
- Diversidad: Envía varias copias de la información por caminos distintos.
- Beamforming: A diferencia del multiplexaje, se usa cuando las condiciones del canal son adversas, ya que modifica el diagrama de radiación del arreglo.

2.5 Arquitectura de red

Una red LTE debe soportar una transmisión de datos, calidad de servicio y soportar las tecnologías previas como 3G, 2G. LTE soporta únicamente la conmutación de paquetes. Su fin es proporcionar una plataforma basada en IP, conectividad sin interrupciones entre el equipo de usuario y disponibilidad de la sesión de paquetes de datos.

Para alcanzar los objetivos de LTE es preciso implementar una arquitectura de red plana. Estas estructuras tienen tendencia a simplificar lo máximo posible la jerarquía, especialmente reduciendo la cantidad de elementos que se ocupan en la red. Por ejemplo, el componente radio en LTE debe asumir funciones que en otros sistemas se hallan distribuidas en diferentes plataformas. (Guevara & Vásques)

“El sistema LTE está diseñado para los servicios de conmutación de paquetes que proporciona la conectividad IP entre la red de datos en paquetes (PDN) y el equipo de usuario (UE) sin interrupción de servicio, incluso durante la movilidad. El sistema LTE se puede dividir en dos ramas principales: la Red de Acceso Radio Terrestre Universal Evolucionado (E-UTRAN) y el Sistema de Arquitectura Evolucionado (SAE). El U-TRAN evoluciona de la red de acceso de radio UMTS. La SAE es compatible con la evolución de la red de núcleo de paquetes, también conocido como núcleo de paquetes

evolucionado (EPC). La combinación tanto de la E-UTRAN y la SAE componen el Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS)”. La figura 2.6 muestra la arquitectura general de la red LTE. (Zaki, Y., 2012)

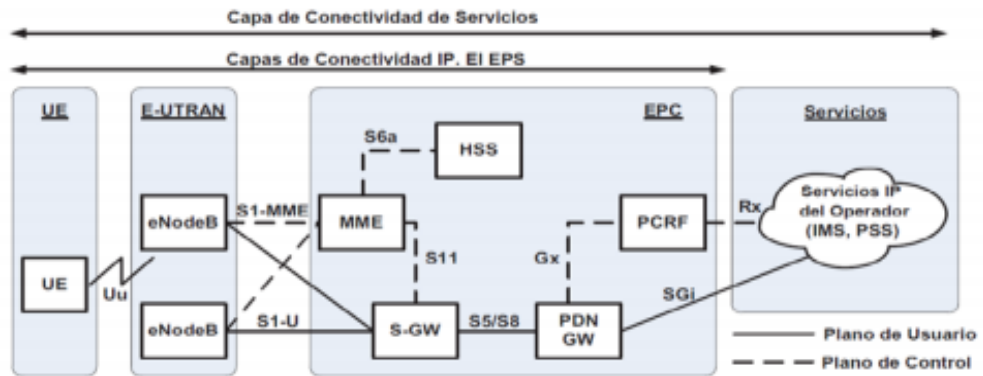


Figura 2. 6: Arquitectura de la red LTE EPS

Fuente: (Zaki, 2012)

Un portador de EPS se define como un flujo de paquetes IP entre el PDN-GW (Puerta de Enlace de la Red de Datos por Paquetes) y el equipo de usuario con las características predefinidas de la Calidad de Servicio (QoS). Tanto el EPC y la E-UTRAN son responsables de establecer y liberar un portador dependiendo de los requisitos de QoS de la aplicación. En LTE múltiples portadoras se pueden establecer para los usuario con múltiples servicios, por ejemplo, un usuario puede tener una llamada de voz utilizando el Protocolo de Internet sobre Voz (VoIP) y al mismo tiempo realizar la descarga de un archivo mediante el protocolo File Transfer Protocol (FTP), o navegar la web utilizando el Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP). Cada uno de estos servicios se puede asignar a una portadora diferente.

2.5.1 Equipo de usuario (UE)

Como su nombre lo indica, un UE es el dispositivo real que los clientes LTE utilizan para conectarse a la red LTE. El UE puede tomar varias formas; puede ser un teléfono móvil, una tableta o una tarjeta de datos utilizado por el ordenador. Al igual que todos los demás sistemas 3GPP, la UE se compone

de dos entidades principales: una tarjeta SIM o lo que también se conoce como Servicio de Módulo de Identidad del Usuario (USIM), y el equipo real conocido como Equipo Terminal (TE). La tarjeta SIM contiene la información necesaria de autenticación. El equipo terminal por otro lado ofrece a los usuarios con el hardware necesario (por ejemplo, el procesamiento, el almacenamiento, el sistema operativo) para ejecutar sus aplicaciones y utilizar los servicios del sistema LTE.

2.5.2 Utran evolucionado (E-UTRAN)

La E-UTRAN en LTE consta de eNodosB (Nodos B- Estaciones Base) directamente interconectados entre sí a través de la interfaz X2 y a la red central a través de la interfaz S1. Esto elimina uno de los mayores inconvenientes de los antiguos sistemas celulares (UMTS/HSPA): la necesidad de conectar y controlar los nodos B a través del Controlador de Red de Radio (RNC), que hacen que el sistema sea vulnerable ante fallos del RNC. La arquitectura LTE E-UTRAN se la puede observar en la figura 2.7. (Zaki, Y., 2012)

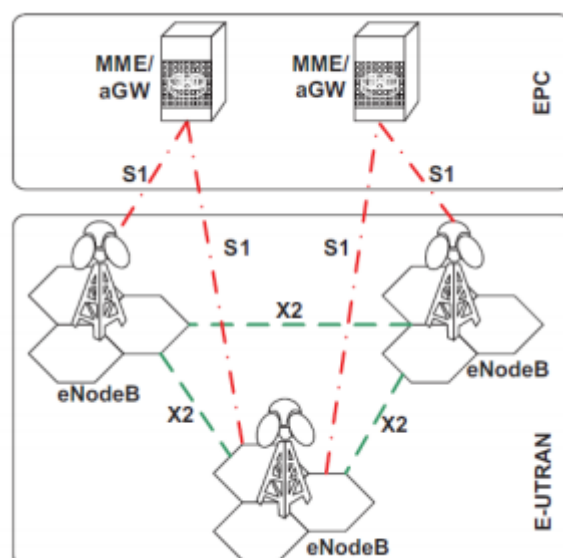


Figura 2. 7: Arquitectura LTE E-UTRAN

Fuente: (Zaki, 2012)

El Nodo B evolucionado (eNodoB) funciona como puente entre la UE y el EPC. Proporciona los protocolos de radio necesarios para el equipo de usuario, a fin de ser capaz de enviar y recibir datos y traslada los datos de los usuarios de forma segura sobre la red de transporte de LTE a la PDN GW viceversa. Se utiliza el protocolo de túnel GTP (Protocolo de Túnel de GPRS), que trabaja en la parte superior de los protocolos UDP/IP. El eNodoB también es responsable de la programación que es una de las funciones más importantes, ya que programa los recursos del espectro de frecuencias entre los distintos usuarios mediante la explotación tanto en el tiempo como en la frecuencia, garantizando al mismo tiempo diferente calidad de servicio para los usuarios finales. Además, el eNodoB también tiene algunas funcionalidades de gestión de la movilidad, por ejemplo, mediciones de enlace de radio y señalización de traspaso (handover) para otros eNodosB.

2.5.3 Núcleo de paquetes evolucionado (EPC)

Como se mostró en la figura 2.6, el EPC (también conocido como el núcleo de red LTE) se compone de tres entidades principales: la Entidad de Gestión de Movilidad (MME), la Puerta de Enlace de Servicios (S-GW-Serving Gateway) y la Puerta de enlace de la Red de Datos por Paquetes (PDN-GW). Además, hay algunas otras entidades lógicas como el Servidor de Abonado Local (HSS) y el Policy and Charging Rules Function (PCRF). El propósito principal de la EPC es ofrecer las funcionalidades necesarias para apoyar a los usuarios y establecer sus portadoras.

La entidad MME proporciona funciones de control, así como de aviso para el EPC. La MME solo está implicada en el plano de control. Parte de la MME realiza apoyo a ciertas funciones que incluyen: autenticaciones, seguridad, roaming, establecimiento del portador por defecto/dedicado, seguimiento de la movilidad de los usuarios y el handover. El S-GW es la principal puerta de entrada para el tráfico de los usuarios, donde pasa todo el tráfico IP de los usuarios. Es el punto de anclaje de movilidad para la movilidad

interna de la 3GPP. Además, el S-GW proporciona varias otras funciones como: enrutamiento, direccionamiento, y la recopilación de la información de carga/contabilidad. La puerta de enlace de red del paquete de datos por paquetes PDN-GW actúa como el punto de conectividad del usuario para el tráfico de los usuarios. Es el responsable de asignar las direcciones IP a los usuarios, así como de clasificar el tráfico de usuarios en diferentes clases de calidad de servicio. Además, el PDN-GW actúa como el punto de anclaje de movilidad para la interrelación de las tecnologías no pertenecientes a la 3GPP, como la WLAN y WiMax. (Zaki, 2012)

2.5.4 Interfaz de radio LTE

Esta interfaz está encargada de transmitir la información para el control de la red troncal y de acceso; además está encargada de la información y señalización entre el enodoB y el usuario. Para la transmisión de datos, se utilizan protocolos que operan en la capa física y en la capa de enlace, esto lo vemos reflejado en la figura 2.8.

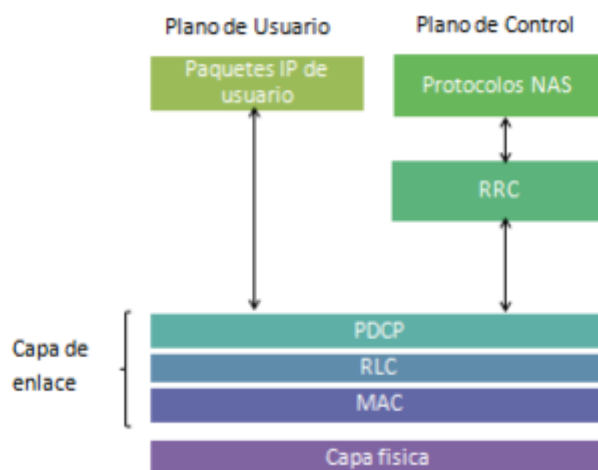


Figura 2. 8: Subcapas de la capa de enlace

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

En la capa de enlace se encuentran varias subdivisiones:

- Control de Acceso al Medio (MAC): es la encargada de la multiplexación de los paquetes que llegan de la capa RLC para su repartición mediante canales lógicos a los usuarios.
- Control del Enlace Radio (RLC): tiene como objetivos ordenar, re ensamblar y corregir los errores de las tramas de ARQ para el envío a la capa PDCP.
- Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos(PDCP): esta capa está encargada de cifrar los paquetes IP para proporcionar integridad de información, luego de eso los comprime y le agrega bits a la cabecera lo que indica la secuencia.

“La capa física gestiona el canal de transmisión. En esta capa se encuentran las características de modulación de la señal junto con las técnicas MIMO.” (Guevara & Vásques).

La RRC (Control de recursos de radio) tiene como función el control y la gestión de la interfaz de radio; y a su vez controla las funciones de asignación de portadoras a usuarios, hace control del broadcasting y handover.

2.5.4.1 Interfaz S1-U

Esta interfaz se encuentra en el plano de usuario y sirve para comunicar a los eNodosBs con la S-GW. Además, contribuye a la conmutación del handover entre eNodosBs. Esta interfaz cuenta con la RNL (Radio Network Layer, Capa de Red de Radio o acceso) y la TNL (Transport Network Layer, Capa de Transporte de Red), (Guevara & Vásques) esto se refleja en la figura 2.9.

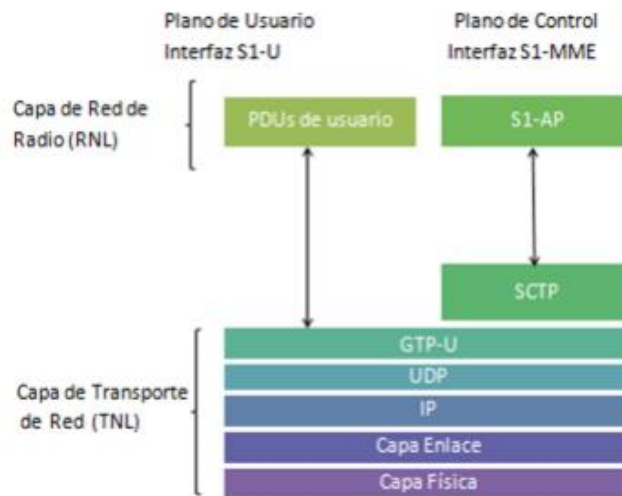


Figura 2. 9: Interfaz S1

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

El encargado de gestionar los recursos de comunicaciones de la red de acceso es el protocolo PDU, el cual se entra en la capa RNL.

Dentro de TNL encontramos: UDP/IP y GTP-U.

- UDP/IP: En este protocolo no se detectan errores en los paquetes que llegan de la capa física, debido a que trabaja sin conexión. Su función es enviar datagramas sobre redes IP de manera directa.
- GTP: Este protocolo comprime y añade el identificador del túnel por el cual va a pasar en la cabecera de cada paquete IP, además indica su número de secuencia y su longitud. GTP-U está basado en el tunelamiento GPRS.

2.5.4.2 Interfaz S1-MME

Esta interfaz envía mensajes de control al eNodeB, los cuales luego serán reenviados al usuario además sirve para enlazar a los eNodeB con la

MME. Otras funciones secundarias de esta interfaz son la de transmitir las señales de localización de una celda, el aviso de handover, entre otras.

S1-MME al igual que S1-U están compuestas por las capas TNL y RNL. Dentro de TNL encontramos el protocolo SCTP, el cual realiza las mismas funciones que GTP-U y UDP. Mientras que en la capa RNL, está el protocolo S1-AP que soporta las funciones de MME como lo son la localización, handover, etc.

El Protocolo de Transmisión del Control de la Corriente (SCTP), recibe características de TCP, y a su vez adiciona multi-stream y multihoming, que dan mayor robustez a los paquetes transportados.

2.5.4.3 Interfaz X2

La Interfaz X2 comunica información entre eNodosB adyacentes, lo que incluye el envío de información para realizar un handover y la transferencia de paquetes de usuarios. La diferencia de los protocolos usados en S1 con X2 es que en la capa RNL el protocolo S1-AP es reemplazado por X2-AP.

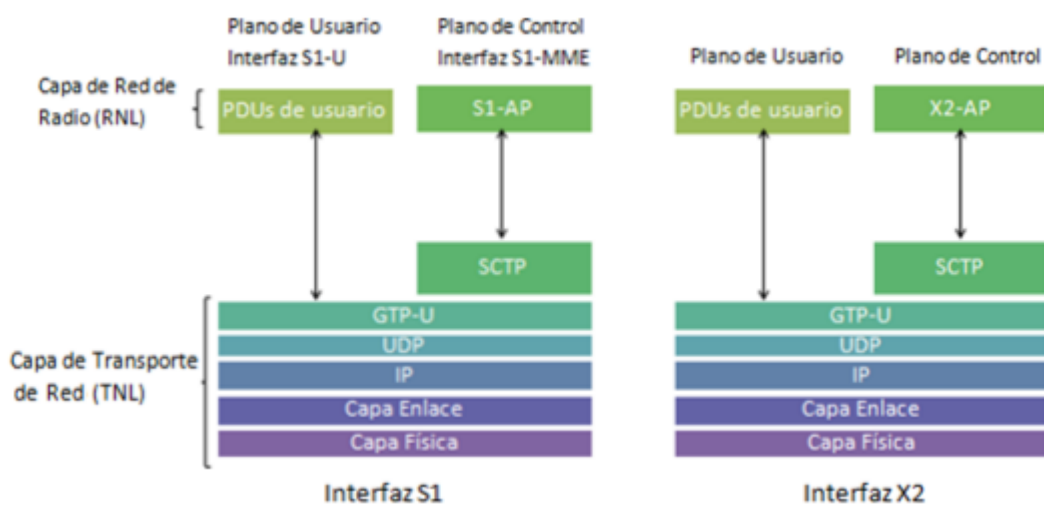


Figura 2. 10: S1 vs X2

Fuente: (Agusti, y otros, 2010)

“El protocolo X2-AP transporta datos utilizados para la gestión de movilidad, manejo de carga, informe de situaciones de error, configuración de actualizaciones y ahorro de energía para operar correctamente con otros eNodosB.” (Guevara & Vásques)

2.6 Análisis y desempeño de una red LTE

Las telecomunicaciones están en una constante evolución, gracias a esto se ha mejorado la calidad de vida en la que los usuarios tienen acceso a una sesión de datos con una mayor velocidad.

El uso de los teléfonos móviles para una conexión a internet ya ha superado notablemente el uso de computadora. Los usuarios tienen acceso a las redes desde sus terminales móviles, esto da a entender que los usuarios desean un acceso a internet no solo en un ambiente laboral o en sus hogares, sino un ambiente de red móvil y con varios dispositivos.

LTE está en una evolución constante y continuará entregando nuevas y mejores formas de comunicación y trabajo.

Con la llegada de los dispositivos con conexión a LTE a Latinoamérica, se ha planteado una gran prueba para la infraestructura de las telecomunicaciones implementadas en nuestro continente, ya que existe varios países que no cuentan con la tecnología 4G, esto implica que los usuarios no podrán aprovechar al máximo las características de sus equipos ni las velocidades que esta tecnología ofrece.

“Por esta razón, la tecnología LTE, a pesar de no ser nueva, está comenzando a implementarse en el Ecuador, comenzando por ciudades de gran densidad poblacional. Con el propósito de que, en poco tiempo, todo el territorio nacional tenga acceso a una red de cuarta generación.” (Organización 4G Américas., 2012).

2.6.1 Comparativa de LTE con tecnologías celulares anteriores

LTE es una tecnología creada para mejorar los servicios ofertados y satisfacer las demandas de los usuarios. Al ser un sistema basado en IP se puede decir que es una red de redes en la que se unen tanto conexiones por cable como inalámbricas, entregando velocidades de acceso de 100 Mbps en movimiento y hasta 1 Gbps en estado estacionario. (Guevara & Vásques)

- **Latencia**

Debido a que la latencia en una red LTE es diez veces menor a la de una red 3G, se mejora la experiencia de usuario debido a que en LTE la una página cargaría en menos de un segundo, mientras que en 3G con una latencia de cien milisegundos, se tardaría aproximadamente 5 segundos en cargar la misma página.

En la figura se refleja en avance que ha tenido la tecnología con la evolución de las redes celulares, reduciendo la latencia desde GSM-GPRS hasta LTE.

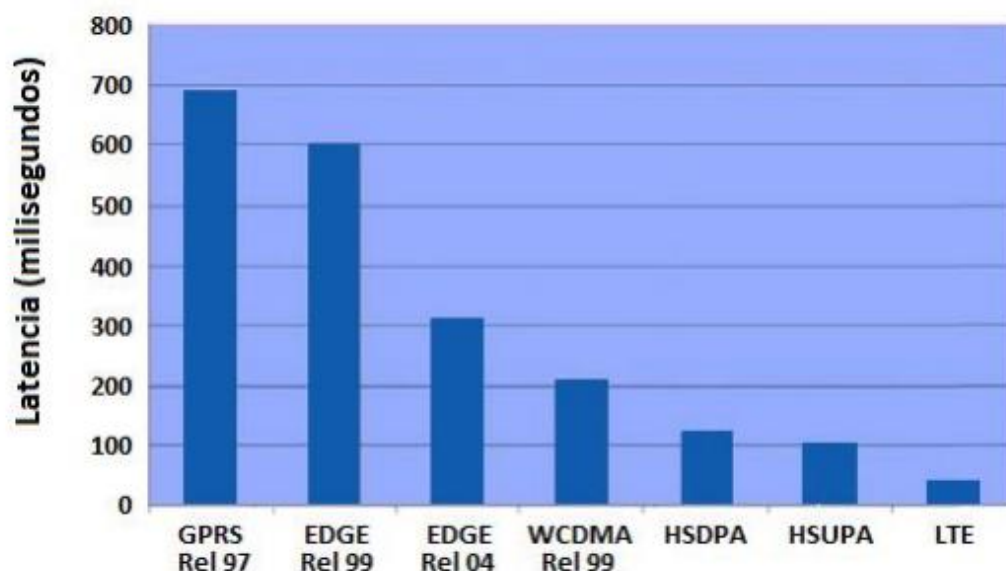


Figura 2. 11: Latencia en la evolución de tecnologías de 2G a 4G

Fuente: (Inga & Ortega, 2010)

- **Handoff**

LTE está encargado de simplificar el handoff entre los sistemas de acceso de 4G, 3G y 2G, haciendo de esto una experiencia invisible al usuario.

Permite el handover horizontal que es el que se realiza entre mismas tecnologías al momento de pasar de una estación a otra; y el handover vertical que es el que se realiza al pasar de una tecnología a otra, como por ejemplo cuando se hace el paso de LTE a 3G cuando iniciamos una llamada, es algo imperceptible para el usuario ya que no se cortará su sesión de datos ni se verá afectada la calidad la llamada.

- **Velocidad**

Haciendo una comparación entre LTE y GPRS podremos observar la notable diferencia que existe, si descargamos un archivo de 700 Mb en LTE, estará listo en un minuto y medio, mientras que, si lo hacemos en una red GPRS, el mismo archivo tardará 35 horas en descargarse.

- **Multibanda**

LTE permite que la red pueda adaptarse a cualquier escenario del operador, es decir, en bandas pareadas o no y de distintos tamaños.

Un sitio LTE puede ser implementado en un sitio 2G o 3G, es decir puede ser un sitio coubicado ya que ocuparían la misma infraestructura; también pueden reutilizar el espectro de GSM para mover a los usuarios que mantengan altas cargas de datos fuera de las redes de 3G, de esta manera esto usuarios ya estarán accediendo a la red de LTE, pero en otra frecuencia con el fin de que los usuarios de 3G no compartan recursos y así mantener la calidad de servicio.

- **Costos**

Hay parámetros y elementos que deben ser configurados de forma manual para adaptarse a los escenarios que pueden interferir en la

comunicación. Hay que tener en cuenta que toda configuración manual está expuesta a errores por eso no solo se necesita experiencia para realizar dichos ajustes sino también el tiempo que requiere un proceso de esta magnitud.

Este sistema se hace cargo de las condiciones variables del canal radio, de las interferencias entre celdas, cobertura, capacidad, eficiencia energética y elimina la necesidad de realizar pruebas continuas del estado de cada variable. “Esta característica de automatización ofrece una mayor calidad de experiencia (QoE) para los usuarios finales. Así también, permite la reducción de costos de servicios y del número de clientes que cancelan sus suscripciones con las operadoras.” (Guevara & Vásques).

Por lo tanto, esto se dirige hacia los clientes de LTE, bajando los costos de servicio por uso de la red.

2.6.2 Análisis de desempeño

Para la optimización de la red de radio (o para cualquier optimización de cualquier red) es necesario haber definido cuales van a ser los Indicadores Claves de Desempeño (Key Performance Indicator - KPI). Estos KPIs son parámetros que permiten observar de cerca el proceso de monitoreo de la red que se desea optimizar. De hecho, el termino KPI se utiliza para determinar los parámetros relacionados a los canales de voz y datos, pero el rendimiento de la red puede ser caracterizado en términos generales en los criterios de cobertura, capacidad y calidad también que cubren los aspectos de voz y datos.

En una red móvil es necesario definir indicadores y métricas para permitir caracterizar el estado de la red y para identificar posibles problemas ya que dentro de una red LTE no es una excepción.

Existen indicadores de rendimiento básicos para el análisis de desempeño de la red LTE, donde algunos pueden ser comparables a las tecnologías anteriores (UMTS) y otros son característicos de LTE.

De acuerdo con el 3GPP, hay cinco categorías diferentes de clasificar los KPI: por accesibilidad; por retenibilidad o retención, por integridad; por disponibilidad y por movilidad.

Los KPIs propuestos son presentados a través de una breve descripción del indicador y de los problemas típicos que pueden surgir de las fallas o rechazos de los mensajes relacionados con estos indicadores. También se enumeran los posibles efectos de los problemas descritos y la mejor manera de obtener estos indicadores.

- **Accesibilidad**

Con el fin de proporcionar servicios al usuario es necesario establecer una conexión de red. Si el servicio no puede ser ofrecido al usuario este se refleja en una pérdida de facturación, lo que lleva a una creciente insatisfacción por el usuario y finalmente la pérdida del cliente.

Por lo tanto, es necesaria la existencia de indicadores que permitan evaluar el acceso a la red y a los servicios, por lo que se definen los KPIs de accesibilidad. Estos sólo deben ser considerados aquellos que resultan de la contribución al acceso a la red E-UTRAN, que debe ser medido como un porcentaje de éxito de las operaciones. En la tabla 1 del Anexo podemos observar los KPIs de accesibilidad más importantes.” (Mishra, A., 2004).

- **Retención**

Cuando el usuario accede a un servicio este debe estar activo durante todo el tiempo de utilización, sin embargo, es posible que existan interrupciones o caídas de servicio. Para evaluar el impacto de estas acciones y del rendimiento de la red es necesario definir KPIs referentes a la retención de la conexión. Los KPIs de retención deben ser medidos solo cuando existe una caída en las conexiones de datos no esperada o cuando se presenta una

caída de parte del operador. En la Tabla 2 del Anexo se presentan algunos tipos de indicadores de retención. (Mishra, A., 2004).

- **Integridad**

Esta medida de desempeño permite al operador evaluar la calidad de las conexiones ofrecidas. Además de eso el servicio a analizar deberá revisar la entrega de los paquetes IP. Es bien conocido que la calidad de la conexión tiene una influencia directa en la satisfacción del usuario, es decir, si la velocidad de transferencia de datos es muy baja o la latencia es demasiado alta resultan ser indeseables pudiendo estar en valores por debajo del servicio contratado. De esa forma, son necesarios los KPIs de integridad que permitan conocer el estado de calidad de las conexiones establecidas. En caso de presentar problemas en la red es deber del operador presentar soluciones con el fin de mejorar el QoS. Algunos de estos KPIs se los puede visualizar en la Tabla 3 del Anexo. (Mishra, A., 2004).

- **Disponibilidad**

Si la red de acceso no se encuentra activa es imposible que el operador realice la facturación de cualquier servicio. La indisponibilidad del servicio tiene un impacto muy significativo en la satisfacción del cliente y de la oferta de servicios.

De esta manera son definidos los indicadores de disponibilidad que reflejen el porcentaje de tiempo en que las células están activas. Algunos de estos indicadores se pueden observar en la Tabla 4 del Anexo. (Mishra, A., 2004).

- **Movilidad**

Se debe tomar en cuenta que la Red LTE es una red móvil y es necesario que existan mediciones referentes al desempeño del terminal de usuario en movimiento, en particular de los handovers efectuados y de cómo actúan.

“Los efectos que tienen los KPIs de movilidad son similares a los KPIs de retención, es decir, si existen fallas en la conexión a la red de datos, esto se reflejará en el QoS y en la satisfacción del cliente. Sin embargo, es necesario tener en cuenta su diferenciación con los KPIs de retención pues se originan de problemas distintos. En la tabla 5 del Anexo se presentan los KPIs de movilidad más importantes.” (Mishra, A., 2004).

2.7 Denominación de bandas

LTE está caracterizado por poder funcionar en diversas bandas con el fin de adaptarse a diferentes operadoras a nivel mundial, entre las cuales las más conocidas son:

- Banda 7 que opera en 2.6 GHz
- Banda 4 o conocida como AWS, y
- Banda 12 que opera 700 MHz

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

Figura 2. 12: Bandas de frecuencia definidas para LTE a nivel mundial

Fuente: (3GPP TS 36.104 V8.3.0, 2008-09)

De acuerdo con 3GPP TS 36.104 V9.4.0 (2010-06), la banda 6 ya no es aplicable, mientras que la banda 15 y la banda 16 están clasificadas como reservadas. La figura 28 muestra el rango de frecuencia real que ha sido asignado para el despliegue de LTE a nivel mundial. (Paredes, 2014)

Las frecuencias pueden ser bajas o altas y dependiendo de eso tendrán diferentes características, por ejemplo, la frecuencia alta transporta mayor cantidad de información a velocidades altas; mientras que las frecuencias bajas cubren grandes áreas y pueden facilitar la cobertura indoor ya que tiene facilidad para atravesar paredes o techos. Para encontrar un equilibrio de estas propiedades debemos buscar entre el rango de 700 MHz a 2.5 GHz.

Las frecuencias 2.5 GHz y AWS son bandas de mucha capacidad debido a que ofrecen una gran cantidad de espectro que permite acomodar a varios operadores. La banda de 2.5 GHz, aunque en algunos países es usada para servicios de televisión, en otros se la ha limpiado y subastado, como es el caso de México, Chile, Brasil, Colombia y Ecuador. (Guevara & Vásques)

Casi toda América cuenta con la banda AWS, con excepción de ciertos países donde no les es permitido usar esta banda debido a arreglos de frecuencias diferentes.

En nuestro análisis, las bandas usadas para la propagación la señal LTE son 700 MHz APT y AWS.

2.7.1 Banda 700 MHZ APT

En sus inicios fue diseñada para la región Asia-Pacífico. Fue presentada en el año 2010 y después de esa fecha, varios países la región oriental la fuera adaptando, tales como Japón, Corea del Sur, China, entre otros. En Latinoamérica varios países han pensado adoptar esta banda, mientras que otros ya lo han hecho, entre los cuales esta Ecuador, que de a poco ha ido

haciendo el estudio y a implementación de esta banda en la ciudad de Guayaquil.

“Este plan de división de frecuencia opera entre 698 MHz y 806 MHz, incluyendo las bandas de guarda de 5 MHz en la banda inferior y 3 MHz en la banda superior. Estas bandas de guarda son utilizadas para evitar la interferencia celular ya sea en la misma banda o en las adyacentes.” (Guevara & Vásques)

APT dispone de dos bandas de guarda para proteger el extremo adyacente, una en cada extremo. Además, divide la banda en dos porciones de 45 MHz, las cuales están separadas por 10 MHz de guarda.



Figura 2. 13: Plan APT para la banda de los 700 MHz

Fuente: (Kreher & Gaenger, 2011)

Se han realizado numerosos estudios que intentan cuantificar los beneficios económicos y sociales de la asignación de espectro del dividendo digital a la banda ancha móvil. Algunos de estos aspectos más destacados incluyen:

- Incremento de US\$1 Trillón al PIB (Producto Interno Bruto) en el año 2020 atribuido a la asignación del dividendo digital en la región de Asia y el Pacífico.

- Crecimiento de los ingresos por impuestos a un valor de US\$ 215 mil millones
- Creación de 1.4 millones de nuevas empresas
- Creación de 2.7 millones de nuevos empleos

Además, la investigación sobre el impacto de la banda ancha en general también demuestra importantes beneficios sociales y económicos, incluyendo:

- Por cada 1.000 suscriptores de banda ancha adicionales, se crean alrededor de 80 nuevos puestos de trabajo.
- Un aumento del 10% en los resultados de penetración de banda ancha.

La adopción de la tecnología APT LTE 700 Banda 28 ha sido constante en los últimos años y en los últimos tiempos ha crecido rápidamente. Los mercados que han adoptado o aprobado el plan de APT LTE 700 incluyen: (Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT) Ministerio de Ciencias, 2012)

- **Asía Pacífico:** Afganistán, Australia, Bangladesh, Nueva Zelanda, Japón, Pakistán, India, Papua Nueva Guinea, Taiwán, Corea del Sur, Nepal, Tonga, Sri Lanka, Brunei, Indonesia, Malasia, Maldivas y Singapur.
- **América:** Brasil, Costa Rica, Colombia, Argentina, Perú, Chile, República Dominicana, México, Ecuador, Panamá, Venezuela y Uruguay.

2.7.2 Banda AWS

Servicios inalámbricos avanzados (AWS) es una banda inalámbrica de espectro de telecomunicaciones que se utiliza para servicios de voz y servicios de datos, video y mensajería. AWS se utiliza en los Estados Unidos, Argentina, Canadá, Colombia, México, Chile, Paraguay, Perú, Ecuador y Uruguay.

AWS utiliza una frecuencia de 1710 a 1755 MHz para enlace de carga y 2110 a 2155 MHz para enlaces de descarga. En sus inicios AWS fue asignada únicamente para servicios de 3G, pero los operadores obtuvieron una licencia para hacer uso de esta banda en la tecnología que más les convenga, como puede ser 2G, 3G, 4G o alguna tecnología futura.

También reemplazada una parte del espectro asignado a MMDS (Servicio de Distribución Multipunto Multicanal).

CAPÍTULO 3: SIMULACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para mi trabajo de investigación tomé en cuenta dos escenarios posibles dentro de la ciudad de Guayaquil, uno en el sitio rural **Chongon centro**, que se encuentra en el límite de la ciudad y que es el último “nodo” antes de llegar a Cerecita; y el otro el sitio urbano **Sauces** que se encuentra en el norte de la ciudad donde existe una concentración masiva de personas.

3.1. Diseño de una red LTE

En el diseño de una red de LTE consta en hacer el estudio de campo y análisis para la instalación de un nuevo sitio, tiene diversos factores a tomar en cuenta antes de realizar las predicciones. Por un lado, se toma en cuenta la línea de vista directa con la estación, la altura a la que están colocados los equipos de transmisión, la zona a la cual se le va a proporcionar la cobertura, el tráfico de datos que se va a manejar, entre otros. Uno de los más importantes son los clutter classes.

3.1.1 Clutter classes

	Value
1	0 - unclassified
2	1 - dense_urban
3	2 - urban
4	3 - low_urban
5	4 - high_residential
6	5 - low_residential /village
7	6 - industrial_areas
8	7 - park
9	8 - semi_open_areas
10	9 - open_areas
11	10 - open_wet_areas
12	11 - dense_forest
13	12 - sparse_forest
14	13 - agriculture
15	14 - inland_water
16	15 - airports
17	16 - river
18	17 - sea

Figura 3. 1: Clutter classes

Fuente. 9955 RNP - ATOLL.

Los clutter classes son definidos como la variable para la degradación de la señal, indicando la frecuencia en la que se realiza la perdida y los dB perdidos.

Podemos observar que cada clutter classes está representado por un color y esto reflejado en el campo se ve de la siguiente manera:

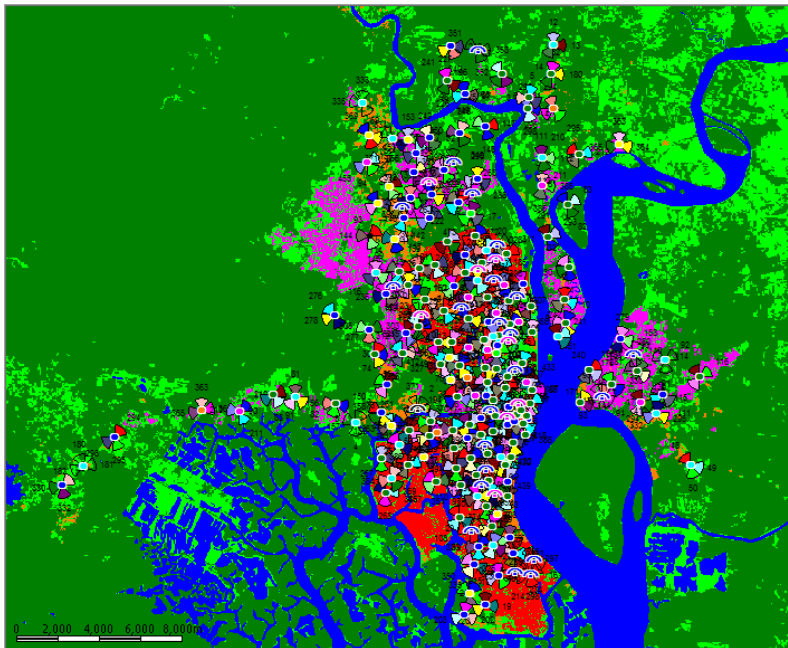


Figura 3. 2: Clutter classes en Guayaquil

Fuente. 9955 RNP - ATOLL.

Todos estos parámetros ya son pre-definidos por el creador de la herramienta a usar para hacer las respectivas predicciones, en este caso la herramienta a usar es el 9955RNP y su creador es ATOLL.

Code	Name	Height (m)	Indoor Loss (dB)
Default Values			
0	unclassified	0	
1	dense_urban	0	2620 20
2	urban	0	2620 17
3	low_urban	0	2620 14
4	high_residential	0	2620 14
5	low_residential /village	0	2620 8
6	industrial_areas	0	2620 14
7	park	0	2620 8
8	semi_open_areas	0	2620 8
9	open_areas	0	2620 8
10	open_wet_areas	0	2620 8
11	dense_forest	0	2620 8
12	sparse_forest	0	2620 8
13	agriculture	0	2620 8
14	inland_water	0	
15	airports	0	2620 14
16	river	0	
17	sea	0	

Figura 3. 3: Pérdida de dB con relación a cada clutter classes

Fuente: 9955 RNP-ATOLL.

3.1.2 9955 RNP

La herramienta que se utilizó para las predicciones realizadas en este trabajo de investigación fue la 9955 RADIO NETWORK PLANNING.

En la actualidad existen varias herramientas para la planeación de una red, sin embargo, la que usaré es la 9955 RNP, ya que es una de las herramientas más completas y con predicciones de radio más cercanas a la realidad, dentro de esta herramienta podemos modificar parámetros como Tilt eléctricos y mecánicos, podemos cambiar los azimuts a los que están colocadas las antenas, podemos elegir el tipo de antena a usar, entre otras especificaciones. También hay que tener en cuenta que muchas veces el cliente es quien te indica que herramienta se debe usar por políticas de la empresa.

Para demostrar el uso de esta herramienta se realizó una predicción a nivel general de toda la ciudad de Guayaquil, desde las coberturas 3G a 4G comerciales y sus respectivas planificaciones.

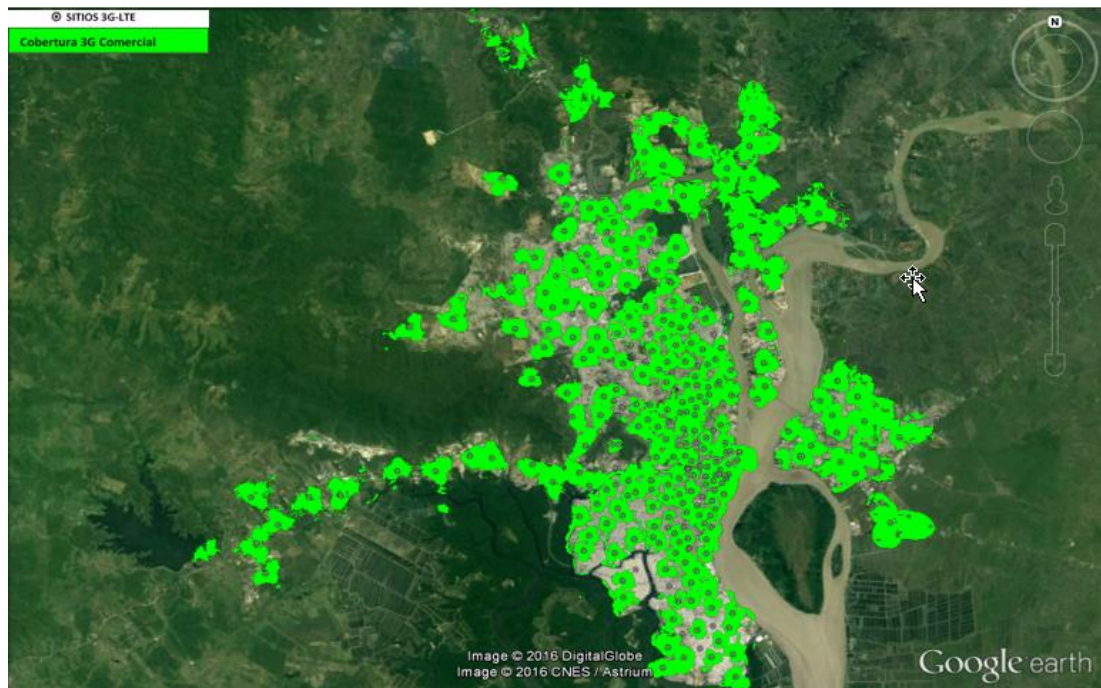


Figura 3. 4: Cobertura 3G Comercial

Elaborado por: El autor

Como observamos en la Figura 3.5, hay una cobertura de 3G en casi toda la ciudad de Guayaquil, contando la vía a Samborondón, a la Costa y Durán, de igual manera se ve que hay varios vacíos en ciertas zonas por lo que se está realizando una planificación para cubrir ciertos puntos como vemos en la Figura 3.5.

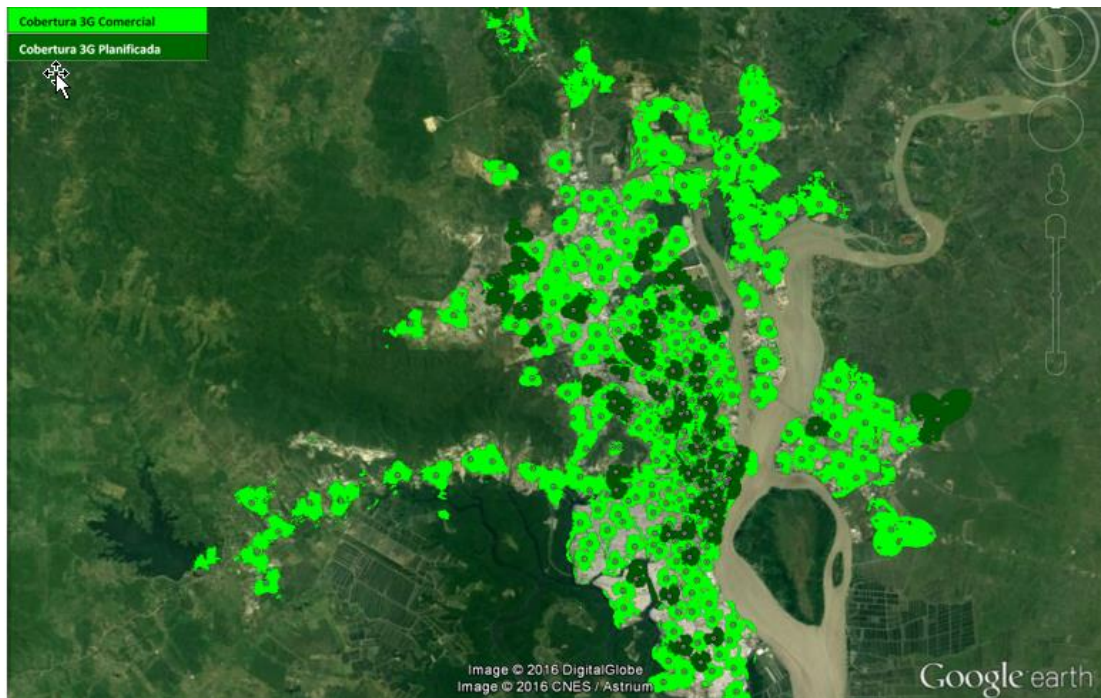


Figura 3. 5: Cobertura 3G Comercial y planificada

Elaborado por: El autor

En el siguiente gráfico veremos la cobertura 4G comercial hasta el momento, esto es en el espectro AWS, que es el que actualmente usan todas las operadoras a nivel nacional.

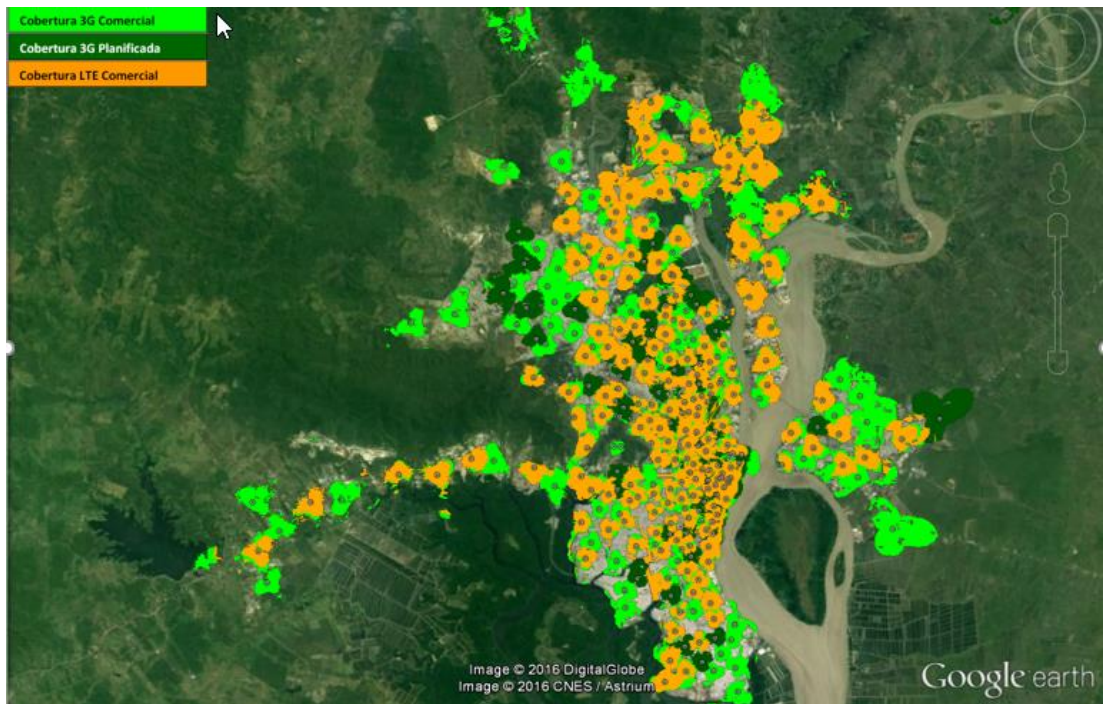


Figura 3. 6: Cobertura 3G comercial y planificada; y LTE comercial

Elaborado por: El autor

Podemos observar que igual hay vacíos dentro de la ciudad, esto se debe en mayor proporción a que hay obstrucciones con las estaciones lo que no permite una correcta propagación, en muchos de estos vacíos hay árboles o edificaciones que poseen una altura mayor a la de los nodos, por eso se está haciendo la planeación de nuevos sitios de LTE para mejorar el tráfico y cubrir ciertos puntos como podemos ver en la Figura 3.7.

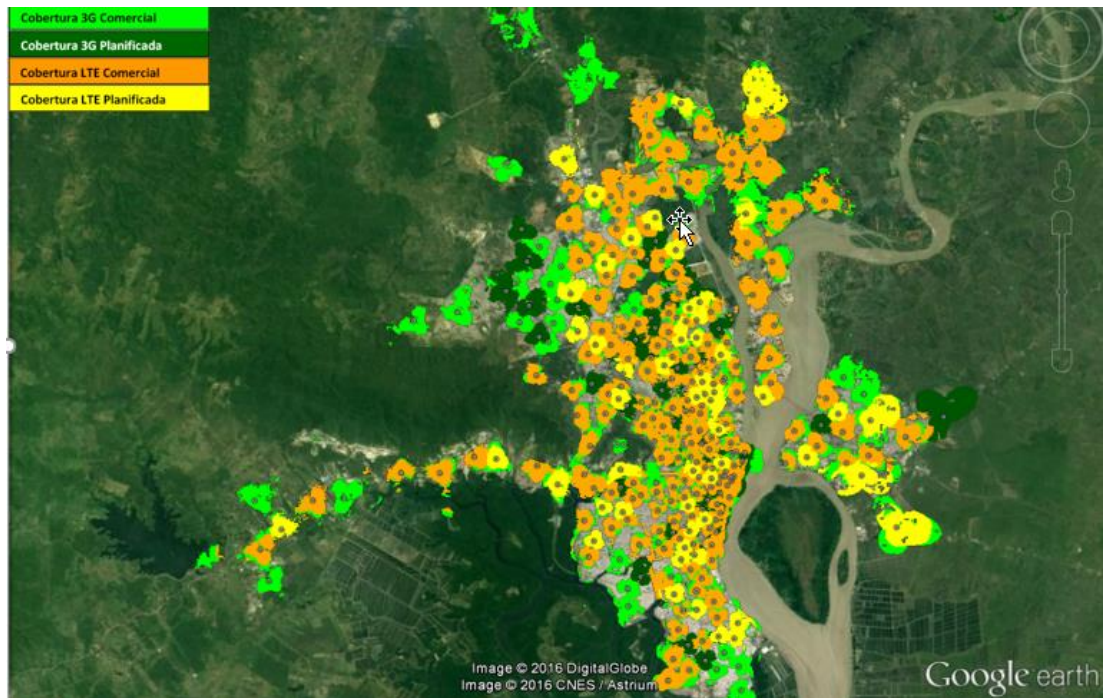


Figura 3. 7: Cobertura 3G-LTE Comercial y planificada

Elaborado por: El autor

Y por último veremos las zonas en las que se han implementado sitios LTE 700 APT, esta frecuencia solo ha sido utilizada por la operadora estatal, aunque ya funciona en otros países como México, Australia, etc. Dentro del Guayaquil se está implementando principalmente en zonas denso-urbano, urbano y rural en conjunto con los sitios AWS, con el objetivo de controlar y mejorar el tráfico de datos.

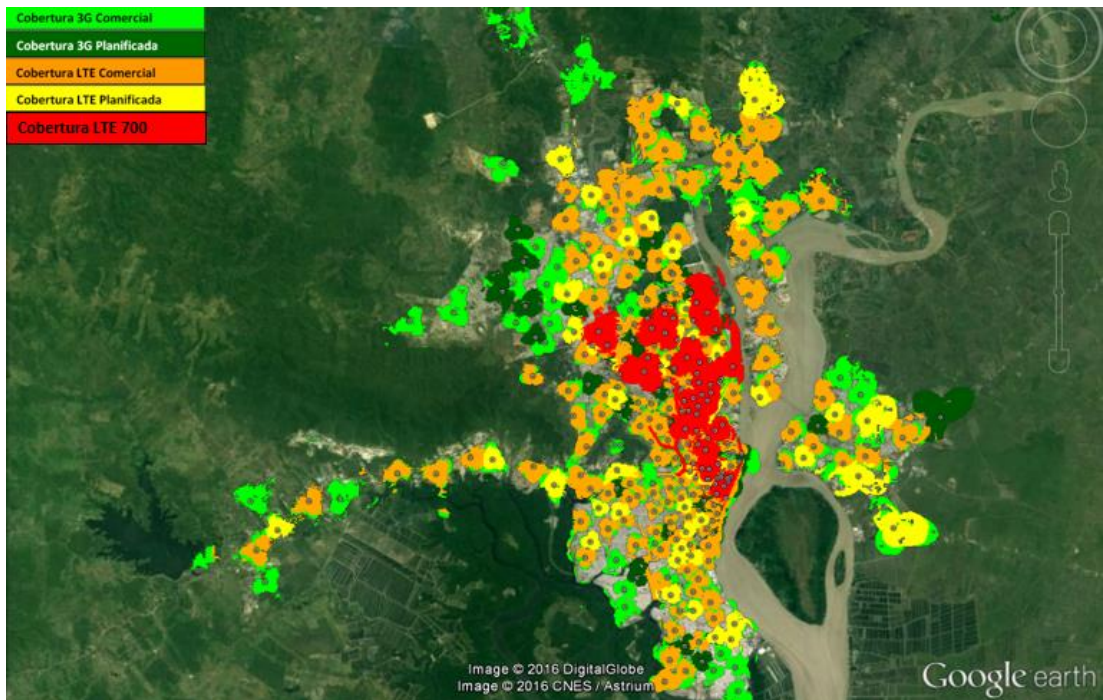


Figura 3. 8: Cobertura 3G-LTE Comercial y planificada en conjunto con LTE 700

Elaborado por: El autor

3.1.3 Diseño y parámetros de un sitio LTE.

El sitio **Chongón Centro** es un sitio coubicado debido a que ya existe un nodo de 3G en el mismo lugar y para ahorrar costos se utiliza la misma infraestructura.

Dentro del diseño del nodo encontraremos la siguiente información.

Tabla 3. 1: Información básica de un sitio LTE

Elaborado por: El autor

Nombre LTE	Celda LTE	Nombre Registrado SENATEL	Provincia	Canton	Parroquia
L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO	L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO_1	CHONGON_CENTRO	GUAYAS	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO	L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO_2	CHONGON_CENTRO	GUAYAS	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL
L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO	L_GYE5507L_CHONGON_CENTRO_3	CHONGON_CENTRO	GUAYAS	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL

En esta tabla encontraremos información básica, como el nombre del sitio, el nombre de la celda, la provincia, cantón y parroquia donde se encuentra.

Tanto AWS como APT comparten la misma tabla de parametrización, lo diferente es la configuración que se le aplicara a cada una.

Tabla 3. 2: Configuración de un sitio LTE AWS

Elaborado por: El autor

Cluster	Mini Cluster	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)	Sistema	Banda					
R2_CL2_GYE_VIA_LA_COSTA	Mini_Via_La_Costa	-2,22132	-80,082	LTE	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)					
R2_CL2_GYE_VIA_LA_COSTA	Mini_Via_La_Costa	-2,22132	-80,082	LTE	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)					
R2_CL2_GYE_VIA_LA_COSTA	Mini_Via_La_Costa	-2,22132	-80,082	LTE	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)					
Frecuencia DL (MHz)	Frecuencia UL (MHz)	eARFCN DL	eARFCN UL	Azimuth	Tilt M	Tilt E	RET Install	RET Físico (SAM)		
2120	1720	2050	20050	50	0	3	Yes	Ret/2		
2120	1720	2050	20050	170	0	3	Yes	Ret/1		
2120	1720	2050	20050	260	0	3	Yes	Ret/0		
Altura antena	Cantidad antena	Modelo Propagación	Modelo Antena	Ganancia (dBi)	Polarización	Ancho lóbulos horizontal	Ancho lóbulos vertical	MIMO TX Mod.		
41	1	Guayaquil_tuned_shifted_2100MHz	APXV18-206516H-C	18,1	+/- 45'	65'	6.5'	tm4		
41	1	Guayaquil_tuned_shifted_2100MHz	APXV18-206516H-C	18,1	+/- 45'	65'	6.5'	tm4		
41	1	Guayaquil_tuned_shifted_2100MHz	APXV18-206516H-C	18,1	+/- 45'	65'	6.5'	tm4		
Cantidad RRH	Modelo RRH	Potencia máx. RRH (W)	Potencia conf. RRH (W)	Potencia Max Power (dBm)	Tipo configuración de cable	Largo Feeder	Largo Jumper (2 extremo)	Modelo Feeder	Diplexer / Qty	
1	9442RRH	40	40	46	1/2"	0	3	RFS LCF12-50J	NO	
1	9442RRH	40	40	46	1/2"	0	3	RFS LCF12-50J	NO	
1	9442RRH	40	40	46	1/2"	0	3	RFS LCF12-50J	NO	
Atenuación total	eNodeB ID	Cell ID	Local Cell ID	PCI	TAC	LAC 3G	MCC	MNC	Modelo eNodeB	Tipo de sitio
0,73	55071	550711	550711	331	30100	50100	740	2	9926 d2U BBU	Outdoor
0,73	55071	550712	550712	332	30100	50100	740	2	9926 d2U BBU	Outdoor
0,73	55071	550713	550713	330	30100	50100	740	2	9926 d2U BBU	Outdoor
Alimentación (Volts DC)	Versión de SW	Tipo de transmisión	Capacidad Transmisión	Altura Edificación	Tipo de Estructura	Altura Estructura	Altura total [m]			
-48	LA5D40E71610	IP	TBD	0	Torre	42	42			
-48	LA5D40E71610	IP	TBD	0	Torre	42	42			
-48	LA5D40E71610	IP	TBD	0	Torre	42	42			

Siendo esto los parámetros más importantes de configuración porque nos permite entender el funcionamiento del "nodo" y lo que se espera cubrir, ya que contamos con la altura a la que están instalados los equipos de transmisión, la potencia que se está administrando, las frecuencias tanto de DL como de UL en las que están trabajando, el Azimuth y los Tilt eléctrico y

mecánico. Generalmente cada sitio de LTE cuenta con tres sectores los cuales están indicados por el PCI (Primary Channel Indicator) que es lo que nos permite identificar a cada sector.

Teniendo en cuenta esta información se pueden realizar cambios físicos o lógicos para mejorar la cobertura o para focalizarnos en algún punto de concentración masiva o una empresa que no esté siendo abastecida por dicha estación.

En la siguiente tabla se refleja los cambios que se hicieron en 700 APT.

Tabla 3. 3: Información de un sitio LTE 700 APT

Elaborado por: El autor

Sitio	Modelo de antena	Altura (m)	Azimut (°)	Tilt Eléctrico (°)
L_GYE55071_CHONGON_CENTRO	TDJ-708017DE-65F_0770_P45_04T	42	50	0
L_GYE55071_CHONGON_CENTRO	TDJ-708017DE-65F_0770_P45_04T	42	170	0
Tilt Mecánico (°)	Número de puertos transmisores	Modelo de propagación		
0		2 _SPM DU/U 700MHz-800MHz		
0		2 _SPM DU/U 700MHz-800MHz		
0		2 _SPM DU/U 700MHz-800MHz		

La configuración de un sitio no es siempre la misma en todos los “nodos”, esto depende del lugar donde se encuentre ubicado, la altura de los equipos de transmisión y la zona a la cual se desea proporcionar cobertura. Por ejemplo, en el sitio **Chongon Centro**, se trata de proporcionar cobertura a la parte de Chongon y a las vías de acceso, mientras que en el sitio **Sauces**, se trata de cubrir las zonas aledañas como Samanes y Alborada.

En la siguiente tabla se refleja la configuración que posee el sitio Sauces en AWS y en 700 APT para ver sus diferencias.

Tabla 3.4: Tabla comparativa entre configuración de AWS y 700 APT en un mismo nodo

Elaborado por: El autor

Banda	Nombre LTE	Celda LTE	Nombre 3G (Sitio 3G CNT coubicado)		Cluster
AWS	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_1	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE
AWS	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_2	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE
AWS	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_3	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_7	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_8	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	L_GYE55034_SAUCES_9	U_GYE5034_SAUCES		R2_CL3_GYE_NORTE

Banda	Nombre LTE	Latitud (decimal)	Longitud (decimal)	Banda
AWS	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)
AWS	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)
AWS	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	AWS FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 4)
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	APT-700 MHz (E-UTRA Band 28)
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	APT-700 MHz (E-UTRA Band 28)
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	-2,128629	-79,907426	APT-700 MHz (E-UTRA Band 28)

Banda	Nombre LTE	Frecuencia DL (MHz)	Frecuencia UL (MHz)	eARFCN DL	eARFCN UL
AWS	L_GYE55034_SAUCES	2120	1720	2050	20050
AWS	L_GYE55034_SAUCES	2120	1720	2050	20050
AWS	L_GYE55034_SAUCES	2120	1720	2050	20050
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	795,5	740,5	9585	27585
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	795,5	740,5	9585	27585
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	795,5	740,5	9585	27585

Banda	Nombre LTE	Azimuth	Tilt M	Tilt E	Altura antena	Modelo Propagación	Modelo Antena
AWS	L_GYE55034_SAUCES	30	0	9	33,5	Guayaquil tuned_shifted_2100MHz_CNT	APXV18-206516H-C
AWS	L_GYE55034_SAUCES	145	0	10	33,5	Guayaquil tuned_shifted_2100MHz_CNT	APXV18-206516H-C
AWS	L_GYE55034_SAUCES	285	0	7	33,5	Guayaquil tuned_shifted_2100MHz_CNT	APXV18-206516H-C
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	0	0	7	40	Guayaquil tuned_shifted_700MHz_CNT	TDJ-708017DE-65F
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	150	0	4	40	Guayaquil tuned_shifted_700MHz_CNT	TDJ-708017DE-65F
700 APT	L_GYE55034_SAUCES	270	0	4	40	Guayaquil tuned_shifted_700MHz_CNT	TDJ-708017DE-65F

3.2 Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia AWS en sitio rural.

Para el diseño de una red LTE en banda de frecuencia AWS se tomó en Chongon Centro, este será un sitio cubricado ya que también cuenta con la tecnología 3G.

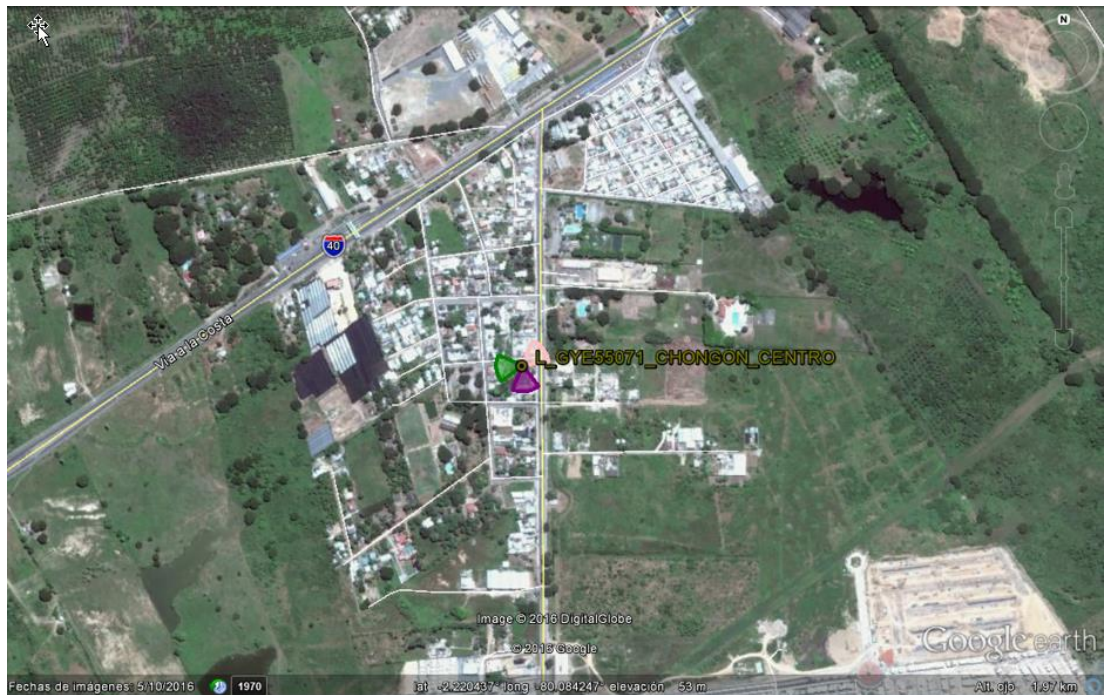


Figura 3. 9: Nodo Chongón Centro

Elaborado por: El autor

Como podemos observar, en esta zona no hay sitios activos con cobertura LTE, hay sitios que ya han sido instalados como Chongon y Cda. Los Ángeles, pero aún no están en servicio al público. ya que recién están pasando por los SSV (Single Side Verification) que es una fase a la que todo sitio nuevo de LTE debe ser sometido; dentro del SSV realizaremos las siguientes pruebas:

- Download(Descarga), en las que forzamos con varias sesiones de descarga para obtener valores de datos superiores a 80Mbps).
- Uplink(Subida), en la que forzamos con varias sesiones a obtener valores de datos superiores a 30Mbps).

- CSFB (Circuit Switch FallBack), esto hace referencia al tiempo en el que un móvil se demora en cambiar entre tecnologías después de hacer una llamada, ya que en la actualidad no existe voz sobre LTE, cada vez que estamos dentro del rango de una conexión de LTE si hacemos una llamada, el móvil debe inmediatamente cambiar de tecnología a 3G manteniendo activa la sesión de datos y regresar a LTE una vez la llamada sea culminada, por lo general el tiempo debe ser inferior a 0.05 segundos.
- Attach-Detach(Anclar y soltar), con esta prueba verificamos la conectividad, siempre forzando el móvil a LTE para obtener buenos resultados, el fin de esta prueba es verificar que existe una buena conectividad a la red forzando un anclamiento y luego soltándolo, de igual manera este attach-detach no debería tardar más de 2-3 segundos.

Posterior al SSV y una vez verificado que en todas las pruebas se obtuvieron los valores esperados, se procede a hacer un Drive test light que consiste en usar los equipos para hacer pruebas de DL y CSFB alrededor de la estación, aproximadamente 300 metros a la redonda para conocer el alcance de cobertura de dicha estación y los posibles puntos donde no tengamos cobertura debido a alguna obstrucción o tipo de interferencia.

Una vez hechas estas dos pruebas podemos indicarle al cliente que el sitio está listo para el funcionamiento público y luego se tomarán las medidas respectivas para su activación total.

De esta manera se realizó el trabajo en el sitio **Chongon Centro** para la instalación de LTE AWS, hicimos las predicciones para ver cómo se comportaría la propagación en este sitio y los alcances de cobertura.

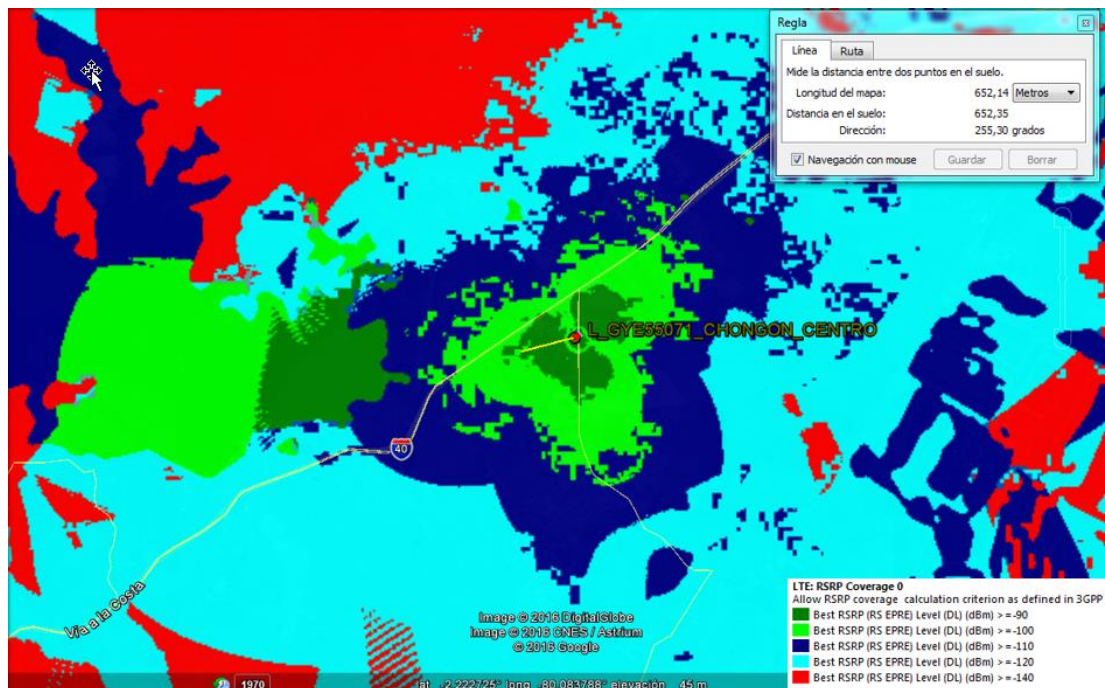


Figura 3.10: Predicción de la cobertura LTE AWS en sitio rural
Elaborado por: El autor

En la Fig. 3.11 podemos observar el alcance de cobertura de LTE AWS, donde nos encontraremos con tres tipos de alcance de cobertura, siendo el más cercano el más óptimo ya que estaremos solo a una distancia de 652 metros y en esta zona tendremos un RSRP mayor a -90 dBm, lo que indica excelente cobertura y podremos alcanzar velocidades de DL de hasta 90 Mbps y en UL de hasta 35 Mbps, siendo los valores de transmisión de datos más altos en la actualidad.

Conforme vamos avanzando veremos que la señal se irá degradando debido a los alcances de transmisión de los equipos, llegaremos al segundo punto de mejor cobertura donde estaremos con un RSRP mayor a -100 dBm e igual tendremos una conexión estable y con buenos valores de datos de DL superando los 80 Mbps y en UL superando los 25 Mbps.

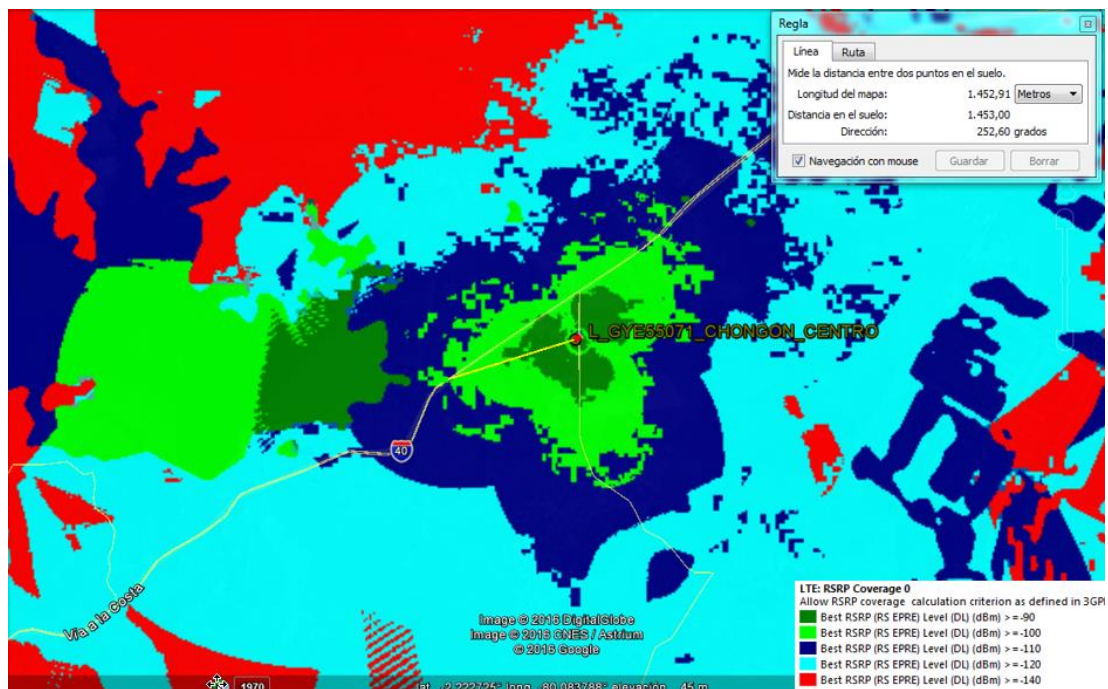


Figura 3. 11: Predicción de cobertura LTE AWS en sitio rural

Elaborado por: El autor

Y por último al llegar a los 2.5 km de distancia de móvil y de la estación, nos encontraremos con el último punto donde tendremos una conexión estable a internet ya que estaríamos con niveles de RSRP de -110, cruzando ese punto nos encontraremos con una conexión intermitente que no nos permitirá hacer uso de los datos móviles.

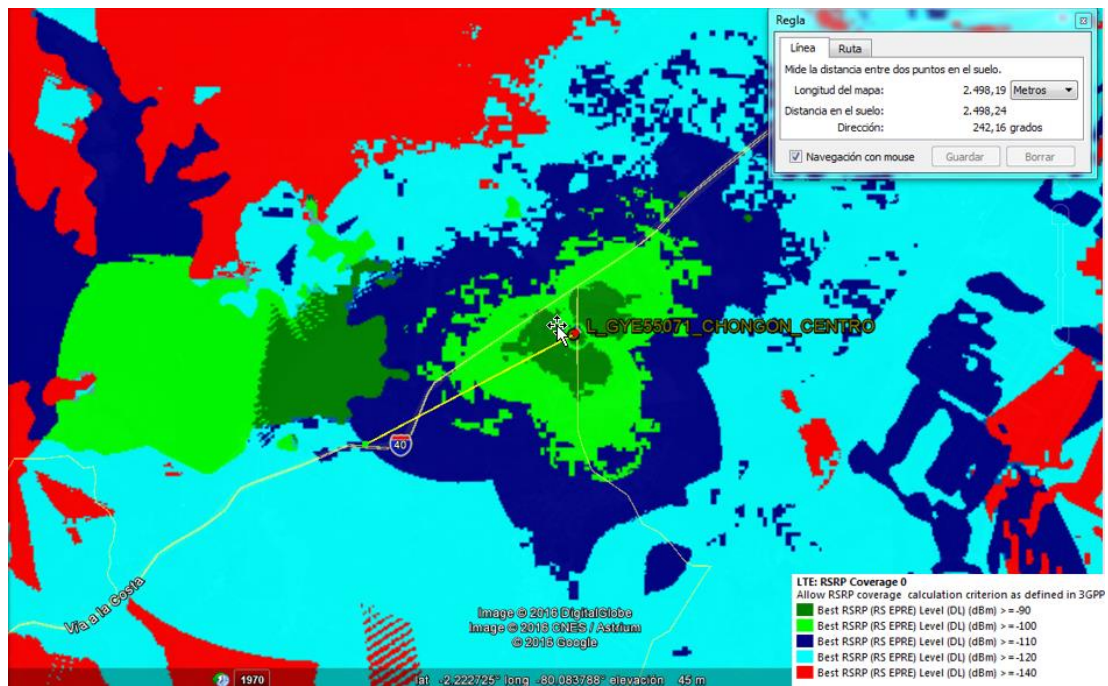


Figura 3. 12: Predicción de la cobertura LTE AWS en sitio rural

Elaborado por: El autor

Lo ideal para tener una conexión estable a internet es estar ubicado dentro de una zona donde tengamos valores de RSRP que vayan desde -90 a -110 dBm, por eso se realiza el estudio para ver las zonas que se abarcan a cubrir con un radio de 2.5 Km, siempre tomando en cuenta cubrir zonas de acumulación masiva de personas, vías de acceso o empresas.

3.3 Diseño y predicción de una red LTE en banda de frecuencia 700 APT en sitio rural.

De igual manera realice la predicción en el sitio Chongon Centro para demostrar la variación y el alcance de una estación que transmita en la banda de 700 MHz.

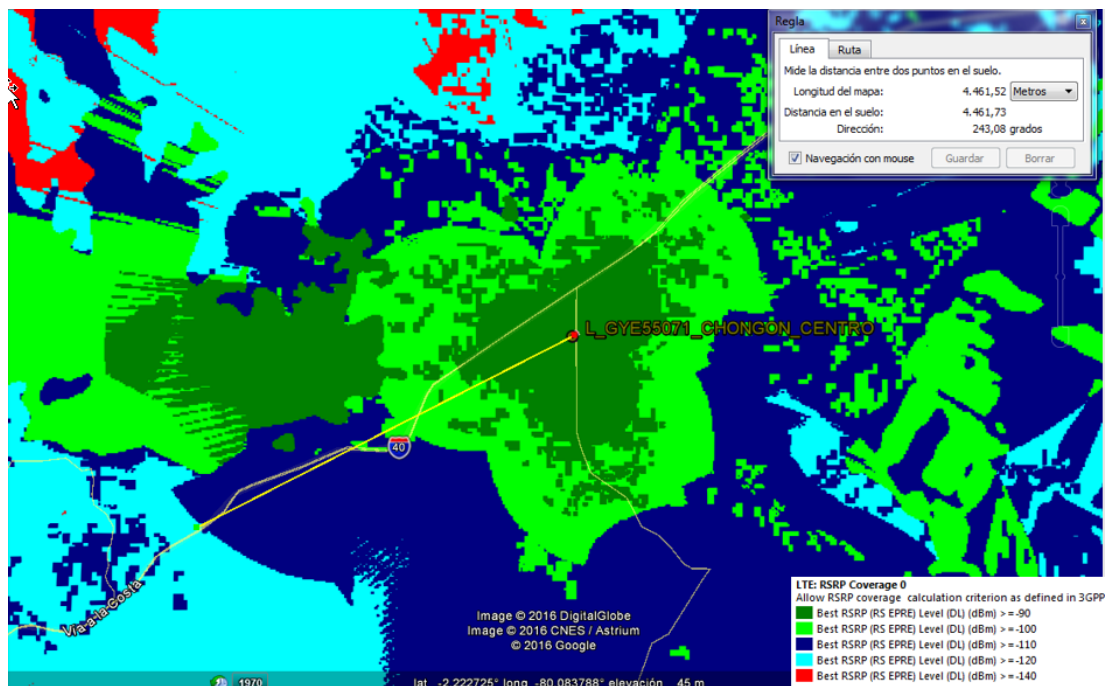


Figura 3. 13: Predicción de la cobertura LTE 700 APT en sitio rural

Elaborado por: El autor

Podemos observar que el alcance máximo de una estación con 700 APT es de 4.5 Km, siendo casi el doble de AWS que solo era de 2.5 KM, esto es propio de los equipos de transmisión ya que usan una frecuencia distinta debido a esto a una distancia de 4.5 KM aun tendremos conectividad a internet y estaremos con un RSRP de -110.

Este rango de -90 a -110 dBm es previamente pactado con la operadora estatal.

En las Figuras 3.15 y 3.16 podremos observar cómo se comporta 700 APT a medida que nos acercamos a la estación.

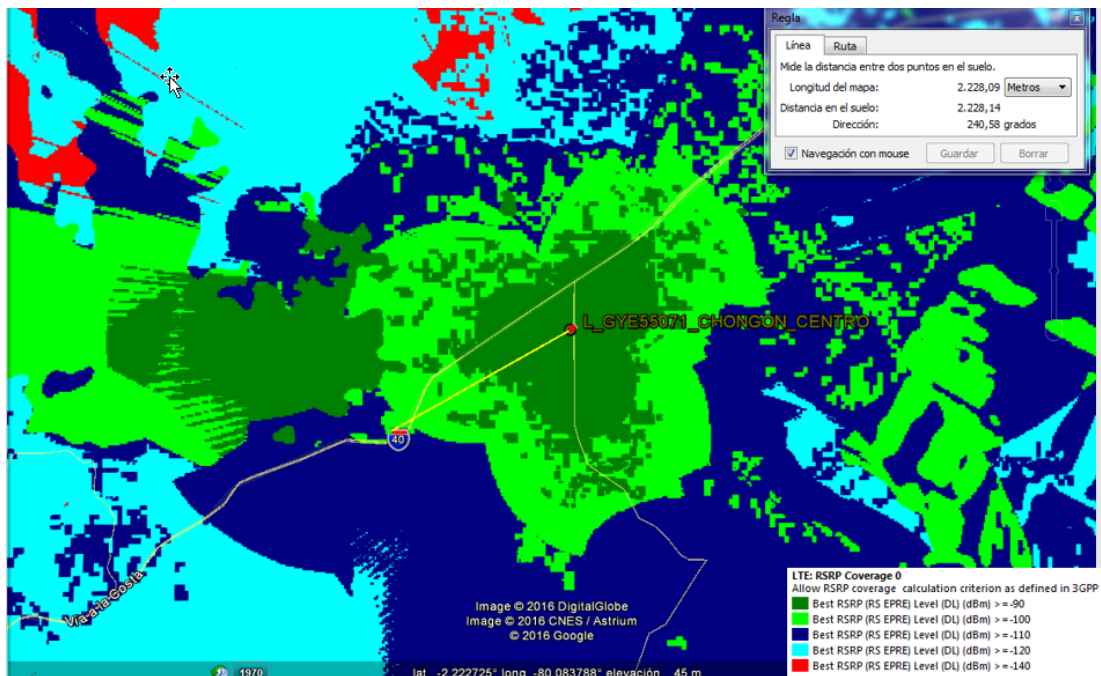


Figura 3. 14: Predicción de la cobertura LTE 700 APT en sitio rural

Elaborado por: El autor

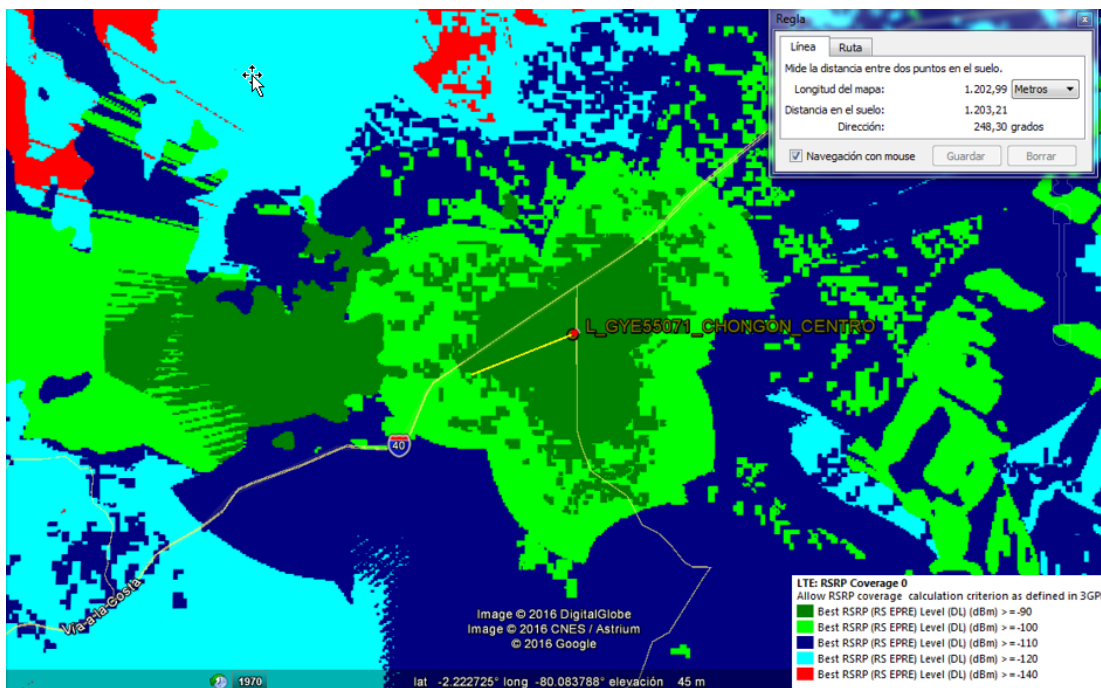


Figura 3. 15: Predicción de la cobertura LTE 700 APT en sitio rural

Elaborado por: El auto

3.4 Diseño y predicción de una red LTE en bandas de frecuencia AWS y 700 APT en sitio rural.

El objetivo de mi trabajo de investigación es ver cómo funcionan ambas frecuencias trabajando en un mismo sitio, por esto hice las predicciones del sitio rural **Chongón Centro**.

Use la herramienta Google Earth para poder ubicar el sitio, se dibujó un polígono alrededor de las zonas a cubrir como se refleja en la figura 3.16.

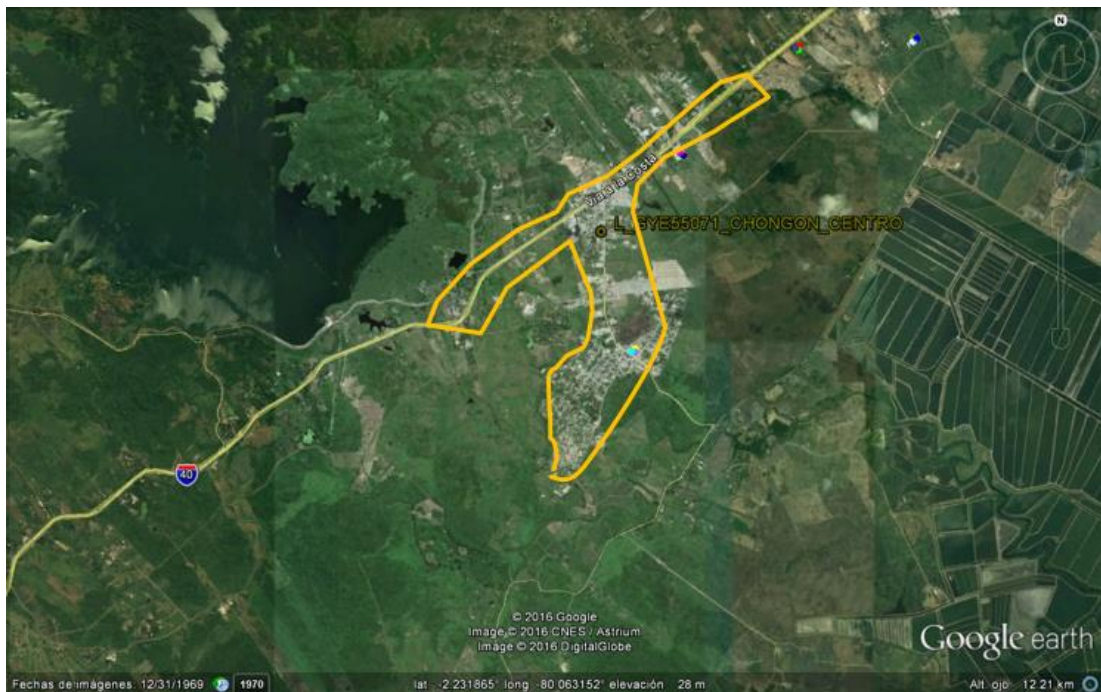


Figura 3. 16: Ubicación del sitio Chongon Centro

Elaborado por: El autor

Se observa que el polígono abarca las principales vías de acceso, como lo es la Vía a la Costa y la población de Chongón.

Este es un sector forestal por lo que la pérdida aproximada será de 8 db según lo indicando en el clutter.

Cuando hacemos la simulación del sitio trabajando en la banda AWS encontraremos el siguiente resultado.

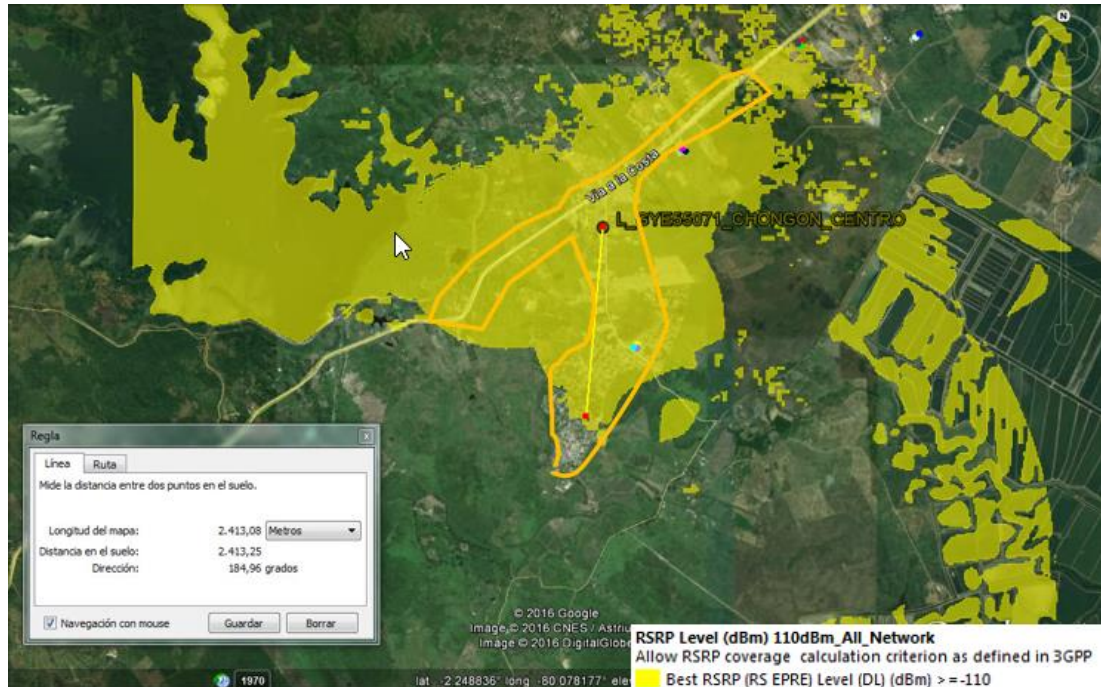


Figura 3. 17: Simulación cobertura AWS

Elaborado por: El autor

Se refleja que el radio máximo de cobertura del sitio en AWS es de 2.4 km a partir de la ubicación del sitio, hasta esta distancia tendremos un RSRP de -110 dBm lo que nos proporcionará una conexión estable a datos. Debido a este alcance de transmisión podemos decir que se está garantizando cobertura de un 90% del polígono que fue dibujando, dejando afuera una parte de Chongon; en los extremos se simula cobertura, pero esto es debido a que son lagos, ríos y piscinas camaroneras que reflejan la propagación.

Este tipo de tecnología garantizará mayor alcance de cobertura con menos sitios LTE instalados.

En la figura 3.18 se refleja cómo será el alcance de una estación que trabaje en la banda de 700 APT, esta estación fácilmente reemplazaría de 2-3 “nodos” AWS dentro de una zona rural, ya que su radio de propagación es de 5.1 km de distancia por lo que abarca Chongón y gran parte de Vía a la Costa.

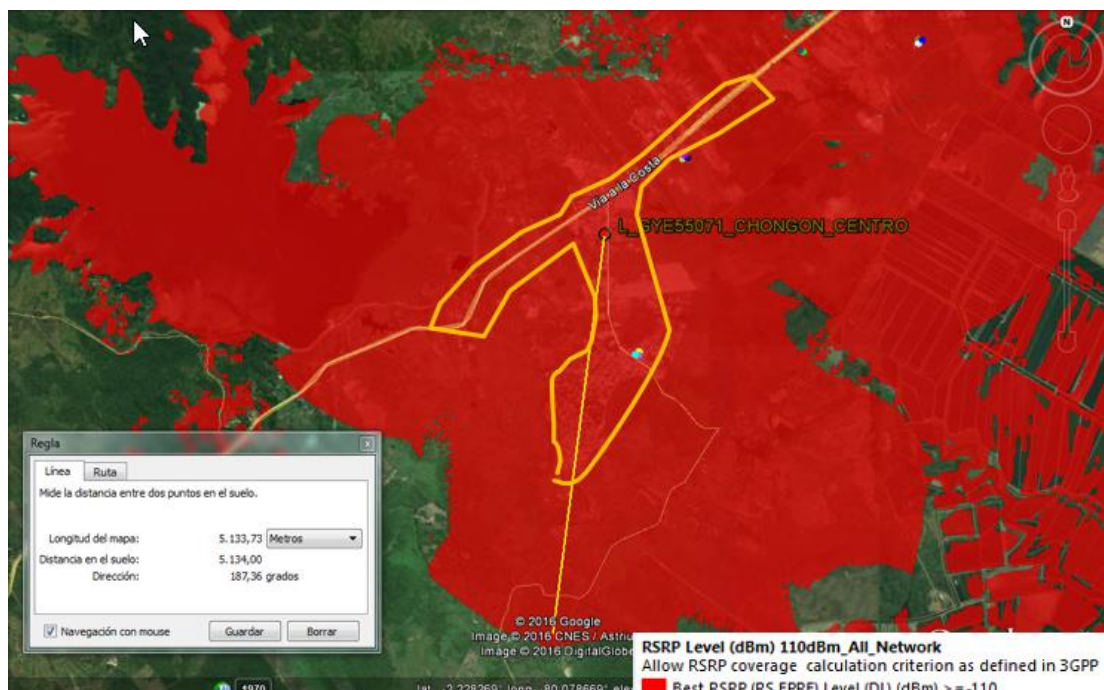


Figura 3. 18: Simulación cobertura 700 APT

Elaborado por: El autor

Después de entender cómo funcionan AWS y 700 APT por separado, se realizó una simulación en conjunto para poder ver las diferencias en la propagación.

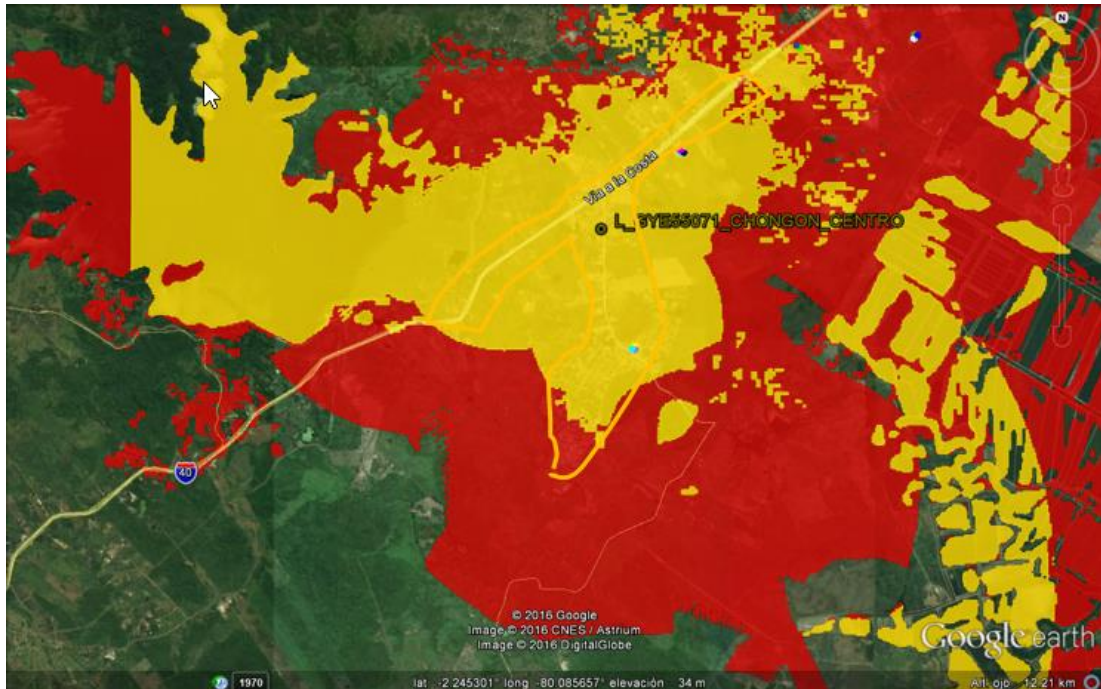


Figura 3. 19: Simulación cobertura 700 APT y AWS

Elaborado por: El autor

Se observa que AWS es inferior a 700 APT, pero lo ideal es que ambas trabajen en conjunto, mientras más cerca estemos de la estación mantendremos una conexión al “nodo” AWS ya que es el que tiene menor alcance; y a medida que nos distanciamos, el móvil automáticamente hará un Handover a 700 APT sin interrumpir la sesión de datos con el fin de garantizar la calidad del servicio a los usuarios y a su vez controlar el tráfico de datos que se maneja por cada estación.

3.5 Diseño y predicción de una red LTE en bandas de frecuencia AWS en sitio urbano.

El comportamiento de la propagación dentro de un sitio urbano es diferente a la propagación dentro de un sitio rural, principalmente por las edificaciones que habrá y por la cantidad de usuarios a los que se trata de abastecer.

Para realizar la simulación tomé en consideración al sitio urbano Sauces, que se encuentra ubicado en el norte de la ciudad de Guayaquil.

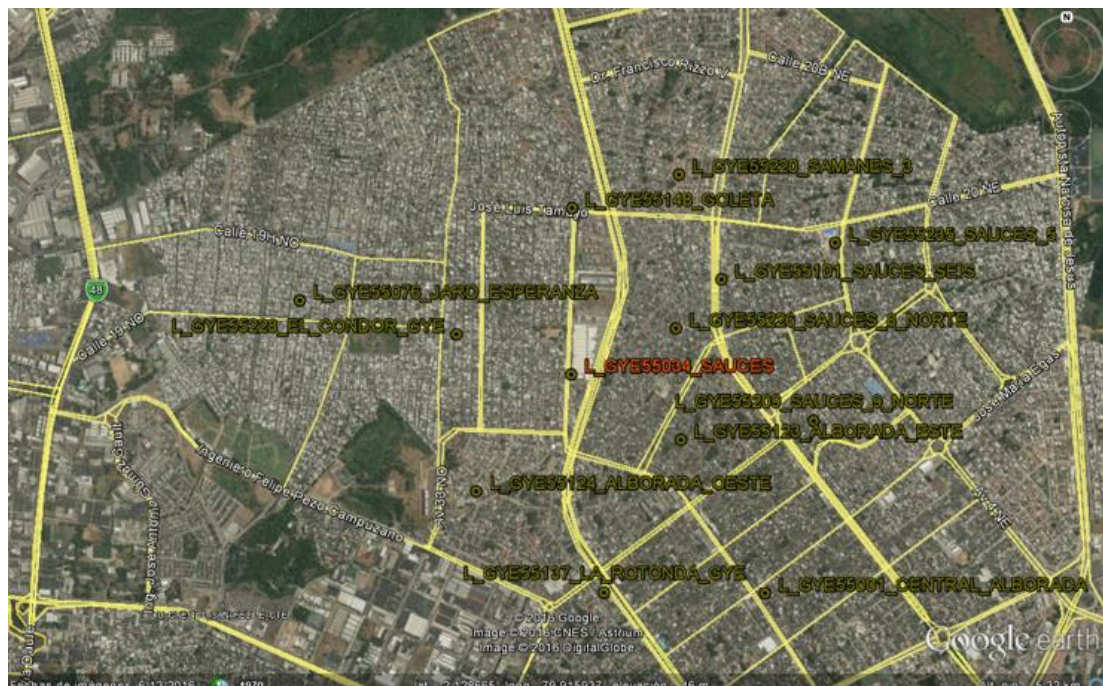


Figura 3. 20: Nodo Sauces

Elaborado por: El autor

Podemos observar que dentro de esa zona hay una gran cantidad de estaciones activas, esto es debido a que hay una gran demanda de usuarios y se necesita controlar el tráfico de datos.

Como se refleja en la figura 3.21, el alcance máximo de una estación AWS en esta zona es de 700 metros, esto es debido a las edificaciones que impiden la propagación

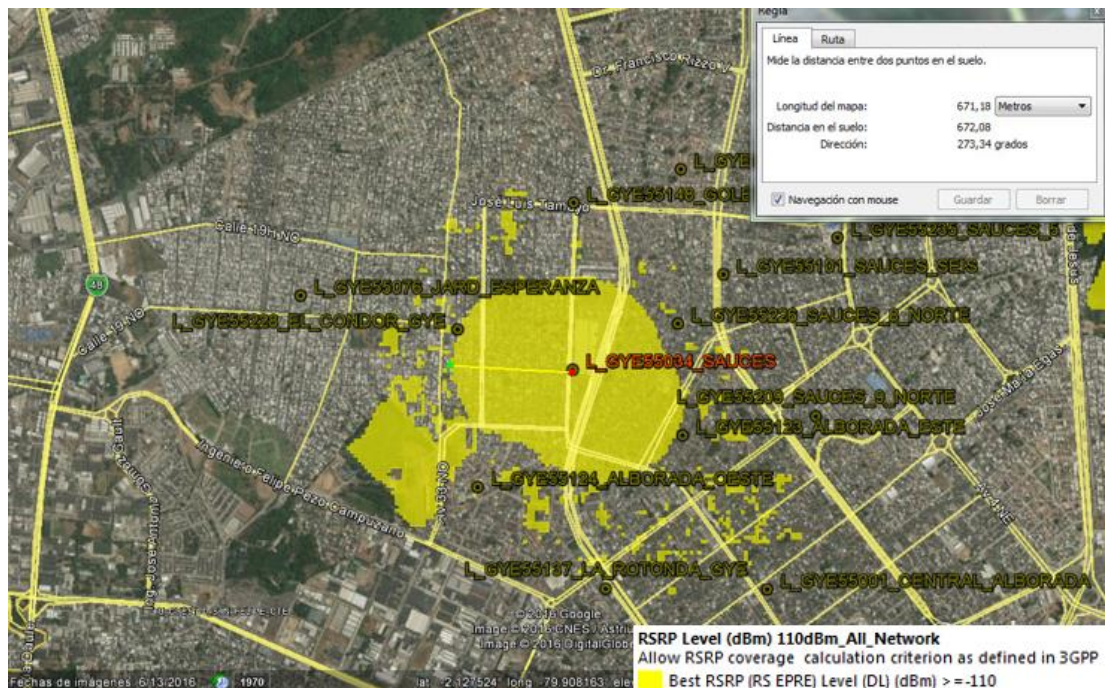


Figura 3. 21: Simulación sitio AWS

Elaborado por: El autor

Dentro del radio de cobertura estaremos con una conexión estable debido a que no superaremos los -110 dBm de RSRP, por lo que podremos hacer uso de los datos.

3.6 Diseño y predicción de una red LTE en bandas de frecuencia 700 APT en sitio urbano.

Uno de los objetivos principales de la utilización de estaciones en la banda de 700 MHz, es reducir el número de estaciones en un determinado sector

Previamente se demostró el alcance que tiene esta frecuencia en un sitio rural, otorgándonos una conexión estable a una distancia de 4.5 Km de la estación, en gran parte es debido a que no hay obstrucciones.

El alcance máximo dentro del sector urbano sería de 2.5 km, por lo que con el nodo Saucés de 700 APT, abarcaríamos las zonas aledañas como Samanes, Alborada y El Cóndor.

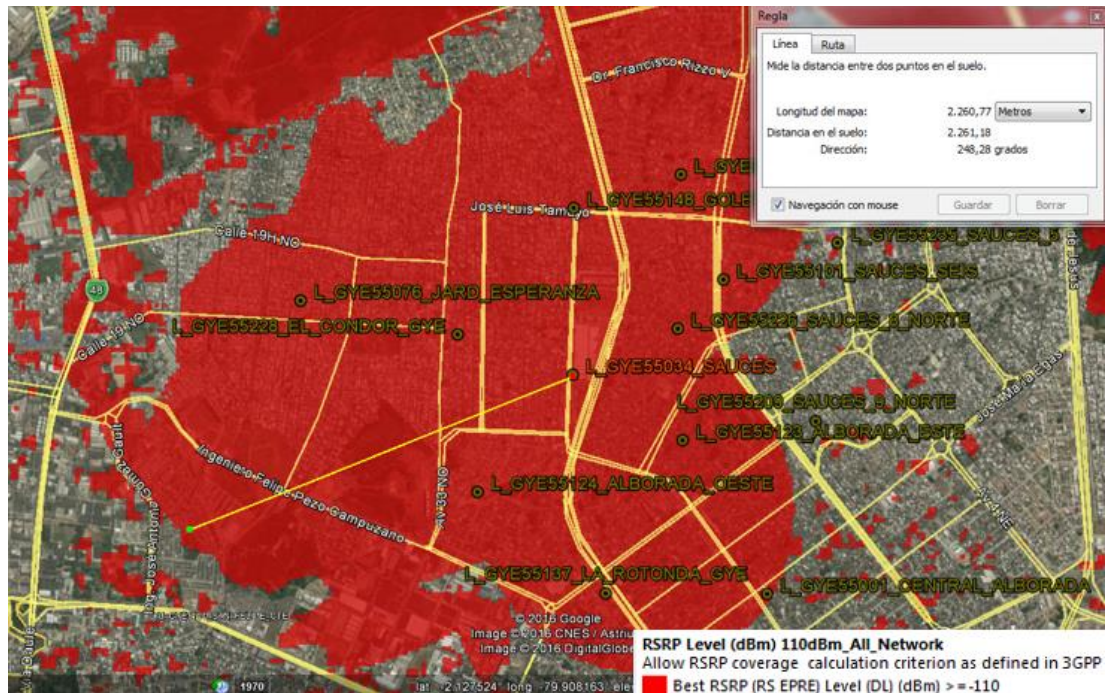


Figura 3. 22: Simulación sitio 700 APT

Elaborado por: El autor

Se refleja en la gráfica el gran alcance que tendría una estación de 700 APT, con una sola se podría cubrir aproximadamente 10 estaciones de AWS, lo que reduciría notablemente los costos para la operadora local.

3.7 Diseño y predicción de una red LTE en bandas de frecuencia AWS y 700 APT en sitio urbano.

El diseño de una red que use ambas frecuencias en un sitio urbano, es básicamente con el propósito de controlar el tráfico. Hay horas pico donde la demanda de usuarios es excesiva y los nodos de AWS se saturan, lo que provocaría una conexión lenta a internet además de restringir el acceso de nuevos usuarios. Cada antena soporta una cantidad de 300, esta capacidad

se puede aumentar mediante licencias que se ingresan de forma digital; mientras que APT ofrece hasta 3600 usuarios activos.

Con AWS y 700 APT se reduciría la congestión, ya que cuando el nodo AWS este saturado o haya algún usuario tratando de ingresar, AWS lo transferiría automáticamente con 700 APT para evitar la pérdida de la sesión de datos.

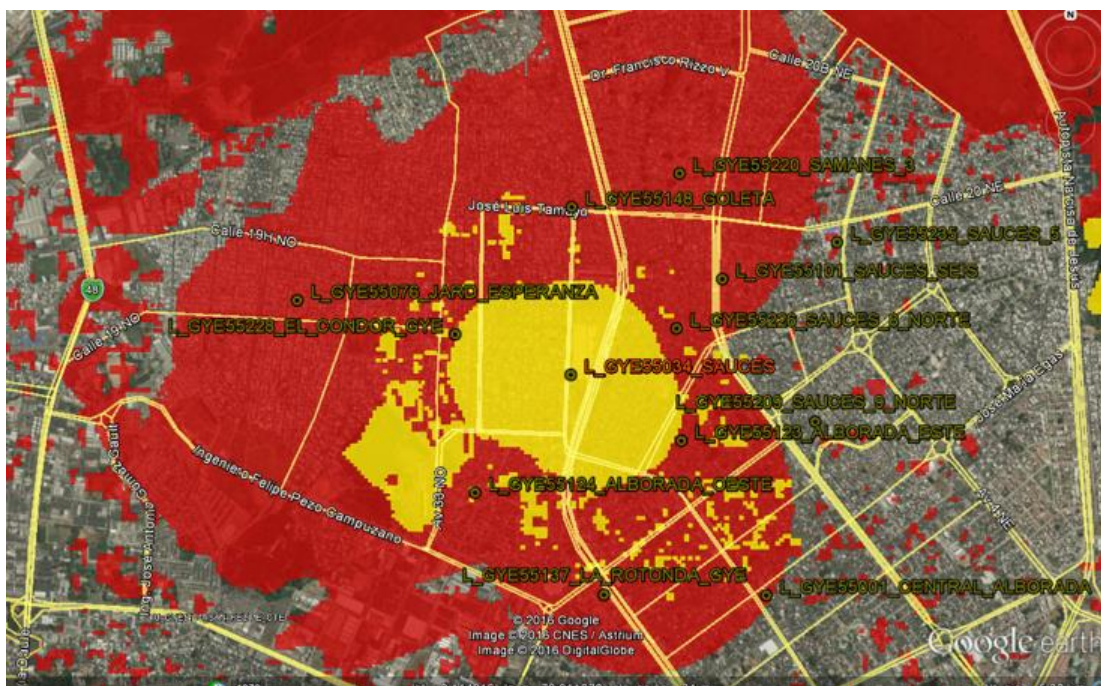


Figura 3. 23: Simulación sitio AWS y 700 APT

Elaborado por: El autor

Usando AWS y 700 APT en conjunto se mejoraría la experiencia de usuarios ya que no habrán sesiones de datos perdida por congestión y podremos mantener una conexión a LTE más estable, ya que 700 APT ofrecerá mayor alcance de cobertura y estará más enfocado a zonas outdoor; y AWS estará más enfocado en zonas indoor como edificios o domicilios.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- A través del presente proyecto en el que se desarrolla el Diseño de una red LTE usando espectro combinados AWS y 700 APT en un sitio rural “Chongon Centro” y un sitio urbano “Sauces”, en los cuales se demostró los rangos de cobertura que ofrece cada banda de frecuencia
- Mediante este proyecto podemos concluir que usando ambas frecuencias en conjunto se podrá reducir la saturación de los nodos y mantener una sesión de datos activa a unos 6km de distancia de la estación, ya que en la actualidad el sitio “Chongon Centro” no cuenta con la tecnología de LTE, solo con 3G y esto afecta a la calidad de servicio.
- Uno de los sitios que cuenta con las dos tecnologías, es el sitio urbano “Sauces”, el cual usando la banda de frecuencia AWS tiene un alcance de 671.18 metros de radio, mientras que 700 APT logra cubrir hasta 2.226 metros de radio, ofreciendo a esta distancia una velocidad de descarga de 90 Mbps y de carga de 35 Mbps. Usando ambas tecnologías el equipo de usuario hará un handover horizontal, es decir en la misma tecnología, pero en diferentes bandas de frecuencias, este proceso es totalmente imperceptible al usuario.

4.2. Recomendaciones.

- Usar la banda de frecuencia 700 APT en zonas rurales o en el perímetro de la ciudad ya que por lo general no son zonas con una densidad poblacional elevada y en estas zonas se propone mejorar el rango de cobertura.
- Usar la banda AWS dentro de la ciudad, especialmente en el centro o en zonas de concentración masiva, ya que se busca proporcionar cobertura indoor, es decir dentro de edificaciones u oficinas.
- Verificar que los SSV cumplan con los parámetros establecidos antes de la activación oficial del sitio.
- Usar AWS y 700 APT en conjunto en zonas de concentración masivas porque podríamos hacer la migración de una frecuencia a otra y así evitar la saturación de los nodos en las horas comerciales, ya que si sucede esto se dejaría sin servicio de internet a muchos usuarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

José Manuel Huidobro Moya. (1998). *Manual de Telefonía Fija y Móvil. España:*

Paraninfo

Panchón de Lacruz, Álvaro, *Evolución de los sistemas móviles celulares GSM,*

Universidad ICESI, Cali, 29 de octubre de 2004, p. 34

F.J. Palacio y C.R. Castro. (Junio 2012). *Evolución de la Tecnología Móvil en el*

Ecuador. Revista Técnica Institucional, Edición N° 16, 14-18.

Kioskea.net. (Junio, 2014). *Enciclopedia Redes Telefonía móvil Estándar GSM*

(Sistema global de comunicaciones móviles). Agosto, 2016, de Creative

Commons Sitio web: <http://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema->

global-de-comunicaciones-moviles

Agustí, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez, J., & Sallent, O. (2010).

LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles. Fundación Vodafone

España.

Guevara, A., & Vásques, V. (s.f.). *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica.*

Cuencua: 2003.

Inga, J. P., & Ortega, A. L. (2010). *Análisis técnico de los servicios adicionales de la*

tecnología LTE sobre sistemas móviles de cuarta generación. Cuenca.

Korhonen, J. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications.* Norwood: Mobile

Communication Series.

Kreher, R., & Gaenger, K. (2011). *LTE Signaling: Troubleshooting and*

Optimization. Chichester.

- Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant. (March, 1995). *An Introduction to GSM. Boston, USA: Artech House.*
- Korhonen Juha. (2003). *Introduction to 3G Mobile Communications. Boston, USA: Artech House.*
- H. Kaaranen , A. Ahtiainen , L. Laitinen y S. Naghian. (2005). *Introduction to the 3G Network. Chicheste, England: UMTS NETWORKS Architecture, Mobility and Services.*
- Ing. Edgar Velarde. (Abril 2013). , *Introducción a UMTS Universal Mobile Telecommunications System. Agosto, 2016, de Departamento de Ingeniería*
Sitio web:
http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/Telecomunicaciones/ing_com_inalam/modulo3/Introduccion%20a%20UMTS.pdf
- SOTO, K. (2009). *LTE, Evolución a Largo Plazo para el Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil. En TESIS (1er, 65-69) Valdivia-Chile: Facultad de Ciencias de la Ingeniería., Escuela de Ingeniería Civil Electrónica., Universidad Austral de Chile.*
- Paredes, D. C. (2014). *DISEÑO DE UNA RED 4G (LONG TERM EVOLUTION).*
 Ibarra.
- Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.*
- Harri Holma and Antti Toskala. (2009). *OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. LTE for UMTS, 30.*
- T., A. G., & Vásques, V. (s.f.). *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica. Cuencua: 2003.*

- Juho Lee,¹ Jin-Kyu Han,¹ and Jianzhong (Charlie) Zhang. (July, 2010). *MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009, 1-13.*
- Zaki, Y. (2012). *Future Mobile Communications: LTE Optimization. Bremen, Germany: Bremen: Editorial de la Universidad de Bremen.*
- Organización 4G Americas. (2012). *The 3GPP Wireless Evolution. Mobile Broadband Explosion, 100.*
- Mishra, A. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation. West Sussex, England: John Wiley & Sons.*
- ETSI. (2010). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 9.4.0 Release 9). ETSI TS 136 104 V9.4.0, 9, 16-19.*
- Nokia Siemens Networks. (2012, Diciembre) *Nokia Siemens Networks, SKY first with 4G in Latin America. [Online].*
<http://www.nokiasiemensnetworks.com/newsevents/press-room/press-releases/nokia-siemens-networks-sky-first-with-4g-in-latinamerica>
- Posts (Atom). (2012). *LTE Signaling: Troubleshooting and Optimization. 2016, de blogspot.blogspot Sitio web: <http://ltesignaling.blogspot.com/2011/10/packet-data-networkgateway-pdn-gw.html>*
- Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT) Ministerio de Ciencias. (2012). *Estrategia Nacional de Banda Ancha. Metas estratégicas, impacto económico y social. Ministerio de Ciencias, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT), Plan nacional 2012., Libro 3.*

CONATEL. (2012). *Asignación de Frecuencias LTE. Agosto, 2016, de Agencia de*

Control y Regulación de las Telecomunicaciones Sitio web:

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

ANEXO

Tabla 2.1: KPI's de Accesibilidad

Fuente: (Nunes, 2012)

<i>KPI de Accesibilidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Problemas Típicos</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medición</i>
EPS Attach Success Rate	Porcentaje entre el enganchamiento exitoso al sistema EPS y de todas los intentos realizados.	Problemas en el proceso de acceso aleatorio (cuando el UE se engancha a la red por primera vez y se realiza la búsqueda del mismo) o el establecimiento de una conexión RRC.	La terminal de usuario no consigue registrarse en la red y no puede utilizar cualquier servicio	Es preferible el uso de <i>drive test</i> que significa la medición de las redes móviles a través de un automóvil. Puede ser que del lado de la red móvil no estén registradas todas las tentativas de enganchamiento.
RRC Connection Establishment Success Ratio	Porcentaje entre las conexiones a la RRC exitosas y de todos los intentos realizados	Potencia de la señal bien baja, alta interferencia, problemas en el acceso aleatorio.	La terminal de usuario se mantiene en estado de reposo y sin acceso al servicio solicitado.	
Random Access Process Success Ratio	Porcentaje entre los accesos aleatorios bien realizados y todos los intentos realizados	Cobertura Insuficiente, nivel de elevada interferencia, problemas de movilidad.	Puede llevar a fallas en el restablecimiento de las conexiones al RRC. Fallas en el Handover.	
Default EPS Bearer Establishment Success Ratio	Porcentaje entre la asignación correcta de la portadora EPS por defecto y el número total de asignaciones en la misma portadora.	Problemas en el acceso aleatorio, Cobertura deficiente, elevada interferencia.	Como una portadora EPS no es atribuida el usuario no tiene dirección IP por lo que no se engancha a la red de datos.	
Dedicated EPS Bearer Establishment Success Ratio	Porcentaje entre la asignación correcta de las portadoras EPS dedicadas y el número total de asignaciones de todas esas portadoras.	Recursos Insuficientes, errores en los identificadores de red, servicios de las operadoras no pueden ser soportados.	El servicio correspondiente a la portadora dedicada no es atribuido al terminal de usuario, por lo que no existen garantías en el QoS.	

Tabla 2.2: KPI's de Retención

Fuente: (Nunes, 2012)

<i>KPI de Retención</i>	<i>Descripción</i>	<i>Problemas Típicos</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medición</i>
Number of Radio Link Failures	Contabiliza el número de veces en las cuales existe una falla en el enlace de radio dependiendo de los parámetros especificados.	Bajo Nivel de la Señal RSRQ (Calidad Recibida de la Señal Recibida), elevada interferencia, problemas en el acceso aleatorio	La terminal de usuario pasa al estado de reposo y el flujo de datos es interrumpido.	A través del drive test o por las estadísticas de la red.
EPS Cut-Off Ratio	Porcentaje entre el número de portadoras EPS desactivadas de manera no explícita y la totalidad de portadoras EPS asignadas.	Reactivación de la portadora, errores en la red.	Cuando una portadora dedicada es desactivada el terminal de usuario deja de tener servicio.	

Tabla 2.3: KPI's de Integridad

Fuente: (Nunes, 2012)

<i>KPI de Retención</i>	<i>Descripción</i>	<i>Problemas Típicos</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medición</i>
Cell-Specific Load	Es la relación entre el número de recurso alojados en la red y el número total de recursos.	Se debe una carga elevada en la célula por un gran número de usuarios que ocupan el servicio de datos de alta capacidad.	El control de admisión rechaza nuevas conexiones, disminuye la calidad existente y se cancelan las conexiones activas.	La carga de una célula se la obtiene mediante estadísticas de la red.
Throughput	Velocidad de datos real, ya sea en un determinado usuario o en toda la red.	Cuando el throughput es bajo se debe a múltiples causas como la calidad de la señal, la carga elevada de la red, las características del terminal, problemas de movilidad, restricciones de la red de distribución de datos que ofrece baja capacidad en la red.	A menor throughput, menor es la calidad de servicio ya que este KPI tiene gran importancia en el desempeño general de la red.	Las velocidades de datos del usuario se lo pueden obtener a través de drive test o por estadísticas de la red. Mientras que el tráfico de las células solo puede ser obtenido mediante las estadísticas.
Modulation and Coding Scheme	Las modulaciones y codificaciones utilizadas.	Si el MCS es de bajo orden se tendrá un bajo MCS en el receptor. Además de que existen problemas de movilidad	Una MCS baja tiene un impacto directo en el throughput. Esto produce bajas velocidades de datos.	A través del drive test o por las estadísticas de la red.

Tabla 2.4: KPI's de Disponibilidad

Fuente: (Nunes, 2012)

<i>KPI de Disponibilidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Problemas Típicos</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medición</i>
Cell Availability	Porcentaje de tiempo que una célula permite el acceso radio mínimo por un tiempo de medición definido,	Fallas de Energía, problemas en los equipos.	Imposibilidad de ofrecer servicio, caídas en la facturación de la red.	A través del drive test o por las estadísticas de la red.
Network Availability	Porcentaje de tiempo que un grupo de células permite el acceso radio mínimo por un tiempo de medición definido,			

Tabla 2.5: KPI's de Movilidad

Fuente: (Nunes, 2012)

<i>KPI de Movilidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Problemas Típicos</i>	<i>Efectos</i>	<i>Medición</i>
Number of Handovers	Contabiliza el número de handovers.	La cantidad de handovers depende del: área de las células, nivel de la señal, movilidad, parámetros del handover.	Pueden provocar retrasos en el envío de los paquetes de datos, además los handovers consumen recursos de señalización	Puede ser medido a través de drive test o mediante estadísticas de la red.
Ping-Pong Handover Ratio	El porcentaje de los handovers del tipo ping-pong, es decir, de aquellos handover que se cruzan entre si por un mismo terminal de usuario y del número total de handovers.	El número elevado de este tipo de handovers se debe a que el handover es demasiado rápido.	Se consumen recursos de señalización.	
Time in the Best Cell	Se define como el porcentaje de tiempo que el terminal de usuario entre una célula con la mejor señal.	Si el tiempo del handover resulta ser alto este tiempo se vuelve más bajo.	Cuando el tiempo es bajo se utilizan identificadores que no estén ligados a las estaciones base con un Path Loss muy alto, lo que provoca una alta interferencia en la red.	
Handover Delay	Contabiliza el tiempo que el terminal de usuario no está conectado a la red durante el proceso de handover.	El retraso depende típicamente de los problemas en el acceso aleatorio.	Cuanto mayor es la interrupción, mayor es la degradación en el QoS.	

Tabla 2.6: Frecuencias correspondientes a la banda LTE son: 1850 - 1915 MHz (uplink) 1930 - 1995 MHz (downlink)

Fuente: (Nunes, 2012)

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F_{UL_low}	F_{UL_high}	F_{DL_low}	F_{DL_high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6 ¹	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 MHz	FDD
12	699 MHz	716 MHz	729 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
15	Reserved		Reserved		FDD
16	Reserved		Reserved		FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
18	815 MHz	830 MHz	860 MHz	875 MHz	FDD
19	830 MHz	845 MHz	875 MHz	890 MHz	FDD
20	832 MHz	862 MHz	791 MHz	821 MHz	FDD
21	1447.9 MHz	1462.9 MHz	1495.9 MHz	1510.9 MHz	FDD
22	3410 MHz	3490 MHz	3510 MHz	3590 MHz	FDD
23	2000 MHz	2020 MHz	2180 MHz	2200 MHz	FDD
24	1626.5 MHz	1660.5 MHz	1525 MHz	1559 MHz	FDD
25	1850 MHz	1915 MHz	1930 MHz	1995 MHz	FDD
26	814 MHz	849 MHz	859 MHz	894 MHz	FDD
27	807 MHz	824 MHz	852 MHz	869 MHz	FDD
28	703 MHz	748 MHz	758 MHz	803 MHz	FDD
29	N/A		717 MHz	728 MHz	FDD ²
30					
31					
32					
33	1900 MHz	1920 MHz	1900 MHz	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	2025 MHz	2010 MHz	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	1910 MHz	1850 MHz	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	1990 MHz	1930 MHz	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	1930 MHz	1910 MHz	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	2620 MHz	2570 MHz	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	1920 MHz	1880 MHz	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	2400 MHz	2300 MHz	2400 MHz	TDD
41	2496 MHz	2690 MHz	2496 MHz	2690 MHz	TDD
42	3400 MHz	3600 MHz	3400 MHz	3600 MHz	TDD
43	3600 MHz	3800 MHz	3600 MHz	3800 MHz	TDD
44	703 MHz	803 MHz	703 MHz	803 MHz	TDD

NOTE 1: Band 6 is not applicable
NOTE 2: Restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured. The downlink operating band is paired with the uplink operating band (external) of the carrier aggregation configuration that is supporting the configured Pcell.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Saltos Salcedo, José Fabricio** con C.C: # 0919911057 autor del Trabajo de Titulación: **DISEÑO DE UNA RED LTE USANDO ESPECTROS COMBINADOS AWS Y 700 APT** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 12 de septiembre de 2016

Nombre: Saltos Salcedo, José Fabricio
C.C: 0919911057



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	DISEÑO DE UNA RED LTE USANDO ESPECTROS COMBINADOS AWS Y 700 APT		
AUTOR(ES)	Saltos Salcedo, José Fabricio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Bohórquez Heras, Daniel Bayardo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	12 de septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	86
ÁREAS TEMÁTICAS:	Cobertura LTE, Sistemas de procesamiento y predicción de coberturas y simulación de enlaces,		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	DOWNLINK, UPLINK, BANDA DE FRECUENCIA, NODOS, EQUIPO DE TRANSMISION, MIMO, LTE AWS, 700 APT.		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El proyecto surge como la opción para hacer que ambas bandas de frecuencia trabajen en conjunto y así mejorar la experiencia de usuario. En el primer capítulo: se hace una breve introducción a las telecomunicaciones y se habla de las tecnologías previas a LTE, como lo son GSM, WCDMA, HSDPA, HSUPA y HSPA.

El segundo capítulo: abarca el fundamento teórico y la evolución de las redes celulares. Se describe la segunda, la tercera y la cuarta generación celular; haciendo énfasis en esta última en las bandas de frecuencia AWS y 700 APT. En el capítulo 3: se presenta el diseño de una red LTE usando espectros combinados usando la herramienta 9955 Radio Network Planning para hacer las predicciones y simulaciones respectivas, mientras que con Google Earth se realizaban los polígonos de cobertura y se veía la zona que se logró abarcar. En este capítulo se realizaron simulaciones en un sitio rural y urbano para demostrar las diferencias de cobertura.

El capítulo 4: indica los escenarios que se deben tener en cuenta para hacer el diseño de una red LTE.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2131674 +593-9-96697378	E-mail: pepetos93@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando	
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-9-68366762	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	