



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN REDES Y  
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**TEMA: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA  
RED CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM  
EVOLUTION) PARA LA APLICACIÓN Y PRESTACIÓN DE  
NUEVOS SERVICIOS**

**AUTOR: REINOSO VARELA, JAIME FELIPE**

**DIRECTOR: ING. AGUILAR SALAZAR, DARWIN LEONIDAS**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN REDES Y**  
**COMUNICACIÓN DE DATOS**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA RED CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA LA APLICACIÓN Y PRESTACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS**" realizado por el señor **JAIME FELIPE REINOSO VARELA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **JAIME FELIPE REINOSO VARELA** para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 24 de Febrero del 2017**

Atentamente,



---

Msc. Ing. Darwin Aguilar  
Director



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN REDES Y**  
**COMUNICACIÓN DE DATOS**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **JAIME FELIPE REINOSO VARELA**, con cédula de identidad N° 1717660722, declaro que este trabajo de titulación "**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA RED CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA LA APLICACIÓN Y PRESTACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

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

Sangolquí, 24 de Febrero del 2017

JAIME FELIPE REINOSO VARELA

C.C. 1717660722



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN REDES Y  
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **JAIME FELIPE REINOSO VARELA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación "**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE UNA RED CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA LA APLICACIÓN Y PRESTACIÓN DE NUEVOS SERVICIOS**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 de Febrero del 2017

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above a horizontal dashed line.

JAIME FELIPE REINOSO VARELA

C.C. 1717660722

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mi madre por siempre brindarme su apoyo incondicional impulsándome a seguir adelante con mi graduación, a mis abuelitos Jaime, Mercedes y Efraín que me bendicen desde el cielo y mi abuelita Carmela que ha sido mi soporte en este camino. También dedico este trabajo a mis hermanos Javier y Alberto por su compañía en cada uno de los proyectos y metas cumplidas en mi vida.*

*Jaime Felipe Reinoso Varela*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia y amigos por su valioso apoyo y sobre todo por su insistencia en culminar este proyecto y así lograr cumplir esta meta.

Al Ing. Darwin Aguilar por brindarme la guía y orientación necesaria para desarrollar y culminar este trabajo.

A todos mis compañeros de trabajo y de vida por todos los momentos que he compartido durante estos años de permanente aprendizaje.

*Jaime Felipe Reinoso Varela*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación e Importancia .....	2
1.3 Alcance Del Proyecto .....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 General .....	4
1.4.2 Específicos.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
FUNDAMENTO TEÓRICO .....	5
2.1. Long Term Evolution (LTE).....	5
2.2. 3rd Generation Partnership Project (3GPP).....	5
2.2.1. Definición .....	5
2.2.2. Cronología de Estándares.....	7
2.2.2.1. Estándar Versión 8 (3GPP Release 8) .....	8
2.2.2.2. Estándar Versión 9 (3GPP Release 9) .....	12
2.2.2.3. Estándar Versión 10 (3GPP Release 10).....	12
2.2.2.4. Estándar Versión 11(3GPP Release 11) .....	13
2.2.2.5. Estándar Versión 12 (3GPP Release 12).....	13
2.3. Características generales de LTE .....	14
2.3.1. Tecnología MIMO.....	14
2.3.2. Funcionamiento de MIMO.....	18
2.4. Arquitectura de red LTE.....	18
2.4.1. Introducción.....	18
2.4.2. Arquitectura General.....	20
2.4.2.1. Núcleo de red ( <i>Core Network</i> ) - Evolved Packet Core (EPC).....	20
2.4.2.2. Red de acceso - E-UTRAN.....	21

2.4.3.	Arquitectura del protocolo .....	22
2.4.3.1.	Plano de Usuario .....	22
2.4.3.2.	Plano de Control.....	23
2.4.4.	Técnicas de Acceso .....	23
2.4.4.1.	Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access) .....	23
2.4.4.2.	Acceso Múltiple por División de Frecuencias con Única Portadora (SC- FDMA Single Carrier Frequency Multiple Access) .....	24
2.4.5.	Canales utilizados en LTE .....	24
2.4.5.1.	Canales físicos .....	24
2.4.5.1.1.	Canales físicos para descarga .....	24
2.4.5.1.2.	Canales físicos para carga.....	25
2.4.5.2.	Canales de transporte.....	25
2.4.5.2.1.	Los canales de transporte en descarga .....	25
2.4.5.2.2.	Los canales de transporte utilizados en carga.....	26
2.4.5.3.	Canales lógicos .....	26
2.4.5.3.1.	Canales de control .....	26
2.4.5.3.2.	Canales de tráfico .....	27
<b>CAPITULO 3.....</b>		<b>28</b>
<b>SERVICIOS EN UNA RED LTE .....</b>		<b>28</b>
3.1.	IP Multimedia Subsystem (IMS) .....	28
3.2.	Servicios de voz.....	29
3.2.1.	Voz HD .....	29
3.2.2.	Voice over Long Term Evolution (VoLTE).....	30
3.2.3.	Simultaneous Voice LTE (SV-LTE) .....	31
3.2.4.	Circuit-switched fallback (CSFB).....	32
3.3.	Servicios de Mensajería .....	32
3.3.1.	Servicio de mensajes cortos (SMS) .....	32
3.3.2.	Servicio de Mensajería Multimedia (MMS).....	33
3.4.	Nuevos Servicios sobre LTE .....	33
3.4.1.	Mensajería RCS ( <i>Rich Communication Services</i> ).....	33
3.4.2.	Push To Talk (PTT).....	33
3.4.3.	Push To View (PTV).....	34
3.5.	Servicios Ofertados En Ecuador.....	35
3.5.1.	Llamadas LTE Situación Actual.....	35
3.5.2.	Servicios de Datos .....	36
3.5.2.1.	Machine to Machine (M2M).....	36
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>38</b>

<b>PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE LTE</b> .....	<b>38</b>
4.1. Herramientas de mediciones LTE.....	38
4.1.1. Escáner Seegull Ex Flex.....	38
4.1.2. Antena RF.....	39
4.1.3. GPS.....	39
4.1.4. Modem Huawei E397.....	39
4.1.5. Celular Con capacidad LTE.....	40
4.1.6. USIM.....	40
4.1.7. International Mobile Subscriber Identity (IMSI).....	41
4.1.8. Software GENEX PROBE/ASSISTANT 3.14.....	41
4.1.9. Computadora.....	41
4.2. Toma de Mediciones.....	41
4.2.1. Drive Test.....	41
4.2.1.1. Análisis de fuerza de cobertura en descarga.....	42
4.2.1.1.1. Mediciones obtenidas por el escáner.....	43
4.2.1.1.2. Mediciones obtenidas por el UE.....	45
4.2.1.2. Análisis de Calidad de Cobertura en descarga (SINR).....	47
4.2.1.2.1. Mediciones obtenidas por el escáner.....	47
4.2.1.2.2. Mediciones obtenidas por el UE.....	49
4.2.1.3. RLC Throughput Downlink.....	51
4.2.1.4. RLC Throughput Uplink.....	53
4.2.1.5. IntraFreq (LTE-LTE) Handover Success Rate.....	55
4.2.1.6. InterRat (LTE-UMTS) Handover Success Rate.....	57
4.2.1.7. LTE Circuit Switched (CS) Fallback (FB).....	58
4.2.1.7.1. LTE CSFB Service Request.....	59
4.2.2. Pruebas Estáticas.....	61
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>69</b>
<b>ANÁLISIS TÉCNICO LEGAL</b> .....	<b>69</b>
5.1. Requerimientos.....	69
5.1.1. Espectro radioeléctrico.....	69
5.1.2. Concesiones.....	69
5.1.3. Roaming.....	70
5.2. Análisis de Cumplimiento Legal.....	70
5.3. Análisis de Prestación de Nuevos Servicios.....	71
5.4. Análisis de resultados.....	72
5.4.1. Descripción De Los Principales KPIs.....	72
5.4.2. Análisis de cobertura - RSRP.....	74
5.4.3. Análisis de calidad - SINR.....	75
5.4.4. RLC Throughput Downlink.....	77

		X
5.4.5.	RLC Throughput Uplink.....	77
5.4.6.	Eventos.....	78
5.4.6.1.	Eventos de acceso y retenibilidad .....	78
5.4.6.2.	Eventos de Handover .....	79
5.4.6.3.	Eventos CSFB.....	79
<b>CAPÍTULO 6.....</b>		<b>80</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>80</b>
6.1.	Conclusiones .....	80
6.2.	Recomendaciones .....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>82</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> CRONOLOGÍA DE LOS ESTÁNDARES DE COMUNICACIONES MÓVILES TERRESTRES.....	7
<b>TABLA 2</b> ESPECIFICACIONES RELEASE 8.....	11
<b>TABLA 3</b> DESCRIPCIÓN DE THROUGHPUT DE CARGA DE UE.....	54
<b>TABLA 4</b> DESCRIPCIÓN DE EVENTOS DE HANDOVER DEL UE LTE-LTE.....	56
<b>TABLA 5</b> DESCRIPCIÓN DE EVENTOS CSFB DE UE.....	58
<b>TABLA 6</b> DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS DE FALLA.....	60
<b>TABLA 7</b> DETALLE DE PUNTOS ESTÁTICOS.....	61
<b>TABLA 8</b> RESUMEN DE PRUEBAS ESTÁTICAS.....	64
<b>TABLA 9</b> RESUMEN DE PRUEBAS ESTÁTICAS.....	66
<b>TABLA 10</b> RESUMEN DE PRUEBAS ESTÁTICAS.....	68
<b>TABLA 11</b> DESCRIPCIÓN DE PRINCIPALES KPIS.....	73
<b>TABLA 12</b> EVENTOS UE RRC.....	79
<b>TABLA 13</b> EVENTOS UE ERAB.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> MIMO 4x2. ....	15
<b>FIGURA 2:</b> ARQUITECTURA DEL NÚCLEO DE RED.....	20
<b>FIGURA 3:</b> RED DE ACCESO.....	21
<b>FIGURA 4:</b> TÉCNICAS DE ACCESO.....	23
<b>FIGURA 5:</b> COMPARACIÓN DE REDES IMS.....	29
<b>FIGURA 6:</b> CÓDEC EVS.....	30
<b>FIGURA 7:</b> ESCÁNER.....	38
<b>FIGURA 8:</b> ANTENA RF.....	39
<b>FIGURA 9:</b> GPS.....	39
<b>FIGURA 10:</b> TARJETA USIM.....	40
<b>FIGURA 11:</b> PLOTS OBTENIDOS EN EL DRIVE TEST POR ESCÁNER.....	43
<b>FIGURA 12:</b> MUESTRAS PORCENTUALES DE RSRP DEL ESCÁNER.....	44
<b>FIGURA 13:</b> NIVELES DE RSRP TOMADOS POR EL UE.....	45
<b>FIGURA 14:</b> MUESTRAS PORCENTUALES RSRP TOMADAS POR EL UE.....	46
<b>FIGURA 15:</b> NIVELES DE SINR TOMADOS POR EL ESCÁNER.....	47
<b>FIGURA 16:</b> MUESTRAS PORCENTUALES SINR TOMADAS POR EL ESCÁNER.....	48
<b>FIGURA 17:</b> NIVELES DE SINR TOMADOS POR EL UE.....	49
<b>FIGURA 18:</b> MUESTRAS PORCENTUALES SINR TOMADAS POR EL UE.....	50
<b>FIGURA 19:</b> PLOTS DE DESCARGA DEL MODEM.....	51
<b>FIGURA 20:</b> PLOTS OBTENIDOS DEL DRIVE TEST.....	53
<b>FIGURA 21:</b> HANDOVERS DEL UE.....	55
<b>FIGURA 22:</b> HANDOVER DEL UE.....	57
<b>FIGURA 23:</b> LTE CSFB EVENTOS DE FALLA.....	59
<b>FIGURA 24:</b> UBICACIONES DE LOS PUNTOS ESTÁTICOS.....	62
<b>FIGURA 25:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC DOWNLINK.....	62
<b>FIGURA 26:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC UPLINK.....	63
<b>FIGURA 27:</b> PRUEBA PING.....	63
<b>FIGURA 28:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC DOWNLINK.....	64
<b>FIGURA 29:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC UPLINK.....	65
<b>FIGURA 30:</b> PRUEBA PING.....	65
<b>FIGURA 31:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC UPLINK.....	66
<b>FIGURA 32:</b> PRUEBA THROUGHPUT RLC UPLINK.....	67
<b>FIGURA 33:</b> PRUEBA PING.....	67
<b>FIGURA 34:</b> ZONA CON BAJA COBERTURA.....	74
<b>FIGURA 35:</b> ZONAS CON NIVELES BAJOS DE COBERTURA.....	75
<b>FIGURA 36:</b> ZONAS CON DEGRADACIÓN DE RENDIMIENTO.....	76
<b>FIGURA 37:</b> ZONAS CON NIVELES BAJOS DE THROUGHPUT.....	77
<b>FIGURA 38:</b> ZONAS CON NIVELES BAJOS DE THROUGHPUT.....	78

<b>FIGURA 39: EVENTOS UE RRC</b> .....	79
<b>FIGURA 39: EVENTOS UE ERAB</b> .....	79

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el análisis y evaluación de una red celular LTE (Long Term Evolution), investigando el funcionamiento y las características principales de esta tecnología, además se investiga los diferentes estándares desarrollados por 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Se analizan las mediciones obtenidas durante pruebas de desempeño de drive test realizadas en el *cluster* 5 sector norte del Distrito Metropolitano de Quito, en las cuales se verifica valores de cobertura, calidad, accesibilidad, retenibilidad y rendimiento de datos. Para ello se utilizan y configuran distintos recursos en software para toma de mediciones y procesamiento de datos así como también recursos en hardware que incluyen equipos de usuario como teléfonos con capacidad LTE y modem de datos LTE. Se investigan los servicios que actualmente las operadoras ofertan en el mercado, analizando su posible implementación y oferta en nuestro país como lo son Voz sobre LTE, RCS, Push to Talk, Push to View.

### Palabras clave:

- RED CELULAR
- TELECOMUNICACIONES
- RENDIMIENTO
- COBERTURA
- DATOS MÓVILES
- SERVICIOS

## **ABSTRACT**

This project analyze and evaluates a cellular network LTE (Long Term Evolution), investigating the operation and the main characteristics of this technology, in addition investigates the different standards developed by 3GPP (3rd Generation Partnership Project). We analyze the measurements obtained during the tests of performance of drive test carried out in the cluster 5 northern sector of the Metropolitan District of Quito, in which values of coverage, quality, accessibility, retention and data performance are verified. To this end, different resources are used and configured in software for measurement and data processing as well as hardware resources that include user equipment such as LTE capable phones and LTE data modem. We investigate the services currently offered by the operators in the market, analyzing their possible implementation and offer in our country such as Voice over LTE, RCS, Push to Talk, Push to View.

### **Keywords:**

- **CELLULAR NETWORK**
- **TELECOMMUNICATIONS**
- **PERFORMANCE**
- **COVERAGE**
- **MOBILE DATA**
- **SERVICES**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

En la actualidad las redes móviles son una parte importante en el mercado de las telecomunicaciones, por lo que su evolución ha permitido cambios significativos en la industria. La creciente demanda de aumento de ancho de banda, reducción de latencia, y mejora de movilidad, son los motivos para dar un salto hacia redes *Long Term Evolution (LTE)*.

El *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* es un grupo que se encarga del desarrollo de estándares para sistemas de comunicaciones móviles. Los estándares del proyecto 3GPP se estructuran como versiones. A partir del estándar versión 99 se da la aparición de la Tercera Generación Sistema universal de telecomunicaciones móviles (Universal Mobile Telecommunications System o UMTS) junto con el acceso múltiple por división de código (CDMA/WCDMA), con el estándar versión 7 donde se da desarrollo a la red *Evolved High Speed Packet Access (HSPA+)* se propone la mejora de calidad de servicio y uso de aplicaciones en tiempo real. Posteriormente en la versión 8 aparece LTE, el cual adoptó acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA). LTE pretende mejorar la experiencia del usuario con el soporte de diferentes tipos de servicios como: navegación web, FTP (*File Transfer Protocol*), video streaming, voz sobre IP, juegos en línea, videos en tiempo real, además de coexistir fácilmente con tecnología anteriores como 3G.

En el Ecuador la primera operadora móvil en lanzar al mercado la tecnología LTE fue la operadora CNT a partir de finales del año 2013. Las operadoras Movistar y Claro hacen el lanzamiento de esta tecnología a mediados del año 2015.

## **1.2 Justificación e Importancia**

En el ámbito de la telefonía celular se hace evaluación de cada servicio de manera continua. En Ecuador, CNT conjuntamente con la empresa Huawei hacen evaluaciones constantes de los sectores donde se implementa un nuevo nodo y también donde se registran inconvenientes por parte de usuarios, donde se procede a realizar mediciones de cobertura y disponibilidad de los problemas presentados.

El proyecto propone determinar el desempeño de la red LTE de CNT se maneje y contraste con los estándares de 3GPP, haciendo una comparación de cada prueba realizada. Se debe justificar que parámetros se degradan y como afectan al rendimiento de la red LTE cuando existe variables como número de usuarios, servicios en sitios cerrados, servicios en sitios abiertos, interferencia externa, y evaluación del servicio en usuarios móviles.

Con la creciente demanda de recursos de las redes móviles es necesario dar a conocer que servicios adicionales a los ofertados se pueden implementar, además de las especificaciones técnicas que estos nuevos servicios requieren. En base de estas mediciones se propondrá recomendaciones de configuración o infraestructura de forma que permita garantizar niveles aceptables de servicio hacia los usuarios de la red LTE.

### 1.3 Alcance Del Proyecto

Se documentará los componentes de la arquitectura LTE Release 8 y 9, tanto en lo que se refiere a la red de acceso E-UTRAN (Evolved Terrestrial Radio Access Network) y al núcleo de red EPC (Evolved Packet Core). Se analizará los servicios que una red LTE puede ofrecer, verificando el desempeño de los servicios ofertados actualmente por la operadora CNT contrastando al estándar versión 8 y 9 de 3GPP. Este estudio se propone realizar para el clúster 5 sector norte de Distrito Metropolitano de Quito.

Se llevarán a cabo pruebas de descarga de datos con tarjetas sim LTE de prueba limitadas y no limitadas. Se harán mediciones de cobertura y tasas de transmisión alcanzadas, verificando valores de *Reference Signal Received Power (RSRP)*, *Signal to interference plus Noise Ratio (SINR)*, *Throughput*. Estas mediciones serán comparadas con las recomendaciones de los estándares de 3GPP, a fin de analizar los niveles de servicio que actualmente oferta CNT.

Se estudiará los servicios que no se ofertan pero que LTE si soporta de acuerdo a los estándares como lo es Voz sobre LTE (VoLTE), Push to Talk (PTT), Push to View (PTV) así como realizar un estudio técnico-legal que permita al proveedor cumplir la normativa vigente para su posible la implementación en el Ecuador.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

Realizar el análisis y evaluación de los servicios de una red LTE mediante pruebas de cobertura en el sector norte del Distrito Metropolitano de Quito contrastando los resultados obtenidos con estándares y características de LTE para presentar recomendaciones de optimización y mejoras de desempeño además de especificar los requerimientos técnico-legales necesarios para la implementación de nuevos servicios sobre la red LTE que actualmente no se ofertan en el país.

### **1.4.2 Específicos**

- Investigar el funcionamiento de Long Term Evolution.
- Recopilar información sobre los equipos de medición.
- Evaluar los servicios de redes móviles de Cuarta generación LTE.
- Describir las limitaciones actuales de redes móviles LTE.
- Comparativa entre mediciones efectuadas con los estándares y recomendaciones de 3GPP.
- Realizar un análisis técnico legal para la prestación de nuevos servicios sobre la red LTE.
- Realizar mediciones para analizar diversos parámetros de transmisión (cobertura, tasas, ancho de banda, portadora, entre otros) alcanzados durante pruebas de funcionamiento.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. Long Term Evolution (LTE)

LTE o E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), fue introducida en el *release* 8 de 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Los principales requerimientos para esta nueva red de acceso son alta eficiencia espectral, altos rangos de datos, flexibilidad en frecuencia y ancho de banda. Necesidad de asegurar la continuidad de la competitividad de 3G en el futuro. El propósito de la existencia de LTE es:

- Demanda de usuario de altos rangos de datos y calidad de servicio.
- Sistema de Conmutación de Paquetes optimizado.
- Demanda continua de reducción de costos.
- Baja complejidad.

El *release* 8 de 3GPP está en un estado *frozen* desde diciembre de 2008 determinando aspectos básicos de equipamiento LTE. Las especificaciones de LTE son estables, con el beneficio adicional de mejoras en los posteriores *releases* 3GPP. (LTE, 2016)

#### 2.2. 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

##### 2.2.1. Definición

El 3GPP unifica siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC), proporcionando a sus miembros un medio ambiente estable para producir reportes y especificaciones que definen tecnologías 3GPP. (ATIS, 2016)

El proyecto cubre tecnologías de redes de telecomunicaciones, incluyendo radio acceso, el núcleo de la red de transporte, y capacidades del servicio – incluyendo trabajo en codecs, seguridad, calidad de servicio – y aquellos que indican especificaciones de un sistema.

Las especificaciones también detallan enlaces que no son de radio acceso a la red de core y para el inter-funcionamiento con otras redes como Wi-Fi.

Las especificaciones y estudios de 3GPP son contribuidos por compañías miembros, en grupos de trabajo y al nivel de grupos técnicos de especificación.

Los cuatro grupos técnicos de 3GPP son:

- Redes de Radio Acceso (RAN- en inglés)
- Aspectos de Servicios y Sistemas (SA)
- Red de Core y Terminales (CT)
- Redes de radio acceso GSM EDGE (GERAN)

Los grupos técnicos, se reúnen trimestralmente, donde su trabajo es presentado para información, discusión y aprobación.

Cada grupo tiene un área particular de responsabilidad para los reportes y especificaciones dentro de sus propios términos de referencia.

La última reunión del ciclo de reunión es la del *System Aspects Technical Specification Group* (TSG SA), la cual también tiene la responsabilidad para coordinar el trabajo y monitorear el progreso.

Los estándares se nombran por un número, hasta el año 2000 se nombraban de acuerdo al año de lanzamiento. Una vez que el estándar se considera completo, pasa al estado de congelado (*frozen*), lo cual significa que no se añaden nuevas funcionalidades, pero si existen errores estos pueden corregirse. Cuando un release se declara cerrado (*closed*) ya no es mantenido por el *Mobile Competence Center* (MCC) (ATIS, 2016).

## 2.2.2. Cronología de Estándares

Gracias a la actividad de empresas que contribuyen en 3GPP, las especificaciones para la primera versión de LTE (*Release 8*) tenían avances en diciembre de 2007 para ser presentado a la Unión Internacional de Telecomunicaciones Radiocomunicaciones (UIT-R) como parte de la familia de tecnologías de radio acceso de la *International Mobile Telecommunications* (IMT) y ser desplegado en el espectro de IMT, permitiendo los primeros despliegues comerciales a finales de 2009, en el norte de Europa.

El siguiente *release* LTE es el *release 9* que incrementa idoneidad y desarrollos para diferentes mercados, siendo Norte America un mercado con requerimientos específicos regulatorios. LTE *release 9* proporciona soporte de *Public Warning System* (PWS) y algunos métodos de posicionamiento.

El *release 10* es el paso hacia LTE-Advanced que contiene especificaciones tales como Agregación de Portadoras (*Carrier Aggregation*), Multi-punto Coordinado (CoMP), Redes Auto-optimizadas (SON), coordinación Optimizada de Interferencia inter-celda (eICIC) y mejoras en tecnología de antenas Múltiple Entrada Múltiple Salida (MIMO) que proponen mejorar la capacidad y rendimiento de la red. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011)

**Tabla 1**

*Cronología de los estándares de comunicaciones móviles terrestres.*

Release 7	Release 8	Release 9	Release 10	Release 11	Release 12
<ul style="list-style-type: none"> <li>•HSPA+</li> <li>•MIMO</li> <li>•DL: 64 QAM</li> <li>•UL: 16 QAM</li> <li>•Estudio de factibilidad LTE y SAE</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Interfaz OFDMA LTE</li> <li>•SAE IP core</li> <li>•Femtoceldas UMTS</li> <li>•HSDPA Dual Carrier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•LCS</li> <li>•eMBMS</li> <li>•Llamadas de emergencia</li> <li>•Home eNB</li> <li>•Banda de 800Mhz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•LTE Advanced</li> <li>•<i>Four Carrier HSDPA</i></li> <li>•DL: 168 Mbps</li> <li>•UL: 23 Mbps</li> <li>•20+10 MHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•CoMP</li> <li>•eDL MIMO</li> <li>•eCA</li> <li>•MIMO OTA</li> <li>•HSUPA TxD &amp; 64QAMIMO</li> <li>•HSDPA 8C &amp; 4x4 MIMO</li> <li>•MB MSR</li> <li>•DL: 336 Mbps</li> <li>•UL: 69 Mbps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Celdas pequeñas Mejoradas</li> <li>•<i>Carrier Aggregation</i></li> <li>•MIMO Evolucionado</li> <li>•Nuevos Servicios</li> </ul>

Fuente: (Releases 3GPP, 2016)

### 2.2.2.1. Estándar Versión 8 (3GPP Release 8)

La versión 8 introduce las especificaciones de LTE y de la *System Architecture Evolution* (SAE), una interfaz de radio y red core nueva, incrementando sustancialmente el rendimiento de datos comparado a tecnologías anteriores (LTE, 2016).

- Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) para descarga de datos.
- Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora simple (SC-FDMA) para carga.
- Antenas Multiple entrada Multiple salida (MIMO).
- Red de Core *all IP*, System Architecture Evolution (SAE).

#### Tasa de descarga de datos

- Tasa instantánea pico de descarga de datos de 100 Mb/s con una asignación de 20 MHz de espectro de descarga (5 bps/Hz) (LTE, 2016).
- Tasa de datos máxima de carga de 50 Mb/s (2.5 bps/Hz) dentro de una asignación de espectro de 20 MHz de carga (LTE, 2016).

#### Latencia del plano de control

- Tiempo de transición menor a 100 ms de un estado de campo, *Idle Mode* (Terminal esta encendido pero no en uso), a un estado activo CELL\_DCH (Terminal en modo conectado) (LTE, 2016).
- Tiempo de transición menor a 50 ms entre un estado latente como CELL\_PCH (Localización del móvil) y un estado activo CELL\_DCH (LTE, 2016).

### **Capacidad del plano de control**

- Debe soportar al menos 200 usuarios por celda en un estado activo para asignaciones de espectro de 5 MHz (LTE, 2016).

### **Latencia en el plano de usuario**

- Menor a 30 ms, menos de 5 ms en condiciones sin carga (un solo usuario) para paquetes IP pequeños (LTE, 2016).

### **Movilidad**

- E-UTRAN debe ser optimizado para velocidad móvil entre 0 y 15 km/h.
- Velocidad móvil superior entre 15 y 120 km/h debe ser apoyada con alto rendimiento (LTE, 2016).
- Movilidad a través de la red celular se mantendrá a una velocidad de 120 km/h a 350 km/h (o incluso hasta 500 km/h dependiendo la banda de frecuencia) (LTE, 2016).

### **Cobertura**

- Objetivos de *throughput*, eficiencia de espectro y de movilidad debe cumplirse en celdas a 5 km, y con una leve degradación para celdas a 30km. Celdas a un rango mayor a 100 km, no se excluyen (LTE, 2016).

### **Mejora en *Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS)*.**

- Mientras se reduce la complejidad del terminal: misma modulación, codificación, múltiples técnicas de acceso y ancho de banda de UE (equipo usuario) para la operación de unicast (LTE, 2016).
- Provisión al usuario de servicios de voz dedicada y de MBMS simultáneos.

### **Flexibilidad del espectro**

- E-UTRA operará en asignaciones de espectro de diferentes tamaños, incluyendo 1,25 MHz, 1,6 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz tanto para carga como descarga (LTE, 2016).
- El sistema deberá ser capaz de soportar la entrega de contenido a través de una agregación de recursos, incluyendo los recursos de radio banda (así como la energía, programación adaptativa, etc.) en las mismas y bandas diferentes, tanto para carga como descarga y en arreglos de canales adyacentes y no adyacentes (LTE, 2016).

### **Coexistencia y trabajo en conjunto con la Tecnología de Radio Acceso (RAT) de 3GPP**

- Coexistencia en la misma zona geográfica y ubicación con GERAN/UTRAN en canales adyacentes (LTE, 2016).
- Terminales de E-UTRAN que soporten también el funcionamiento UTRAN y/o GERAN deben ser capaces de soportar las mediciones de, y handover desde y hacia, tanto 3GPP UTRAN y GERAN 3GPP (LTE, 2016).
- El tiempo de interrupción durante un *handover* de servicios en tiempo real entre E-UTRAN y UTRAN debe ser inferior a 300 ms (LTE, 2016).

### **Arquitectura y migración**

- Arquitectura simple E-UTRAN, basada en paquetes, también debe prever apoyar sistemas que soporten tiempo real y tráfico de clase conversacional.
- Arquitectura de E-UTRAN deberá minimizar la presencia de "puntos únicos de fallo"
- Arquitectura de E-UTRAN soporta calidad de servicio de extremo a extremo
- Protocolos de comunicación de backhaul deben ser optimizados.

### Requisitos de gestión de recursos de radio

- Soporte mejorado para calidad de servicio extremo a extremo (end to end QoS) (LTE, 2016).
- Apoyo eficiente para transmisión de capas superiores (LTE, 2016).
- Soporte de carga compartida y política de gestión a través de diferentes tecnologías de radio acceso (LTE, 2016).

### Complejidad

- Reducir al mínimo el número de opciones (LTE, 2016).
- No características redundantes obligatorias (LTE, 2016).

**Tabla 2**

*Especificaciones release 8.*

Categoría Equipo de Usuario (UE)		1	2	3	4	5
Velocidad (Mbps)	Descarga	10	50	100	150	300
	Carga	5	25	50	50	75
Ancho de banda RF		20 MHz				
Modulación	Descarga	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	Carga	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM	
2x2 MIMO		No soportado	Obligatorio			
4x4 MIMO		No soportado			Obligatorio	

Fuente: (Comunicaciones Móviles, Sistemas GSM, UMTS y LTE, 2011)

### 2.2.2.2. Estándar Versión 9 (3GPP Release 9)

La Versión 9 trajo una serie de mejoras a las características introducidas a la versión 8, junto con los nuevos avances para la arquitectura de red y nuevas características de servicio. Estos incluyen:

- PWS (Public Warning System): Sistema público de alertas en casos de desastres naturales u otras situaciones críticas.
- Femto Celdas: Introducción de femtoceldas LTE en la forma Home eNodeB (HeNB) para mejorar la cobertura interna en edificios y hogares.
- Redes Auto Organizadas (SON): Redes que se optimicen y reparen de forma automatizada para reducir coste de soporte técnico. Enfocada a autoconfiguración de eNodeBs como la optimización del canal de acceso aleatorio
- Servicio mejorado de broadcast y multicast (eMBMS): Prestación eficiente de los mismos contenidos multimedia a múltiples destinos.
- Servicios de localización (LCS): Determinación de la ubicación de un dispositivo móvil.
- MIMO *Beamforming*: Para incrementar el rendimiento de las celdas de borde de acuerdo a la posición estimada del UE respecto al eNodeB.

### 2.2.2.3. Estándar Versión 10 (3GPP Release 10)

La versión 10 proporciona una mejora sustancial de la capacidad y rendimiento del sistema de LTE y también tomaron medidas para mejorar el rendimiento del sistema para dispositivos móviles situados a cierta distancia de una estación de base. Las características incluyen:

- Descarga de 3Gbit/s y 1.5Gbit/s de Carga
- Adición de portadoras (carrier aggregation (CA)), se permite combinar más de cinco portadoras para permitir anchos de banda de hasta 100MHz.
- Arreglos MIMO de antenas de 8x8 para descarga y 4x4 para carga.

- Nodos de transmisión (*relay nodes*) que soporten redes heterogéneas (*Heterogeneous Networks ("HetNets")*) que tengan una amplia variedad de tamaños de celda.
- Mejoras en la coordinación de interferencia de celdas (eICIC) para mejorar el rendimiento hacia celdas de borde.

#### **2.2.2.4. Estándar Versión 11(3GPP Release 11)**

El Release 11 introduce una cantidad de ajustes a las capacidades existentes en el Release 10 incluyendo:

- Mejoras en Agregación de Portadoras, MIMO, relay nodes y tecnología de coordinación de celdas (eICIC).
- Introducción de nuevas bandas de frecuencia
- Transmisión y recepción multipunto coordinada para permitir comunicaciones simultaneas entre múltiples.
- Receptores avanzados.

#### **2.2.2.5. Estándar Versión 12 (3GPP Release 12)**

Características potenciales para la versión 12 se discutieron en un taller 3GPP en Eslovenia en junio de 2012. Un requerimiento fuerte era la necesidad de apoyar el rápido aumento en el uso de datos móviles, pero otros artículos incluyen el apoyo eficiente de diversas aplicaciones garantizando al mismo tiempo una experiencia de usuario de alta calidad.

- Mejoras en celdas pequeñas para LTE, la introducción de una serie de características para mejorar el soporte de HetNets.
- Agregación de portadoras inter-site, para combinar las capacidades y backhaul de celdas adyacentes.
- Nuevas técnicas de antenas y receptores avanzados.
- Funcionamiento entre LTE y Wi-Fi o HSPDA.
- Mejoras en tecnologías anteriores.

## **2.3. Características generales de LTE**

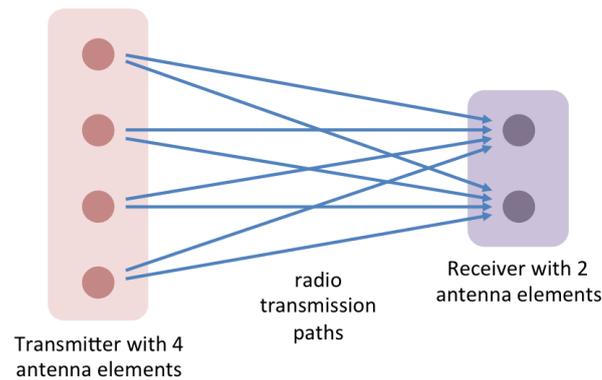
### **2.3.1. Tecnología MIMO**

Multiple Input Multiple Output. Es una innovación tecnológica para LTE que mejora el rendimiento del sistema. Esta tecnología permite en LTE mejorar el rendimiento de datos y eficiencia espectral mediante Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) (Brydon, 2013).

En MIMO tanto el transmisor y receptor tienen más de una antena lo que añade complejidad al sistema que requiere mayor procesamiento pero permitiendo altas velocidades de datos y eficiencia espectral (Brydon, 2013).

Las antenas MIMO brindan potenciales beneficios a los sistemas de radio, incluyendo un funcionamiento más fiable en condiciones de cobertura pobre, una mayor eficiencia espectral para la capacidad global del sistema y el aumento de velocidades de datos para usuarios individuales. Sin embargo, MIMO es una tecnología compleja, con un número de variaciones en su principio básico. El estándar LTE es compatible con una amplia gama de modos de operación MIMO, según diferentes condiciones de radio, y que permite adaptarse a las circunstancias (Brydon, 2013).

La siguiente figura muestra un ejemplo de funcionamiento MIMO con cuatro antenas de transmisión y dos antenas de recepción, que generalmente se conoce como MIMO 4x2. En una situación en que las ondas de radio se someten a dispersión y propagación por trayectos múltiples entre el transmisor y el receptor, un sistema MIMO puede lograr un rendimiento significativamente mayor de lo posible con antenas individuales. Por ejemplo, con las antenas adecuadamente colocadas, la disposición mostrada en la figura podría duplicar el rendimiento de datos entre el transmisor y el receptor (Brydon, 2013).



**Figura 1: MIMO 4x2.**

Fuente: (Brydon, 2013)

Por medio de la codificación en el procesamiento del transmisor y la señal en el receptor, un sistema MIMO es capaz de beneficiarse de entornos de propagación de radio complejos. Un número de diferentes técnicas se pueden aplicar (Brydon, 2013):

Diversidad espacial. - Aprovecha el fading (desviación de la atenuación que afecta a una señal a través de ciertos medios de propagación) de señal entre las antenas de transmisión y recepción para mejorar la fiabilidad de un enlace de comunicación. El mismo flujo de señal se transmite desde cada antena, pero con diferente codificación, que permite al receptor de beneficiarse de diversidad de las señales recibidas. Esta técnica es particularmente útil para los canales de control del sistema y para un funcionamiento robusto en condiciones bajas de señal, como en las celdas de frontera o borde (Brydon, 2013).

Multiplexación espacial. - Toma ventaja de la propagación por trayectos múltiples para crear un número de canales de transmisión independientes entre el transmisor y el receptor, que permite a dos o más señales transmitir simultáneamente. Mediante la aplicación de una codificación adecuada y el procesamiento de la señal estos se pueden extraer de forma independiente en el receptor. Esta técnica se puede utilizar para aumentar el rendimiento a disposición de un usuario individual o para multiplexar datos de diferentes usuarios (comúnmente conocida como MIMO multiusuario). El número máximo de canales multiplexados que soporta corresponde al número mínimo

de antenas que el transmisor o el receptor tengan. Por ejemplo, la disposición de MIMO que se muestra más arriba en la figura 1 podría proporcionar dos canales de transmisión independientes, siempre que las condiciones de radio sean adecuadas. Esto podría utilizarse para duplicar la velocidad de datos disponible para un usuario o para llevar a dos flujos de datos independientes (Brydon, 2013).

Retroalimentación de bucle cerrado y pre-codificación.- Permite a un transmisor tomar ventaja de la información sobre el canal de transmisión, proporcionada por el receptor. Si la retroalimentación está disponible, el transmisor puede modificar su codificación de las señales transmitidas para tener en cuenta las características del canal prevalecientes, para simplificar el procesamiento de la señal requerida en el receptor y permitir potencialmente mayores ganancias de rendimiento (Brydon, 2013).

La eficacia de MIMO en una red real depende de una serie de factores, incluyendo la separación de la antena en los dispositivos de transmisión y recepción, el nivel de dispersión y propagación por trayectos múltiples en el camino de radiocomunicaciones, la relación señal-ruido de las señales recibidas y la velocidad del terminal móvil. MIMO es más eficaz cuando existe una importante propagación por trayectos múltiples, tales como un entorno urbano donde las señales son dispersadas por edificios y otros objetos. En un lugar abierto, rural, donde hay una vía de transmisión fuerte línea de visión directa entre el transmisor y el receptor, MIMO es menos útil (Brydon, 2013).

Los diferentes modos de funcionamiento de MIMO adaptables a diferentes circunstancias. Por ejemplo, la operación de bucle cerrado funciona bien con un terminal que es relativamente estático con alta intensidad de la señal. Sin embargo, su rendimiento será pobre con un terminal móvil que se mueve rápidamente y experimentará intensidad de señal baja, debido a los retrasos e inexactitudes en la prestación de realimentación del canal al transmisor. En tales casos, es preferible utilizar una forma más simple de MIMO (Brydon, 2013).

MIMO es un elemento fundamental del diseño del sistema LTE y la primera versión de LTE (3GPP *Release* 8) soporta MIMO 2x2 para descarga y carga. Los estudios posteriores han ampliado esta capacidad y el más reciente

estándar LTE-Advanced soporta MIMO 8x8 para descarga y MIMO 4x4 para carga. El estándar explota la flexibilidad de MIMO mediante la inclusión de un número de diferentes modos de funcionamiento, incluida la diversidad espacial, la multiplexación espacial en bucle abierto y cerrado y de bucle cerrado MIMO multi-usuario, y el sistema es capaz de cambiar entre los modos para adaptarse a diferentes circunstancias de funcionamiento. Los algoritmos para tomar tales decisiones no están estandarizados, lo que ofrece oportunidades para los fabricantes de equipos y operadores de red para diferenciar sus implementaciones (Brydon, 2013).

Mientras MIMO puede traer importantes beneficios potenciales, tienden a limitar su impacto en el corto plazo una serie de cuestiones prácticas. En el lado de la red, aumentando el número de elementos de antena que participan en una implementación MIMO generalmente requiere visitas a cada estación de base, para modificar la configuración de la antena física y el cableado. El despliegue inicial de las redes LTE requiere visitas al lugar de implementar nuevos equipos de estación base y proporciona una oportunidad natural para introducir la configuración MIMO 2x2 de la norma LTE inicial (Brydon, 2013).

En cuanto a los terminales móviles, las mejoras a la operación de MIMO requieren la introducción de nuevos dispositivos con diferentes configuraciones de antena y capacidades de procesamiento. Además, los beneficios de MIMO se ven limitados por el tamaño físico de los dispositivos móviles. Idealmente, las antenas MIMO deben estar separadas por medio de una longitud de onda para lograr una buena separación de los canales espaciales, de tal manera que son esenciales varios desarrollos para aliviar este requisito. Sin embargo, a corto plazo no existe beneficio en la aplicación de más de dos antenas en un teléfono móvil, aunque se puede implementar cuatro elementos de antena en dispositivos más grandes, tales como ordenadores portátiles y tabletas (Brydon, 2013).

### **2.3.2. Funcionamiento de MIMO**

Dependiendo la existencia de múltiples antenas en el transmisor y/o en el receptor, se clasifican como Single-Input Multiple-Output (SIMO), Multiple-Input Single- Output (MISO) o Multiple-Input Multiple - Output (MIMO). Así, en el escenario de una estación base multi-antena habilitada para la comunicación con un terminal UE de una única antena, la carga y descarga se conocen como SIMO y MISO respectivamente (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

Cuando se trata de un terminal multi-antena, se obtiene un enlace completo MIMO, aunque el término MIMO también se utiliza en su sentido más amplio, incluyendo por tanto SIMO y MISO como casos especiales. Mientras que un enlace punto a punto de múltiple-antena entre una estación base y un UE se conoce como MIMO de un solo usuario (SU-MIMO), MIMO multiusuario (MU-MIMO) se da con varios equipos de usuario que se comunican simultáneamente con una estación base común utilizando los mismos recursos en frecuencia y el dominio del tiempo (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

A pesar de su variedad y algunas veces percibida complejidad, las técnicas MIMO único usuario y múltiple usuario, tienen como objetivo aprovechar algunas propiedades clave de los canales de propagación de radio de múltiples antenas (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

## **2.4. Arquitectura de red LTE**

### **2.4.1. Introducción**

LTE ha sido diseñado únicamente para soportar conmutación de paquetes, a diferencia de los sistemas celulares anteriores los cuales soportan el modelo de conmutación de circuitos. Su finalidad es ofrecer una plataforma basada totalmente en el protocolo IP, conectividad con el equipo de usuario UE y disponibilidad de la red de paquetes de datos (PDN), sin ningún tipo de interrupción a los usuarios.

El Core de conmutación de paquetes para las redes LTE del 3GPP ha sido rediseñado y llamado *System Architecture Evolution (SAE)* o también *EPS (Evolved Packet System)*. SAE logra interconectar diversas redes de acceso, que pueden ser heterogéneas (diferentes tecnologías) entre ellas (Pérez, 2009). La arquitectura SAE diferencia redes de acceso 3GPP y no-3GPP (Pérez, 2009):

- Red 3GPP: Cuentan con el HSS (*Home Subscriber Server*) como base de datos con información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un Gateway de Paquetes (PDG, *Packet Data Gateway*). La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el equipo de usuario UE y por una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una red de acceso E- UTRAN y una de red de Core o Núcleo Evolved Packet Core (EPC) que serán detalladas a continuación en 2.4.2 la sección arquitectura general (Pérez, 2009).
- Red no-3GPP: Utilizan un servidor AAA 3GPP que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas (Pérez, 2009).

La arquitectura SAE sigue los mismos parámetros de diseño de las redes 3GPP antecesoras (3.5G, 3G, 2G), sin embargo, divide las funciones del Gateway de Control en un plano de control comandado por un MME (*Mobility Management Entity*) y un plano de usuario liderado por el SGW (*Serving Gateway*) y por el PDN Gateway (PGW) (Pérez, 2009).

*Mobility Management Entity (MME)*.- es un elemento de la red *Evolved Packet Core (EPC)* que proporciona funciones de gestión de usuario, sesiones y movilidad, entre las que se incluyen operaciones del plano de control, como movilidad de LTE, localización, autenticación, procedimientos de seguridad, entre otros.

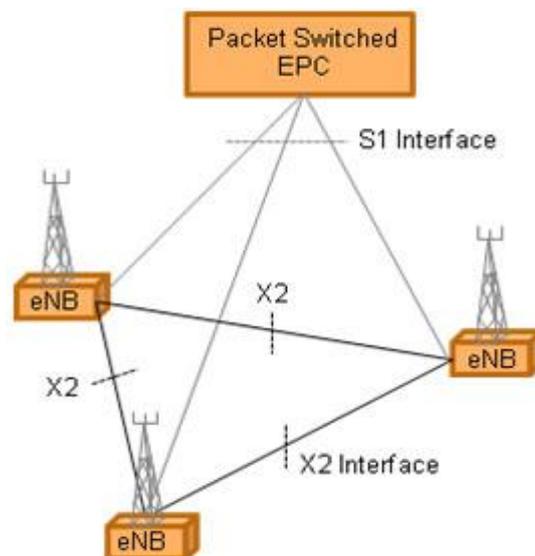
Serving Gateway (SGW).- El SGW es el ancla de movilidad para los portadores de datos cuando el UE se mueve entre eNodeBs. También contiene información sobre portadores cuando el UE está en modo IDLE y temporalmente buffer los datos descarga mientras el MME inicia la paginación para restablecer portadoras. Además el SGW desempeña funciones administrativas como el volumen de datos enviados o recibidos del usuario. También sirve como ancla de movilidad con tecnologías 3GPP tales como GPRS3 y UMTS4 (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

PDN Gateway (PGW).- Es el encargado de la asignación de una dirección IP para el UE, así como la aplicación de calidad de servicio (QoS). Sirve como ancla de movilidad para trabajar con tecnologías no 3GPP tales como redes CDMA2000 y WiMAX (Sesia, Toufik, & Baker, 2011).

Home Subscriber Server (HSS).- El HSS almacena y administra todo lo relativo a los datos de suscripción de los usuarios (SAE - Wikitel, 2016).

## 2.4.2. Arquitectura General

### 2.4.2.1. Núcleo de red (*Core Network*) - Evolved Packet Core (EPC)



**Figura 2:** Arquitectura del núcleo de red.

Fuente: (LTE, 2016).



E-UTRAN es responsable de todas las funciones de radio tales como:

- Gestión de Recursos de Radio. Esto cubre todas las funciones relacionadas con los portadores, como son control portador de radio, control de admisión de radio, control de movilidad de radio, programación y asignación dinámica de recursos a UEs en carga y descarga.
- Compresión del encabezado. Esto ayuda a asegurar un uso eficiente de la interfaz de radio mediante la compresión de los encabezados de paquetes IP que podrían representar una sobrecarga significativa, especialmente para paquetes pequeños como VoIP.
- Seguridad. Todos los datos enviados a través de la interfaz de radio son encriptados.
- Posicionamiento. La E-UTRAN proporciona las mediciones necesarias y otros datos para encontrar la posición del UE.
- Conectividad al EPC. Esta consiste en la señalización hacia el MME y la trayectoria del portador hacia el S-GW.

### **2.4.3. Arquitectura del protocolo**

#### **2.4.3.1. Plano de Usuario**

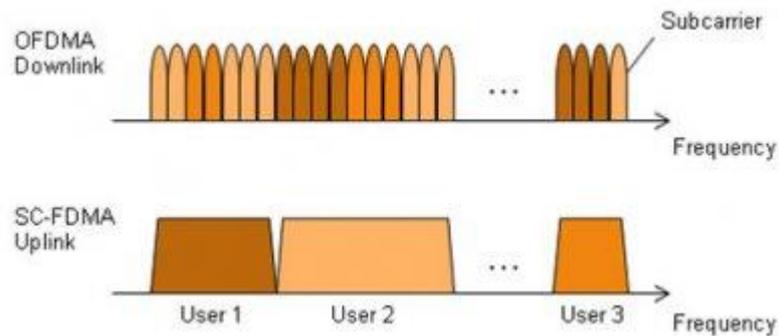
Encargado del envío de tráfico (paquetes IP) de usuario a través de la interfaz S1-U entre E-UTRAN y EPC.

Un paquete IP para un terminal UE se encapsula en un protocolo EPC específico y se tuneliza entre el P-GW y el eNodeB para su transmisión al terminal UE. Diferentes protocolos de túnel se utilizan a través de diferentes interfaces.

### 2.4.3.2. Plano de Control

El plano de control tiene dos elementos encargados de señalización, el *Radio Resource Control (RRC)* que envía información entre el UE y el eNB, y el *Non Access Stratum (NAS)* que envía señalización NAS hacia el MME.

### 2.4.4. Técnicas de Acceso



**Figura 4:** Técnicas de Acceso.

Fuente: (LTE, 2016)

#### 2.4.4.1. Acceso Multiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

La técnica Acceso Multiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA) es una extensión de OFDM a la implementación de un sistema de comunicación multiusuario utilizado para descarga en LTE. Se asume que un solo usuario recibe datos de todas las subportadoras en un momento dado. OFDMA distribuye subportadoras a diferentes usuarios al mismo tiempo, de manera que múltiples usuarios pueden recibir datos simultáneamente. Usualmente, se asignan subportadoras en grupos contiguos para simplicidad y para reducir la sobrecarga al indicar que las subportadoras se han asignado a cada usuario.

OFDMA en comunicaciones móviles fue propuesta inicialmente basada en multiportadora FDMA (Frequency Division Multiple Access), donde cada usuario es asignado aleatoriamente a un set de subcanales.

OFDMA permite la transmisión OFDM para beneficiarse de la diversidad multi-usuario. Basado en información de retroalimentación sobre las

condiciones del canal de frecuencia selectiva de cada usuario, se puede realizar una asignación adaptativa de usuario a una subportadora, mejorando considerablemente la eficiencia espectral del sistema en comparación con los sistemas OFDM de usuario único.

#### **2.4.4.2. Acceso Múltiple por División de Frecuencias con Única Portadora (SC-FDMA Single Carrier Frequency Multiple Access)**

SC-FDMA es una técnica de acceso que se utiliza en LTE para subida o carga de datos. La ventaja de esta técnica es que logra ortogonalidad intra-celda inclusive en canales selectivos de frecuencia.

Se puede generar una señal SC-FDMA en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia.

Dada la autonomía reducida del terminal móvil del usuario y un alto consumo de potencia se escoge una modulación SC-FDM, siendo una modulación de portadora única y de ese modo la razón entre la potencia instantánea (PAPR) será menor para evitar la distorsión por intermodulación

#### **2.4.5. Canales utilizados en LTE**

##### **2.4.5.1. Canales físicos**

###### **2.4.5.1.1. Canales físicos para descarga**

- **Physical Broadcast Channel (PBCH).**- Se utiliza para transmitir información de identificación y control a todos los usuarios que están en el área de cobertura (Bermeo, 2014).
- **Physical Downlink Shared Channel (PDSCH).**- Es utilizado para transmisión unicast y funciones de *paging* (Bermeo, 2014).
- **Physical Multicast Channel (PMCH).**- Envía información a varios usuarios (multicast) dentro del área de cobertura (Bermeo, 2014).
- **Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH).**- Se usa

para transferir información (número de símbolos OFDM) sobre modulación (Bermeo, 2014).

- **Physical HARQ Indicator Channel (PHICH).**- Es utilizado para informar el estado de Hybrid ARQ (Bermeo, 2014).
- **Physical downlink control channel (PDCCH).** - Es utilizado para transferir información de control de acceso a dispositivos móviles (Bermeo, 2014).

#### 2.4.5.1.2. Canales físicos para carga

- **Physical Uplink Shared Channels (PUSCH).**- Cumple la misma función que el canal PDSCH en el proceso de Uplink (Bermeo, 2014).
- **Physical Uplink Control Channel (PUCCH).**-Es utilizado para enviar información de señalización de datos como ARQ, ACK, NAK (Bermeo, 2014).
- **Physical Random Access Channel (PRACH).**- Es utilizado para coordinar y transportar peticiones de servicio de los dispositivos móviles (Bermeo, 2014).

#### 2.4.5.2. Canales de transporte

##### 2.4.5.2.1. Los canales de transporte en descarga

- **Broadcast Channel (BCH).**- Transmite continuamente información del sistema además examina y mide intensidades de señal, controlando el acceso de los dispositivos móviles (Bermeo, 2014).
- **Downlink Shared Channel (DL-SCH).**- Transmite datos desde la estación base a los dispositivos móviles. La estación base asigna los slots de tiempo y canales de radiofrecuencia para transmitir y recibir información de los usuarios (Bermeo, 2014).
- **Paging Channel (PCH).**- Es un canal que se utiliza para enviar mensajes que alertan al dispositivo móvil de una llamada de voz

entrante, solicitud para establecer una comunicación de voz o para solicitar servicio de mantenimiento por ejemplo actualización de posición (Bermeo, 2014).

- **Multicast Channel (MCH).**- Es utilizado para enviar información desde uno a varios dispositivos permitiendo la transmisión de simultánea de los mismos medios de comunicación en la misma frecuencia por ejemplo un programa de TV (Bermeo, 2014).

#### 2.4.5.2.2. Los canales de transporte utilizados en carga

- **Uplink Shared Channel (UL-SCH).**- Es el principal canal de transporte que envía al sistema datos de control o de usuario en el enlace ascendente (Bermeo, 2014).
- **Random Access Channel (RACH).**- Es utilizado para requerimientos de acceso aleatorio (Bermeo, 2014).

#### 2.4.5.3. Canales lógicos

Son canales que proporcionan servicios para el control de acceso al medio, agrupan a los canales de control y de tráfico (Bermeo, 2014)

##### 2.4.5.3.1. Canales de control

- **Broadcast Control Channel (BCCH).**- Es utilizado para proporcionar información del sistema a todos los terminales móviles conectados a un determinado e Node B (Bermeo, 2014).
- **Paging Control Channel (PCCH).**- Este canal de control es utilizado para enviar mensajes a dispositivos móviles para alertar de una llamada telefónica entrante o para solicitar una sesión de comunicación de datos (Bermeo, 2014).
- **Common Control Channel (CCCH).**- Se utiliza para establecer y mantener enlaces de comunicación entre los dispositivos móviles y las estaciones base (Bermeo, 2014).

- ***Multicast Control Channel (MCCH)***.- Transmite parámetros necesarios de identificación y acceso de los servicios y canales multicast (Bermeo, 2014).
- ***Dedicated Control Channel (DCCH)***.- Es utilizado para coordinar y controlar dispositivos móviles como por ejemplo control de energía, handover, etc (Bermeo, 2014).

#### **2.4.5.3.2. Canales de tráfico**

- ***Dedicated Traffic Channel (DTCH)***.- Transmitted datos de usuario (Bermeo, 2014).
- ***Multicast Traffic Channel (MTCH)***.- Es utilizado para transmisión multicast (Bermeo, 2014).

## CAPITULO 3

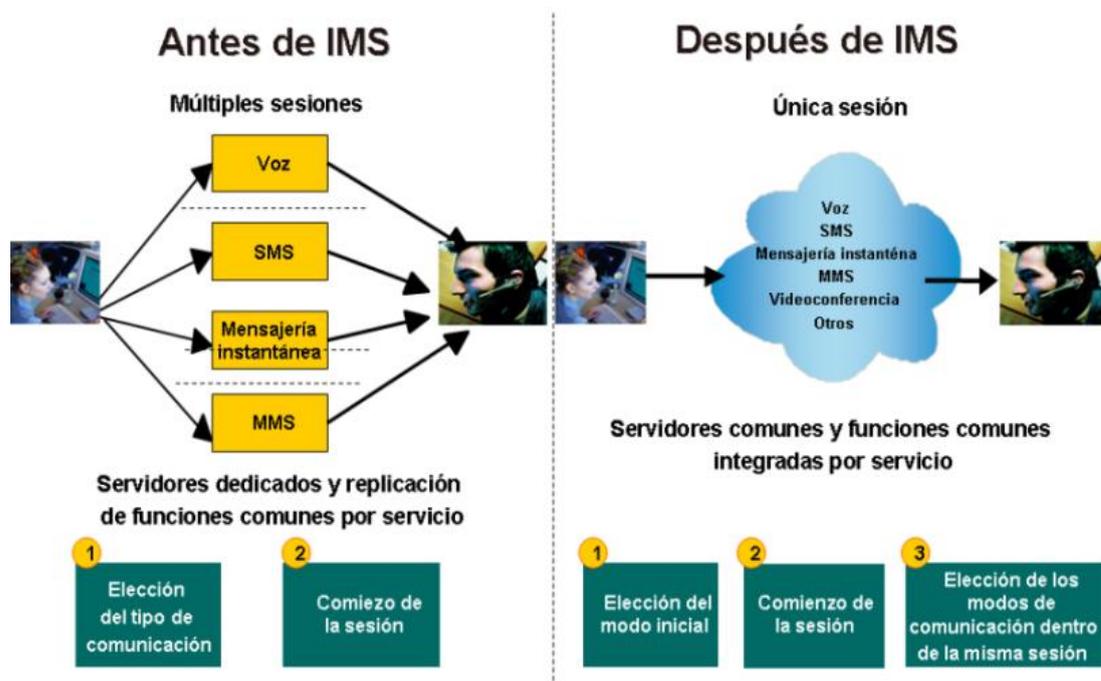
### SERVICIOS EN UNA RED LTE

#### 3.1. IP Multimedia Subsystem (IMS)

Las redes de telecomunicaciones han evolucionado hacia infraestructuras basadas en conmutación de paquetes. A medida que los proveedores de servicios cambian su infraestructura básica de red del dominio Conmutación de Circuitos CS(Circuit Switching) a una infraestructura de IMS, se tuvo la necesidad de permitir la prestación de servicios a los abonados a través de una variedad de accesos, incluyendo acceso a dominio CS y dominio PS (LTE, 2016).

IMS considerado como una entidad externa de la red LTE es una arquitectura genérica para la oferta de multimedia y servicios de Voz sobre IP, que proporciona los mecanismos de control necesarios para los usuarios de la red LTE (Arias Luna & Navarrete Navarrete, 2015).

La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, base de datos, routers, switches) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF (Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet), y que permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etc (Arias Luna & Navarrete Navarrete, 2015).



**Figura 5:** Comparación de redes IMS.

Fuente: (Sistemas de telefonía STI, 2016)

### 3.2. Servicios de voz

En latinoamérica el servicio de llamadas de voz a través de la red LTE ya es ofertado por operadores como Verizon, Claro, Movistar en países como Colombia, Argentina, Brasil, Perú. Según el último reporte de GSA (Global mobile Suppliers Association, 2017) se tiene previsto el crecimiento de la oferta de servicios de voz sobre LTE en 73 países.

En el Ecuador CNT según el reporte de GSA (Global mobile Suppliers Association, 2017) tiene el estado en despliegue (*in deployment*) con la realización de pruebas de campo y ajustes de su red para ofertar en un futuro este servicio.

#### 3.2.1. Voz HD

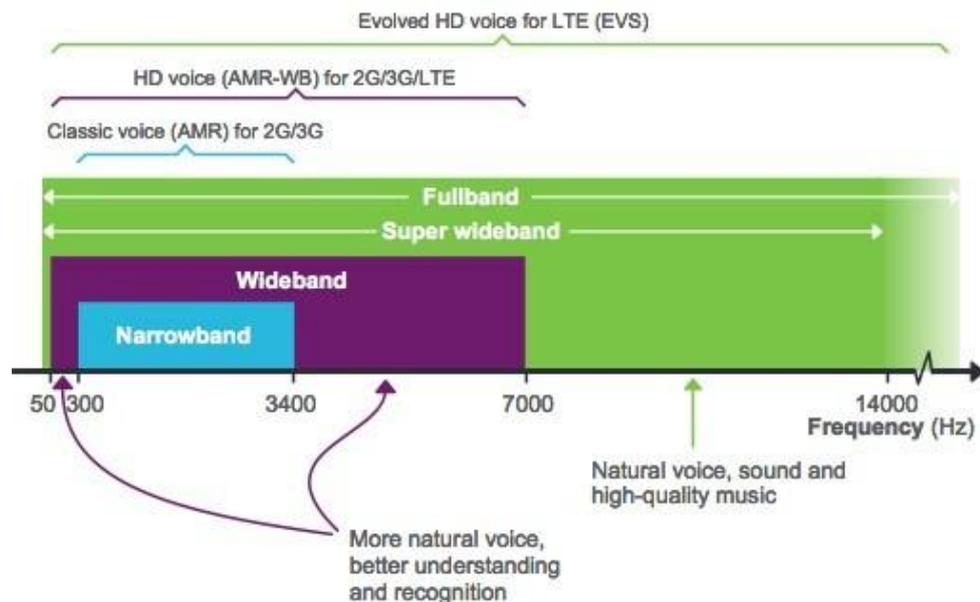
La voz en HD extiende el rango de frecuencia para señales de audio transmitidas, resultando una conversación de mayor calidad. El rango de audición humano cubre frecuencias desde 20HZ a 20000 HZ, mientras que la

voz humana 50Hz a 12000Hz. La telefonía tradicional limita las frecuencias de audio, la voz en HD al usar un amplio margen de frecuencias mejora el tono del habla humana para proveer de audio de alta fidelidad aumentando la calidad de las llamadas y la posibilidad de transmisión de música al reducir el ruido de fondo.

### 3.2.2. Voice over Long Term Evolution (voLTE)

VoLTE es una solución que brinda a los operadores una solución completa para evolucionar su negocio de voz tradicional hacia una red de comunicaciones totalmente IP, esto se logra al evolucionar de la red de núcleo conmutada por circuitos instalada hacia una red de núcleo Subsistema IP Multimedia (IMS), que soporta servicios como Voz de Alta Definición (HD), llamadas de video, y Servicios de comunicación enriquecida (Rich Communication Services RCS) (Reyes, 2016).

VoLTE permite el servicio de voz en HD a una mayor tasa de bits, y servicios de voz multimedia como streaming de música, utilizando el nuevo códec EVS(Enhanced Voice Services) (Reyes, 2016).



**Figura 6:** Códec EVS.

Fuente: (Sistemas de telefonía STI, 2016)

Si comparamos, un archivo MP3 de 64 kbps con uno de 256 kbps, es perceptible una notable diferencia, esto es lo que sucede con las llamadas de voz HD VoLTE ya que utilizan una mayor tasa de compresión.

Las llamadas en VoLTE a diferencia del servicio VoIP (Voz sobre IP) se contabilizan como minutos de voz de forma similar a tecnologías anteriores mas no se cobra el uso de datos móviles.

Uno de los primeros dispositivos con capacidad para VoLTE es el iPhone 6 lanzado el 9 de septiembre 2014 es. Sin embargo algunos fabricantes aún no tienen dispositivos disponibles para el mercado latinoamericano.

En Estados Unidos algunos de los operadores que ofrecen VoLTE son Verizon Wireless, AT&T, Metro PCS, T-Mobile, Sprint.

La calidad de voz HD está incorporada en la norma VoLTE. Este servicio permite conversaciones de alta fidelidad, y usar datos móviles a velocidades LTE y brinda una mejor experiencia al cliente frente a servicios de voz sobre protocolo de Internet (VoIP) (Reyes, 2016).

El servicio mejora la calidad y ofrece un establecimiento más rápido de la llamada, además de permitir a los clientes continuar con las conexiones de datos LTE mientras llaman, sin tener que recurrir a la red 3G (Reyes, 2016).

### **3.2.3. Simultaneous Voice LTE (SV-LTE)**

SV-LTE se basa en los terminales móviles que contienen sistemas de radio dual, donde uno se utiliza para el tráfico de datos únicamente, sobre LTE, mientras que el segundo se utiliza para voz CS haciendo un llamamiento a la red 2G / 3G. No existen requisitos sobre la propia red. La desventaja de esta solución es alto consumo de energía y el aumento del costo de producción de este tipo de terminales (Tekovic, Pesut, & Moric, 2013).

### 3.2.4. Circuit-switched fallback (CSFB)

Los operadores de telefonía celular, al tener desplegadas redes con tecnologías 2G y 3G poseen el mecanismo de circuit-switched fallback (repliegue de conmutación de circuitos). Si hay una llamada entrante (MT terminado en móvil) o saliente (MO originado en móvil), el terminal en la red de LTE, pasa a cambiar de tecnología a cualquiera 2G o 3G, dependiendo de la disponibilidad y de cobertura.

Para establecer este procedimiento es necesario que elementos de red como Mobility Management Entity (MME) y Mobile Switching Center (MSC) / Visiting Location Register (VLR), tengan capacidad de interconexión (Suárez Páez, Sepúlveda Leiva, & Salcedo González, 2013) .

CSFB está especificado en el *release* 8, y en el *release* 9 se añaden mejoras. Algunos mecanismos de CSFB dependiendo la tecnología que el operador disponga para la operación de *fallback* son CSFB a GSM, UMTS, CDMA.

## 3.3. Servicios de Mensajería

### 3.3.1. Servicio de mensajes cortos (SMS)

SMS sobre IP está especificado en 3GPP *release* 7. Para entornos sin IMS se especificó una solución de transición llamada SMS sobre SGs (interfaz Gs evolucionado). Es un enfoque híbrido que permite la transmisión de SMS nativos de la infraestructura de CS a través de la red de radio LTE.

SMS sobre SGs proporciona servicio de SMS para móviles en LTE y como requiere también infraestructura de dominio CS para la transmisión de SMS, se pretende que sea una solución en redes no IMS. El funcionamiento con redes heredadas y redes IP es posible extendiendo el alcance de dominio a los suscriptores de las redes IMS.

### **3.3.2. Servicio de Mensajería Multimedia (MMS)**

MMS sobre LTE es factible y actualmente se encuentra en investigación dado que se soporta el uso del protocolo TCP/IP (Pham, 2013) .

## **3.4. Nuevos Servicios sobre LTE**

### **3.4.1. Mensajería RCS (*Rich Communication Services*)**

RCS es un nuevo estándar sucesor de SMS, con funciones mejoradas que permite chat instantáneos, compartir archivos, transmitir video sin ser necesario contar con una aplicación de terceros.

### **3.4.2. Push To Talk (PTT)**

El servicio *push to talk* (PTT) es una comunicación half-dúplex, que consiste en presionar un botón para transmitir y soltar para recibir permitiendo llamadas de uno a uno o uno a varios. La característica principal de este servicio es que no se permite hablar y escuchar a la vez, es útil porque no se puede interrumpir a la persona que está transmitiendo, otra característica es que PTT siempre se está a la escucha, por lo que no se necesita descolgar para escuchar al transmisor. Los sistemas PTT son sistemas también llamados de dos sentidos alternos, ya que en este modo de transmisión la señal fluye en los dos sentidos, pero no al mismo tiempo (Guiaspracticass, 2016).

Un ejemplo de PTT, es cuando un controlador aéreo habla en una misma frecuencia de radio a todas las aeronaves bajo su supervisión, de tal manera que todos los que están en esa frecuencia escuchan las transmisiones de los otros. Durante el proceso, el uso de palabras de como "Cambio" y "Corto" garantiza el orden durante la conversación. De este modo, todos son conscientes de las acciones e intenciones de los demás, y no se oye el ruido de fondo de los que no están hablando. Consideraciones similares se aplican a la radio de la policía y al uso de redes de walkie talkies en empresas de

logística, seguridad o construcción entre otras, así como cualquier otro escenario que requiera la coordinación de varias partes (Guiaspracticass, 2016).

El servicio PTT es una característica disponible en equipos de radio, ya sean portátiles o móviles, además en ciertos modelos de celulares. Lo novedoso del PTT no es conversar al estilo walkie-talkie sino poder hacerlo desde un teléfono móvil convencional y sin límite de distancia, con una cobertura universal (Guiaspracticass, 2016).

En situaciones en las que un usuario puede estar demasiado ocupado para manejar el interruptor PTT para hablar, se emplean a veces interruptores PTT operados por voz, denominados manos libres, de tal modo que el micrófono reacciona a la voz y cambia automáticamente al modo transmisión (Guiaspracticass, 2016).

Algunas redes de telefonía celular disponen de la función PoC (Push to Talk over Cellular), un servicio que permite a los suscriptores usar sus teléfonos como walkie talkies con alcance ilimitado. Una ventaja significativa de los sistemas PoC es la capacidad para una sola persona para llegar a un grupo de conversación con sólo pulsar un botón, evitando así que los usuarios tengan que hacer varias llamadas telefónicas para coordinar un grupo (Guiaspracticass, 2016).

El operador Sprint presta el servicio Direct Connect Now, que permite comunicación 1 a 1 con otros usuarios, conexión instantánea con grupos. El servicio PTT internacional con Sprint está disponible para usuarios de Nextel Mexico, Peru Chile Argentina y Brasil a un costo de 20 ctvs por minuto o un plan ilimitado de 15 dólares mensuales (Sprint, 2016).

### **3.4.3. Push To View (PTV)**

Con características Push to View, el teléfono puede enviar y recibir los siguientes elementos a través de llamadas privadas con otros teléfonos que tienen esta capacidad:

- Mensajes de Texto cortos
- Fotografías
- Eventos de Calendario
- Información de Contacto

Puede elegir enviar mensajes, fotos, eventos, información de mi o contactos a la ID privado que participan en una llamada privada con, ID privado en la lista de llamadas recientes y los identificadores de Private almacenan en la guía. Cuando realiza o recibe una llamada privada, teléfono determina automáticamente si el teléfono que participan en una llamada privada con es capaz de recibir cada uno de estos elementos. El teléfono guarda esta información para siempre como el ID privado está en su lista de llamadas recientes o se guarda en la guía. El teléfono actualiza la información guardada cada vez que hace o recibe una llamada a o desde ese identificador privado (motorola-global-es-latam.custhelp.com, 2017).

### **3.5. Servicios Ofertados En Ecuador**

#### **3.5.1. Llamadas LTE Situación Actual**

Las operadoras telefónicas móviles necesitan realizar ajustes a sus redes actuales de acuerdo a la infraestructura IMS para poder ofertar voz en Lte. En Ecuador ninguna operadora brinda el servicio de voz en LTE y en la RESOLUCIÓN ARCOTEL-2016-0400 se describe que para los servicios de voz y SMS se utilizara el esquema CSFB. Según información de prensa de telefónica Movistar está implementando la infraestructura a nivel de Sudamérica para en un futuro ofrecer el servicio en países de Sudamérica entre ellos Ecuador (Redestelecom.es, 2016). El operador CNT no brinda información pública acerca de la disponibilidad de este servicio y según GSA (Global mobile Suppliers Association, 2017) está en fase de despliegue. La solución actual de los operadores es CSFB, para la cual se hacen verificaciones continuas de su operación.

### 3.5.2. Servicios de Datos

#### 3.5.2.1. Machine to Machine (M2M)

La tecnología Máquina a Máquina es una solución para la comunicación entre máquinas en tiempo real a través de una red celular.

Los elementos fundamentales que aparecen en todos los entornos M2M son los siguientes:

- Máquinas que gestionar: Gestión de flotas, Alarmas domésticas, TPV (Terminal Punto de Venta), Contadores de agua/gas/ electricidad, paneles informativos en carreteras, máquinas vendedoras, tele mantenimiento de ascensores, estaciones meteorológicas, etc. (Empresa de Telecomunicaciones y Social Network, 2017)
- Dispositivo M2M: módulo conectado a una máquina remota y que provee de comunicación con el servidor. Usualmente, el dispositivo M2M también consta de capacidad de proceso donde se ejecuta la aplicación de negocio. Por una parte implementa el protocolo para poder comunicarse con la máquina y por otra parte implementa el protocolo de comunicación para el envío de información (Empresa de Telecomunicaciones y Social Network, 2017).
- Servidor: gestiona el envío y recepción de información de las máquinas está integrado además con el core de la empresa (Mapas GIS de trazabilidad de flotas de camiones, Sistema de pedidos, Centrales receptoras de alarmas, Helpdesk, etc.) de modo que la información recibida por el Servidor pasa a ser parte crítica del negocio (Empresa de Telecomunicaciones y Social Network, 2017).
- Red de comunicación: pueden ser a través de cable o redes inalámbricas (Empresa de Telecomunicaciones y Social Network, 2017).

Actualmente en Ecuador las 3 operadoras Claro, Cnt y Movistar ofertan el servicio M2M en sus respectivas páginas web para clientes corporativos, el cual permite que distintos dispositivos compartan información a través de su red celular (Telemetría - M2M móvil - CNT, 2017) (M2M, 2017) (Movistar, 2017).

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS DE DESEMPEÑO DE LTE

Mediante el uso de equipos de trabajo que son Antena RF, GPS, Teléfonos celulares, Modem de datos, Laptop y el programa Genex Probe se realiza una obtención de datos para cada una de las pruebas de *drive test*, *walk test*, según los requerimientos y mediciones a obtener. Posteriormente se lleva a cabo el procesamiento de datos con el programa Genex Assistant para su inmediato análisis de resultados, elaboración de predicciones y levantar recomendaciones para la ejecución de cambios en los sitios de los sectores en los que se hacen las pruebas.

#### 4.1. Herramientas de mediciones LTE

##### 4.1.1. Escáner Seegull Ex Flex



**Figura 7:** Escáner.

Fuente: (pctel, 2016)

Equipo que permite evaluar redes móviles en bandas de frecuencia desde 150 MHz a 6 GHz en tecnologías LTE FDD / TD-LTE /UMTS [WCDMA/HSPA(+)] /TD-SCDMA / GSM / CDMA / EV-DO obteniendo los siguientes beneficios:

- Alto rango dinámico comprobado para detección de señal
- Análisis avanzado de bloques y sub-bandas LTE

- Prueba de redes multi-operador con un solo equipo.
- Bajo consumo de energía.

#### 4.1.2. Antena RF

Colocada en el exterior del vehículo para la toma de mediciones RF del escáner.



**Figura 8:** Antena RF.

Fuente: (pctel, 2016)

#### 4.1.3. GPS

Dispositivo que indica la ubicación geográfica de la ruta donde se están haciendo las mediciones.



**Figura 9:** GPS.

Fuente: (pctel, 2016)

Colocados en la parte exterior del vehículo y conectados al escáner que proporciona un rendimiento alto para la toma de señales.

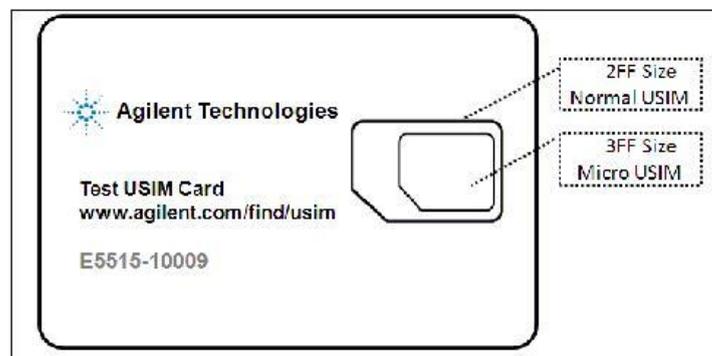
#### 4.1.4. Modem Huawei E397

Dispositivo de Categoría 3 que tiene una antena mimo 2x2 que trabaja en LTE FDD banda 4 utilizado para prueba de navegación con carga y descarga de datos.

#### 4.1.5. Celular Con capacidad LTE

El Huawei Ascend G6 es un terminal categoría 4 compatible con redes LTE, utilizado para evaluar la experiencia de usuario tanto para navegación o uso de datos móviles así también en realización de llamadas mediante cambio de tecnología a 3G. Posee antena mimo de 2x2.

#### 4.1.6. USIM



**Figura 10:** Tarjeta USIM.

Fuente: (keysight, 2016)

Un USIM (Universal Subscriber Identity Module) o Módulo de Identificación del Abonado es una aplicación que se ejecuta en una tarjeta inteligente UICC (Universal Integrated Circuit Card) que son tarjetas utilizadas en equipos móviles de redes celulares. Guardan datos como agenda de teléfonos, mensajes cortos SMS, datos relativos al abonado para identificarlo en la red, número de suscriptor (IMSI) asociado a ese abonado.

La tarjeta inteligente UICC consta de CPU, ROM, RAM, EEPROM y circuitos de entrada/salida. Las primeras versiones tenían el tamaño de una tarjeta inteligente (smartcard) típica (85x54 mm), pero debido al tamaño cada vez más pequeño de los teléfonos móviles aparecieron versiones más pequeñas de 25x15 mm.

#### 4.1.7. International Mobile Subscriber Identity (IMSI)

Es un código de identificación único para cada dispositivo de telefonía móvil, integrado en la tarjeta SIM, que permite su identificación a través de las redes celulares

El código IMSI, de acuerdo al estándar ITU E.212, (También se encuentra especificado en la norma 3GPP TS 23.003) y está formado por:

- **MCC**: Código del país (3 dígitos) 716
- **MNC**: Código de la red móvil (2 o 3 dígitos) 06
- **MSIN**: Número de 9 ó 10 dígitos como máximo que contiene la identificación de la estación móvil (MS o *Mobile Station*)

El número máximo de dígitos del IMSI es de 15.

Ej. IMSI: 740020150112186

Para realizar las pruebas de funcionamiento de la red se utiliza tarjetas USIM de prueba.

#### 4.1.8. Software GENEX PROBE/ASSISTANT 3.14

El software GENEX Assistant es una herramienta de procesamiento de datos de Drive Test., en el que puede tener una visión general del rendimiento de la red, encontrar inconvenientes, mejorar la red, comprobar la planificación y optimización de la red.

#### 4.1.9. Computadora

Equipo en el cual se conectan los distintos dispositivos para la respectiva recolección de datos y posterior procesamiento de los mismos.

### 4.2. Toma de Mediciones

#### 4.2.1. Drive Test

Los operadores de telefonía celular necesitan datos confiables acerca de la cobertura y experiencia de usuario en su red, para su expansión y optimización. De tal modo para recolectar datos de cobertura de manera

precisa se realizan *drive test* utilizando escáneres y teléfonos celulares de prueba. Combinando con un software de posicionamiento GPS, se crean planos con una representación de la cobertura, del rendimiento y de las averías de red. Durante un *drive test*, el software evalúa los datos en tiempo real, permitiendo que los parámetros se puedan cambiar y validar inmediatamente, asegurando que la eficiencia y la operación de la red mejoren.

A continuación se presentan datos obtenidos mediante pruebas de *drive test* en el clúster 5 (zona norte) de la ciudad de Quito

#### **4.2.1.1. Análisis de fuerza de cobertura en descarga**

En LTE se tiene algunas medidas estandarizadas por 3GPP para determinar las condiciones radio, de acuerdo a la especificación técnica (TS) 36.211 del *release 8* de 3GPP estas son *RSRP (Reference Signal Received Power)*, *RSRQ (Reference Signal Received Quality)* y *RSSI (Received Signal Strength Indicator)*. *RSRP* mide el promedio de potencia por portadora LTE calculada sobre todas las señales de referencia, esta medida se utiliza frecuentemente para expresar la cobertura en LTE.

#### 4.2.1.1.1. Mediciones obtenidas por el escáner

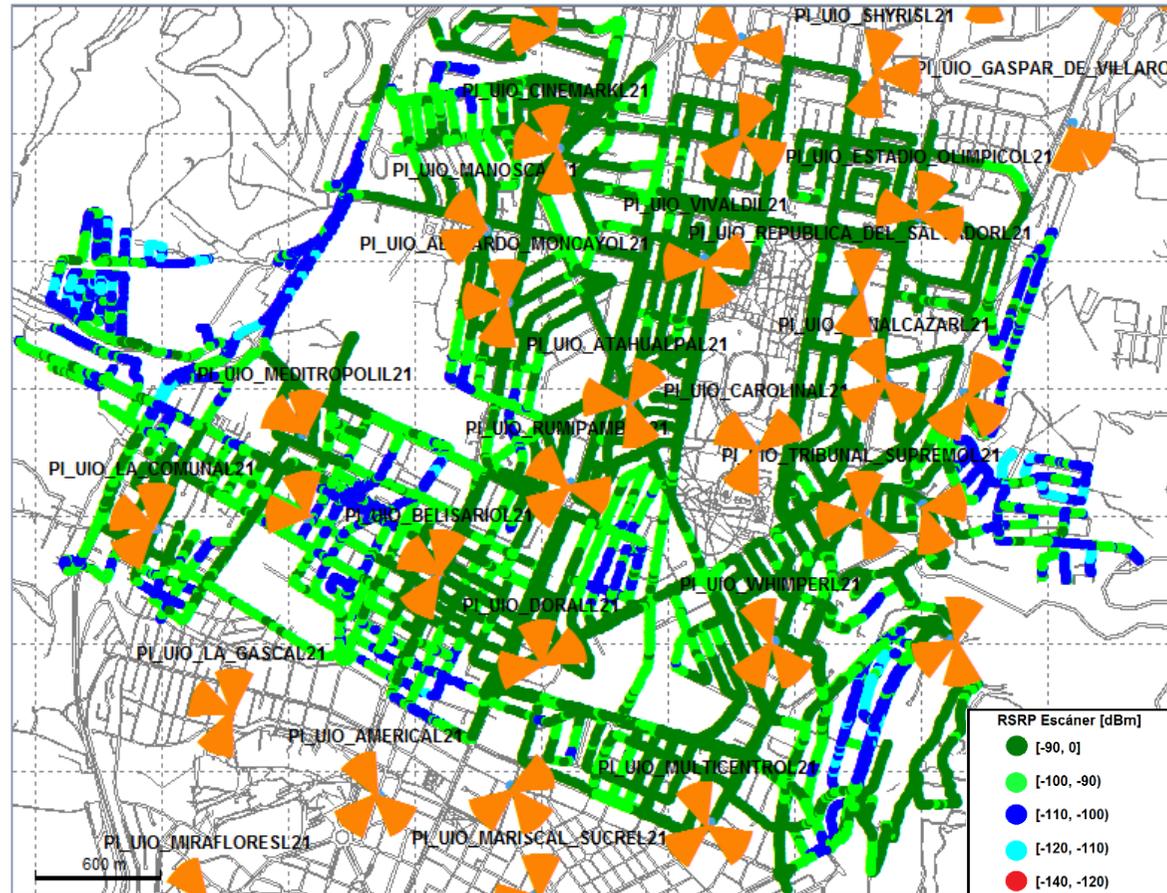
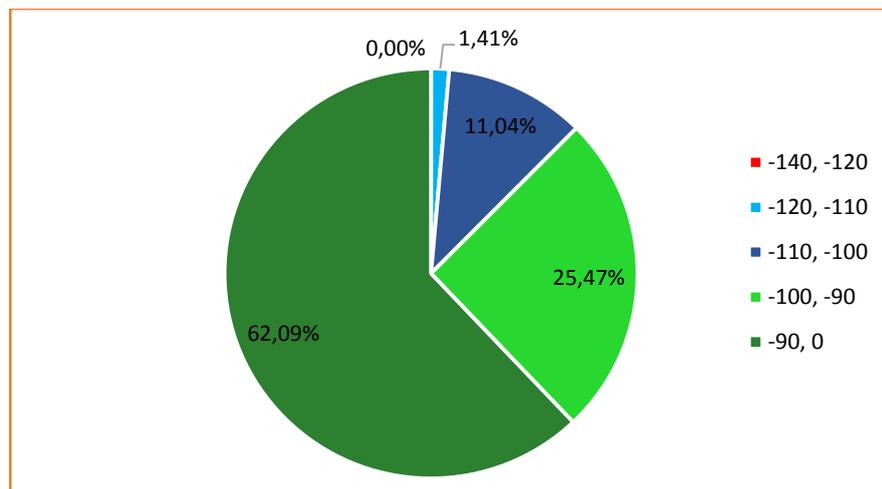


Figura 11: Plots obtenidos en el drive test por Escáner.

En la figura 11 se puede observar los datos de cobertura promedio de la red LTE obtenidos del Escáner, siendo el color verde oscuro niveles excelentes de -90dBm, verde claro niveles buenos (-100dBm a -90 dBm) y color azul (-110dBm a -100 dBm) niveles aceptables de cobertura. Los colores celeste y rojo indican poca cobertura y degradación de la señal.



**Figura 12:** Muestras Porcentuales de RSRP del Escáner.

En la Figura 12 se indica en porcentaje los niveles de cobertura obtenidos en el recorrido de *drive test*, siendo  $62,09\% + 25,47\% + 11,04\% = 98,59\%$  de muestras que están dentro del rango de -110 dBm a -90dBm que garantizan cobertura.

Estas mediciones indican que la cobertura es muy aceptable, y la degradación de la señal es mínima dado que la antena del escáner tiene una mayor ganancia, está ubicada en el exterior del vehículo. Por tanto los niveles están 10 dBm mejor que los equipos de usuario utilizados en las mediciones.

#### 4.2.1.1.2. Mediciones obtenidas por el UE

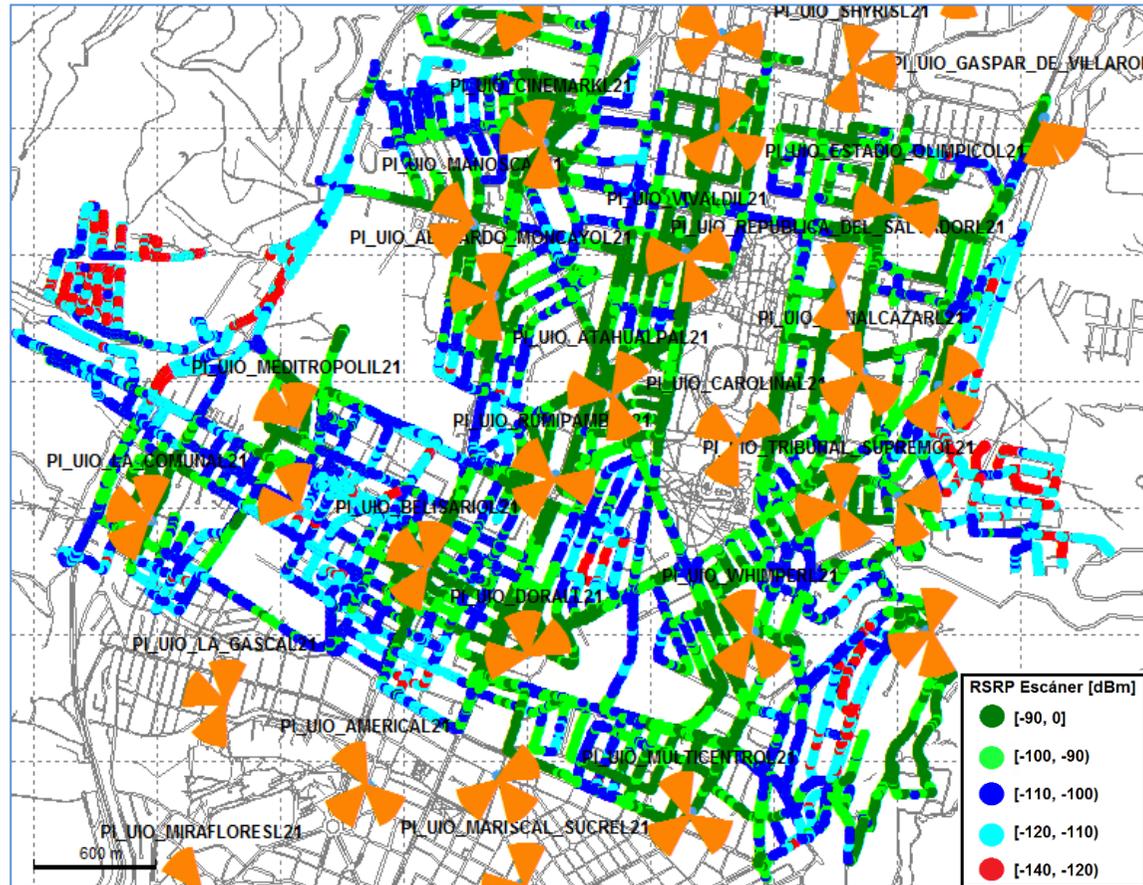
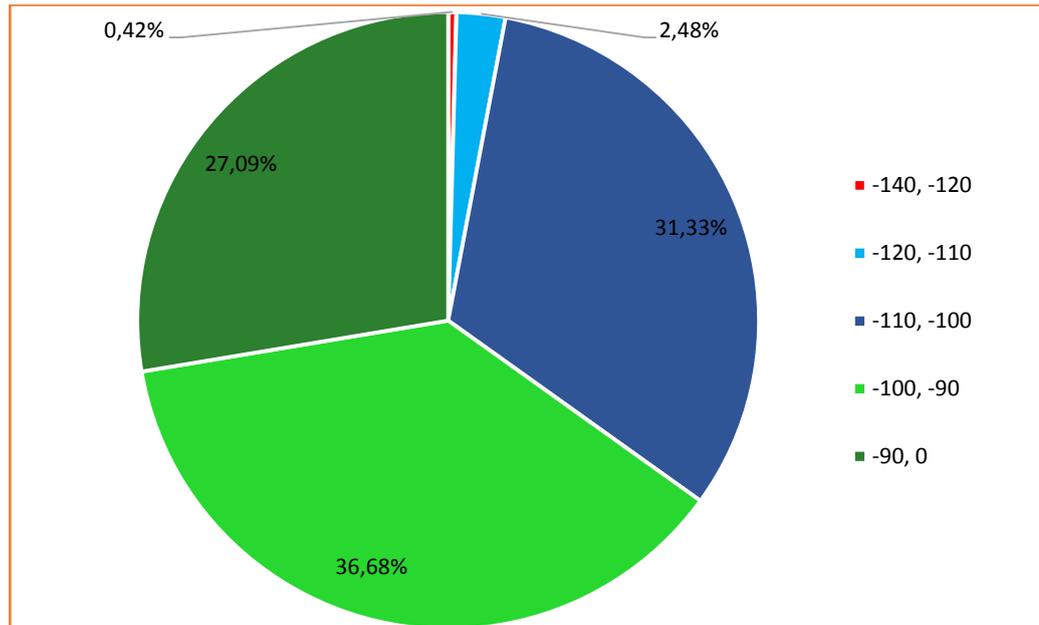


Figura 13: Niveles de RSRP tomados por el UE.

En la figura 13 se puede observar los datos de cobertura de la red obtenidos del Equipo Usuario (modem LTE), siendo el color verde oscuro (-90dBm), verde claro (-100dBm a -90 dBm) y color azul (-110dBm a -100 dBm) niveles aceptables de cobertura. Se pueden observar además puntos celestes y rojos que significa que la señal se degrada en diferentes sectores de la ruta.



**Figura 14:** Muestras Porcentuales RSRP tomadas por el UE

Las muestras tomadas por el UE, indican que el 83.19 % se encuentran dentro de los rangos aceptables para garantizar cobertura en el sector. Se estima que las diferencias con el Escáner y UE se deben a las pérdidas de penetración del vehículo y la localización de la antena del escáner.

#### 4.2.1.2. Análisis de Calidad de Cobertura en descarga (SINR)

##### 4.2.1.2.1. Mediciones obtenidas por el escáner

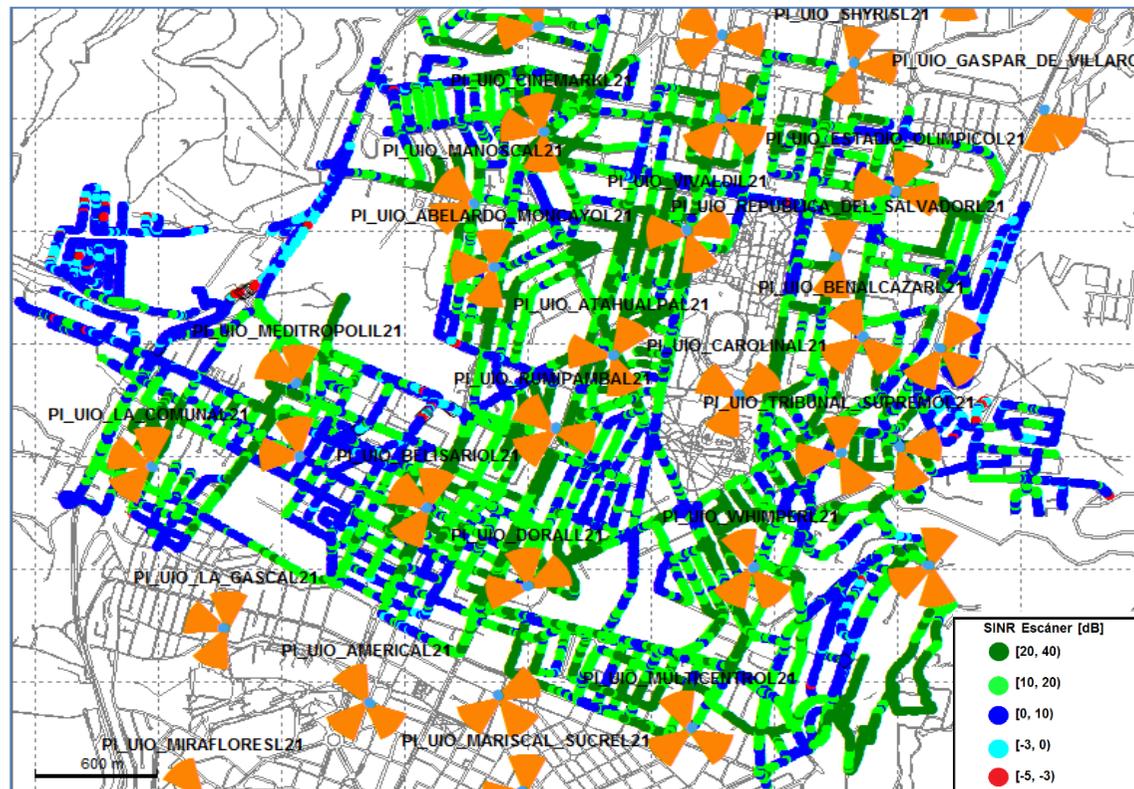
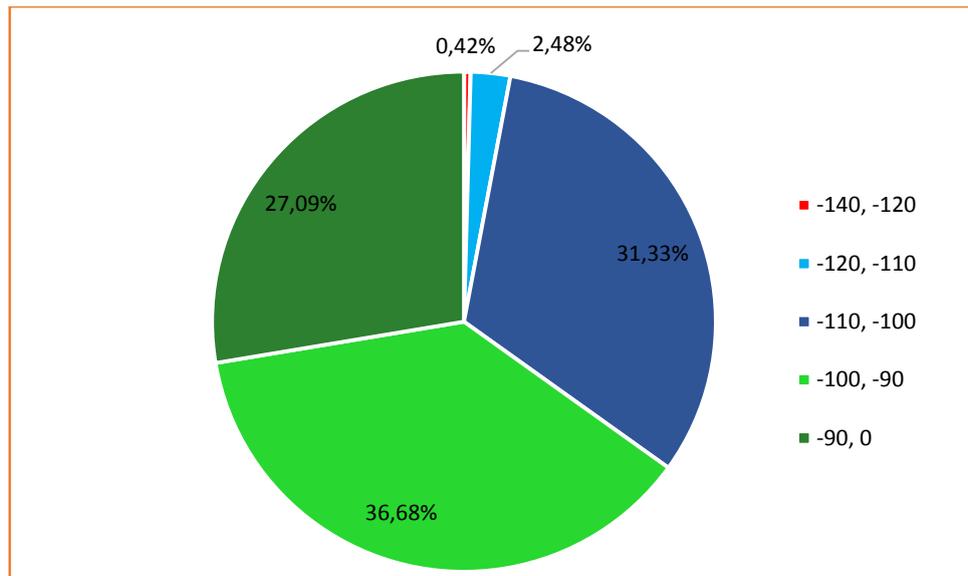


Figura 15: Niveles de SINR tomados por el Escáner



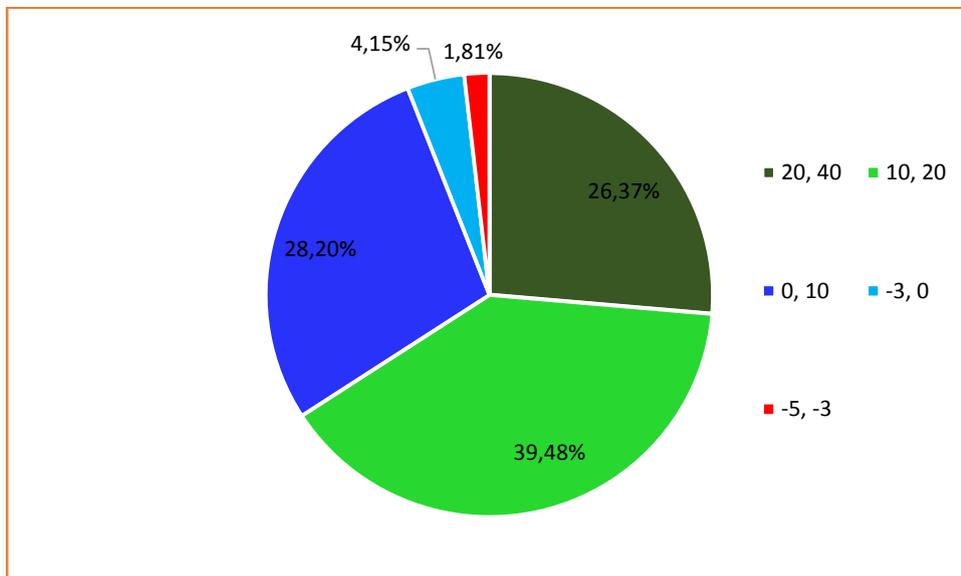
**Figura 16:** Muestras Porcentuales SINR tomadas por el Escáner

SINR es una medida de la calidad de la señal, pero no está definida en las especificaciones de 3GPP. No se reporta a la red. SINR es utilizado por los operadores, y la industria LTE, debido a que es la mejor forma de cuantificar la relación entre las condiciones de RF y el rendimiento. Los UE normalmente usan SINR para calcular el CQI (Channel Quality Indicator) que informan a la red.

En las muestras tomadas durante el recorrido de Drive Test se puede observar que las mediciones tomadas por el Escáner el 97.01% de las muestras se encuentran dentro de los rangos aceptables para garantizar el servicio.



En las muestras tomadas durante el recorrido de Drive Test por el UE se observa niveles de SINR.



**Figura 18:** Muestras Porcentuales SINR tomadas por el UE

En las muestras tomadas durante el recorrido de Drive Test por el UE el 94.04% se encuentran dentro de los rangos aceptables para garantizar el servicio en el clúster.

### 4.2.1.3. RLC Throughput Downlink

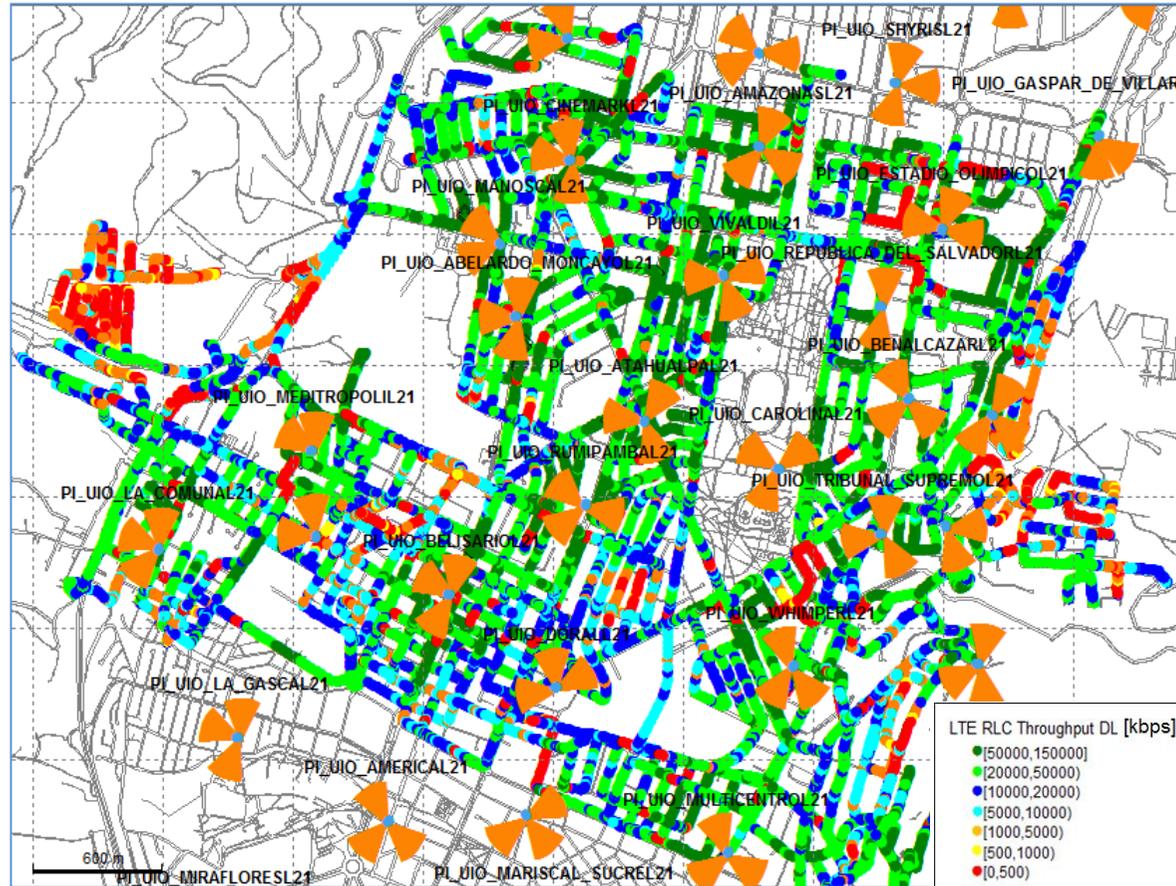


Figura 19: Plots de descarga del modem.

**Tabla 3***Descripción de Throughput de descarga UE*

	<b>Máximo (Mbps)</b>	<b>Promedio (Mbps)</b>
<b>RLC PDU Throughput DL</b>	98.89	30.5

Teniendo un UE categoría 2 es aceptable que se tengan valores de descarga máximos cercanos a lo que especifica el estándar 3GPP versión 8 (102 Mbps) y el valor promedio con el usuario en movimiento está dentro del rango que define el estándar.

#### 4.2.1.4. RLC Throughput Uplink

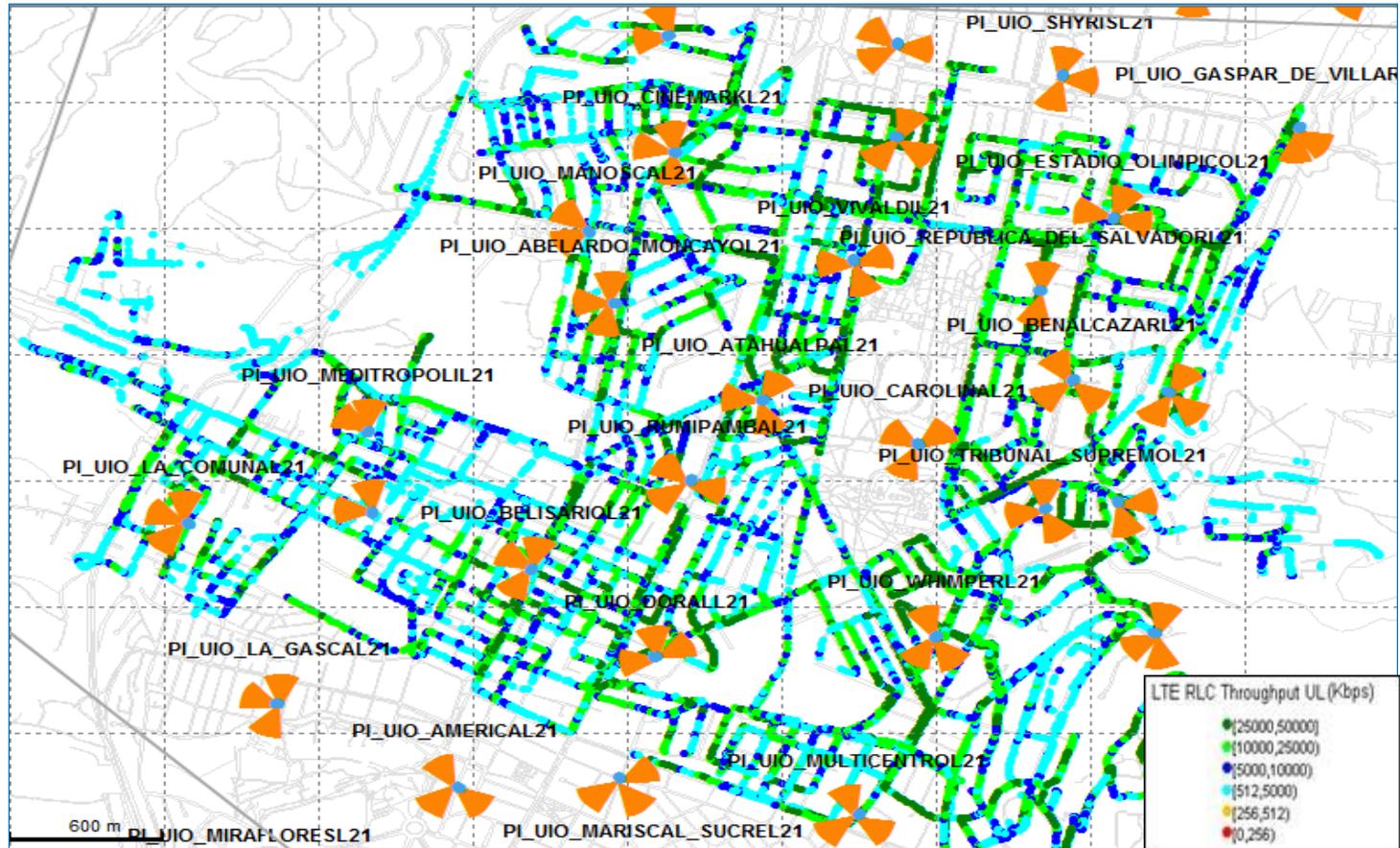


Figura 20: Plots obtenidos del Drive Test.

**Tabla 3***Descripción de Throughput de carga de UE*

	<b>Máximo (Mbps)</b>	<b>Promedio (Mbps)</b>
<b>RLC PDU Throughput UL</b>	39.0 Mbps	16.0 Mbps

Teniendo un UE categoría 2 es aceptable que se tengan valores de carga máximos cercanos a lo que especifica el estándar 3GPP versión 8 (51 Mbps) y el valor promedio con el usuario en movimiento está dentro del rango que define el estándar.

#### 4.2.1.5. IntraFreq (LTE-LTE) Handover Success Rate.

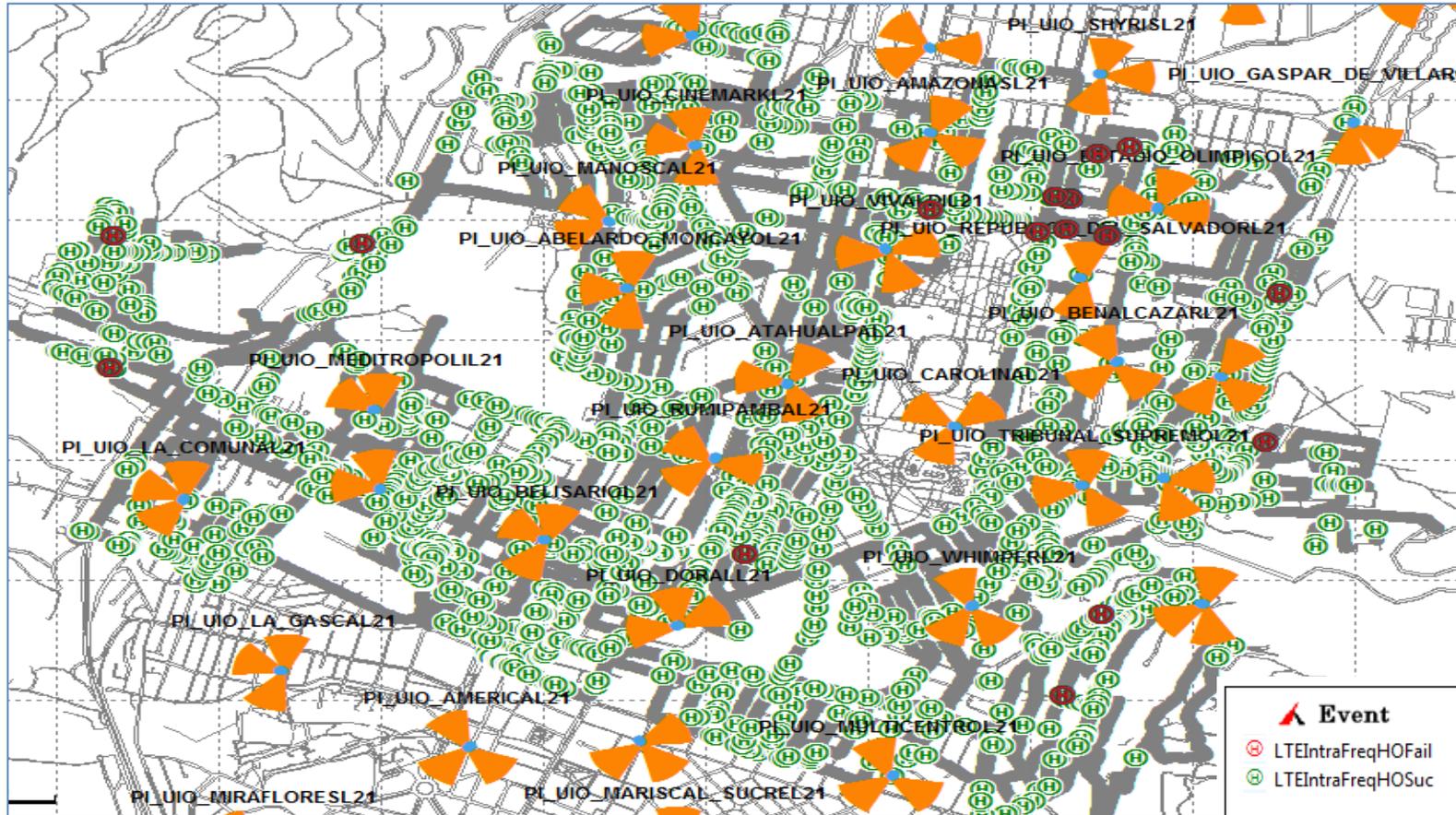


Figura 21: Handovers del UE

**Tabla 4**

*Descripción de Eventos de Handover del UE LTE-LTE*

<b>Evento</b>	<b>Intentos</b>	<b>Exitosos</b>	<b>Porcentaje</b>
Handover Success Rate	3123	3100	99.26 %

Se presentan los eventos de Handover (cambio de una estación base a otra) entre eNodesB LTE de los cuales de 3123 Intentos 3100 se concretaron (*Success*) teniendo así 99.26% eventos *Handover Success*.

4.2.1.6. InterRat (LTE-UMTS) Handover Success Rate

Plots obtenidos en el drive test por el teléfono de prueba configurado con un test plan de llamada corta:

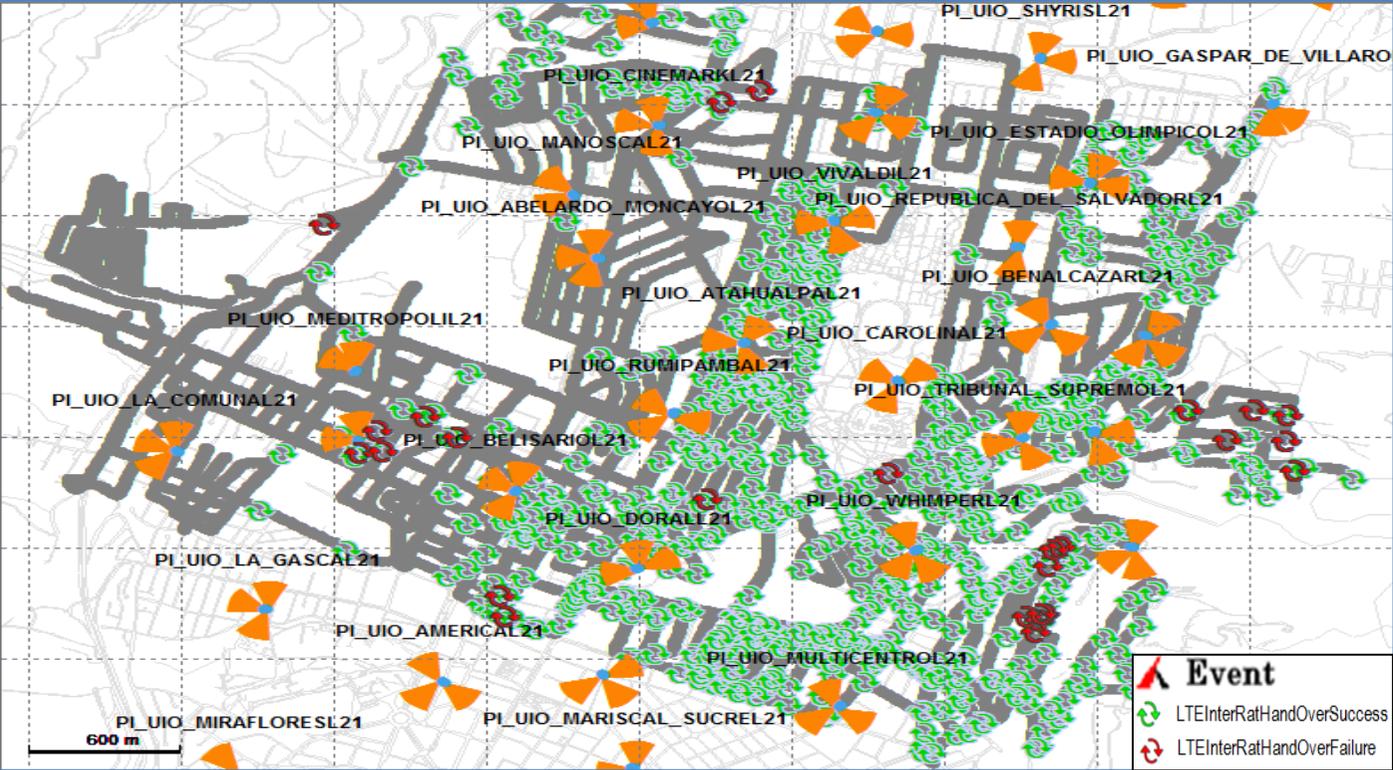


Figura 22: Handover del UE

Durante el recorrido de Drive Test eventos *Handover* entre tecnología LTE y UMTS de 722 Intentos (*Attempt*) 697 se concretaron (*Success*) teniendo así 96.4% eventos *Handover Success*.

#### 4.2.1.7. LTE Circuit Switched (CS) Fallback (FB)

La tecnología LTE soporta servicios basados en conmutación de paquetes, sin embargo, 3GPP especifica fallback (retorno de tecnología) para servicios que usan conmutación de circuitos. Para lograrlo la Arquitectura LTE y los nodos requieren una funcionalidad adicional.

En la arquitectura LTE, la conmutación de circuitos (CS) de emergencia, a EPS permite el aprovisionamiento de servicios de dominio CS-tradicionales (por ejemplo, CS UDI de vídeo / SMS / LCS / USSD) de voz. Para proporcionar estos servicios LTE vuelve a utilizar la infraestructura CS cuando el UE es servido por E UTRAN.

Un terminal habilitado CS Fallback, conectada a E UTRAN puede utilizar GERAN o UTRAN para conectar con el dominio CS. Esta función sólo está disponible en caso de que la cobertura de E UTRAN está solapada por cualquiera de cobertura GERAN o UTRAN.

En la siguiente tabla se muestra el número de eventos de CSFB que fueron registrados en la zona de cobertura del clúster y en las zonas de exclusión:

**Tabla 5**

*Descripción de Eventos CSFB de UE*

LTE CSFB Setup attemp	LTE CSFB Setup Success	LTE CSFB Setup Failure	LTRE CSFB Success Stablismnt Rate
722	714	8	98.89%

### 4.2.1.7.1. LTE CSFB Service Request

Plots obtenidos en drive test por el teléfono de prueba configurado para que realice llamadas cortas:

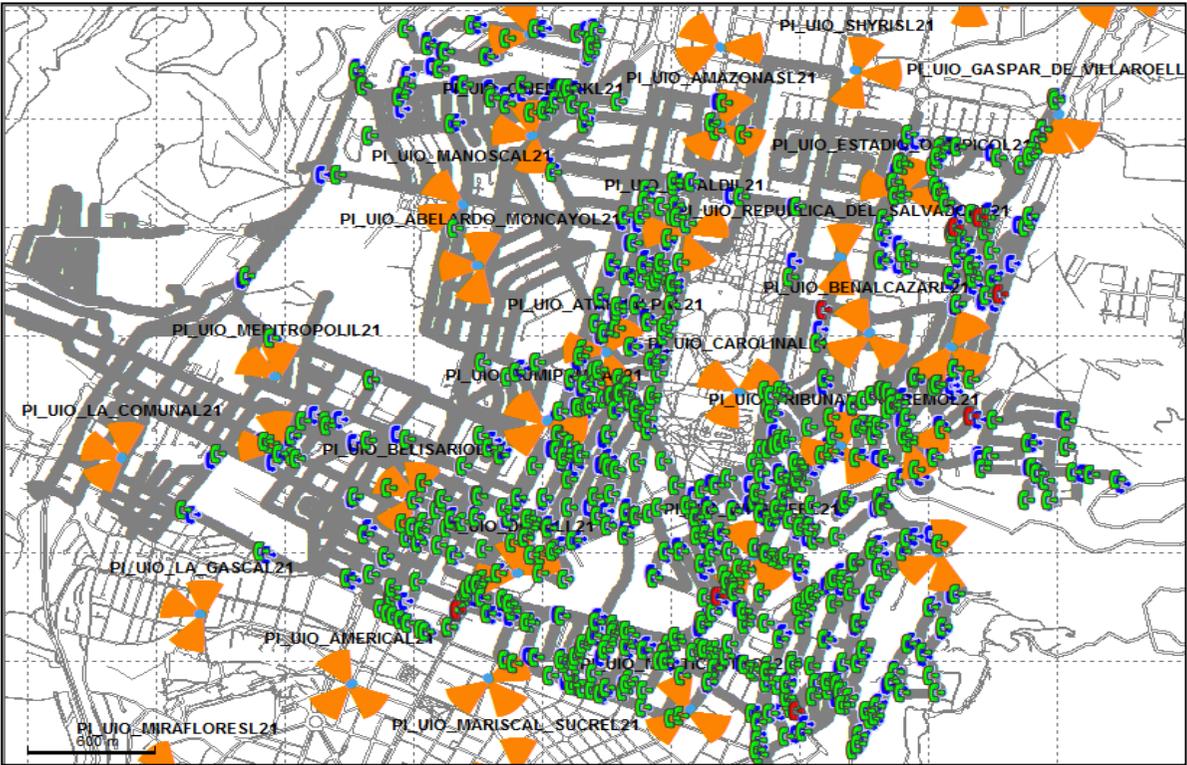


Figura 23: LTE CSFB Eventos de falla

En la figura 23 se verifican eventos de CSFB que tuvieron éxito, es decir el cambio de tecnología para que se realicen llamadas de voz, además se pueden ver en la tabla 6 resultados de medición de unos pocos eventos de falla y su causa.

**Tabla 6**

*Distribución de Eventos de Falla*

ID Evento	Evento	Causa	Niveles Cobertura RSCP	Niveles Calidad Ec/Io	Best Server PSC
CSFB1	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-65.80 dBm	-6.00 dB	283
CSFB2	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-88.22 dBm	-24.52 dB	284
CSFB3	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-101.89 dBm	-18.29 dB	210
CSFB4	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-97.90 dBm	-13 dB	213
CSFB5	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-105.57 dBm	-13.50 db	137
CSFB6	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-87.78 dBm	-14.98 dB	292
CSFB7	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-81.35 dBm	-21.55 dB	265
CSFB8	LTE CSFB Failure	Call Setup Fail	-67.10 dBm	-4.0 dB	256

#### 4.2.2. Pruebas Estáticas

Las pruebas estáticas en el clúster se realizaron en los sitios que se indican en la tabla 7, debido a que estos lugares son sitios de alto tráfico de la red:

**Tabla 7**

*Detalle de Puntos Estáticos*

N o.	PUNTO ESTÁTICO	COORDENADAS		Best Server	PCI
		LON	LAT		
P1	Escuela “República del Paraguay”, Colegio “José María Velasco Ibarra”, Calles El Tiempo y Roma	-78.4832	-0.1741	PI_UIO_AMAZONAS_2	9
P2	Sala de Cines “Cinemark”, Restaurant “MCDonalds”	-78.4925	-0.1747	PI_UIO_CINEMARK_1	18
P3	Edificio “Twin Towers”, Calles República del Salvador y Portugal	-78.4799	-0.1811	PI_UIO_REPUBLICA_D EL_SALVADOR_2	4

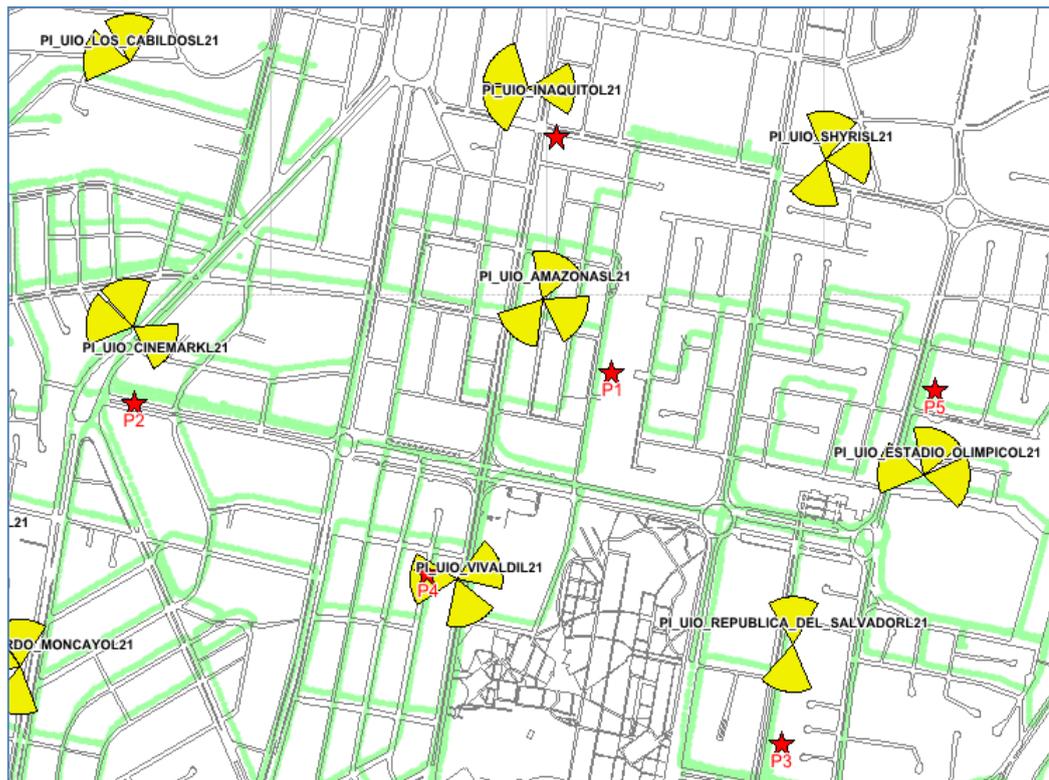


Figura 24: Ubicaciones de los Puntos Estáticos

- PUNTO ESTÁTICO 1

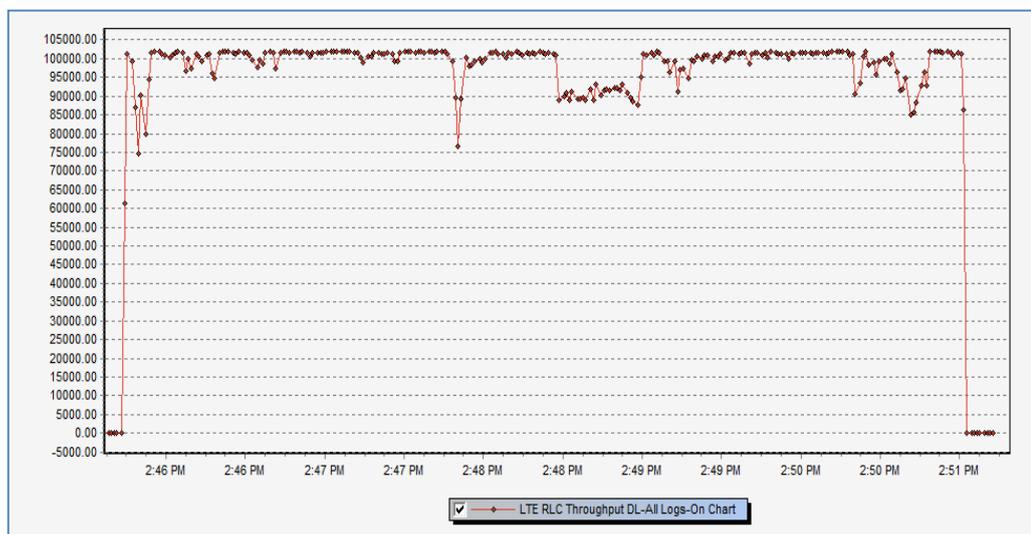
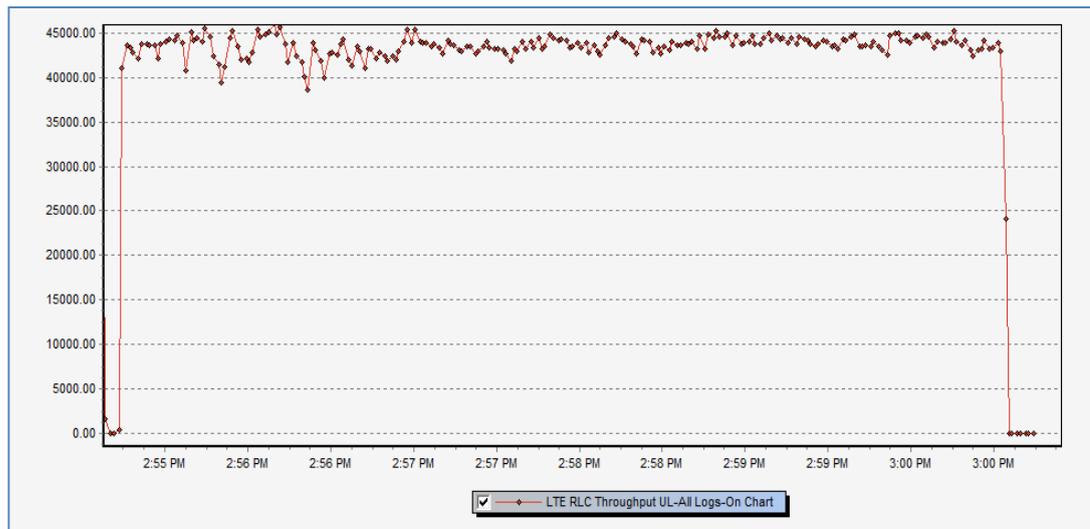


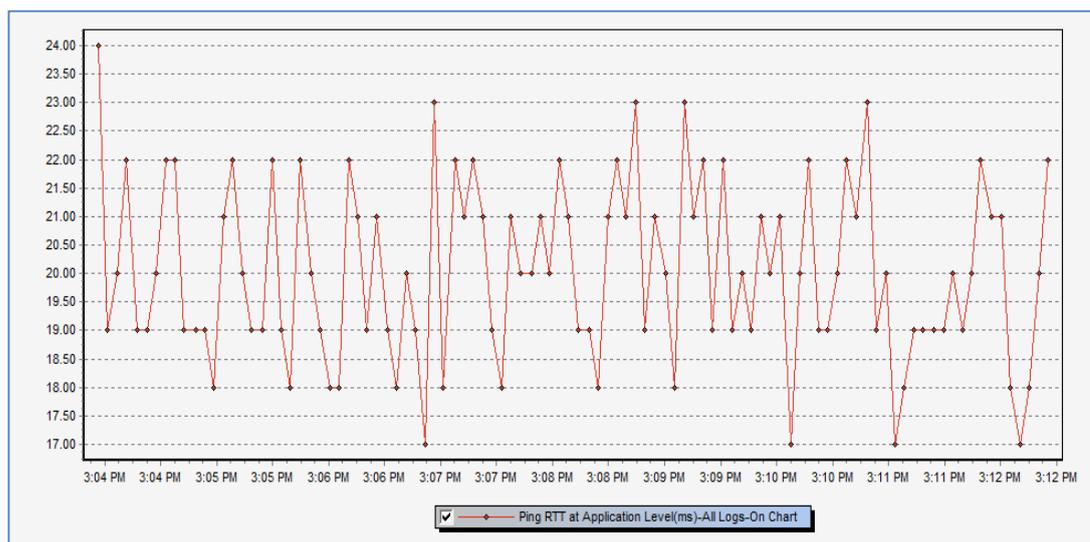
Figura 25: Prueba Throughput RLC Downlink.

Se verifica que la velocidad de descarga está por arriba de 80 Mbps. De acuerdo a lo especificado por el estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 26:** Prueba Throughput RLC Uplink

Se verifica que la velocidad de carga está por arriba de 40 Mbps. De acuerdo a lo especificado por el estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de carga de hasta 50 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 27:** Prueba Ping

Se verifica que los valores de ping tienen un rango menor a 38ms. El estándar *release 8* especifica que el valor debe ser menor a 50ms.

Tabla 8

## Resumen de Pruebas Estáticas

Servicio	Tipo de Prueba	Valor de Aceptación Operadora	Valor de Prueba Promedio	Valor Máximo	Estándar Release 8
<b>FTP Downlink</b>	Múltiples descargas del servidor FTP	> 50 Mbps	88.68 Mbps	98.96 Mbps	100 Mbps
<b>FTP Uplink</b>	Múltiples cargas hacia el servidor FTP	>40 Mbps	42.25 Mbps	46.01 Mbps	50 Mbps
<b>Ping</b>	100 Ping 32 Bytes	≤38 ms	20 ms	23 ms	≤50 ms

En la tabla anterior podemos observar los resultados obtenidos de las pruebas estáticas realizadas en la ubicación del Punto Estático 1. Verificando el cumplimiento con los valores de aceptación de acuerdo a lo que garantiza el *release 8*.

- PUNTO ESTÁTICO 2

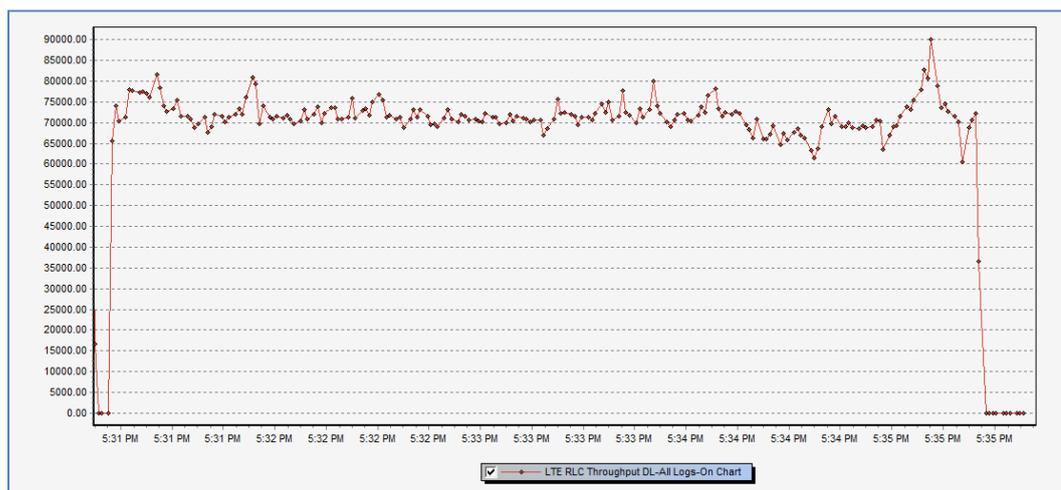
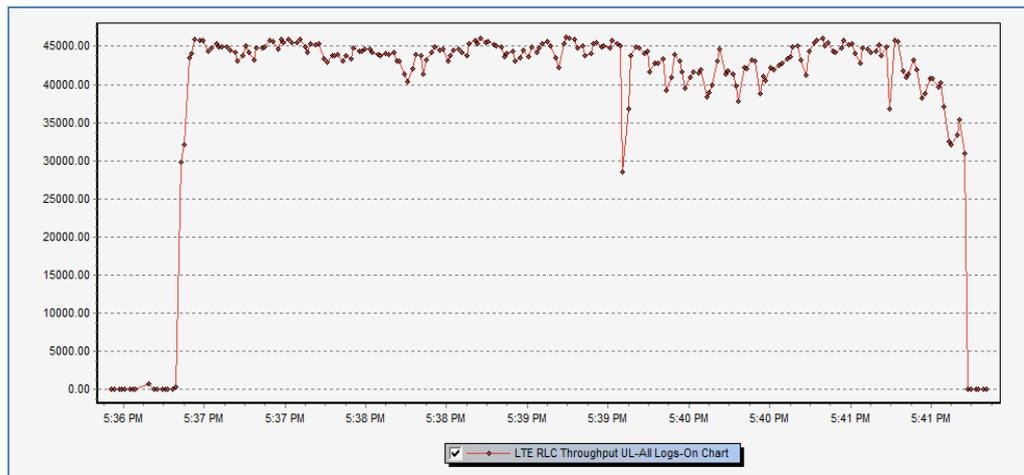


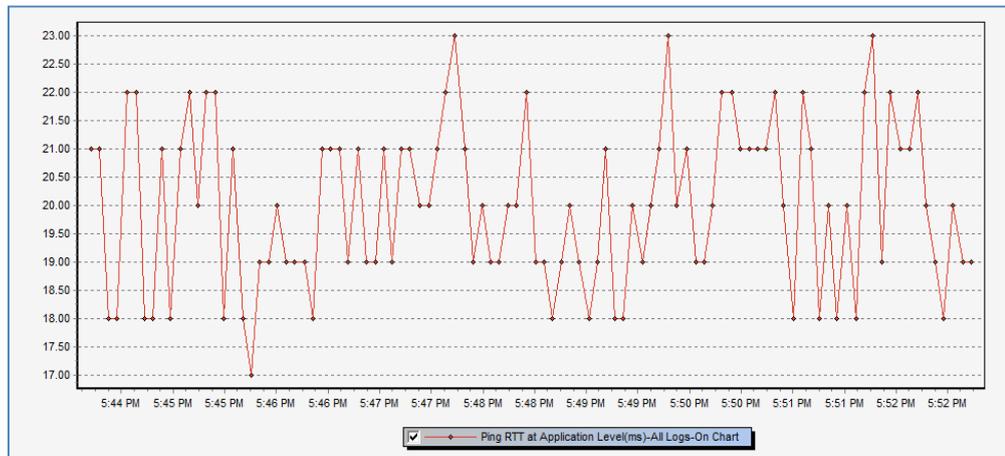
Figura 28: Prueba Throughput RLC Downlink.

Se verifica que la velocidad de descarga está por arriba de 50 Mbps. De acuerdo a lo especificado por el estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 29:** Prueba Throughput RLC Uplink

Se verifica que la velocidad de carga tiene valores cercanos a 40 Mbps. De acuerdo a lo especificado por el estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de carga de hasta 50 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 30:** Prueba Ping

Se verifica que los valores de ping tienen un rango menor a 38ms. El estándar *release 8* especifica que el valor debe ser menor a 50ms.

Tabla 9

## Resumen de Pruebas Estáticas

Servicio	Comentarios	Valor de Aceptación	Valor de Prueba (Promedio)	Valor Máximo	Estándar Release 8
<b>FTP Downlink</b>	Múltiples descargas del servidor FTP	> 50 Mbps	68.0 Mbps	90.0 Mbps	100 Mbps
<b>FTP Uplink</b>	Múltiples cargas hacia el servidor FTP	>40 Mbps	41.0 Mbps	46.20	50 Mbps
<b>Ping</b>	100 Ping 32 Bytes	≤38 ms	20	23	≤50 ms

En la tabla anterior podemos observar los resultados obtenidos de las pruebas estáticas realizadas en la ubicación del Punto Estático 2. Verificando el cumplimiento con los valores de aceptación de acuerdo a lo que garantiza el *release 8*.

- **PUNTO ESTÁTICO 3**

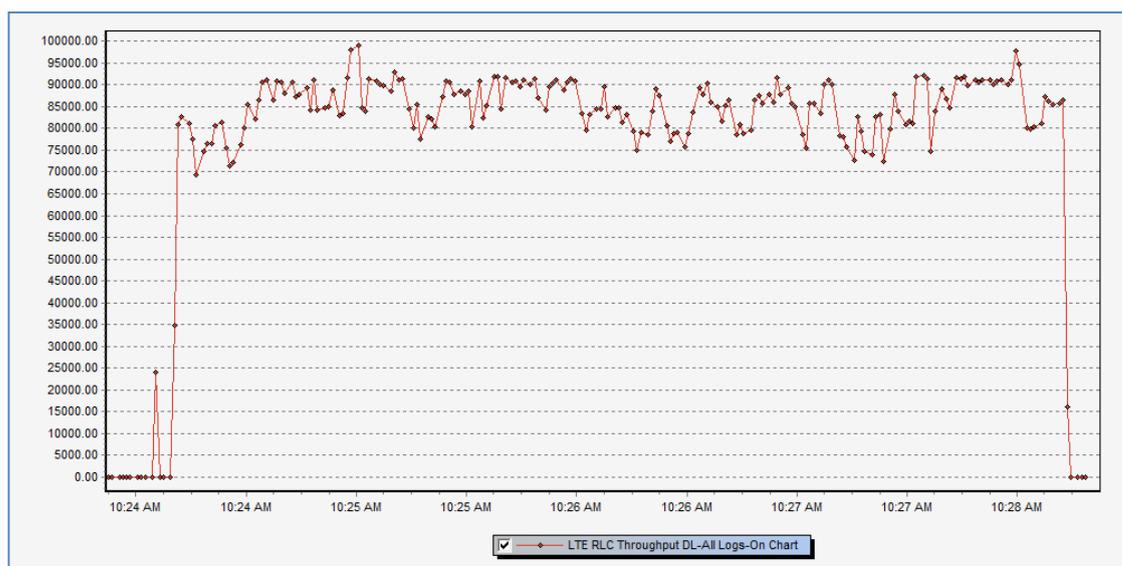
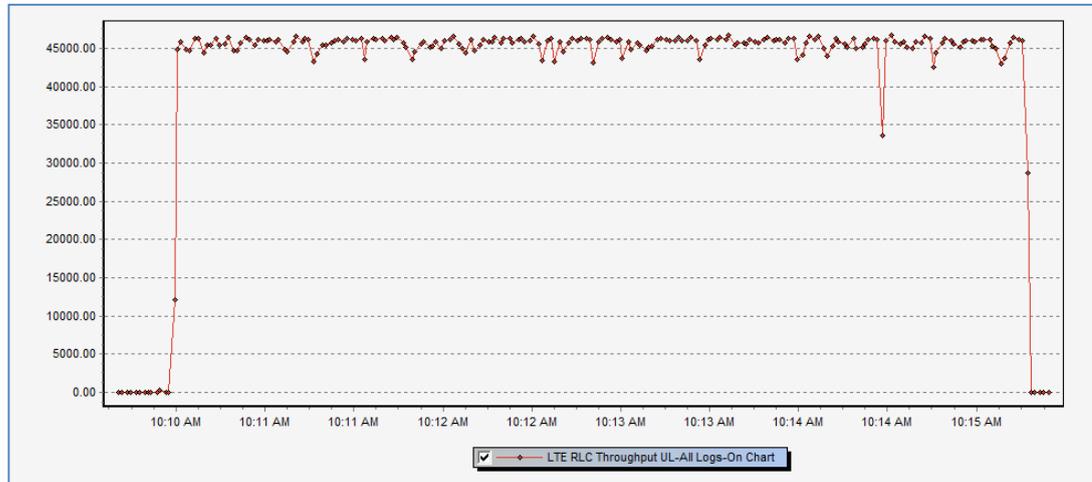


Figura 31: Prueba Throughput RLC Uplink

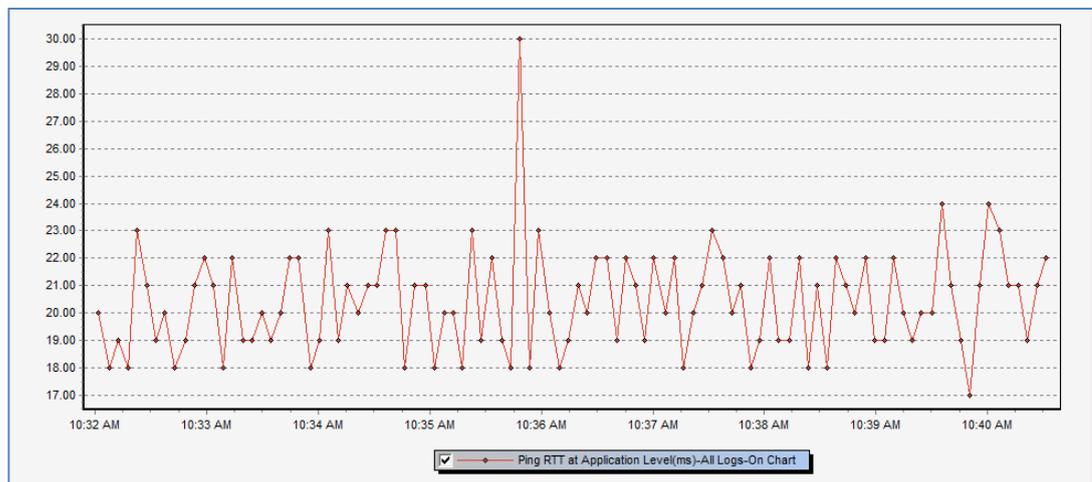
Se verifica que la velocidad de descarga está por arriba de 50 Mbps. De

acuerdo a lo especificado por el estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 32:** Prueba Throughput RLC Uplink

El rendimiento de carga tiene valores cercanos a 40 Mbps. De acuerdo al estándar *release 8* se pueden alcanzar velocidades de carga de hasta 50 Mbps con asignaciones de espectro de 20Mhz.



**Figura 33:** Prueba Ping

Se tiene valores de ping en un rango menor a 38ms. El estándar *release 8* especifica que el valor debe ser menor a 50ms.

**Tabla 10***Resumen de Pruebas Estáticas*

<b>Servicio</b>	<b>Comentarios</b>	<b>Valor de Aceptación</b>	<b>Valor de Prueba (Promedio)</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Estándar Release 8</b>
<b>FTP Downlink</b>	Múltiples descargas del servidor FTP	> 50 Mbps	70.0 Mbps	99.023 Mbps	100 Mbps
<b>FTP Uplink</b>	Múltiples cargas hacia el servidor FTP	>40 Mbps	41.6 Mbps	46.75	50 Mbps
<b>Ping</b>	100 Ping 32 Bytes	≤38 ms	20.41	30	≤50 ms

En la tabla anterior podemos observar los resultados obtenidos de las pruebas estáticas realizadas en la ubicación del Punto Estático 3. Verificando el cumplimiento con los valores de aceptación de acuerdo a lo que garantiza el *release 8*.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS TÉCNICO LEGAL

#### 5.1. Requerimientos

##### 5.1.1. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico constituye un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial.

A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo y económico de un país.

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República del Ecuador como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible (Centro de escritura Javeriano, 2013).

##### 5.1.2. Concesiones

A principios del 2013 se autorizó el uso de 70 MHz de espectro radioeléctrico a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP) en las bandas de 700 MHz y 1,7/2,1 GHz, para el futuro despliegue de LTE en Ecuador (RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012, 2012).

El 18 de febrero de 2015, el Gobierno Nacional asignó espectro adicional para despliegue de redes LTE en las operadoras privadas. Se asigna 50 MHz de espectro para Movistar en la banda de 1900 MHz, y para Claro se asigna 40 MHz y 20 MHz de espectro en las bandas de 1700 MHz y 1900 MHz respectivamente (Ministerio telecomunicaciones ecuador, 2015).

### 5.1.3. Roaming

La recomendación UIT-R M.1224-1 de UIT, detalla dos definiciones de roaming, que son:

- “Capacidad del usuario de funcionar en una red de servicio distinta de la red originaria. La red de servicio puede ser una red compartida explotada por dos o más operadores de red (UIT, 2012).”
- “Capacidad de acceso de un usuario a servicios de telecomunicaciones inalámbricos en zonas distintas a aquellas en que el usuario está abonado (UIT, 2012).”

De acuerdo a la resolución de Arcotel-2016-0671 para el roaming entre CNT y OTECEL en la red LTE no se ha concretado ningún acuerdo, no obstante si se dispone el acceso automático de roaming en tecnología 3G.

## 5.2. Análisis de Cumplimiento Legal

Arcotel como entidad encargada del control y regulación de telecomunicaciones en el Ecuador exige el cumplimiento de parámetros, normas, estándares mediante la discusión y aplicación de resoluciones con las operadoras móviles. A continuación se detallan parámetros analizados en esta tesis y su cumplimiento.

Según la RESOLUCIÓN TEL-042-01-CONATEL-2014 se consideran los índices de calidad de servicio de los cuales en aspectos técnicos se destacan los siguientes:

- **Porcentaje De Llamadas Establecidas**

$$\%Icom \geq 96\%$$

$$\%Icom = Icom/ill * 100$$

Según la tabla 5 se tienen 714 llamadas establecidas (Icom) y 722 intentos de llamada (ill), aplicando la fórmula anterior tenemos como resultado un porcentaje de llamadas establecidas (%Icom) de 98,89%. Por lo tanto se cumple el valor establecido de este índice de calidad.

- **Porcentaje De Llamadas Caídas**

$$\%llc: \leq 2\%$$

$$\% llc = llc/llc \times 100$$

De acuerdo a la tabla 5 se tienen 8 llamadas caídas (llc) y 714 llamadas establecidas (llcom), aplicando la formula anterior tenemos como resultado un porcentaje de llamadas caídas (%llc) de 1,11%. Por lo tanto se cumple el valor establecido de este índice de calidad.

- **Nivel Mínimo De Señal En Cobertura (Zona De Cobertura)**

$$\%C \geq 95\%$$

%C: Porcentaje de Cobertura por tecnología

Los niveles de RSRP que se obtuvieron en las mediciones descritas en el capítulo 4 muestran que el 98,59% de muestras obtenidas por el escáner son mayores a -110 dBm. Mientras que el UE obtiene 83.19% de muestras mayores a -110 dBm.

### **5.3. Análisis de Prestación de Nuevos Servicios**

Conforme al crecimiento de la red LTE y demanda de los usuarios a servicios que requieran de datos móviles, las operadoras están en capacidad de ofertar a los usuarios nuevos servicios aprovechando la capacidad de sus redes y los beneficios de nuevas tecnologías.

Para la provisión de servicios adicionales, las operadoras comunican a la ARCOTEL mediante oficio las condiciones técnicas y legales del servicio que ofertaran.

En nuestro país la operadora Movistar oferta el servicio de Push to Talk para lo cual comunica a ARCOTEL mediante oficio VPR-10695-2015 N, con el nombre de *Team Talk* a partir de noviembre de 2015.

El servicio Push to View no se oferta en el país actualmente. Se oferta el servicio de video llamada pero a través de la red 3G.

En los próximos años es seguro que se tendrá el servicio de voz sobre LTE, dado que los operadores a nivel de latinoamérica están implementando ya este servicio. En nuestro país las redes LTE permitirán ofertar servicios como es voz HD, solo será necesario implementar mejoras de infraestructura para tener redes con IMS. Se conoce que CNT está implementando VoLTE según (Global mobile Suppliers Association, 2017).

#### **5.4. Análisis de resultados**

##### **5.4.1. Descripción De Los Principales KPIs**

Para presentar un reporte del estado de la red se establecen los principales indicadores claves de rendimiento (KPIs) para medir la calidad de la red la CNT EP.

Los niveles permitidos de KPIs son establecidos con el proveedor, los valores umbrales de los KPIs que se analizan se detallan en la tabla 11.

**(ST)** Información obtenida de Pruebas Estáticas.

**(DT)** Información obtenida en Drive Test.

Tabla 11

*Descripción de principales KPIs*

KPI	Fuente	Valor Actual	Target	Comentario
<b>RRC Connection Setup Success Rate (Accesibilidad)</b>	DT	99.5 %	≥ 95%	Cumple
<b>eRab Establishment Success Rate (Retenibilidad)</b>	DT	100%	≥ 95%	Cumple
<b>Call Drop Rate (Llamadas Caidas)</b>	DT	3.96%	< = 4%	Cumple
<b>Average Round Trip Delay – Ping UE to IP Server</b>	ST	21.18	<=38ms	N.A
<b>IntraFreq Handover Success Rate (LTE&lt;-&gt;LTE)</b>	DT	99.6%	≥ 95%	Cumple
<b>InterRat Handover Success Rate (LTE&lt;-&gt;UMTS)</b>	DT	96.54	≥ 90%	N.A
<b>RLC Throughput DL/UL- Stationary (Rendimiento)</b>	ST	75.16- /40.95	N/A (Mediciones)	N.A
<b>RLC Layer Throughput DL/UL – Mobility (Movilidad)</b>	DT	30- .5/16.0	N/A (Mediciones)	N.A

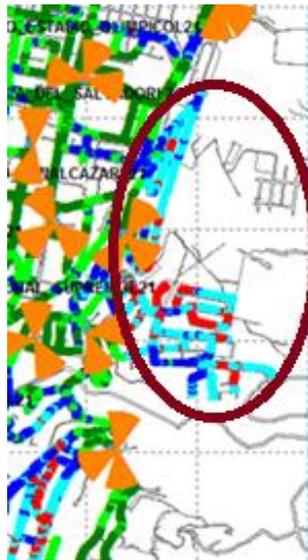
#### 5.4.2. Análisis de cobertura - RSRP

Analizando a continuación la figura 34 para mejorar los niveles de RSRP(Cobertura) que se obtuvieron en las mediciones descritas en el capítulo 4, es decir el 83.19% de muestras que obtuvo el UE, se realizan algunas sugerencias para las zonas donde se observan los niveles más bajos de cobertura que son las siguientes:



**Figura 34:** Zona con baja cobertura.

En la figura 34 se puede verificar que el sector cercano del nodo la comuna se tiene niveles de cobertura bajos. Por ser una zona alta en donde se tiene poca cantidad de usuarios no existe un nodo LTE en el sector.



**Figura 35:** Zonas con niveles bajos de cobertura

En la figura 35 se puede verificar que el sector del nodo tribunal supremo se tienen los niveles de cobertura LTE bajos.

Se debe buscar una solución para mejorar cobertura en los sectores descritos en las figuras anteriores tomando en cuenta los resultados que resulte el análisis de calidad SINR.

#### **5.4.3. Análisis de calidad - SINR**

Para el análisis de calidad se debe verificar las áreas dentro del clúster que tienen niveles malos de SINR, y comparar esas áreas con las figuras de niveles de RSRP.

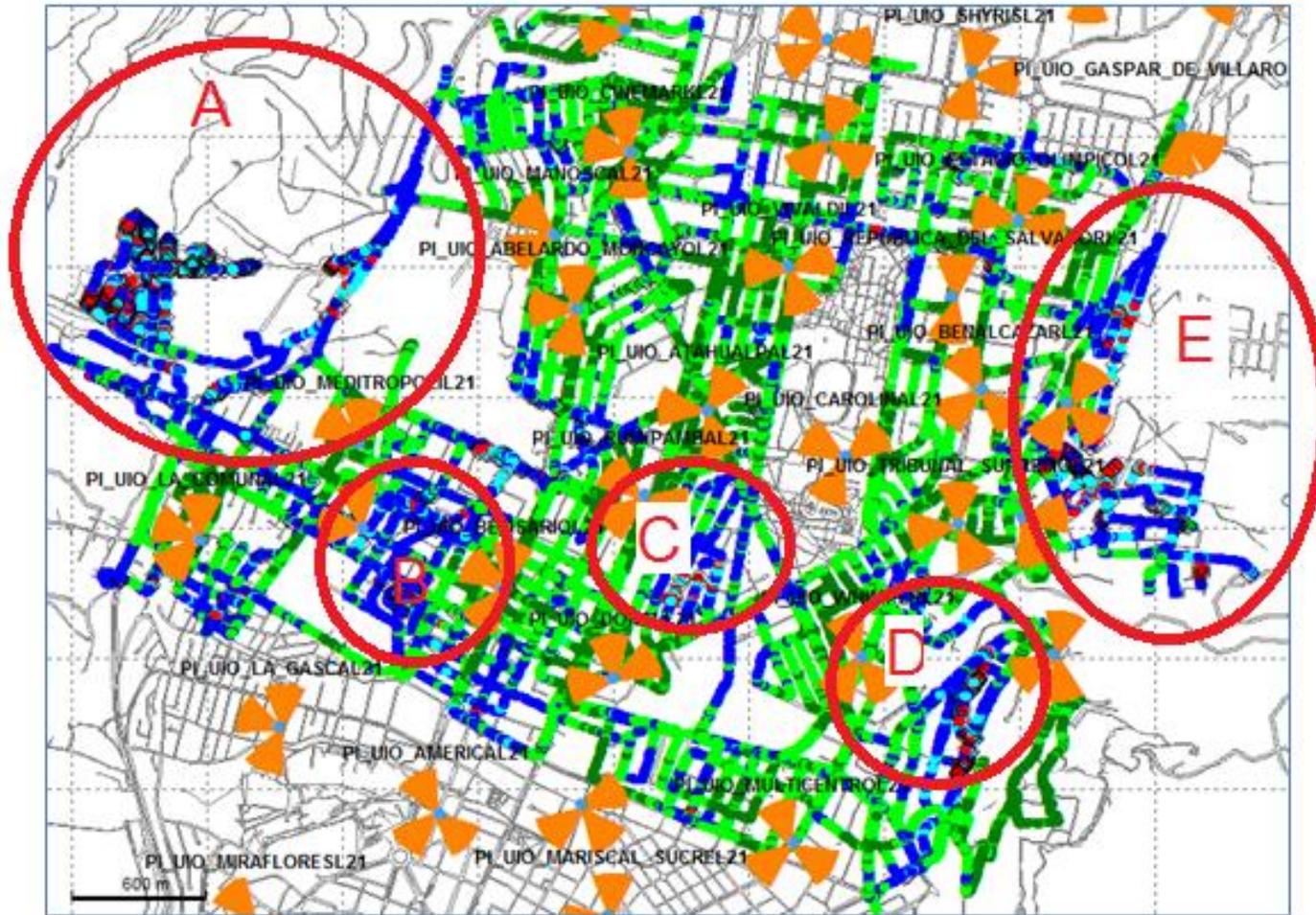


Figura 36: Zonas con degradación de rendimiento.

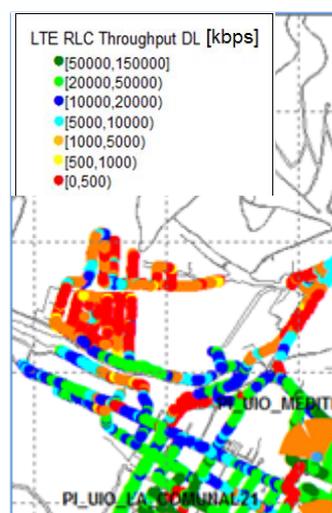
En las zonas A Y E señaladas en la figura 36 los niveles de RSRP son menores a -110 dBm, y los niveles de SINR son menores a 0 dB, dado que los niveles de cobertura son tan bajos se producen accesos fallidos de llamadas y/o caída de sesiones.

En las zonas B, C Y D señaladas en la figura 36 los niveles de SINR están entre -3 y 10 dB estos problemas se pueden solucionar revisando las configuraciones lógicas y físicas de cobertura de las celdas que se encuentran en el área analizada.

En las muestras tomadas durante el recorrido de Drive Test por el UE el 94.04% de muestras de SINR son mayores a 0 que garantizar el servicio en el clúster.

#### 5.4.4. RLC Throughput Downlink.

Este parámetro indica la velocidad de descarga de archivos en la capa RLC.

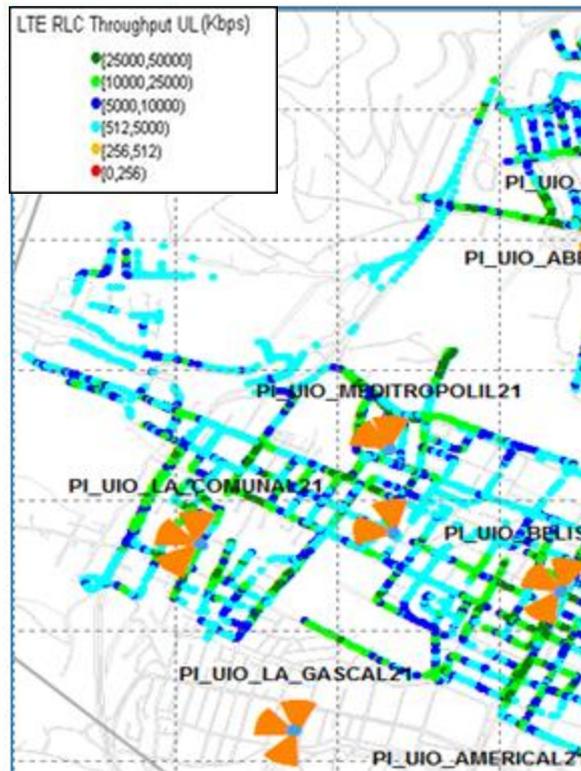


**Figura 37:** Zonas con niveles bajos de Throughput.

Debido a mala cobertura analizada anteriormente se ve altamente afectada la descarga de datos obteniendo niveles menores a 5000 kbps.

#### 5.4.5. RLC Throughput Uplink.

Este parámetro indica la velocidad de carga de archivos en la capa RLC.



**Figura 38:** Zonas con niveles bajos de Throughput

La carga de datos se ve afectada con valores de 512 a 5000 kbps en toda la ruta de drive test, debido a la realización en simultáneo de descarga.

## 5.4.6. Eventos

### 5.4.6.1. Eventos de acceso y retenibilidad

Se analizan los eventos de accesibilidad para comprobar el acceso que el usuario obtiene a los servicios que utiliza y los eventos de retenibilidad para verificar la capacidad de la red para mantener un servicio. El software GENEX Assistant facilita el procesamiento de los datos de los mencionados eventos.

En la siguiente tabla se muestra el número de conexiones de RRC cuyos eventos fueron registrados en la zona de cobertura.

Tabla 12

Eventos UE RRC.

EVENTOS DE ACCESIBILIDAD (RRC Connection Setup Success Rate)				
RRC Setup attempt	RRC Setup Success	RRC Setup Failure	RRC Stablishment Rate	RRC Setup Time Delay Average (ms)
409	407	2	99.5%	38.31

Figura 39: Eventos UE RRC.

En la siguiente tabla se muestra el número de sesiones exitosamente establecidas, el número de sesiones cuya desconexión fue anormal, además de eventos registrados en la zona de cobertura.

Tabla 13

Eventos UE ERAB.

EVENTOS DE RETENIBILIDAD (eRab Establishment Success Rate)					
Erab Setup attempt	Erab Setup Success	Access Failures	Normal Release	Abnormal release	Call Dropped
382	382	0	367	15	3.96%

Figura 39: Eventos UE ERAB.

#### 5.4.6.2. Eventos de Handover

Al tener 99.26% eventos *Handover Success LTE-LTE* y 96.4% de eventos *Handover Success.LTE UMTS* se garantiza movilidad.

#### 5.4.6.3. Eventos CSFB

De acuerdo a los resultados de la tabla 5 se obtuvo el 98.89% de eventos CSFB exitosos y los 8 eventos fallidos se dan por fallas de cobertura y calidad de la red 3G.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- En la ruta analizada en este proyecto para el caso de cobertura se analizó el RSRP que obtuvo un valor máximo de -49.38 dBm y un valor promedio de -96.54 dBm, mientras que para calidad se analizó el SINR que obtuvo un valor máximo de 30.00 dB y un valor promedio de 10.85 dB. Resultados que garantizan el servicio al usuario.
- Los niveles máximos de descarga en el Drive Test, alcanzan un valor de 98.89 Mbps, mientras que el valor promedio es de 30.5 Mbps. Para las pruebas estáticas en lo que se refiere a descarga, se tiene un valor promedio es de 75.16 Mbps. En el caso de la carga en las pruebas estáticas, se obtuvo un promedio de 40.91 Mbps. Estas pruebas de rendimiento están de acuerdo a los valores establecidos en los requerimientos del estándar *release 8* que garantizan una buena experiencia de usuario.
- En la tabla 11 que indica el cumplimiento de KPI's Estadísticos, se cumplen los target de Accesibilidad en RRC Connection Setup Success Rate, eRab Establishment Success Rate, pero el Call Drop Rate obtiene un porcentaje de 3.96% muy cercano al valor de target debido a un alto número de llamadas caídas cercanas al nodo Estadio Olímpico para lo cual se deben aplicar cambios lógicos en la configuración de este nodo.
- Se obtuvieron sectores en que los niveles de cobertura y SINR afectan al promedio de cobertura general de toda la ruta estudiada, estas son zonas de borde donde no existen nodos LTE
- Con los datos obtenidos en las pruebas de este proyecto se verifica el comportamiento actual de la red, en el clúster para de esta manera mejorar el servicio de LTE. Con la implementación de los cambios tanto

físicos y lógicos es posible mejorar cobertura, calidad, e indicadores claves de desempeño de la red (Key Performance Indicators, KPIs).

- Nuestro país tienen algunas bandas de frecuencia que no han sido ocupadas que permitirá a los operadoras desplegar en mejores condiciones el servicio móvil avanzado (SMA) al contar con bloques de frecuencia en las bandas de 700 MHz y 2500 MHz.
- Es posible que las operadoras oferten nuevos servicios en sus respectivas redes LTE, ya que se cumplen las especificaciones técnicas del estándar release 8.

## **6.2. Recomendaciones**

- La evaluación de redes celulares debe ser realizada de manera periódica, bajo diferentes condiciones y horas del día, para de esta manera garantizar servicios de mejor calidad y detectar problemas para dar soluciones rápidas y efectivas.
- CNT debe desplegar cobertura de LTE en zonas rurales, autopistas, carreteras, al tener la ventaja de contar infraestructura para el crecimiento de su red.
- Para tener éxito en la entrega de una buena experiencia del cliente VoLTE, CNT EP tendrá que ser capaz de probar, solucionar problemas, gestionar y optimizar la red y los servicios para garantizar que cumplen las expectativas del usuario.
- La red LTE de la CNT se encuentra en constante crecimiento, convirtiéndose en una red dinámica, por lo que un proceso de optimización se debe realizar constantemente cada cierto periodo de tiempo para poder suplir con los problemas y demanda de capacidad que se presenten en un futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

- 3GPP. (2016). Obtenido de <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
- 4G Americas. (2017). Obtenido de <http://www.4gamericas.org/es/newsroom/press-releases/volte-y-rcs-proximo-paso-en-comunicacion-y-mensajeria/>
- Arias Luna, G. P., & Navarrete Navarrete, C. T. (2015). *Diseño de la Plataforma VoLTE basado en IMS Core para la Red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP*. Obtenido de [bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10362/3/CD-6161.pdf](http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10362/3/CD-6161.pdf)
- ATIS. (2016). Obtenido de [https://www.atis.org/01\\_strat\\_init/3GPP/](https://www.atis.org/01_strat_init/3GPP/)
- Bermeo, A. (2014). *Comunicación móvil: 4g lte /lte avanzado para banda ancha móvil (Tesis de Pegrado)*. Universidad Católica De Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/6141/1/TESIS.pdf>
- Brydon, A. (2013). *Unwiredinsight*. Obtenido de <http://www.unwiredinsight.com/2013/lte-mimo>
- Centro de escritura Javeriano. (2013). Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>
- Claro. (2016). Obtenido de <http://www.claro.com.ec/portal/recursos/ec/pdf/CONDICIONESLEGAL-ESDELUSODELSERVICIO4GLTE.pdf>
- Claro. (2017). Obtenido de <http://www.claro.com.ec/portal/ec/sc/corporaciones/soluciones-corporativas/m2m/>
- Comunicaciones Móviles, Sistemas GSM, UMTS y LTE. (2011). En J. M. Huidrobo Moya. Ediciones de La U.
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones. (2017). Obtenido de <https://www.cnt.gob.ec/internet/plan-corporativo/telemetria-m2m-movil/>
- Espectro Radioelectrico. (2016). Obtenido de

- <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico/>  
*Global mobile Suppliers Association*. (2017). Obtenido de <http://gsacom.com/paper/gsa-evolution-lte-report-january-2017/>
- Guiaspracticas*. (2016). Obtenido de <http://www.guiaspracticas.com/walkie-talkies/push-to-talk-ptt>
- keysight*. (2016). Obtenido de <http://www.keysight.com/>
- Ministerio telecomunicaciones ecuador*. (2015). Obtenido de [https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Boletines\\_Prensa\\_2015.pdf](https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Boletines_Prensa_2015.pdf)
- Mitel*. (2016). Obtenido de <http://ni.mitel.com/products/móvil/mobility-management-entity>
- motorola-global-es-latam.custhelp.com*. (2017). Obtenido de [https://motorola-global-es-latam.custhelp.com/app/answers/prod\\_answer\\_detail/a\\_id/45872/p/30](https://motorola-global-es-latam.custhelp.com/app/answers/prod_answer_detail/a_id/45872/p/30)
- Movistar*. (2017). Obtenido de <https://www2.movistar.com.ec/site/empresas/datos-empresas/m2m.html>
- Nubecomunicaciones*. (2017). Obtenido de <http://www.nubecomunicaciones.es/soluciones-m2m/>
- pctel*. (2016). Obtenido de <http://www.pctel.com/>
- Pérez. (2009). *Tierra de Lazaro*. Obtenido de <http://www.tierradelazaro.com/wp-content/uploads/2016/04/4G.pdf>
- Pham, G. T. (2013). *Integration of IEC 61850 MMS and LTE to support smart metering communications*. (Master's thesis, University of Twente).
- Redestelecom.es*. (2016). Obtenido de <http://www.redestelecom.es/infraestructuras/noticias/1094587001803/zte-y-telefonica-preparan-una-red-vims-a-gran-escala-en-america-latina.1.html>
- Reglamento Para El Servicio de Telefonía Móvil*. (2016). Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/06/reglamento-para-el-servicio-de-telefonía-móvil-celular.pdf>
- Releases 3GPP*. (2016). Obtenido de [www.3gpp.org/specifications/releases/](http://www.3gpp.org/specifications/releases/)

- RESOLUCIÓN TEL-804-29-CONATEL-2012.* (2012). Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/0804-TEL-29-CONATEL-2012.pdf>
- Reyes, F. (2016). *Telecomunicaciones: Mercados y Tecnologías*. Obtenido de <http://telecomunicaciones-peru.blogspot.com/2016/06/volte-voz-sobre-lte-movistar-peru-lo.html>
- SAE - Wikitel.* (2016). Obtenido de <http://wikitel.info/wiki/SAE>
- Serra Jiménez, C. A., & Marante Rizo, F. R. (2013). Arquitectura general del sistema LTE. *Revista Telemática*, 81-90.
- Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2011). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, 2nd Edition*. Wiley.
- Simpletechpost.* (2016). Obtenido de <http://www.simpletechpost.com/2015/02/overview-of-lte-3gpp-releases.html>
- Sistemas de telefonía STI.* (2016). Obtenido de <https://sites.google.com/site/sistemasdetelefoniasti/t4>
- Sprint.* (2016). *Sprint.* Obtenido de <http://shop2.sprint.com/en/services/walkietalkie/overview.shtml?ECID=vanity:nexteldirectconnect>
- Suárez Páez, J., Sepúlveda Leiva, S., & Salcedo González, M. (2013). Posibles Escenarios de Migración de Redes Móviles de 2G y 3G a Cuarta Generación en Colombia. *Tecno Lógicas*, 381-394. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234341029>
- UIT. (2012). *UIT*. Obtenido de [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-!!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-!!!PDF-S.pdf)