

**UNIVERSIDAD ESTATAL**  
**PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**  
**ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**



**TEMA: “DISEÑO DE UNA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA OBTENER LA ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE TELEFONÍA MÓVIL E INTERNET DE LA CNT E.P. PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: PABLO ROBERTO GÓMEZ SUÁREZ

TUTOR: ING. MILTON BRAVO BARROS

LA LIBERTAD – ECUADOR

2013

**La Libertad, 1 de Noviembre del 2013**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, “DISEÑO DE UNA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA OBTENER LA ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE TELEFONÍA MÓVIL E INTERNET DE LA CNT E.P. PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por el Sr. **Pablo Roberto Gómez Suárez**, egresado de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

**Atentamente**

.....

**Ing. Milton Bravo Barros**

**TUTOR**

## DEDICATORIA

*A Dios Padre Todopoderoso*

Por permitirme culminar con éxito el esfuerzo de todos estos años de estudio.

*A mi Madre Lucila Suárez.*

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

*A mi Padre Juan Gómez.*

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

*A mi novia Jessica Paredes*

Por su ayuda y apoyo incondicional en los momentos que más lo necesité

*A mis familiares.*

A mis hermanos Juan, Gianella, Dave, a mis tías Rosa y Sandra a mi prima Fanny y a todos mis primos y tíos por su apoyo moral y ayuda constante.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios Padre Todopoderoso. A mis padres, Lucila Suárez Suárez y Juan Gómez Avecilla, que siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional. Para mis hermanos, tíos y primos, a toda mi familia, gracias por su apoyo. A mi incondicional compañera sentimental Jessica Paredes, por siempre estar conmigo en momentos difíciles y llevar mis cargas con ella. A la UPSE, la Máxima Casa de Estudios de la Península, al director de la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones Ing. Washington Torres, a la Ing. Mónica Jaramillo por el apoyo desinteresado para culminar este trabajo de tesis.

## TRIBUNAL DE GRADO

-----  
Ing. Freddy Villao Santos, Msc.  
Decano de la Facultad de  
Sistemas y Telecomunicaciones

-----  
Ing. Washington Torres, Msc.  
Director de Escuela  
Electrónica y Telecomunicaciones

-----  
Ing. Milton Bravo Barros  
Profesor Tutor

-----  
Ing. Daniel Gómez Alejandro  
Profesor Área

-----  
Ab. Milton Zambrano Coronado, Msc.  
Secretario General – Procurador

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO DE UNA RED DE CUARTA GENERACIÓN LTE (LONG TERM EVOLUTION) PARA OBTENER LA ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE TELEFONÍA MÓVIL E INTERNET DE LA CNT E.P. PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

**AUTOR: PABLO ROBERTO GÓMEZ SUÁREZ  
TUTOR: ING. MILTON BRAVO BARROS**

**RESUMEN**

El presente proyecto abarca el diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) en los cantones Santa Elena (cabecera cantonal), La Libertad y Salinas de la provincia de Santa Elena para obtener la actualización tecnológica de telefonía e internet. Se realiza un análisis de cobertura radioeléctrica, transferencia de datos, latencia de la transmisión, potencia de recepción, pérdidas de propagación, cálculo de tráfico, servicios ofertados, estrategia de despliegue, encuesta de aceptación de dispositivos móviles con tecnología de cuarta generación y comparación de tecnología actual con la cuarta generación para conocer la factibilidad del proyecto. El análisis es realizado utilizando los métodos analítico-sintético, deductivo-inductivo, observación en el estudio de la geografía de los terrenos, modelación para diseñar la red en software Radio Mobile e investigativo para conocer como fue la evolución de la tecnología para llegar a 4G. Debido a que las exigencias del usuario de telefonía celular son cada vez mayores, en la actualidad se necesita más ancho de banda y a esto se suma la aparición

de nuevos dispositivos móviles que salen al mercado, con nuevas aplicaciones, todo esto genera que las redes móviles sean actualizadas. La provincia de Santa Elena aún no cuenta con tecnología de cuarta generación aunque los dispositivos 4G ya se comercializan en el mercado local.

En el capítulo 1 se presenta la problemática del proyecto, la situación actual del problema y la justificación del mismo, debido a que las redes actuales no cuentan con tecnología de cuarta generación provocando el colapso de las redes en fines de semana y feriados.

En el capítulo 2 se describe una breve reseña de la evolución de las redes, así como la red de cuarta generación y todos los elementos que actúan dentro de la red, las técnicas de modulación y el arreglo de antenas, convergencia entre redes y acogida de la tecnología LTE en el mundo.

En el capítulo 3 se presenta el diagrama de bloques de un sistema LTE, los dispositivos que intervienen y su respectivo análisis técnico, convergencia entre redes, estrategia de despliegue escogida por la CNT E.P., y encuestas realizadas a los peninsulares para conocer el nivel de aceptación de los dispositivos de cuarta generación.

En el capítulo 4 se realiza la aplicación de fórmulas logarítmicas de propagación en el espacio y mediante un estudio geográfico se realiza el diseño de la red en el software de predicción de redes Radio Mobile, para conocer la cobertura de cada eNodoB, niveles de pérdidas de propagación a distintas distancias así como niveles de recepción.

En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos por medio de la simulación de las redes y cálculos logarítmicos de propagación en el espacio, así como comparación de la tecnología actual y la cuarta generación en la provincia, se realiza un cálculo de tráfico y la movilidad que tendrá el usuario.

## ÍNDICE GENERAL

Pág.

CARÁTULA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
CERTIFICADO DE REVISIÓN DE LA REDACCIÓN Y ORTOGRAFÍA.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 .....	2
<b>1. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 HIPÓTESIS.....</b>	<b>7</b>
<b>1.6 RESULTADOS ESPERADOS.....</b>	<b>7</b>

CAPÍTULO 2 .....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	9
2.2 SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL.....	13
2.2.1 TECNOLOGÍA 1G.....	13
2.2.2 TECNOLOGÍA 2G.....	14
2.2.3 TECNOLOGÍA 2.5G.....	14
2.2.4 TECNOLOGÍA 3G.....	15
2.2.5 TECNOLOGÍA 3.5G Y 3.75G.....	15
2.2.6 TECNOLOGÍA 4G.....	16
2.2.6.1 EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO (LTE).....	17
2.3 ORGANISMOS DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES.....	17
2.4 TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR.....	19
2.6.1 OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL.....	19
2.6.1.1 CONECEL S.A.....	20
2.6.1.2 OTECEL S.A.....	20
2.6.1.3 CNT E.P (EX-TELECSA).....	21
2.7 TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE).....	22
2.7.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE.....	22
2.7.2 ARQUITECTURA RED DE ACCESO EVOLUCIONADO (E-UTRAN).....	24
2.7.2.1 COMPARATIVA ARQUITECTURAS E-UTRAN Y UTRAN.....	25
2.7.3 RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADO (EPC).....	27
2.7.4 ENTIDADES DE RED E INTERFACES.....	28
2.7.5 ESTRUCTURA DE UNA TRAMA LTE.....	31
2.8 GESTIÓN DE SEGURIDAD.....	33
2.8.1 SEGURIDAD DE ACCESO A LA RED.....	34
2.8.2 SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA DE RED.....	35
2.9 TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA LOS ENLACES DESCENDENTES Y ASCENDENTES.....	36
2.9.1 OFDMA COMO TÉCNICA DE ACCESO MÚLTIPLE PARA EL ENLACE DESCENDENTE.....	36
REUTILIZACIÓN DE FRRECUENCIAS CON SISTEMAS CELULARES OFDMA.....	38
2.9.2 PORTADORA ÚNICA (SC-FDMA) COMO TÉCNICA DE ACCESO MÚLTIPLE PARA EL ENLACE ASCENDENTE.....	39
2.10 TÉCNICA DE MÚLTIPLES ANTENAS (MIMO).....	40
2.10.1 ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN OFDMA CON MÚLTIPLES ANTENAS MIMO.....	41
2.11 REDES HETEROGÉNEAS.....	43
2.11.1 INTERWORKING ENTRE LTE Y OTRAS REDES 3GPP.....	43
2.11.2 INTERWORKING ENTRE LTE Y OTRAS REDES NO 3GPP.....	45
2.12 SITUACIÓN MUNDIAL TECNOLOGÍA LTE.....	46

2.13	VARIABLES.....	47
2.14	MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	48
2.15	TÉRMINOS BÁSICOS.....	49

CAPÍTULO 3..... 52

3.	ANÁLISIS.....	52
3.1	DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CUARTA GENERACIÓN.....	53
3.3	ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL DE CNT PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	60
3.3.1	VELOCIDADES A ALCANZAR CON EL SISTEMA LTE.....	62
3.3.2	SERVICIOS ADICIONALES OFERTADOS CON TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION.....	65
3.4	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA PARA LA CNT PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	67
3.4.1	VIABILIDAD ECONÓMICA.....	68
3.4.2	TARIFAS OFERTADAS POR LAS OPERADORAS, PLANES CONTROLADOS Y PREPAGOS.....	70
3.4.3	PRONÓSTICO DE CLIENTES E INGRESOS CON LA ACTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.....	72
3.4.4	ESTRATEGIA DE DESPLIEGUE.....	73
	SOPORTE DE VOZ SOBRE LTE.....	74
3.5	ANÁLISIS OPERATIVO PARA CONOCER EL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE EQUIPOS DE CUARTA GENERACIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.....	75
3.5.1	GRUPO DE EDADES ENCUESTADAS.....	79
3.5.2	GÉNERO DE LOS ENCUESTADOS.....	80
3.5.3	NIVEL DE INSTRUCCIÓN DE LOS ENCUESTADOS.....	81
3.5.4	¿QUÉ OPERADORA DE TELEFONÍA MÓVIL UTILIZA?.....	82
3.5.5	SERVICIOS QUE POSEEN LOS DISPOSITIVOS MÓVILES UTILIZADOS POR LOS ENCUESTADOS.....	83
3.5.6	SERVICIOS CONSIDERADOS COMO IMPORTANTES PARA UN DISPOSITIVO MÓVIL.....	84
3.5.7	RANGO DE VALORES DEL DISPOSITIVO MÓVIL DE LOS USUARIOS ENCUESTADOS.....	85
3.5.8	DISPOSICIÓN DEL USUARIO PARA ADQUIRIR UN DISPOSITIVO MÓVIL 4G.....	86
3.5.9	PREFERENCIA DE PLANES PARA LA ADQUISICIÓN DE UN DISPOSITIVO MÓVIL 4G.....	87
3.5.10	NIVEL DE INGRESOS PROMEDIO MENSUAL.....	88

CAPÍTULO 4 .....	90
4. DISEÑO.....	90
4.1 ESTUDIO GEOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE LA RED EN SOFTWARE PREDICTIVO RADIO MOBILE. ....	91
4.1.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA RED LTE EN LA ZONA DE IMPLEMENTACIÓN.....	94
4.1.2 ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA COBERTURA. ....	95
4.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	96
4.2.1 MODELO DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE. ....	98
4.2.2 MODELO DE PROPAGACIÓN DE COST 231-HATA. ....	99
4.2.3 MODELO DE PROPAGACIÓN COST 231 WALFISH-IKEGAMI.....	101
4.3 DISEÑO DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL CON SISTEMA DE CUARTA GENERACIÓN. ....	105
 CAPÍTULO 5 .....	 121
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	121
5.1 RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED. ....	122
5.2 RESULTADOS DE LA TECNOLOGÍA ACTUAL EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA Y COMPARACIÓN CON 4G. ....	123
5.3 VENTAJAS QUE PROPORCIONA LA ACTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A CUARTA GENERACIÓN. ....	126
5.4 ANÁLISIS DE UBICACIÓN DE NODOS.....	127
5.5 ZONA DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA. ....	127
5.6 CÁLCULO DE TRÁFICO .....	130
5.7 MOVILIDAD DE USUARIOS .....	131
 CONCLUSIONES: .....	 133
 RECOMENDACIONES:.....	 134
 BIBLIOGRAFÍA: .....	 136
 ANEXOS:.....	 139

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1	Espectro de ondas electromagnéticas..... 9
Figura 2.2	Regiones y zonas de atribución de bandas de frecuencias de UIT..... 11
Figura 2.3	Estructura política de los organismos de regulación de las telecomunicaciones..... 18
Figura 2.4	Arquitectura del sistema LTE..... 23
Figura 2.5	Red de acceso E-UTRAN..... 24
Figura 2.6	Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN..... 26
Figura 2.7	Arquitectura básica de la red troncal EPC..... 28
Figura 2.8	Estructura de la trama tipo 1..... 32
Figura 2.9	Estructura de la trama tipo 2..... 33
Figura 2.10	Componentes de la seguridad de acceso a la red..... 35
Figura 2.11	Multiplexación de usuarios en OFDMA..... 37
Figura 2.12	Ejemplo de asignación de subportadoras a células según un factor de reuso de $F=3$ ..... 39
Figura 2.13	Comparaciones OFDMA Y SC-FDMA..... 40
Figura 2.14	Esquema de transmisión OFDMA multi-antena..... 41
Figura 2.15	Esquema de recepción OFDMA multi-antena..... 42
Figura 2.16	Marco de interworking entre redes de acceso 3GPP..... 44
Figura 2.17	Marco de interworking entre redes de acceso no 3GPP..... 45
Figura 2.18	Redes LTE en el mundo..... 47
Figura 3.1	Diagrama de bloques de un sistema de cuarta generación..... 53
Figura 3.2	Diagrama de bloques de transmisión LTE..... 55
Figura 3.3	Vista exterior del eNodoB 9326 D2U V2..... 57
Figura 3.4	RRH2XX con 9328 BBU visión general del sistema..... 57
Figura 3.5	Patrón de distribución de señal antenna tongyu modelo TDJH-809016/182018DE-65F..... 60
Figura 3.6	Arquitectura del sistema para redes de acceso 3GPP..... 61
Figura 3.7	Cuando piensa desplegar LTE..... 62
Figura 3.8	Ancho de banda esperado para ofrecer LTE..... 63
Figura 3.9	Qué red de transporte piensa usar al implementar LTE..... 64
Figura 3.10	Qué ancho de banda se necesitara en el eNodoB para obtener las velocidades planeadas..... 64
Figura 3.11	Porcentaje de personas que tienen teléfonos inteligentes (smartphone), por provincias..... 69
Figura 3.12	Tarifas de uso de voz por minuto en Ecuador..... 71
Figura 3.13	Porcentaje de habitantes por cantón..... 77
Figura 3.14	Número de encuestas por cantón..... 77
Figura 3.15	Edades de los encuestados..... 79

Figura 3.16	Género de los encuestados.....	80
Figura 3.17	Nivel de instrucción de los encuestados.....	81
Figura 3.18	Operadora de telefonía móvil de los encuestados.....	82
Figura 3.19	Servicios que poseen los dispositivos móviles utilizados por los encuestados.....	83
Figura 3.20	Servicios considerados importantes para un dispositivo móvil.....	84
Figura 3.21	Rango de valores de los dispositivos móviles de los encuestados.....	85
Figura 3.22	Disposición del usuario para adquirir un dispositivo móvil 4G.....	86
Figura 3.23	Preferencias de planes para un dispositivo móvil 4G.....	87
Figura 3.24	Nivel de ingresos promedio mensual.....	88
Figura 4.1	Central Salinas 2.....	91
Figura 4.2	Puntos geográficos de ubicación de nodos en Google Earth.....	93
Figura 4.3	Diagrama esquemático de la red LTE en las zonas de implementación....	94
Figura 4.4	Torre tipo Monópolo.....	96
Figura 4.5	Parámetros del modelo de propagación Walfisch-Ikegami.....	101
Figura 4.6	Orientación del ángulo de incidencia.....	102
Figura 4.7	Puntos geográfico de ubicación de nodos en Radio Mobile.....	107
Figura 4.8	Simulación de arcos de cobertura en Radio Mobile.....	107
Figura 4.9	Cobertura visual de eNBs.....	108
Figura 4.10	Simulación de radio enlaces de los nodos en el canton La Libertad.....	111
Figura 4.11	Simulación de Radio Enlace de nodos en el cantón Salinas.....	111
Figura 4.12	Simulación de Radio Enlace entre nodo Libertad Sureste y nodo Propicia.....	112
Figura 4.13	Distribución de cobertura de las tres antena sectoriales de un nodo.....	113
Figura 4.14	Cobertura simulada en Radio Mobile de eNodoB y nivel de Rx.....	118
Figura 4.15	Radio enlace Nodos F4 Libertad Norte y F4 Libertad Oeste.....	114
Figura 4.16	Radio enlace Nodos F4 Libertad Oeste y F4 Libertad Este.....	115
Figura 4.17	Radio enlace Nodos F4 Libertad Sur y Jaime Roldos.....	115
Figura 4.18	Radio enlace Nodos CNT Santa Elena y F4 libertad Sureste.....	116
Figura 4.19	Cobertura Total en la zona de implementación.....	119
Figura 4.20	Radio enlaces entre eNBs y celulares.....	120
Figura 5.1	Resultados de la aplicación SpeedTest.....	124
Figura 5.2	Comparación de modelos en potencia de Recepción.....	128
Figura 5.3	Cobertura total de los eNodoB en la zona de implementación.....	129
Figura 5.4	Comparación de modelos en pérdidas de propagación.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II.I	Nomenclatura de banda de frecuencias y longitudes de onda..... 10
Tabla II.II	Cuadro Nacional de atribución de bandas de frecuencias 1700-2015MHz. 12
Tabla II.III	Índice de penetración de operador de telefonía móvil CONECEL S.A..... 20
Tabla II.IV	Índice de penetración de operador de telefonía móvil OTECEL S.A..... 21
Tabla II.V	Índice de penetración de operador de telefonía móvil CNT E.P..... 22
Tabla II.VI	Variables dependientes e independientes..... 47
Tabla II.VII	Métodos e instrumentos de investigación..... 48
Tabla III.I	Parámetros de rendimiento de radiofrecuencia RRH2X60-XX..... 58
Tabla III.II	Características mecánicas del RRH2X60-XX..... 59
Tabla III.IIII	Especificaciones eléctricas de antena Tongyu modelo TDJH-809016/182018DE-65F..... 59
Tabla III.IV	Categorías de tecnologías para terminales móviles..... 65
Tabla III.V	Servicios adicionales y mejorados con tecnología LTE..... 66
Tabla III.VI	Espectro por operador..... 69
Tabla III.VII	Índice de penetración de los operarios de telefonía móvil en el Ecuador, SUPERTEL..... 70
Tabla III.VIII	Tarifas máximas y mínimas prepago y pospago por operadora, SUPERTEL Julio 2013..... 71
Tabla III.IX	Tarifas de planes de banda ancha con HSPA+ de la operadora CNT..... 72
Tabla III.X	Población por provincia y sexo con teléfono inteligente, según grupo de edad..... 78
Tabla IV.I	Coordenadas de ubicación de nodos..... 92
Tabla IV.II	Pérdidas de propagación en el espacio libre..... 98
Tabla IV.III	Nivel de potencia de recepción en el espacio libre..... 99
Tabla IV.IV	Pérdidas de propagación modelo COST 231-Hata..... 100
Tabla IV.V	Nivel de potencia de recepción modelo COST 231-Hata..... 101
Tabla IV.VI	Parámetros para uso de fórmula Walfisch-Ikegami..... 104
Tabla IV.VII	Pérdidas de propagación modelo COST 231 Walfich-Ikegami..... 104
Tabla IV.VIII	Pérdidas de propagación modelo COST 231 Walfich-Ikegami..... 105
Tabla IV.IX	Parámetros de transmisión y recepción que solicita Radio Mobile..... 108
Tabla IV.X	Frecuencias no ionizantes..... 109
Tabla IV.XI	Frecuencias ionizantes..... 110
Tabla IV.XII	Radio Mobile, pérdidas de propagación y nivel de recepción..... 117
Tabla IV.XIII	Radio Mobile, promedio de pérdidas y nivel de recepción..... 117
Tabla IV.XIV	Valores de potencia de recepción en Radio Mobile..... 118
Tabla IV.XV	Valores de Pérdidas de Propagación en Radio Mobile..... 118
Tabla V.I	Parámetros descargados con la aplicación SpeedTest en los puntos de mayor demanda..... 124

Tabla V.II	Comparación de tecnologías 3G y 4G.....	126
Tabla V.III	Modelo de movilidad del entorno peatonal.....	131
Tabla V.IV	Parámetros de modelo de movilidad vehicular .....	132

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1	Entrevista a técnicos de Alcatel-Lucent..... 139
Anexo 2	Encuestas para conocer el nivel de aceptación de dispositivos de cuarta generación..... 141
Anexo 3	Fotos de los nodos existentes y de los que serán instalados..... 143
Anexo 4	Plano de un NodoB..... 146

# INTRODUCCIÓN

Debido a que los servicios de telecomunicaciones móviles ya no son un lujo, la inversión en cualquiera de sus variedades necesariamente deberá atender un mercado de consumo masivo. En la actualidad Santa Elena tiene tres operadoras que manejan el servicio de telecomunicaciones móviles celulares, las cuales son: CONECEL S.A., OTECEL S.A. Y CNT E.P.

El crecimiento de usuarios móviles, la aparición de dispositivos inteligentes, la creación de nuevas aplicaciones móviles, obliga a que las telecomunicaciones en la provincia de Santa Elena estén a la par con su evolución, a pesar de ya tener dispositivos móviles de cuarta generación en el mercado, la provincia aún no cuenta con una red que soporte el tráfico de datos de alta velocidad, y el ancho de banda ofertado no cubre las necesidades de los usuarios, el presente proyecto centra su estudio en la operadora estatal CNT E.P. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) pionera en cuarta generación, debido a que el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) el miércoles 12 de diciembre del 2012, autorizó proveer tecnología móvil de cuarta generación.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO REFERENCIAL**

### **1. MARCO REFERENCIAL.**

El presente proyecto realiza un estudio para el diseño de una red de cuarta generación en la provincia de Santa Elena, para actualizar la tecnología y permitir el acceso a los dispositivos móviles del futuro, así como aplicaciones móviles que beneficiarán la calidad de vida de los habitantes.

Se diseñará la red en base a estudios de campo de las zonas beneficiadas, aplicación de fórmulas logarítmicas de propagación en el espacio y utilización de software para predicción de redes.

### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

Existe un crecimiento vertiginoso de usuarios de telefonía móvil en la provincia de Santa Elena, por lo tanto existe un aumento de tráfico, además de una expectativa hacia la aparición de nuevos servicios y aplicaciones como videoconferencia, internet móvil, video llamada, descarga de archivos multimedia, televisión móvil, juegos en línea, la telemedicina, domótica, etc.

Según SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) con fecha de publicación julio de 2013 la CNT E.P. solo cuenta con el 1.9% de abonados de telefonía móvil, esto se debe a que no posee infraestructura suficiente para cubrir con la demanda. Actualmente en la provincia de Santa Elena cantones Santa Elena (cabecera cantonal), La Libertad y Salinas solo tiene 5 radio bases con tecnología 3.5G en operación.

Se plantea este tema de tesis debido a que no existen redes de acceso de tecnología de cuarta generación en la provincia de Santa Elena, y la demanda de dispositivos y servicios móviles de datos aumenta a un ritmo feroz, provocando lentitud en las redes actuales, alta latencia, pérdida de señal, pérdida de datos y posterior colapso de las redes en fines de semana y días de feriado donde la concentración de turistas es mayor.

### **1.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA.**

La evolución de las telecomunicaciones, desde hace unos años ha sido proceso fundamental para el desarrollo en todos los países del mundo, debido a que todo gira en torno al denominado internet de las cosas, como el correo, la compra-venta de productos o comercio electrónico, las

transacciones bancarias, etc., afectan en mayor o menor medida a personas, empresas en sus estrategias internas y externas o relaciones comerciales, los esfuerzos en los últimos años han dado como resultado tecnologías ampliamente usadas como EDGE, UMTS, HSPA+, siendo esta última la tecnología de acceso en la provincia de Santa Elena, llegando al rango de 3.5G y alcanzando velocidades de 1 Mbps de descarga y 0.52 Mbps de carga, velocidades que reducen su capacidad hasta del 50% en fines de semana y feriados provocando latencias de hasta 300ms por paquete.

Según cifras oficiales del MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones) y de la Sociedad de la Información con fecha 13 de noviembre del 2011 detallan, que los usuarios de internet con enlaces de banda ancha fija y móvil se quintuplicaron desde el 2006 hasta el 2011, es decir, actualmente son 4'138.256. Mediante la aplicación de políticas sectoriales (renegociación de contratos móviles) y condiciones de equidad se incrementó la penetración de la telefonía móvil. En el 2011 la penetración de la telefonía móvil es del 110%. La penetración de internet banda ancha móvil (líneas activas de datos) creció de 0,87% en el 2009 a 9,05% en el 2011.<sup>1</sup> Según datos del INEC de los 308693 habitantes de la provincia de Santa Elena el 7,88% acceden a internet por banda ancha móvil. Sin embargo, la velocidad de conexión en la provincia de Santa Elena todavía no cuenta con tecnología de última generación conocida como LTE-4G que permitiría al usuario transferir datos a una velocidad 10 veces mayor que la actual.<sup>1</sup>

El jueves 12 de septiembre del 2013 el grupo franco-estadounidense Alcatel Lucent anunció en los medios de comunicación que desplegará con CNT E.P la primera red de banda ancha 4G para móviles en una zona que cubrirá Guayaquil, Cuenca, Machala y Loja, así como las principales ciudades de la costa del Pacífico y del sur de Ecuador.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.**

Considerando el reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones, el CONATEL dicta la regulación de acceso al servicio de internet: *“El avance tecnológico ha impulsado la introducción de nuevas tecnologías para los diferentes servicios y aplicaciones y es importante garantizar la calidad de prestación del servicio al usuario, desarrollando políticas de difusión y masificación del internet”*<sup>2</sup>

En Ecuador hay alrededor de 15 millones de usuarios sin contar las personas con 2 celulares, con una penetración de mercado de 97% y un ARPU (ingresos medio por usuario) alrededor de 12 dólares mensuales que varía del 2.7% al 9.7%.<sup>1</sup> La provincia de Santa Elena tiene una penetración del 73,58% de usuarios de telefonía móvil según la página Ecuador en cifras del INEC (Instituto de Estadísticas y Censo) <sup>3</sup>, sin contar los turistas que se concentran cada fin de semana en las playas de La Libertad y Salinas.

Debido a la baja cantidad de abonados de telefonía móvil que posee CNT E.P. actualmente y en su afán de superación y competencia ha optado por la actualización tecnológica de sus redes ya que según la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), conectar a la población a la banda ancha móvil es una herramienta competitiva en los negocios, salud, educación, etc.

En virtud de los avances tecnológicos, en la actualidad se pueden diseñar redes flexibles, aumentando así la cobertura y la velocidad de transferencia de datos para interactuar con dispositivos móviles de alto rendimiento que actualmente se comercializan en el mercado de la provincia, lo que nos impulsa a realizar el estudio del diseño de una red con tecnología de cuarta generación LTE (LONG TERM EVOLUTION) en la provincia de Santa Elena, capaz de dotar de conectividad e internet a sus habitantes sin importar nivel

socioeconómico o lugar de residencia, a medida de las necesidades y capacidades de los ciudadanos.

#### **1.4 OBJETIVOS.**

Descripción de los objetivos del proyecto para diseñar la red de cuarta generación LTE, así como pasos a seguir para elaborar un estudio de la tecnología actual.

##### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena.

##### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Analizar la tecnología LTE, y definir sus características, arquitectura y protocolos.
2. Analizar las características de la telefonía móvil e Internet de los lugares a enlazarse.
3. Analizar la perspectiva económica de la actualización de la tecnología en la provincia de Santa Elena.
4. Evaluar la aceptabilidad de la población hacia la tecnología de cuarta generación.
5. Diseñar la red LTE.

## **1.5 HIPÓTESIS.**

Con el diseño de una red de cuarta generación en la provincia de Santa Elena se obtendrá la actualización tecnológica de las TIC's, mayor transferencia de datos, menor latencia, nuevas aplicaciones móviles, y se reducirá la brecha tecnológica existente en la misma.

## **1.6 RESULTADOS ESPERADOS.**

- ⤴ Se diseñará una red de cuarta generación para actualizar la tecnología en servicios de comunicaciones existente en la provincia de Santa Elena.
- ⤴ Se mostrará la cobertura de la señal, la demanda del servicio, la velocidad de transferencia de datos, las pérdidas de propagación en el espacio y latencias, mediante pruebas de campo, mediciones y procesamiento de resultados con la utilización de herramientas de simulación de redes, una aplicación móvil y fórmulas logarítmicas de propagación.
- ⤴ Se analizará la importancia de la actualización de la tecnología en la provincia de Santa Elena debido a la gran afluencia de datos que ha surgido por ejemplo audio/video streaming, voz sobre IP, telecontrol, telemedicina, etc., y a la demanda de dispositivos que cuenten con tecnologías superiores a la actuales por ejemplo IPHONE, TABLETAS, BLACKBERRYS.
- ⤴ Se expondrá los beneficios que se obtiene con la tecnología 4G o LTE, así como un estudio de la comunicación actual en la provincia.

# **CAPÍTULO 2**

## **MARCO TEÓRICO**

### **2. MARCO TEÓRICO.**

Descripción de la evolución de la tecnología móvil desde sus inicios con 1G, 2G, 3G y actualmente 4G, así como los diferentes tipos de redes de acceso, y anchos de bandas utilizados desde la primera red telefónica móvil en 1979 hasta la actualidad.

Los organismos que regulan las telecomunicaciones en el país, el funcionamiento y ventajas de LTE, modulación OFDMA, arreglo de antenas MIMO, y cómo se encuentra la adopción de la tecnología de cuarta generación en el mundo.

## 2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

El espectro electromagnético figura 2.1 se concibe como la dispersión de radiaciones diferenciadas entre sí por la frecuencia, y se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como las ondas de radio, que son las que profundizaremos en nuestro estudio, basado en tecnología inalámbrica.<sup>4</sup>

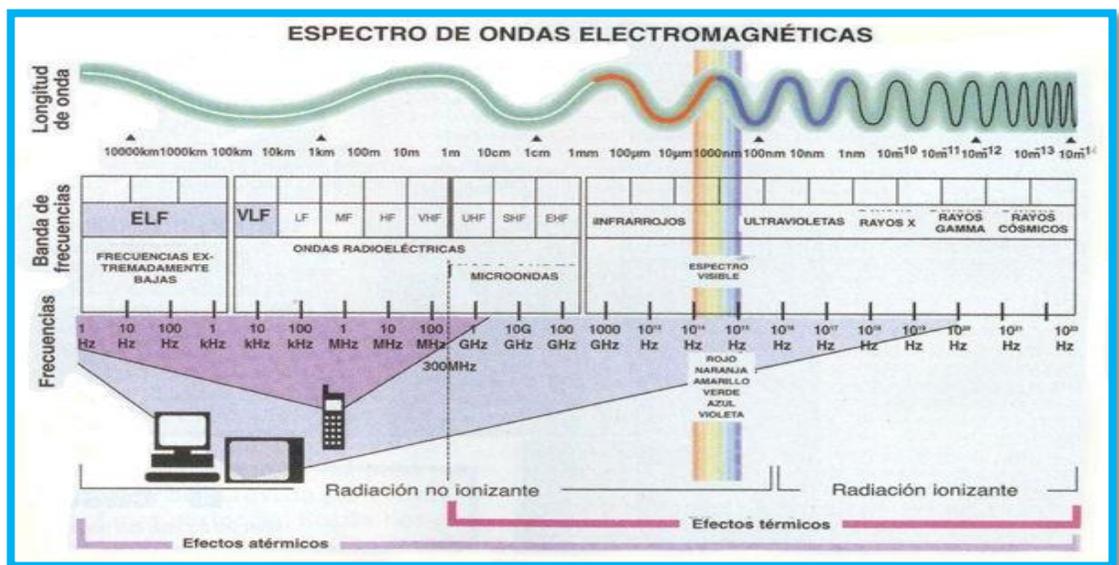


Figura 2.1 Espectro de ondas Electromagnéticas<sup>4</sup>

Fuente: radioaficionado.wordpress.com

## NOMENCLATURA DE BANDAS DE FRECUENCIAS Y LONGITUDES DE ONDA.

El espectro electromagnético se subdivide en nueve bandas de frecuencias, con su unidad el hertzio (Hz) y se designan de la siguiente forma:

- ▲ En Kilohertzios (KHz) hasta 3000 KHz.
- ▲ En Megahertzios (MHz) por encima de 3 MHz hasta 3000 MHz.
- ▲ En Gigahertzios (GHz) por encima de 3 GHz hasta 3000 GHz.

Número de la Banda	Símbolos	Gama de Frecuencias	Subdivisión Métrica Correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas kilométricas	B.Km
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas hectométricas	B.Hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Tabla II.I Nomenclatura de bandas de Frecuencias y longitudes de onda.<sup>5</sup>

Fuente: Infraestructura comunes de telecomunicaciones en viviendas y edificios

## REGIONES Y ZONAS.

Desde el punto de vista de la atribución de las bandas de frecuencias, se ha dividido al mundo en tres regiones, figura 2.2.

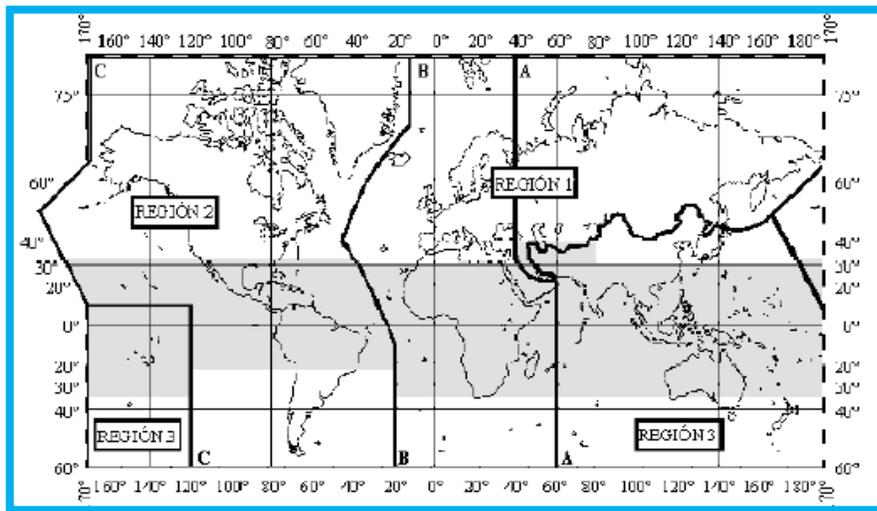


Figura 2.2 Regiones y zonas de atribución de bandas de frecuencias de UIT.

Fuente: [www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec)

### Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias 1710-2170 MHz

El Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias se divide en tres columnas identificadas como: REGION 2, ECUADOR Y NOTAS observar tabla II.II. La primera columna, corresponde al Cuadro de Atribución Internacional de Bandas de Frecuencias de la UIT. Todos los países están en igualdad de condiciones para acceder al recurso natural denominado espectro radioeléctrico. La segunda columna se denomina "ECUADOR" donde se aprecian las bandas de frecuencia tratadas y atribuidas a servicios de radiocomunicaciones y la tercera columna son los numerales del

reglamento de radiocomunicaciones de la UIT notas internacionales que son aplicables a Ecuador. Se establecen los procedimientos y condiciones que aseguren que no ocurrirán problemas de interferencias perjudiciales entre los servicios que compartan dichas bandas.

REGION 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	NOTAS
1710-1930	1710-1930	EQA.85
FIJO	FIJO	
MÓVIL MOD 5.384A 5.388A 5.388B 5.149 5.341 5.385 5.386 5.388	MÓVIL MOD 5.384A 5.388A 5.149 5.388	
1930-1970	1930-1970	EQA.85
FIJO	FIJO	
MÓVIL 5.388A MOD 5.389B Móvil por satélite (Tierra-espacio) 5.388	MÓVIL 5.388A MOD 5.389B 5.388	
1970-1980	1970-1980	EQA.85
FIJO	FIJO	
MOVIL 5.388A 5.388B 5.388	MOVIL 5.388A MOD 5.389B 5.388	
1980-2010	1980-2010	EQA.85
FIJO	FIJO	
MÓVIL	MÓVIL	
MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra- espacio) 5.351A 5.388 5.389A MOD 5.389B	5.388 MOD 5.389B	
2010-2025	2010-2025	EQA.85
FIJO	FIJO	
MÓVIL	MÓVIL	
MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra- espacio) 5.388 MOD 5.389C 5.389E	5.388	

Tabla II.II Cuadro Nacional Atribución de Bandas de Frecuencias 1710-2025 MHz<sup>6</sup>

Fuente: [www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec)

## **2.2 SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL.**

Las tecnologías inalámbricas en el país se han desarrollado de forma acelerada en la última década, ya sea telefonía móvil celular, los datos e internet. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, a pesar que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones, pero la telefonía inalámbrica del mañana hará posible aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho banda. La telefonía celular se ha categorizado por generaciones: 1G, 2G, 3G y ahora la 4G conocida como LTE.

### **2.2.1 TECNOLOGÍA 1G.**

Los sistemas de comunicaciones móviles de primera generación o 1G representan al conjunto de estándares celulares que emplean tecnologías analógicas.

La tecnología de primera generación solo realizaba transmisión analógica con servicios de voz de baja calidad, y utilizaba tecnología FDMA (Acceso múltiple por transmisión de frecuencia) para su funcionamiento con una velocidad de 2400 baudios, haciéndola muy limitada en la cantidad de usuarios que podían realizar una llamada.

Dentro la familia genérica de sistemas 1G, cabe destacar los siguientes estándares: AMPS (Advanced Mobile Phone System), ETACS (Extended Total Access Communications System), NMT (Nordic Mobile Telephone).<sup>7</sup>

### **2.2.2 TECNOLOGÍA 2G.**

La segunda generación se caracteriza por ser digital, lo que consiguió una reducción de tamaño en los dispositivos, más una reducción en costo y consumo de potencia, además de transmitir voz y datos digitales de volúmenes bajos, por ejemplo, mensajes cortos y mensajes multimedia, identificador de llamadas, conferencia tripartita, entre otros. La tecnología digital tenía la ventaja añadida de haberse situado en una senda de avances constantes en aspectos como la miniaturización e integración de dispositivos con unos costes de implementación siempre decrecientes.

Dentro de los sistemas de telefonía celular de segunda generación se logró soportar una velocidad de información de 9.6 Kbps, siendo esta velocidad más alta para voz con respecto a la primera generación pero muy limitada para la comunicación de datos. Otro punto a destacar de los sistemas de segunda generación es que se tuvo avances significativos en seguridad, calidad de voz y roaming. Dentro de la segunda generación de celulares puede destacar los sistemas TDMA (Time Division Multiple Access), GSM (Global System Mobile) y CDMA (Code Division Multiple Access).

### **2.2.3 TECNOLOGÍA 2.5G.**

El término 2.5G se utiliza para referirse al conjunto de tecnologías que se encuentran a medio camino entre la 2G y la 3G, término publicitario utilizado para etiquetar algunos protocolos que se quedan un poco cortos para ser 3G.

Las tarifas de transferencia de datos en los servicios 2.5G pueden alcanzar teóricamente velocidades de 64Kbps. Dentro de la generación 2.5G de celulares puede destacar los sistemas GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rates for GSM), CDMA2000.

#### **2.2.4 TECNOLOGÍA 3G.**

La tecnología 3G ofrece un mayor grado de estabilidad, velocidad de transmisión y seguridad para el usuario, además de escalabilidad del sistema.

La tecnología de tercera generación se desarrolla a partir de la tecnología UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) usando la interfaz aérea de CDMA de banda ancha W-CDMA (Wide band Code Division Multiple Access), que permite transmisión de datos inalámbrica a móviles o dispositivos portátiles con una velocidad teórica de transmisión de 3.84Mbps.

#### **2.2.5 TECNOLOGÍA 3.5G Y 3.75G.**

La industria de las telecomunicaciones ha sido testigo en el presente siglo del crecimiento en la demanda de tráfico de datos sobre las tecnologías celulares. El tráfico de datos ha venido creciendo en estas redes sobre todo desde la implementación de WCDMA (principal tecnología de interfaz aérea 3G), ya que ofrece los servicios convergentes que operan sobre el protocolo de internet IP, como la navegación WEB, aprovechando el buen desempeño en general de aplicaciones cliente-servidor que operan sobre TCP (Transport Control Protocol) como el intercambio de archivos, también debido al ofrecimiento de aplicaciones UDP (User datagram Protocol) como voz-sobre-IP (VoIP), y todo tipo de aplicaciones recientes IP, tales como juegos entre usuarios en tiempo real, comunicación PTT (Push-To-Talk), llamadas con video conferencia, televisión de alta definición streaming, entre otras, por un lado atrajeron nuevas oportunidades de negocio para fabricantes y operadores, y por el otro, a proveedores de contenidos y desarrolladores de aplicaciones sobre IP.<sup>8</sup>

Dentro de la tecnología 3.5G y 3.75G de celulares pueden destacar los sistemas, HSDPA (High Speed downlink Packet Access), HSUPA (High Speed uplink Packet Access), HSPA+.

### **ACCESO DE PAQUETES A ALTA VELOCIDAD EVOLUCIONADO (HSPA+).**

HSPA+, combinación de las tecnologías HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) que admite hasta 3.6 Mbps de bajada y 384 Kbps de subida y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) que admite hasta 7,2 Mbps en bajada y 2 Mbps en subida. Es una mejora del estándar UMTS, utiliza de forma más eficiente el espectro radioeléctrico, mejorando la velocidad y latencia en la transferencia de datos, tanto de bajada como de subida.

HSPA+, aumenta la velocidad modulando los datos con 64QAM si la señal es suficientemente buena, transportando más información con los mismos recursos radioeléctricos. Dentro del Release7 puede alcanzar velocidades pico de hasta 28 Mbps de bajada y 5,8 Mbps de subida. Usando configuración de antenas MIMO la tecnología HSPA+ es capaz de transmitir varias señales en paralelo, llegando a 42 Mbps de bajada y 11Mbps de subida.<sup>9</sup>

### **2.2.6 TECNOLOGÍA 4G.**

Después de ya casi dos décadas de prácticamente ininterrumpido crecimiento de las comunicaciones móviles, primero de la mano de GSM y últimamente con el despliegue definitivo de UMTS y HSPA+, estamos en los inicios de una nueva generación de comunicaciones móviles, la cuarta generación o 4G, de la que el sistema LTE puede considerarse el primer eslabón en una trayectoria evolutiva que debe culminar con el LTE-Advanced.

### **2.2.6.1 EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO (LTE).**

LTE introduce dos aspectos relevantes en relación con otros sistemas, todos los servicios incluida la voz se soportan sobre el protocolo IP (Internet Protocol), y las velocidades de pico de la interfaz radio se sitúan dentro del rango de 100Mbps y 300Mbps, ampliamente superiores a las conseguidas en los sistemas predecesores. Se espera que con LTE se puedan romper finalmente las barreras que todavía impedían la consecución plena de una movilidad con capacidad multimedia. Lo que sería equivalente a afirmar que con la aparición de LTE los usuarios que lo deseen ya no tendrán que verse penalizados en su capacidad de comunicación por el hecho de ser móviles en lugar de fijos.

### **2.3 ORGANISMOS DE REGULACIÓN DE TELECOMUNICACIONES.**

Los cambios tecnológicos, cada vez más acelerados en el mundo, conllevan a que el sector de las telecomunicaciones en el Ecuador se modernicen y organicen para beneficio de la sociedad, por lo cual el Gobierno desarrolló un marco regulatorio que se encuentre acorde con los requerimientos de estos avances.

#### **Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL).<sup>10</sup>**

El 13 de agosto de 2009, el Presidente de la República del Ecuador, mediante Decreto Ejecutivo N° 8, creó el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

Entre sus funciones están:

Establecer y coordinar la política del sector de las telecomunicaciones; garantizar la masificación de las TIC's; diseñar y ejecutar programas y

proyectos específicos de corto y mediano plazo; realizar investigaciones aplicadas; informes y estudio; entre otros.

## ORGANISMOS DE REGULACIÓN.

Las entidades regulatorias del Ecuador se encuentran organizadas de acuerdo a la figura 2.3 con cada ente encargado de varias funciones en el ámbito de las telecomunicaciones.

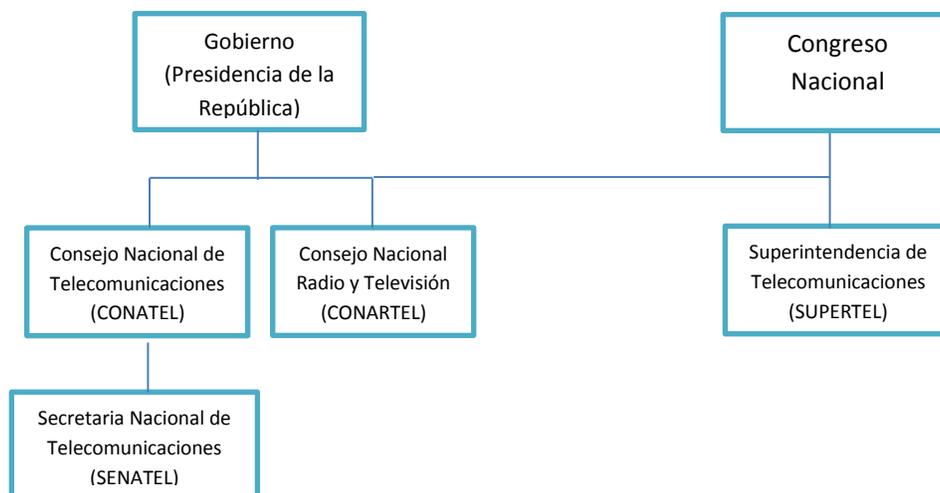


Figura 2.3 Estructura de los organismos de regulación de las Telecomunicaciones

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

### Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).<sup>10</sup>

El CONATEL es el ente de administración y regulación de las telecomunicaciones en el país, con domicilio en la ciudad de Quito, a éste le compete:

Aprobar el plan nacional de desarrollo de las telecomunicaciones y el uso del espectro radioeléctrico; aprobar los pliegos tarifarios y presupuestos de los servicios de telecomunicaciones; promover la investigación científica y tecnológica; entre otros.

## **Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).<sup>10</sup>**

Compete a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones:

Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL; elaborar el plan Nacional de desarrollo de las telecomunicaciones y el plan de frecuencias y uso del espectro radioeléctrico; otorgar la autorización necesaria para la interconexión de las redes; entre otros.

## **Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL).<sup>10</sup>**

Las funciones de la Superintendencia de Telecomunicaciones, son:

Controlar y monitorear el espectro radioeléctrico; control de los operadores que exploten los servicios de telecomunicaciones; supervisar el cumplimiento de contratos; controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios; controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco libre de competencias; juzgar a las personas naturales o jurídicas que incurran en infracciones señaladas por la ley; entre otras.

## **2.4 TELEFONÍA MÓVIL EN EL ECUADOR.**

En Ecuador existen tres operadoras de telefonía móvil que prestan sus servicios, teniendo como resultado un total de 15.531,266 líneas activas, tanto en prepago como en pospago.

### **2.6.1 OPERADORAS DE TELEFONÍA MÓVIL.**

El crecimiento progresivo del sector de la telefonía móvil o también llamado telefonía celular en el Ecuador es una realidad económica y social, parte de este crecimiento se debe a la inclusión de nuevos servicios tecnológicos acorde al crecimiento y desarrollo social del país.

### 2.6.1.1 CONECEL S.A.<sup>10</sup>

La compañía CONSORCIO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES S.A. CONECEL fue constituida el 24 de junio de 1993, y está domiciliada actualmente en la ciudad de Guayaquil. En el 2003 fue autorizado para la instalación, implementación y puesta en funcionamiento de la red GSM (voz) / GPRS (datos).

En el 2004 la SENATEL autorizó la optimización de la red GPRS mediante la implementación de una red EDGE que permite una mayor velocidad de transmisión, posibilitando la prestación de nuevos servicios como la tienda de música, navegación en Internet y video llamada.

En Agosto del 2008 el Estado Ecuatoriano renovó la concesión, mediante la suscripción del Contrato de Concesión para la prestación del Servicio Móvil Avanzado, que le permite prestar los servicios de transmisión, emisión y recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos, voz, datos o información de cualquier naturaleza a través de la red GSM y UMTS (3G).

Actualmente CLARO utiliza tecnología 3.5G HSPA+, en redes de acceso para banda ancha móvil.

OPERADOR	PREPAGO	POSPAGO	TOTAL	PORCENTAJE
CLARO	9.363,416	1.462,657	10.826,073	69,7%

Tabla II.III Índice de penetración de operador de telefonía móvil CONECEL S.A.

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

### 2.6.1.2 OTECEL S.A.

OTECCEL S.A. en 1996 bajo el nombre comercial de Bellsouth migra a la red TDMA, actualmente esta red se encuentra desmontada desde el 2008. La

migración de CDMA se dio a finales del año 2002 y en el año 2003 lanza su tecnología CDMA 2000 1x.

El 14 de octubre del 2004 Telefónica Ecuador adquiere el 100% de las acciones de OTECEL S.A. con lo que su nombre comercial pasa a ser MOVISTAR, el 6 de Abril del 2005 con los colores oficiales verde limón y azul, instala su red GSM en la banda de los 850MHz.

En la actualidad MOVISTAR ofrece sus servicios de telefonía celular basados en redes CDMA, UMTS Y HSPA+ en todo el territorio Ecuatoriano.

OPERADOR	PREPAGO	POSPAGO	TOTAL	PORCENTAJE
MOVISTAR	3.745,175	670.307	4.415,482	28,4%

Tabla II.IV. Índice de penetración de operador de telefonía móvil OTECEL S.A.

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

### 2.6.1.3 CNT E.P (EX-TELECSA).

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P. (EX -TELECSA) fue creada por Andinatel y Pacifictel para prestar el servicio de telefonía móvil. Entra en operaciones en diciembre del 2003, luego de que el estado Ecuatoriano otorga una concesión en abril del mismo año, permitiéndole mejorar la competencia en el mercado de telefonía móvil en el país.

En ese mismo año bajo el nombre de Alegre PCS se comercializa un servicio SMA (servicio móvil avanzado) o comercialmente denominado PCS (sistema de comunicación personal) usando un espectro de 1900MHz. Actualmente utiliza tecnología CDMA 1X (EV-DO) para zonas rurales y HSPA+ para zonas urbanas y pobladas.

CNT E.P es la primera empresa de telecomunicaciones en el Ecuador que cuenta con tecnología 4G o LTE en la banda AWS (1900MHz), para redes de acceso a banda ancha móvil.

OPERADOR	PREPAGO	POSPAGO	TOTAL	PORCENTAJE
CNT-EP	234.895	54.816	289.711	1,9%

Tabla II.V. Índice de penetración de operador de telefonía móvil CNTE.P.

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

## **2.7 TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION (LTE).**

El termino LTE se acuñó inicialmente en 3GPP (Third Generation Partnership Project) para denominar una línea de trabajo interna cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso de UMTS, denominada como UTRAN. Formalmente, la nueva red de acceso recibe el nombre de E-UTRAN (Evolved UTRAN) o evolved Nodo B (eNB). Asimismo, en lo concerniente a la red troncal, 3GPP se utilizó el término SAE (System Architecture Evolution) para referirse a las actividades de estudio relacionadas con la especificación de una red troncal evolucionada de conmutación de paquetes denominada EPC (Evolved Packet Core) o también Evolved 3GPP, La combinación de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC es denominada EPS (Evolved Packet System).<sup>11</sup>

### **2.7.1 ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE.**

Los componentes fundamentales del sistema LTE son, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal, y la evolución del subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS. Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicaciones mediante mecanismos

de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito. La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y/o otras redes de telecomunicaciones como internet.

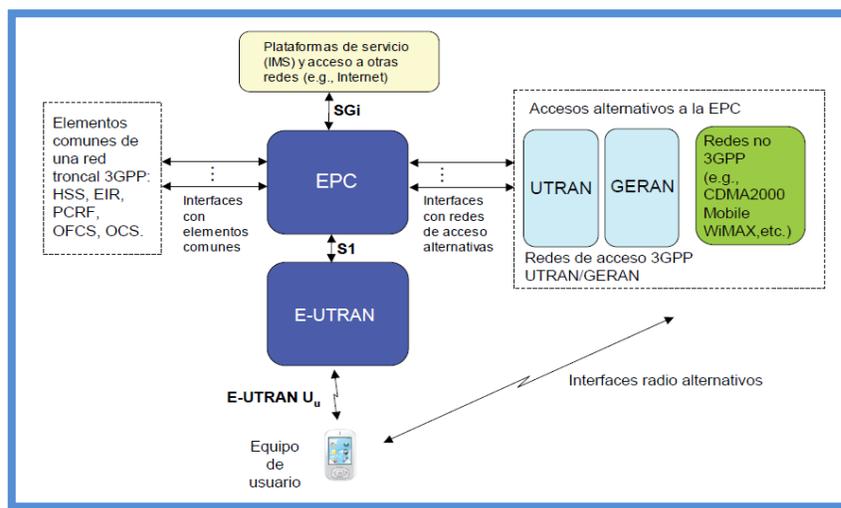


Figura 2.4. Arquitectura del sistema LTE

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

En la Figura 2.4 es importante destacar que la interconexión de los diferentes equipos físicos donde se ubicarían las funciones tanto de la red troncal EPC como de la red de acceso E-UTRAN se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP, de esta forma, la red física que se utiliza para interconectar los diferentes equipos de una red LTE, es una red IP convencional. Por tanto, la infraestructura de una red LTE, además de los equipos propios que implementan las funciones del estándar 3GPP, también integra otros elementos de red propios de las redes IP tales como routers, servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) y servidores DNS (Domain Name Server).<sup>11</sup>

## 2.7.2 ARQUITECTURA RED DE ACCESO EVOLUCIONADO (E-UTRAN).

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

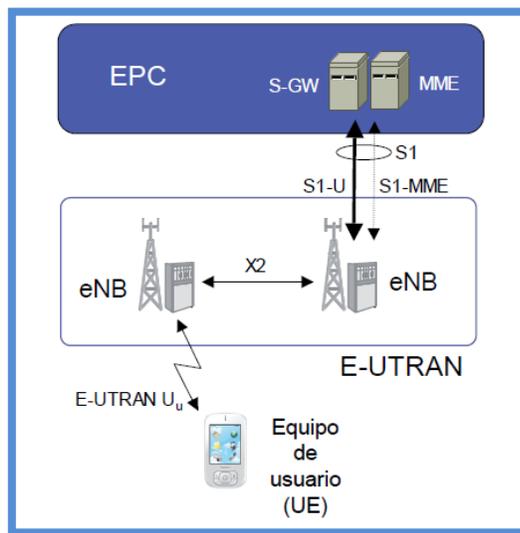


Figura 2.5. Red de acceso E-UTRAN

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

En la figura 2.5 la separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues, el plano de usuario se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de un

usuario a través de dicha interfaz (paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC) y por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (configuración de la operativa del eNB desde la red EPC).

Mediante la interfaz S1-MME, el eNB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control denominado MME (Mobility Management Entity). Por otro lado, el eNB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario denominada Serving Gateway, S-GW). La separación de entidades es una característica nueva e importante de la red LTE ya que permite a las entidades trabajar de forma independiente la transmisión de datos de señalización y de envío de tráfico.

Opcionalmente en una red LTE los eNBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2 e intercambiar mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio, como por ejemplo información para reducir interferencias entre eNBs en un proceso de handover.<sup>11</sup>

### **2.7.2.1 COMPARATIVA ARQUITECTURAS E-UTRAN Y UTRAN.**

La arquitectura E-UTRAN (4G) presenta importantes diferencias con respecto a las redes de acceso UTRAN (3G) y GERAN (2G).

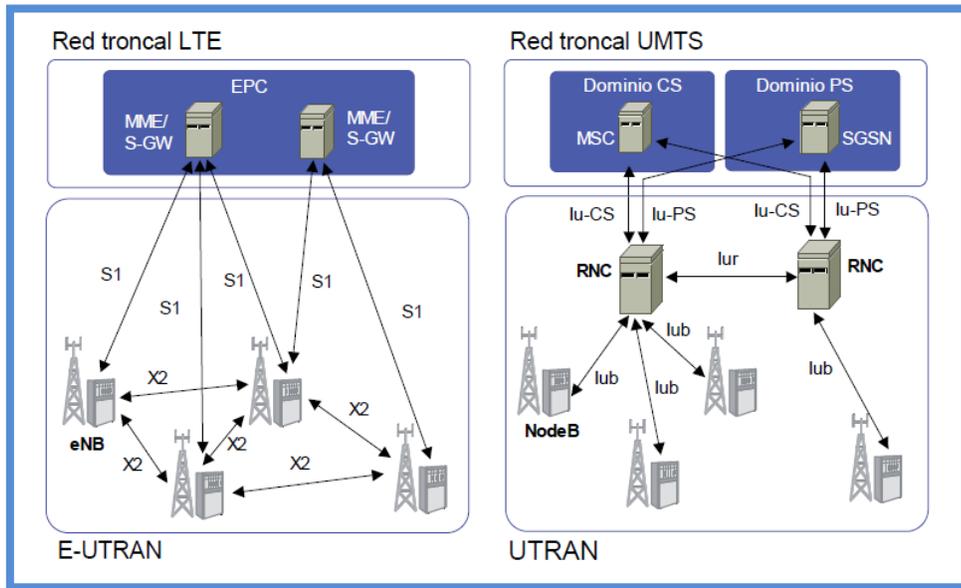


Figura 2.6 Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN Y UTRAN

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

Comparando la arquitectura de E-UTRAN con UTRAN, puede observarse en la Figura 2.6 que E-UTRAN sigue una arquitectura “plana”, sin ningún nivel de jerarquización, los protocolos radio se ejecutan íntegramente en los eNBs (no es necesario ningún equipo adicional como el RNC de UTRAN). La interconexión de E-UTRAN con la red troncal se realiza en cada uno de las estaciones base (eNBs) mediante la interfaz S1, la cual soporta configuraciones donde un eNB puede estar conectado simultáneamente con múltiples elementos de la EPC (varios MME y/o varios S-GW). Esto hace que el dimensionamiento de la red de acceso (eNBs) y de los equipos de la red troncal (MME y pasarelas S-GW) pueda hacerse de forma más flexible, permitiendo, por ejemplo, que el tráfico cursado a través de los eNBs se derive hacia el nodo de la red troncal más adecuado atendiendo a criterios de balanceo de cargas. Por el contrario, en una estructura jerárquica en árbol como la utilizada en UTRAN, la capacidad sobrante en nodos ubicados en

ramas diferentes no puede ser aprovechada. Las estaciones base de E-UTRAN pueden conectarse directamente entre si formando una topología semi-mallada (un eNB puede conectarse a un subconjunto de eNBs mediante la interfaz X2) que permite tanto la transferencia de información de control como de tráfico de usuario entre ellas, en UTRAN (los Nodos B no se interconectan entre ellos).<sup>11</sup>

### **2.7.3 RED TRONCAL DE PAQUETES EVOLUCIONADO (EPC).**

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución del servicio GPRS) mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN. Otro factor considerado en el diseño de la arquitectura de la red troncal ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN) y fuera del ámbito del 3GPP (cdma2000, WIMAX).

Tal como se ilustra en la Figura 2.7 el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (S-GW y P-GW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

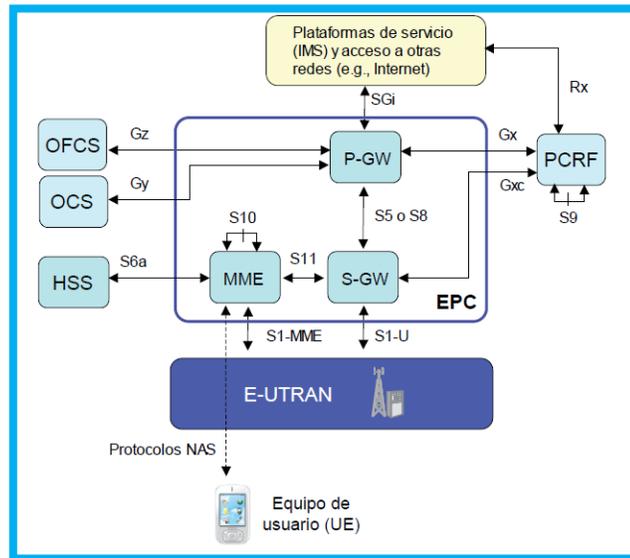


Figura 2.7. Arquitectura básica de la red troncal EPC

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

Las entidades OFCS (Offline Charging System) y OCS (Online Charging System) constituyen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Ambas entidades interactúan directamente con la pasarela P-GW mediante la interfaz Gz, en el caso de OFCS, y Gy en el caso de OCS. El marco de tarificación soportado es un marco flexible que permite desplegar modelos de tarificación en base a diferentes parámetros tales como tiempo de uso, volumen de datos, eventos, etc.<sup>11</sup>

#### 2.7.4 ENTIDADES DE RED E INTERFACES.

##### MME (MOBILITY MANAGEMENT ENTITY).

La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE entre usuario y red de acceso E-UTRAN. Todos los terminales registrados en la red LTE tienen una entidad MME asignada que depende de la ubicación geográfica del terminal. Entre sus bases de datos la entidad MME contiene identificadores del usuario, claves de seguridad, datos de

localización y articula todas las gestiones que se realicen en relación a dicho usuario. La entidad MME asignada a un usuario puede ir cambiando atendiendo a la movilidad de dicho usuario dentro de la zona de servicio de la red. Las principales funciones de la entidad MME son las siguientes:

- ▲ Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN.
- ▲ Gestión de los servicios portadores.
- ▲ Gestión de movilidad de los usuarios en modo *idle*.
- ▲ Señalización para el soporte de movilidad entre servicios portadores y redes 3GPP.

### **SERVING GATEWAY (S-GW).**

Esta entidad actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la pasarela S-GW responde también a criterios geográficos así como de balanceo de cargas. Entre las principales funciones del S-GW podemos destacar: <sup>11</sup>

- ▲ La entidad S-GW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs. También aplicable a redes 3GPP (UTRAN y GERAN)
- ▲ Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo *idle*.
- ▲ Encaminamiento del tráfico de usuario.

### **PDN GATEWAY (P-GW).**

Esta entidad es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como Packet Data Network, PDN, en las

especificaciones 3GPP). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta “visible” en la red externa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW, un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Entre las principales funciones de la pasarela están: <sup>11</sup>

- ▲ Aplicación de las reglas de uso de la red control de policía y control de tarificación a los servicios portadores que tengan establecidos los terminales.
- ▲ La asignación de la dirección IP de un terminal utilizada en una determinada red externa.
- ▲ La pasarela P-GW actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP.
- ▲ El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador correspondiente.

### **IMS (SUBSISTEMA MULTIMEDIA IP).**

El subsistema IMS proporciona los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios de comunicación multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el subsistema IMS se materializa mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, bases de datos, pasarelas) que se comunican entre sí mediante diversos protocolos, fundamentalmente estándares del IETF (Internet Engineering Task Force), que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, etc. La provisión

de servicios en redes de comunicaciones móviles a través de IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito, ya que la nueva red de acceso E-UTRAN ha sido diseñada de forma que no proporciona acceso al dominio de circuitos.<sup>11</sup>

### **HSS (HOME SUSCRIBER SERVER).**

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la suscripción del usuario (perfil de suscripción) como información necesaria para la propia operativa de la red. El HSS contiene información permanente que sólo puede ser cambiada mediante procesos y también información temporal que cambia a raíz de la propia operación del sistema. Así, entre la información almacenada en el HSS podemos destacar: identificadores universales del usuario (IMSI), identificadores de servicio (*ISDN*, *MSISDN*); información de seguridad y cifrado (vectores de autenticación); información de localización del usuario en la red (identificador de la entidad de control MME, que proporciona el plano de control hacia un determinado usuario); e información necesaria para la provisión de los servicios de acuerdo con las condiciones establecidas en el contrato de suscripción.<sup>11</sup>

### **2.7.5 ESTRUCTURA DE UNA TRAMA LTE.**

La estructura de una trama LTE viene dada por dos tipos de tramas en el dominio temporal, que se describen a continuación:

## ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO 1.

Duplexado por división de frecuencia (FDD), es utilizada para enlaces descendente y ascendente, su estructura soporta half duplex y full duplex.

En esta estructura el eje temporal se divide en tramas de 10 ms. Cada trama a su vez está compuesta por 20 ranuras temporales (Slots o TS) de duración 0,5 ms. Se define una unidad básica de recursos, formada por dos ranuras temporales (TS) denominada subtrama de duración 1 ms.

Los usuarios se ubican en determinadas subportadoras, siguiendo la estructura de un bloque de recursos físicos (PRB), por un intervalo de tiempo preestablecido que se determina de forma dinámica por el gestor de recursos radio (scheduler). La mínima granularidad temporal en la asignación de recursos es de 1 ms, es decir una subtrama.<sup>11</sup>

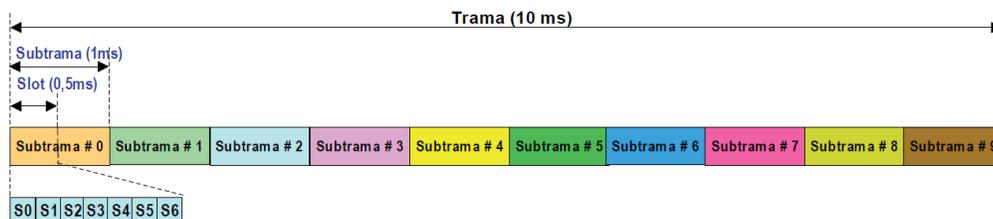


Figura 2.8 Estructura de trama tipo 1.

Fuente: LTE, nuevas tendencias en comunicaciones móviles

## ESTRUCTURA DE TRAMA TIPO 2.

Duplexado por división en tiempo (TDD), el eje temporal se divide en tramas de 10 ms. Cada trama a su vez está compuesta por 10 subtramas, cada una de duración 1 ms. Es una estructura de trama mucho más flexible que la FDD en tanto que contiene subtramas de transmisión tanto para el enlace descendente (DL) como ascendente (UL) así como subtramas especiales que contienen los símbolos piloto de los enlaces ascendente y descendente

y periodos de guarda entre transmisión y recepción. Esta subtrama especial aparece para facilitar la transición entre los enlaces descendente y ascendente por razones de sincronización, aunque el sistema esté correctamente sincronizado temporalmente, en lo que respecta al enlace ascendente sus transmisiones siempre pueden sufrir de una pequeña incertidumbre temporal que obliga a mantener un mínimo tiempo de guarda.

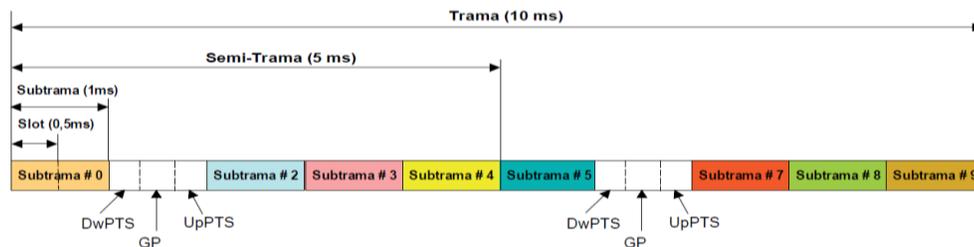


Figura 2.9 Estructura de trama tipo 2

Fuente: LTE, nuevas tendencias en comunicaciones móviles

La subtrama especial tiene una configuración variable. En ella se pueden distinguir tres campos:

- ⤴ DwPTS, que corresponde a la transmisión en el enlace descendente, y cuya longitud mínima es 1 símbolo OFDM. Este primer símbolo OFDM se utiliza para ubicar la denominada señal de sincronización primaria.
- ⤴ UpPTS que corresponde a la transmisión en el enlace ascendente. Se utiliza para transmitir un preámbulo corto de acceso aleatorio compuesto por 2 símbolos OFDMA.
- ⤴ GP o periodo de guarda. Su longitud depende de campos anteriores.

## 2.8 GESTIÓN DE SEGURIDAD

La gestión de seguridad debe ocuparse de que las comunicaciones entre los diferentes equipos que conforman la infraestructura del sistema se realicen con las garantías de seguridad necesarias. <sup>11</sup>

### 2.8.1 SEGURIDAD DE ACCESO A LA RED

La seguridad de acceso a la red en un sistema de comunicaciones inalámbricas es de vital importancia, debido a la confidencialidad de los datos que viajan a través de ella, por tal motivo LTE implementa varios protocolos de seguridad.

La seguridad de acceso a la red LTE a través de una red de acceso E-UTRAN se ilustran en la figura 2.10 y se compone de los siguientes elementos:

- Mecanismos para la autenticación mutua entre el usuario y la red. El procedimiento a través del cual se realiza la autenticación mutua, junto con la gestión de claves, se denomina Authentication and Key Agreement (AKA).
- Mecanismos para la determinación de las claves secretas utilizadas en los algoritmos de cifrado para la provisión de los diferentes servicios de confidencialidad e integridad.
- Servicios de confidencialidad e integridad para la transferencia de la señalización NAS entre el equipo de usuario y la entidad MME de la red troncal EPC.
- Servicios de confidencialidad e integridad para la transferencia de la señalización del protocolo RRC entre el equipo de usuario y el eNB (el cifrado se realiza en la capa PDCP de la torre de protocolos radio).
- Servicios de confidencialidad para la transferencia de información en el plano de usuario entre el equipo de usuario y el eNB (el cifrado se realiza en la capa PDCP de la torre de protocolos radio).

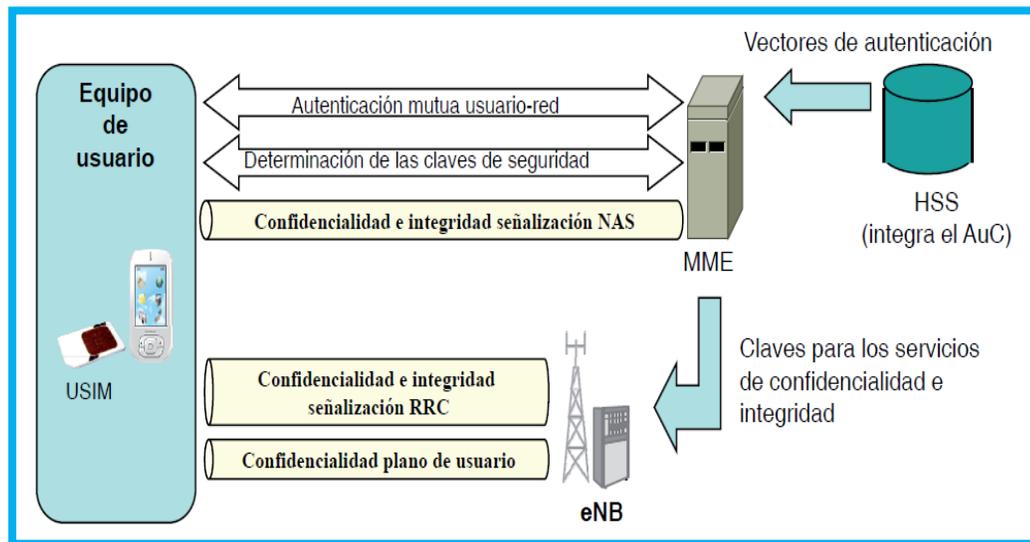


Figura 2.10. Componentes de la seguridad de acceso a la red

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

## 2.8.2 SEGURIDAD EN LA INFRAESTRUCTURA DE RED.

La solución planteada para proporcionar seguridad en las interfaces internas de la infraestructura de red basadas en torres de protocolos IP se denomina Network Domain Security for IP (NDS/IP) el cual establece los mecanismos de seguridad que pueden utilizarse para la transferencia segura de información entre los equipos que forman parte de la infraestructura de red de un mismo operador así como entre los equipos que enlazan las redes de diferentes operadores. NDS/IP se ha diseñado para proteger los protocolos del plano de control, a través de los cuales se transporta la información más sensible (transferencia de datos de suscripción, vectores de autenticación, etc.). La solución NDS/IP también es válida para proteger los protocolos de plano de usuario en las interfaces internas de la red (interfaces basadas en GTP-U). IPsec es una colección de protocolos y algoritmos para proporcionar seguridad en la capa de red, incluyendo la gestión de claves. En la solución NDS/IP, el protocolo de seguridad IPsec utilizado es ESP (Encapsulating

Security Payload) el cual permite ofrecer servicios de confidencialidad, integridad y autenticación del origen de datos.<sup>11</sup>

## **2.9 TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA LOS ENLACES DESCENDENTES Y ASCENDENTES.**

LTE utiliza técnicas de modulación que le permiten reducir la interferencia y aumentar la capacidad de la red:

- ▲ OFDMA (Acceso Múltiple por división de frecuencia ortogonal).
- ▲ SC-FDMA (Portadora única - Acceso Múltiple por división de frecuencia).

### **2.9.1 OFDMA COMO TÉCNICA DE ACCESO MÚLTIPLE PARA EL ENLACE DESCENDENTE.**

La técnica de acceso múltiple OFDMA es utilizada para el enlace descendente de LTE, donde se considera que para los distintos usuarios existen diferentes símbolos modulados sobre las subportadoras, y de esta forma acomodar varias transmisiones simultáneas en diferentes flujos de información de subportadoras distintas, como se ilustra en la figura 2.11. Obsérvese que existen  $U$  flujos de información correspondientes a diferentes usuarios, siendo  $dN$  número de símbolos enviados por cada usuario. Análogamente, en el receptor de cada usuario bastará con recuperar el contenido de las subportadoras asignadas a dicho usuario para separar la información destinada a este usuario del resto (será preciso disponer de los mecanismos de señalización adecuados para notificar a cada usuario a través de qué subportadoras se le está enviando la información).<sup>11</sup>

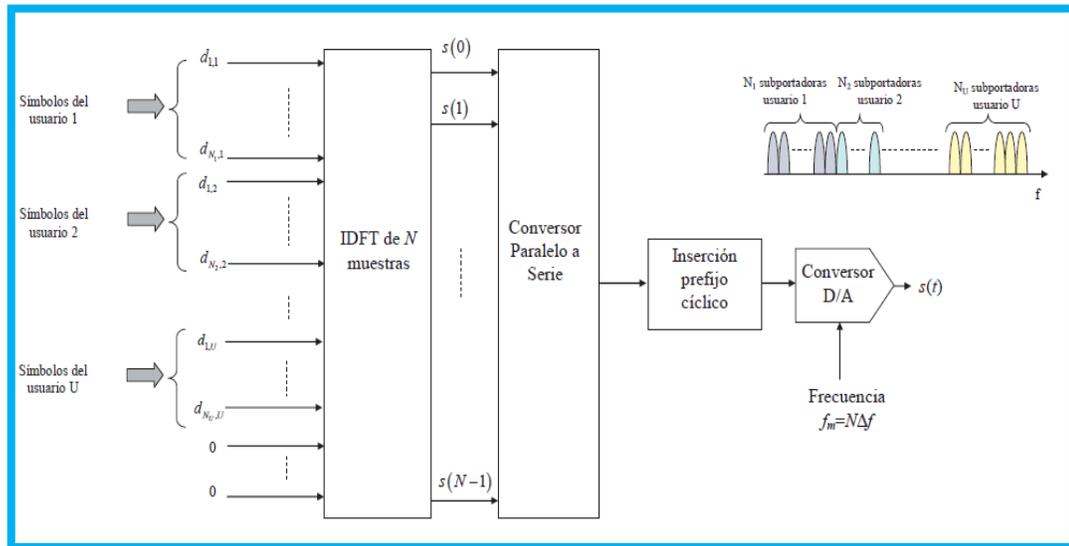


Figura 2.11 Multiplexación de usuarios en OFDMA

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

La técnica de acceso múltiple OFDMA conlleva las siguientes ventajas:

- ▲ Diversidad multiusuario: Mediante OFDMA la asignación de subportadoras a usuarios se lleva a cabo dinámicamente, pudiéndose cambiar en períodos cortos de tiempo dicha asignación a través de estrategias de scheduling.
- ▲ Diversidad frecuencial: Tal y como se ha comentado, es posible asignar a un mismo usuario subportadoras no contiguas, suficientemente separadas como para que el estado del canal en las mismas sea independiente.
- ▲ Flexibilidad en la banda asignada: La técnica OFDMA proporciona una forma sencilla de acomodar diferentes velocidades de transmisión a los diferentes usuarios en función de los requerimientos de servicio de cada uno, simplemente a base de la asignación de más o menos subportadoras por usuario.

- ▲ Elevado grado de utilización de la banda asignada: Gracias al empleo de la transmisión OFDM la transmisión multi-portadora se consigue con un espaciado mínimo entre las diferentes subportadoras utilizadas, existiendo una cierta superposición en el espectro ocupado por éstas sin que ello afecte a la recuperación de la señal transmitida.
- ▲ Sencillez de implementación en el dominio digital: Esto es así gracias a la posibilidad de emplear chips que efectúan los procesos de FFT/IFFT (Transformada rápida de Fourier / Transformada rápida de Fourier inversa) de forma rápida.

### **SCHEDULING DE PAQUETES.**

Mediante OFDMA es muy sencillo efectuar una asignación dinámica de las subportadoras disponibles a los diferentes usuarios simplemente modificando los símbolos que se inyectan a cada una de las entradas del proceso de IDFT (Transformada discreta de Fourier inversa) en transmisión. Esto permite que, en periodos muy cortos de tiempo, típicamente compuestos por un pequeño número de periodos de símbolo (6 o 7 periodos en el caso de LTE), se puedan modificar las subportadoras empleadas por cada usuario, lo que proporciona la flexibilidad necesaria para poder acomodar flujos de información con diferentes requerimientos de QoS.

### **REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS CON SISTEMAS CELULARES OFDMA.**

En los sistemas celulares basados en OFDMA, en los que la banda total se subdivide en un conjunto de subportadoras, es de vital importancia emplear técnicas de reutilización de frecuencias similares a las de los sistemas de segunda generación como GSM.

En la figura 2.12 el conjunto total de subportadoras disponible se subdivide en  $F$  grupos (siendo  $F$  el factor de reuso) cada uno de los cuales se asigna a una célula diferente de un conjunto de  $F$  células denominado *cluster*. A su vez, cada uno de los grupos se reutiliza en células pertenecientes a diferentes *clústeres*, para un caso de factor de reuso  $F=3$  asumiendo que cada base se encarga de dar servicio a un área hexagonal, mediante este mecanismo se garantiza que células adyacentes no trabajen con las mismas subportadoras y por lo tanto no se interfieran mutuamente.<sup>11</sup>

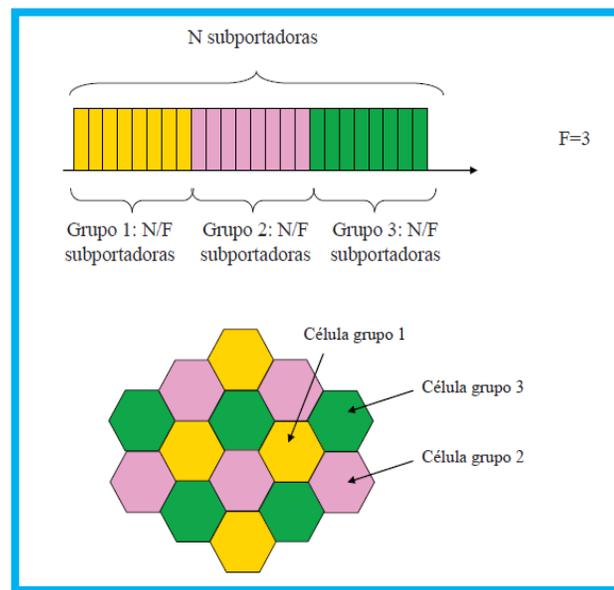


Figura 2.12 Asignación de subportadoras a células según un factor de reuso de  $F=3$

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

## 2.9.2 PORTADORA ÚNICA (SC-FDMA) COMO TÉCNICA DE ACCESO MÚLTIPLE PARA EL ENLACE ASCENDENTE.

A la hora de seleccionar el esquema apropiado para el enlace ascendente de LTE, la técnica de acceso múltiple seleccionada SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero efectuando una

precodificación de los símbolos a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que permite reducir las variaciones en la potencia instantánea.

En OFDMA los símbolos se transmiten en paralelo mientras que en SC-FDMA los símbolos se transmiten en serie a cuatro veces la velocidad como indica la figura 2.13 la señal OFDMA es una señal multi-portadora, mientras que la SC-FDMA es una señal portadora simple, esta característica hace que la señal SC-FDMA tenga una relación de potencia promedio a pico (PAPR) menor que la señal OFDMA y por lo tanto, sea adecuada para el canal ascendente.<sup>11</sup>

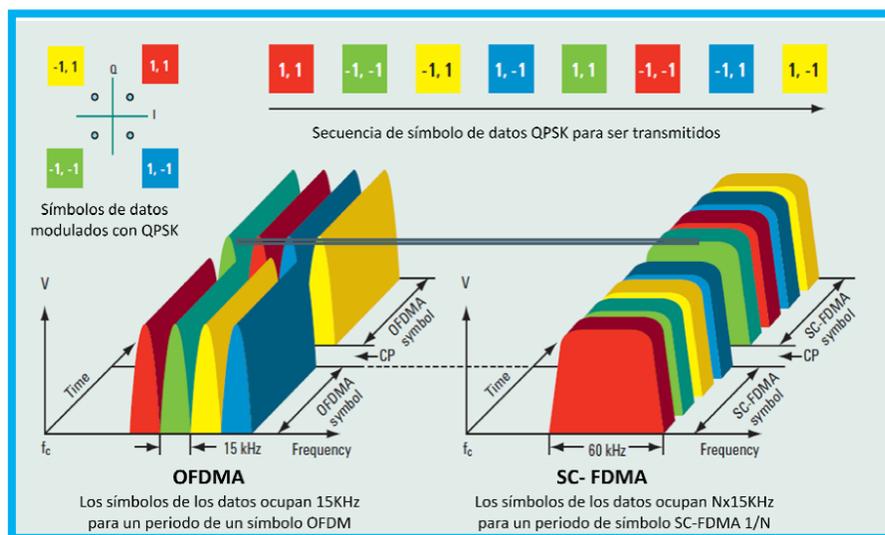


Figura 2.13 comparaciones OFDMA y SC-FDMA

Fuente: [www.atelasesores.com](http://www.atelasesores.com)

## 2.10 TÉCNICA DE MÚLTIPLES ANTENAS (MIMO).

MIMO (Multiple Input Multiple Output) es un conjunto de técnicas relacionadas con el uso de múltiples antenas en comunicaciones inalámbricas. Esto supone añadir una dimensión espacial adicional que puede aprovechar la formación de canales estadísticamente independientes

originados por el multitrayecto y mitigar el efecto del mismo, consiguiendo un incremento sustancial de la eficiencia espectral. Esta mejora lleva a la moderna tecnología inalámbrica a contemplar el uso de MIMO para aumentar su tasa de transmisión.<sup>11</sup>

### 2.10.1 ESTRUCTURAS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN OFDMA CON MÚLTIPLES ANTENAS MIMO.

Considérese un sistema de transmisión multi-antena con un total de  $M_T$  antenas transmisoras y  $M_R$  antenas receptoras, mediante este sistema es posible paralelizar un total de  $r$  canales MIMO donde  $r$  es el rango de la matriz  $H$  que recoge las respuestas impulsionales entre las diferentes combinaciones de antenas transmisora y receptora, en la Figura 2.14 se muestra el esquema genérico de transmisión multi-antena basado en OFDMA que permite la transmisión de  $N_F$  flujos de información.<sup>11</sup>

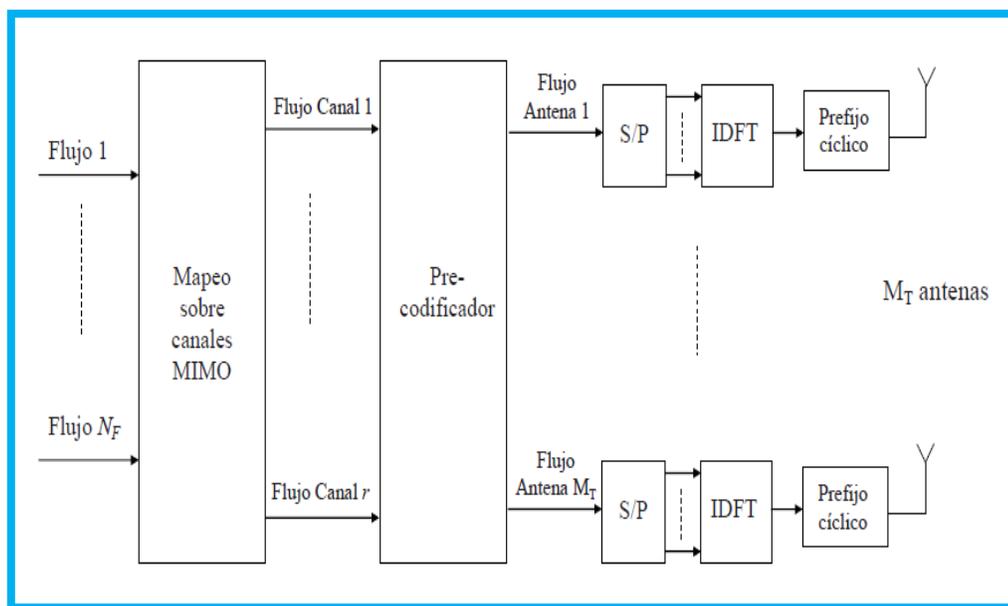


Figura 2.14 Esquema de transmisión OFDMA multi-antena

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

Cada uno de los  $NF$  flujos correspondería a un conjunto de símbolos modulados que constituyen la información a transmitir tras haber aplicado la codificación de canal. Dichos flujos pueden estar asociados por ejemplo a la información de diferentes usuarios o a diferentes flujos de información de un mismo usuario (diferentes canales de transporte).

En relación al proceso de recepción de la señal OFDMA multi-antena, se muestra de forma genérica en la Figura 2.15 para una estructura con  $M_R$  antenas receptoras. En concreto, después de efectuar el procesamiento OFDMA de la señal recibida por cada antena receptora (consistente en la extracción del prefijo cíclico y en realizar la DFT sobre los símbolos recibidos), se lleva a cabo el proceso de recepción MIMO para extraer la información de cada uno de los  $r$  canales MIMO enviados en paralelo, a partir de los cuales se obtendrán los correspondientes  $NF$  flujos enviados.

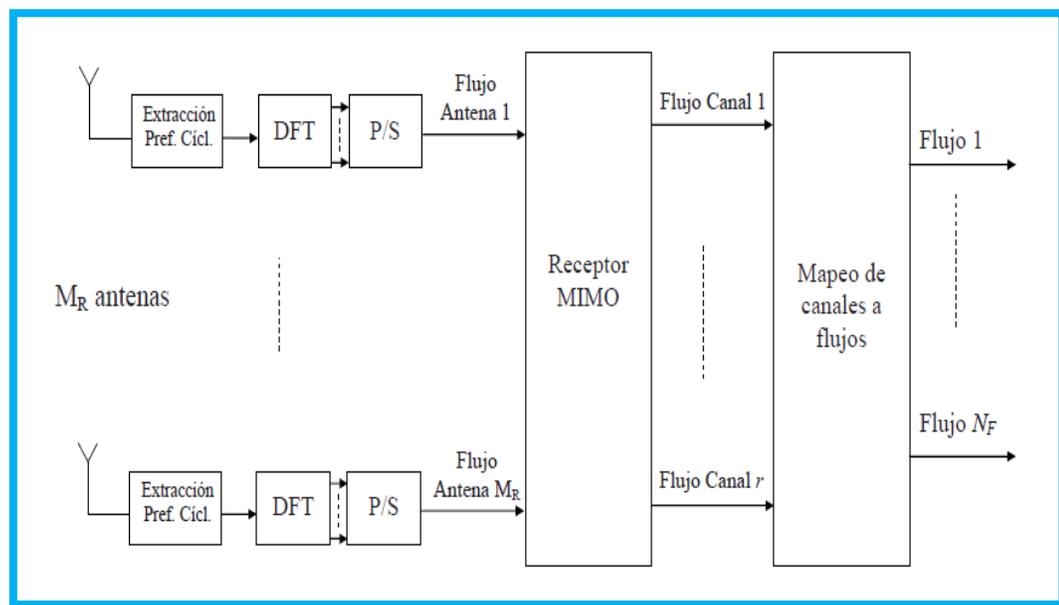


Figura 2.15 Esquema de recepción OFDMA multi-antena

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

## **2.11 REDES HETEROGÉNEAS.**

La convivencia de redes de acceso radio de diferentes tecnologías constituye una característica inherente a la propia evolución de los sistemas de comunicaciones móviles. La adopción de nuevas tecnologías radio pocas veces representa un proceso disruptivo sino que resulta habitual que diferentes soluciones formen parte de una misma infraestructura de red.

Por ello, es común encontrar operadores móviles que ofrecen sus servicios a través de GSM, UMTS, HSPA, y en un futuro, LTE.

El sistema LTE ha sido específicamente diseñado para soportar despliegues de red donde la red de acceso E-UTRAN co-exista con otras redes de acceso radio. En particular, el servicio de conectividad IP de la red troncal EPC puede ofrecerse también a través de las redes de acceso 3GPP anteriores a LTE, es decir, UTRAN y GERAN. La interconexión de estas redes de acceso a una red LTE se realiza a través de interfaces específicas con la nueva red troncal EPC de forma que se garantiza la continuidad de los servicios cuando los terminales cambian de red de acceso (se soportan mecanismos de handover entre tecnologías 3GPP). El sistema LTE contempla la posibilidad de utilizar redes de acceso no estandarizadas por 3GPP (no 3GPP), para la provisión de los servicios de la red troncal EPC. Dentro de las redes no 3GPP, cabe mencionar especialmente las redes CDMA2000 desarrolladas por 3GPP2 (1xRTT y EVDO).<sup>11</sup>

### **2.11.1 INTERWORKING ENTRE LTE Y OTRAS REDES 3GPP.**

LTE ha sido diseñado para soportar despliegues de red donde co-existan E-UTRAN, UTRAN y/o GERAN, obsérvese la figura 2.16. La solución de interworking especificada soporta un nivel de interworking para la provisión del servicio de conectividad IP a través de los diferentes accesos 3GPP con

terminales single-radio, teniendo en cuenta, las diferentes prestaciones que pueden conseguirse en cada una de las redes de acceso en cuanto a latencias y tasas de transferencia en bps.

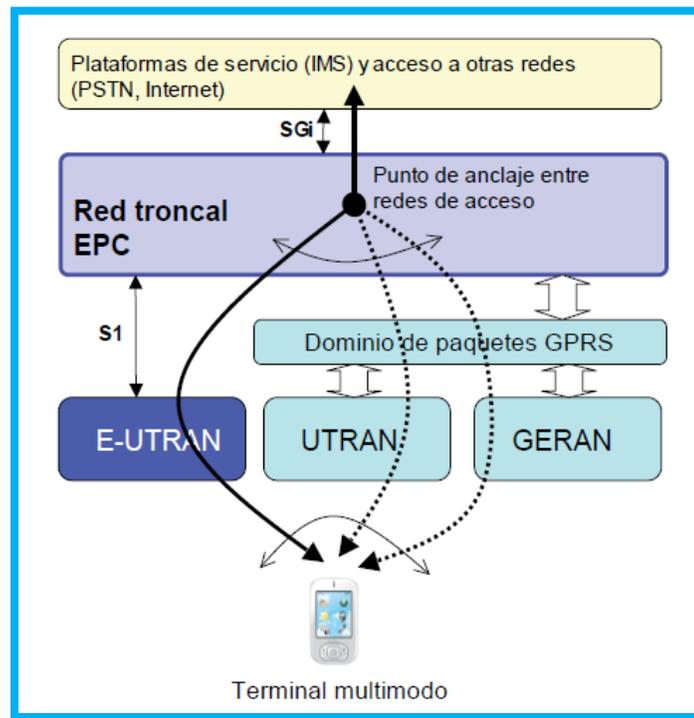


Figura 2.16 Marco de interworking entre redes de acceso 3GPP

Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

La solución de interworking admite dos configuraciones diferentes:

- ⤴ Utilización de interfaces propias del sistema GPRS. Esta opción hace que sean pocas las modificaciones requeridas en los equipos de las redes GPRS ya desplegadas.
- ⤴ Incorporación de nuevas interfaces entre GPRS y EPC. En esta opción se han definido unas nuevas interfaces que deberían ser soportadas en los equipos de las redes GPRS de cara a su interconexión con una red troncal EPC.

### 2.11.2 INTERWORKING ENTRE LTE Y OTRAS REDES NO 3GPP.

La red troncal EPC ha sido diseñada para poder proporcionar sus servicios de conectividad IP a terminales que utilicen redes de acceso radio o cableadas. En la Figura 2.17 se ilustra el marco de interworking del sistema LTE con otras redes de acceso no 3GPP. La red troncal EPC, junto con otros elementos comunes estandarizados por el 3GPP, constituyen el núcleo de la arquitectura de red heterogénea donde se sustentan las funciones transversales necesarias para la provisión del servicio y que son independientes de la red o redes de acceso utilizadas. En particular, a través de la infraestructura 3GPP, se sustentan las funciones relacionadas con la gestión de usuarios (almacenamiento y acceso a los datos de suscripción, control de acceso, etc.), el control de QoS y tarificación del servicio de conectividad, y el soporte de movilidad entre las diferentes redes de acceso.

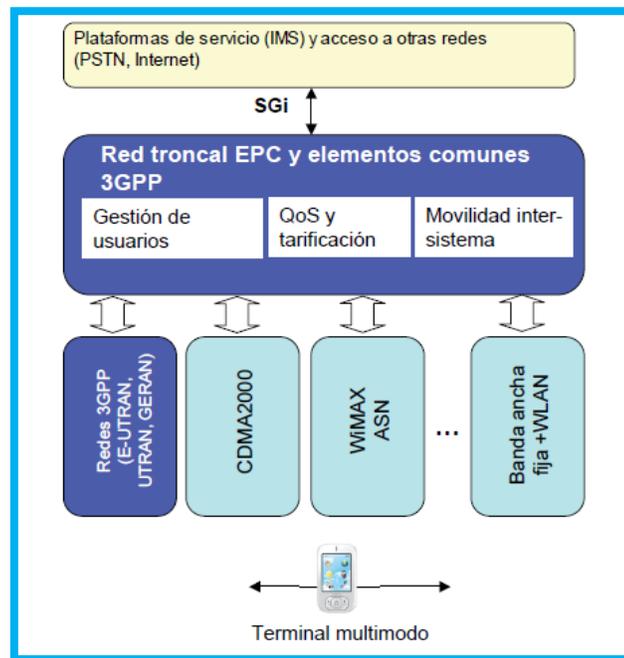


Figura 2.17. Marco de interworking con redes de acceso no 3GPP

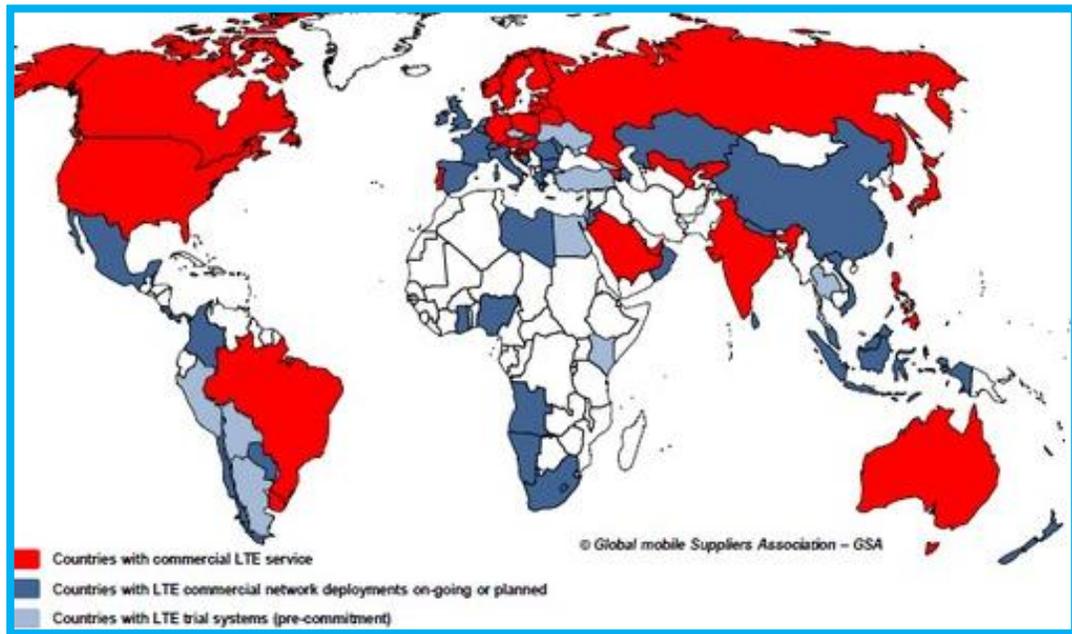
Fuente: LTE, nueva tendencias en comunicaciones móviles

Ejemplos de redes de acceso no 3GPP son: redes de acceso radio CDMA2000, redes de banda ancha cableadas ADSL y redes de acceso Mobile WIMAX. La red troncal EPC actúa como punto de anclaje del servicio de conectividad IP, ofrecido a través de cualquiera de las redes de acceso 3GPP y no 3GPP, garantizándose la continuidad del servicio al cambiar de red de acceso (la dirección IP asignada al terminal se mantiene aun cuando éste cambia de red de acceso).<sup>11</sup>

## **2.12 SITUACIÓN MUNDIAL TECNOLOGÍA LTE.**

Los operadores del mundo se encuentran desplegando sus redes con tecnología LTE, para satisfacer las demandas de los usuarios y de los nuevos dispositivos inteligentes que salen al mercado. Se espera que a finales de 2013 se tengan desplegadas 244 redes LTE en 87 países, 88 redes más que las registradas a inicios de año, según la asociación global de proveedores de redes móviles, GSA.

La GSA señala que 412 operadores en 125 países alrededor del mundo se encuentran invirtiendo en tecnología LTE y agrega que 357 operadores han hecho compromisos firmes en el despliegue de LTE.<sup>12</sup>



2.18 Redes LTE en el mundo

Fuente: [www.gsacom.com](http://www.gsacom.com)

### 2.13 VARIABLES.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES
Red de cuarta Generación en la Provincia de Santa Elena	Actualización tecnológica de las TIC's en la provincia de Santa Elena
	Mayor transferencia de datos y menor latencia
	Nuevas aplicaciones móviles
	Reducir la brecha tecnológica en la provincia de Santa Elena

Tabla II.VI Variables dependientes e independientes

Fuente: Diseño de tesis

## 2.14 MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.

MÉTODOS DE NIVEL TEÓRICO	
ANALÍTICO	Estudiar la Tecnología LTE y sus características
SINTÉTICO	Realizar el diseño de la red, después de haber investigado tecnología de cuarta generación o LTE
DEDUCTIVO	Diseñar los enlaces de la red LTE en base a investigaciones y simulación en software predictivos
INDUCTIVO	Realizar pruebas por etapas en los enlaces simulados para obtener información importante y contribuir al avance tecnológico de la provincia de Santa Elena.
OBSERVACIÓN	Realizar el estudio de campo de los lugares en donde se va a realizar la actualización de la tecnología y tomar valores de ancho de banda en puntos estratégicos por medio de aplicación móvil
MODELACIÓN	Diseñar el diagrama esquemático de la red LTE utilizando software predictivo para la simulación de los nodos de la red inalámbrica
HISTÓRICO	Investigar tecnologías antecesoras a LTE como su aplicación en otros países

MÉTODOS DE NIVEL EMPÍRICO	
ENCUESTA	Desarrollada para conocer las opiniones de los habitantes del cantón Santa Elena sobre la aceptación de dispositivos móviles con acceso a tecnología de cuarta generación
ENTREVISTA	Realizar entrevistas con personas que porten información directa del problema planteado y obtener información útil sobre la tecnología de cuarta generación
MÉTODO DE NIVEL MATEMÁTICO Y ESTADÍSTICO	En base a las encuestas realizadas se elaborará gráficos de porcentajes sobre la aceptación de móviles con tecnología de cuarta generación y comparación de tecnologías

Tabla II.VII Métodos e instrumentos de investigación

Fuente: Diseño de tesis

## **2.15 TÉRMINOS BÁSICOS.**

AMPS: Sistema de telefonía móvil avanzado.

ETACS: Sistema de comunicaciones de acceso total extendido.

NMT: Teléfono móvil Nórdico.

TDMA: Acceso múltiple por división de tiempo.

GSM: Sistema global móvil.

CDMA: Acceso múltiple por división de códigos.

GPRS: Servicio general de paquetes vía radio.

EDGE: Tasa de datos mejorada para GSM.

UMTS: Sistema de telecomunicaciones móvil universal.

HSDPA: Acceso a paquetes de descarga de alta velocidad.

HSUPA: Acceso a paquetes de carga de alta velocidad.

BSC: Controlador de estación base.

BTS: Estación base transmisora.

HLR: Registro de posiciones locales.

VLR: Registro de posición de visitantes.

EIR: Registro identificador de equipos.

GGSN: Nodo de apoyo GPRS de entrada.

SGSN: Nodo de apoyo GPRS de servicio.

WCDMA: Acceso múltiple por división de código de banda ancha.

FDD: División de frecuencia bidireccional.

TDD: División de tiempo bidireccional.

UE: Equipo de usuario.

USIM: Modulo de identidad de suscripción UMTS.

AN: Red de acceso.

CN: Núcleo de red.

UTRAN: Red de acceso a radio terrestre UMTS, está formada por NodosB.

RNC: Controladores de red radio, equivalentes a las estaciones bases BTS.

MSC: Central de conmutación móvil.

ATM: Modo de transferencia asíncrono.

TCP: Protocolo de control de transporte.

UDP: Protocolo de datagramas de usuario.

HS-DSCH: Canal compartido de descarga de alta velocidad.

HARQ: Solicitud de repetición automática híbrida.

MIMO: Salidas múltiples-Entradas múltiples.

TTI: Intervalos de tiempo de transmisión.

QAM: Modulación de amplitud en cuadratura.

UMB: Ultra banda ancha móvil.

SMA: Servicio móvil avanzado.

PCS: Sistema de comunicación personal.

AWS: Servicio inalámbrico avanzado.

3GPP: Proyecto de Asociación de Tercera Generación.

E-UTRAN: Evolved UTRAN.

SAE: Evolución de la arquitectura del sistema.

EPC: Núcleo de paquetes evolucionado.

EPS: Sistema de paquetes evolucionado.

UICC: Tarjeta de circuitos integrada universal.

GERAN: Red de radio acceso GSM/EDGE.

HSS: Servidor de suscripción local.

DHCP: Protocolo de configuración de equipos dinámicos.

DNS: Servidor de nombres de dominio.

MME: Entidad de agente de movilidad.

S-GW: Servicio de puerta de enlace.

P-GW: puerta de enlace de la red de paquetes de datos.

PCRF: Función de regla de cargas y políticas.

PCC: Control de cambios y políticas.

eNodoB: Evolución del nodo B.

QoS: Calidad de servicio.

OFCS: Sistema de carga desconectada.

OCS: Sistema de carga conectada.

WIMAX: Interoperabilidad mundial por acceso vía microonda.

IMSI: Identidad de suscripción móvil internacional.

MSISDN: Estación móvil de red digital de servicios integrados.

NDS/IP: Seguridad de dominios de red para IP.

IPsec: Seguridad del protocolo de internet.

IMEI: Identidad de equipo móvil internacional.

IP/MPLS: Conmutación Multi-protocolos mediante etiquetas.

# **CAPÍTULO 3**

## **ANÁLISIS**

### **3. ANÁLISIS.**

Descripción de los parámetros técnicos de los elementos que intervienen en un sistema de cuarta generación, velocidades a alcanzar, se realiza un análisis económico, así como los posibles planes que se ofertarán.

Mediante encuestas se pretende obtener el nivel de aceptación de los dispositivos de cuarta generación en la provincia de Santa Elena y así sustentar la factibilidad del proyecto de diseño de un sistema de red LTE.

### 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE CUARTA GENERACIÓN.

En el primer tramo de la figura 3.1 observamos la distribución de los elementos de una estructura celular LTE, empezando con las antenas MIMO las cuales se conectan por medio de un cable coaxial con la unidad de radio remota RRU o RRH (Transmisor), estos elementos se encuentran en la torre, el transmisor a su vez se conecta por fibra óptica con un armario el cual posee el Nodob, un sistema de rectificación, un módulo de control de alarmas y un módulo GPRS, a todos estos elementos se los considera como la evolución del Nodob (eNodob).

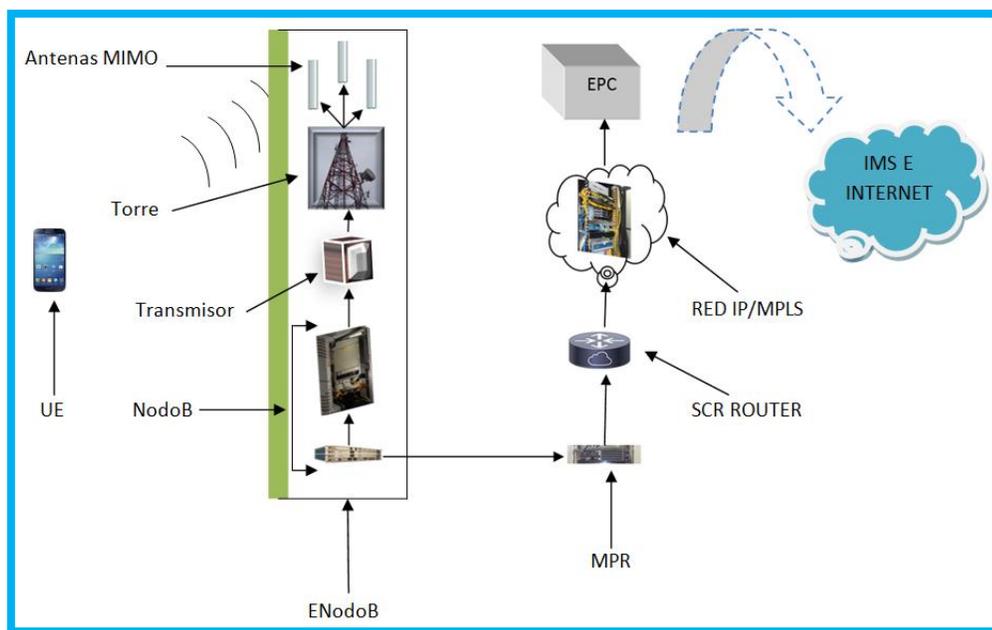


Figura 3.1 Diagrama de bloques de un sistema de cuarta generación.

Fuente: Diseño de tesis

En el segundo tramo se observa el equipo de microondas de radio por paquete (MPR), para después conectarse a un Router de servicios en la nube (SCR ROUTER) el cual va conectado al backhaul (transporte) o la red IP/MPLS, para después pasar a la red troncal de paquetes evolucionada (EPC), la cual todos los dispositivos se encuentran en la ciudad de Guayaquil.

En el tercer tramo se conectan con todas las redes existentes o subsistema multimedia IP (IMS) y otras redes del mundo 3GPP, No 3GPP, PSTN.

### **DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA TRANSMISIÓN LTE.**

Para la transmisión de datos de un eNB hacia un equipo de usuario se llevan a cabo los siguientes procesos de control, administración y compresión de datos, para que la información llegue de origen a destino de forma rápida, segura y completa, figura 3.2.

En la primera capa se encuentra el PDCP (protocolo de convergencia de datos de paquetes), donde se realiza la compresión del encabezado IP para reducir el número de bits a transmitir, en esta capa también se realiza el cifrado para protección de los datos. Existe una entidad PDCP por cada terminal móvil.

La segunda capa es la RLC (control de enlace radio), responsable de la segmentación y concatenación de datos. Existe una entidad RLC por cada terminal móvil.

La capa MAC (control de acceso al medio), se encarga de las retransmisiones ARQ híbrido de enlace ascendente y descendente, se tiene una entidad MAC por celda.

La capa física se encarga de la codificación / decodificación, modulación / demodulación de la señal y multi asignación de antenas.

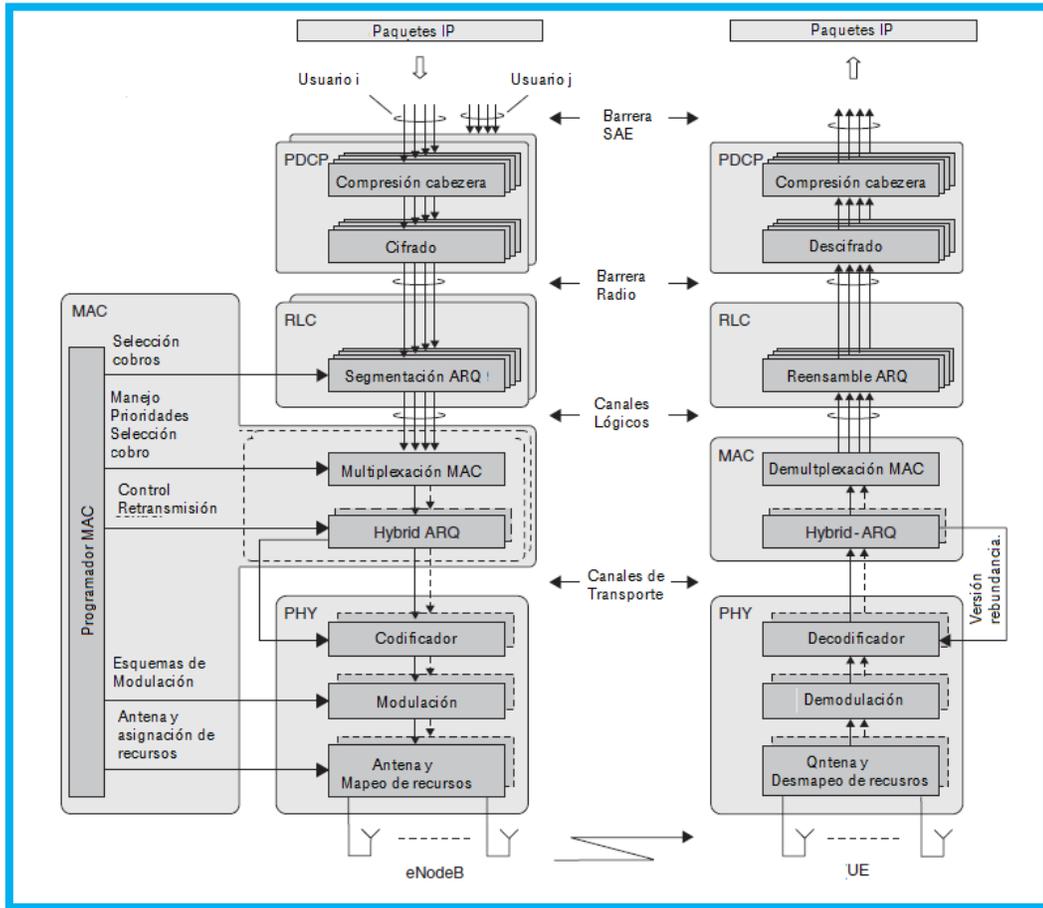


Figura 3.2. Diagrama de bloques de transmisión LTE

Fuente: Propuesta de Requerimientos Técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología “long term evolution (lte)” en Costa Rica.

### 3.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS DISPOSITIVOS EN UN SISTEMA LTE.

En un sistema LTE intervienen varios dispositivos los cuales realizan funciones diferentes para tener una transferencia de datos estable y sin interrupciones sin importar el lugar donde se encuentre el usuario.

Se analizaron cada uno de los dispositivos a utilizarse, los cuales son de marca Alcatel-Lucent empresa contratada para el despliegue de LTE.<sup>13</sup>

- ▲ El eNodoB 39326 d2U V2 basic.
- ▲ El transmisorRRH 2x60-xx solution overview.
- ▲ Las antenas tongyu TDJH-809016/182018DE-65F.

### **El eNodoB 39326 d2U V2 basic.** <sup>13</sup>

Es especialmente adecuado para aplicaciones macro-celulares en áreas densas y pobladas. En comparación con un NodoB de implementación de sitio, este proporciona los siguientes beneficios:

- ▲ Reducción del volumen, peso, tamaño, ruido acústico y el consumo de energía.
- ▲ Reducción del coste de rutas alimentadoras del NodoB.
- ▲ Aumento de la potencia de RF en el alimentador de la antena.
- ▲ Reducción de la pérdida de radio con el uso del concepto de bloque de RF a distancia, lo que elimina la distancia entre el amplificador de la radio y la antena.
- ▲ Proporciona hasta ocho E1/T1 con Multiplexación ATM e IP/MPLS.
- ▲ Compatible con la Interfaz de Radio Pública Común (CPRI).
- ▲ Ofrece a los operadores una solución adecuada sea cual sea el lugar de limitaciones.
- ▲ Se puede instalar en un modo de cubierta independiente o en una cubierta existente o en gabinetes 9100 BTS multi-estandar al aire libre.
- ▲ Además, el 9326 D2U V2 se puede integrar una pequeña fuente de alimentación medio (PSU) en el gabinete al aire libre.



Figura 3.3 Vista exterior del eNodeB 9326 D2U V2

Fuente: Alcatel-Lucent

El 9326 D2U V2 soporta las siguientes funciones:

- ▲ Procesamiento de llamadas.
- ▲ Supervisión del rendimiento.
- ▲ Interfaz de red.
- ▲ Configuración / supervisión.
- ▲ Sincronización.

#### El transmisor RRH2X60-XX solution overview<sup>14</sup>

La figura 3.4 muestra una unidad digital que soporta 3x RRH2x60-xx con conexiones de fibra estrellas.

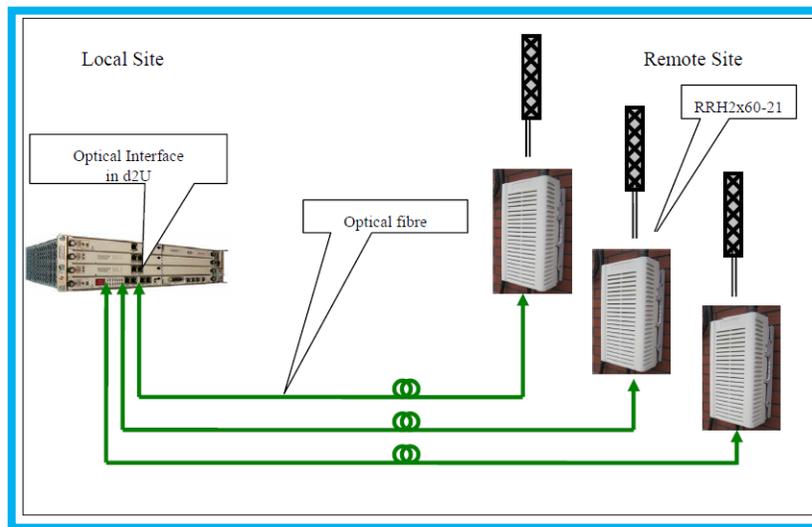


Figura 3.4 RRH2x-xx con 9328 BBU visión general del sistema

Fuente: Alcatel-lucent

La solución de Alcatel-Lucent se ha diseñado para proporcionar a los operadores los medios para alcanzar alta calidad y gran capacidad de cobertura.

RRH2x60-xx proporciona altos poderes RF, hasta un total de 120W. Soporta hasta 4 portadoras en 30W, hasta 3 portadoras en 40W (usando MIMO), y admite hasta 8 portadoras en 15W. RRH2x60-xx incluye 2 transmisores de RFy 2x2 MIMO para soporte LTE.

RRH2x60-xx proporciona hasta 120 vatios de potencia de RF, que proporciona un excelente soporte para una mayor potencia por portadora, esto nos lleva directamente a la mejora de la cobertura, penetración en edificios y el rendimiento. Las principales reducciones de pérdidas de RF significan mayor potencia radiada RF y consume menos energía, generando menos calor mientras lo hace.

	<b>RRH2x60-850</b>	<b>RRH2x60-1900</b>	<b>RRH2x60-2100</b>
<b>Rendimiento de Radio Frecuencia</b>			
<b>Bandas de Frecuencias de operación</b>	869-894MHz	1930-1990MHz	2110-2170MHz
	Banda V, para 3GPP TS25.104	Banda II, para 3GPP TS25.104	Banda I, para 3GPP TS25.104
<b>Ancho de Banda Instantáneo</b>	20 MHz (4 portadora UMTS)		
<b>Soporta antenas</b>	MIMO		
<b>Impedancia Nominal</b>	50 ohmios		
<b>Pérdida de retorno por puerto de la antena</b>	14 dB min		
<b>Poder de salida nominal (conector a la antena)</b>	2x60W / 2x+47.8 dBm		

Tabla III.I Parámetros de rendimiento de Radiofrecuencia RRH2x60-xx

Fuente: Alcatel-Lucent

	RRH2x60-850	RRH2x60-1900	RRH2x60-2100
<b>Características mecánicas de Radio frecuencia</b>			
<b>Número de portadoras</b>	4 portadoras adyacentes (en 20 MHz) con MIMO		
<b>Poder de salida de Radio Frecuencia. Configuración de antenas</b>	120 W nominal: 120 W x 1 portadora (MIMO) 60W x 2 portadora (MIMO), 40W x 3 portadoras (MIMO), 30W x 4 portadoras (MIMO)		
<b>Interferencia</b>	1,8 dB típica (sensibilidad típica es -125,7 dBm con 3GPP2 5.104)		

Tabla III.II Características mecánicas del RRH2x60-xx.

Fuente: Alcatel-Lucent

### Antena TONGYU TDJH-809016/182018DE-65F. <sup>15</sup>

Antena con inclinación eléctrica ajustable manual o por control remoto, ideal para estaciones bases celulares, transmisión y recepción con arreglos MIMO.

Frecuencia (MHz)	824 - 896	880 - 960	1710 - 1880	1850 - 1990	1920 - 2170
<b>Polarización</b>	+- 45°				
<b>Ganancia (dBi)</b>	15.5	16	17.5	17.8	18
<b>Descarga eléctrica</b>	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10
<b>Anchura media del haz de energía</b>	Hor: 65, Vert: 10	Hor: 63, Vert: 9.5	Hor: 66, Vert: 7	Hor:64, Vert: 6.5	Hor:63, Vert: 6
<b>Radio frontal-trasero</b>	>= 25				
<b>Aislamiento</b>	>=30				
<b>Protección contra relámpago</b>	Tierra DC				

Tabla III.III Especificaciones eléctricas de antena tongyu modelo TDJH-809016/182018DE-65F

Fuente: Alcatel-Lucent

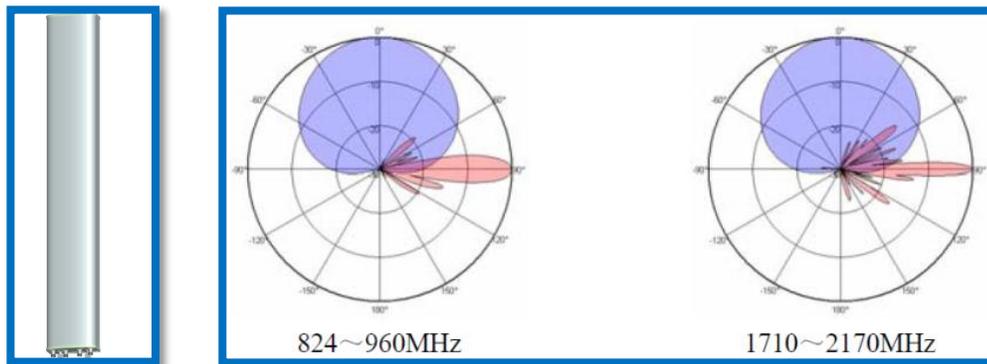


Figura 3.5 Patrón de distribución de señal antena tongyu modelo TDJH-809016/182018DE-65F  
Fuente: Alcatel-Lucent

### 3.3 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL DE CNT PROVINCIA DE SANTA ELENA.

Con la actualización de las redes a tecnología de cuarta generación se logrará obtener servicios de calidad, con capacidades de transferencia de datos nunca antes vistos, y solo obtenidos mediante fibra óptica. El sistema LTE con dos antenas de recepción y una de transmisión, es capaz de soportar hasta 100 Mbps de bajada y 50 Mbps de subida (release8), en transmisión full dúplex con una asignación de 20 MHz de espectro, y una latencia en el plano de usuario no mayor de 20 ms.

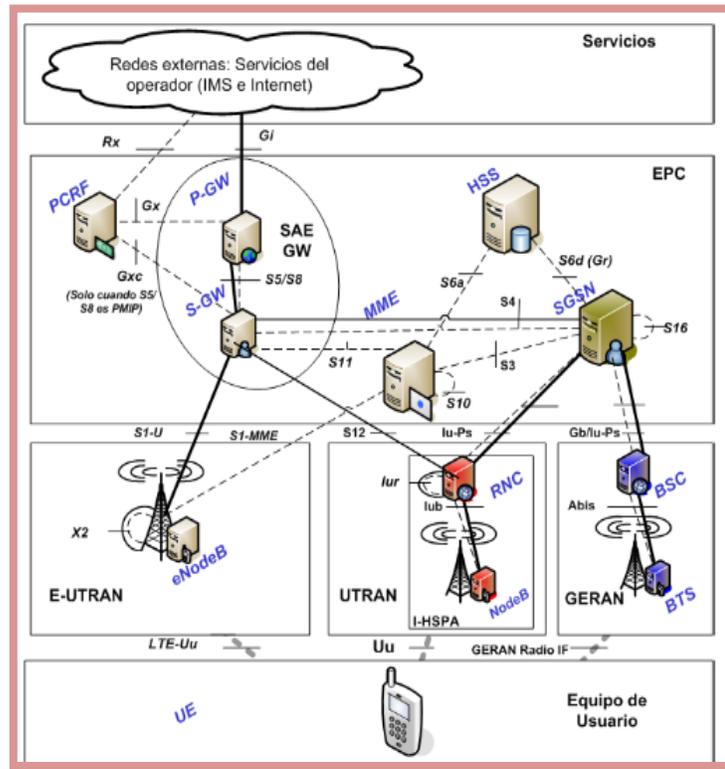


Figura 3.6 Arquitectura del sistema para redes de acceso 3GPP

Fuente: Propuesta de Requerimientos Técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología “long term evolution (lte)” en Costa Rica.

Para usuarios en movilidad con velocidades entre 0 Km/h y 15 Km/h la señal de la red es óptima, entre 15 Km/h y 120 Km/h la cobertura de la celda la soporta con un alto desempeño, y E-UTRAN es capaz de soportar velocidades superiores en conmutación de paquetes, tanto para datos como para voz (ejemplo: una video llamada).

La red LTE es capaz de soportar espectros de distintos tamaños en enlaces ascendentes y descendentes, coexistir con otras redes como GERAN/UTRAN, como se muestra en la figura 3.6 incluso con redes no 3GPP, como Wimax, CDMA y RDSI.<sup>16</sup>

### 3.3.1 VELOCIDADES A ALCANZAR CON EL SISTEMA LTE.

Según encuesta desarrollada por la revista Española Telesemana, a un selecto grupo de operadores de telefonía móvil de Latinoamérica, sobre sus planes de lanzar LTE en sus respectivos mercados, se comprobó que la mayoría de los operadores en la región esperan tener algún tipo de servicio comercial LTE disponible en los próximos meses.<sup>17</sup>

Se espera que con LTE haya una explosión en el tráfico de datos, como se observa en la figura 3.7 más del 90% de los operadores encuestados piensa desplegar su red LTE hasta más tardar en el año 2015 por sus beneficios y para cumplir con la demanda actual, además, esta nueva red viene acompañada de mejores dispositivos, por ejemplo, el iPhone 5, el Samsung Galaxy S4, el Nokia Lumia 9020, entre otros.

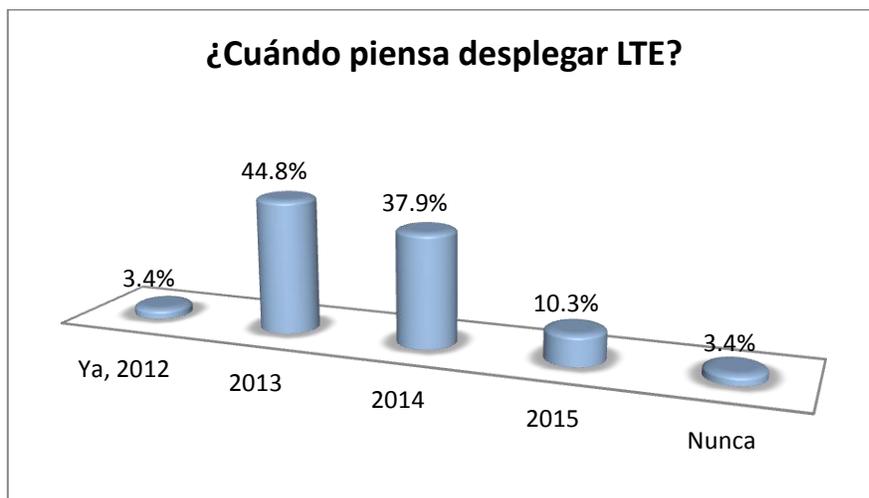


Figura 3.7 Cuando piensa desplegar LTE

Fuente: [www.telesemana.com](http://www.telesemana.com)

Tal como se ilustra en la figura 3.8 el 64,50% operadores esperan ofrecer un mínimo de 5 Mbps de descarga en sus ofertas LTE, y el 87,10% no contempla bajar de los 3 Mbps, velocidad ampliamente superada a su sucesora HSPA+.

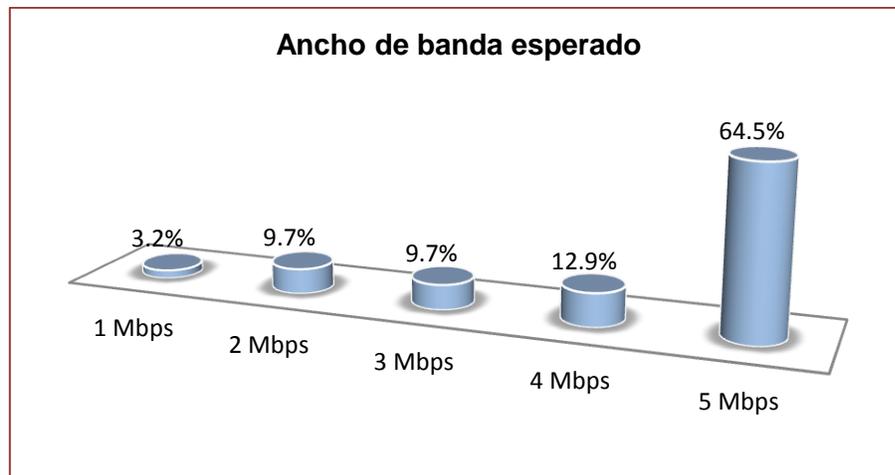


Figura 3.8 Ancho de banda esperado para ofrecer LTE

Fuente: [www.telesemana.com](http://www.telesemana.com)

El lanzamiento de LTE, junto con la llegada de más smartphones en todos los rangos de precios y la nueva arquitectura redes heterogéneas (HetNet), obliga a los operadores de todo el mundo a evolucionar su red de transporte (backhaul) hacia una arquitectura que permita sostener las velocidades de transmisión y latencia prometidas por LTE, así como garantizar una seguridad y confiabilidad en la red garantizando una experiencia uniforme y consistente para los usuarios. La red de transporte recomendada para una red LTE, es IP/MPLS debido a que sin duda los servicios tradicionales como 2G y 3G continuarán aportando la mayoría de ingresos antes que LTE tome el control de la métrica financiera.

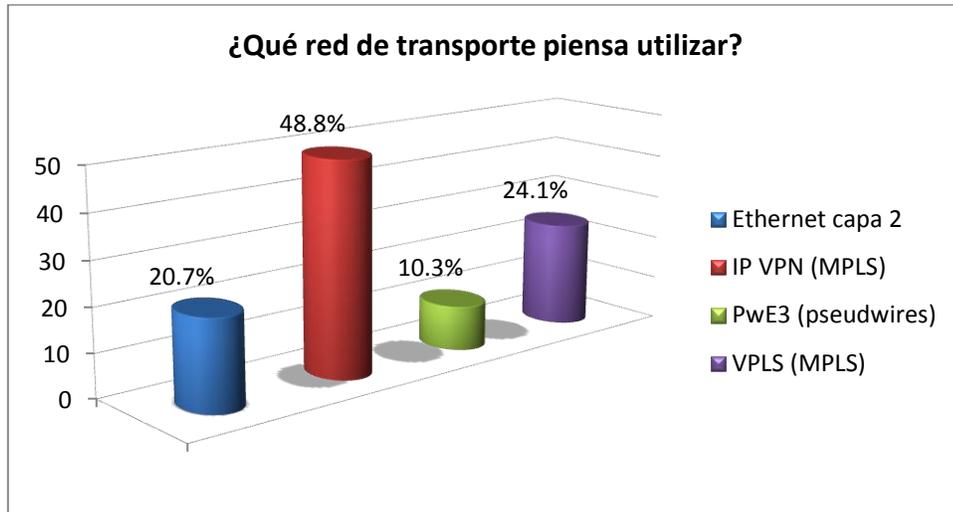


Figura 3.9 Qué red de transporte piensa usar al implementar LTE

Fuente: [www.telesemana.com](http://www.telesemana.com)

Para poder ofrecer las velocidades planeadas por los operadores a través de LTE se calcula que cada sitio debería recibir una capacidad de unos 100 Mbps en el Release8 de LTE y poder incrementar esa capacidad hasta los 300 Mbps cuando se lance LTE-Advanced (LTE-A).

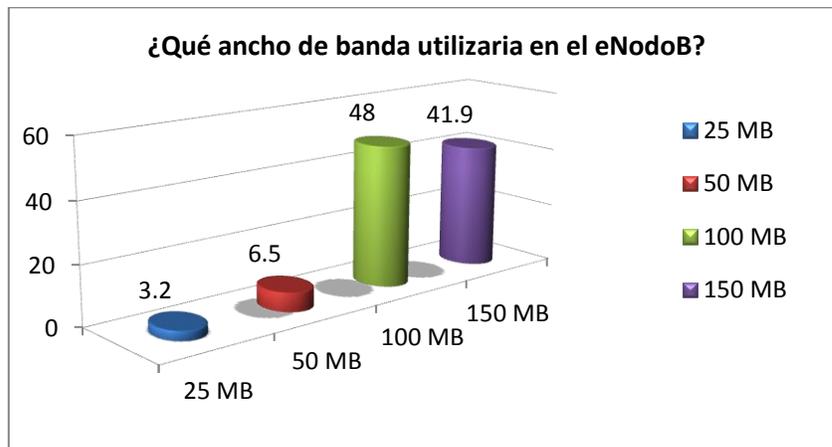


Figura 3.10 Qué ancho de banda se necesitara en el eNodeB para obtener las velocidades planeadas

Fuente: [www.telesemana.com](http://www.telesemana.com)

La tabla III.IV muestra las diferentes tipos de tecnologías utilizados en las diferentes categorías desarrolladas por LTE. En velocidad de transmisión, ancho de banda, tipo de modulación y arreglos de antenas.

CATEGORÍAS DE TERMINALES MOVILES						
CATEGORÍA		1	2	3	4	5
Tasa de transferencia máxima (Mbps)	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Ancho de banda		20 MHz				
Modulación	DL	QPSK, 16 QAM, 64 QAM				
	UL	QPSK, 16 QAM				QPSK
						16 QAM
				64 QAM		
2X2 MIMO		No soportado		Obligatorio		
4X4 MIMO		No soportado				Obligatorio

Tabla III.IV Categorías de tecnologías para terminales móviles

Fuente: Propuesta de Requerimientos Técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología “long term evolution (lte)” en Costa Rica.

### 3.3.2 SERVICIOS ADICIONALES OFERTADOS CON TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION.

Los servicios adicionales de LTE demuestran diversos beneficios tanto para usuarios como operadores dentro de diversos aspectos.

Con respecto al uso del espectro, LTE permite una operación compatible en diferentes bandas, ya que LTE TDD, admite combinar simultáneamente y de modo asimétrico ambos canales, subida y bajada, incrementando con ello la eficiencia en el uso del espectro.

LTE permite dar más rendimiento, y reducir la latencia, reduciendo así, el costo por servicio debido a la exigente demanda de los subscriptores.

Existen varios parámetros que se deben actualizar con el despliegue LTE.

- ▲ Capacidad.
- ▲ Cobertura.
- ▲ Latencia.
- ▲ Interferencia.

A continuación se indican una serie de servicios nuevos y mejorados que el operador sería capaz de brindar con la Tecnología LTE.

Si bien es posible el soportar muchos de estos servicios en las redes 2G y 3G, será la capacidad, la escalabilidad y las características de desempeño de la red de acceso y transporte, así como un amplio ecosistema de servicios y aplicaciones, lo que diferenciará a LTE de sus predecesores.

Sector	Características de servicio, aplicaciones y dispositivos	Servicios al consumidor
<b>Dispositivos e interfaces, aplicaciones, e internet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La innovación en todos los componentes: sistema operativo, protocolos, procesadores, antenas, baterías, pantallas multitouch.</li> <li>* Nuevos terminales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Las redes sociales. Uso compartido de fotos, video y música.</li> <li>* Acceso a blogs, noticias, chat, juegos, información de viajes, comunidades y grupos de interés.</li> <li>*TV por Internet, Streaming y descarga Personalizada y servicios de localización.</li> </ul>
<b>Navegación y Localización</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Servicios de GPS y de localización</li> <li>*Servicios de Información Geográfica (GIS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Acceso a información de localización y presencia de contacto. *Compras y apartados de productos desde terminal móvil según localización. * Acceso móvil a los itinerarios de las Agencias de viajes.</li> </ul>
<b>Transporte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Monitoreo inalámbrico</li> <li>* Actualización automática de las aplicaciones en el automóvil y de tráfico.</li> <li>*Pago de peaje con el dispositivo móvil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Acceso a internet desde el automóvil que permita la interactividad online en tiempo real.</li> </ul>
<b>Bancario</b>	Sistemas de seguridad de acceso y de escaneo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Transacciones bancarias por Internet móvil y el comercio electrónico.</li> </ul>

<b>Salud</b>	* Bases de datos de centros odontológicos, hospitales e Institutos de Seguros. *Acceso a información de resultados de exámenes médicos.	*Acceso móvil a sitios de consejos de salud. * Acceso a base de datos personales: historia clínica, radiografías, etc. *Acceso a consejería médica en línea tanto a nivel Nacional así como internacional.
<b>Seguridad y Control</b>	* Monitoreo y reporte de sistemas de seguridad * Control de sistemas de calefacción y aire acondicionado. *Etc.	* Monitoreo móvil alta definición y acceso a reportes de alarmas instaladas en edificios *Almacenaje y monitoreo en línea de cámaras de vigilancia. *Control de equipo de calefacción y aire acondicionado.

Tabla III.V Servicios adicionales y mejorados con tecnología LTE

Fuente: Propuesta de Requerimientos Técnicos para la implementación de redes móviles con la tecnología “long term evolution (lte)” en Costa Rica.

### **3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA ACTUALIZACIÓN DE TECNOLOGÍA PARA LA CNT PROVINCIA DE SANTA ELENA.**

La tecnología LTE de cuarta generación, evolución de la 3G, se empieza a consolidar en el mundo como la tecnología del futuro por ende las operadoras de los diferentes países y regiones buscan la superación tecnológica, capaces de brindar servicios de excelencia en cuanto a cobertura, ancho de banda, velocidad de transmisión de datos, etc., de donde la inversión que realiza el Estado (CNT E.P) en la actualización de las tecnologías es parte fundamental para el crecimiento de la empresa ecuatoriana que debe competir contra dos operadoras sumamente consolidadas en el país con casi el 96% de usuarios entre las dos (Claro y Movistar).

Las evidencias lo demuestran. El mundo cambia, la velocidad de transmisión de datos es lo que importa, el usuario exige mejor calidad de servicio, los dispositivos móviles de cuarta generación como smartphone, tablets, iphone son lo de hoy, y las empresas de telecomunicaciones se ven en la obligación de evolucionar hacia un mundo donde el más rápido triunfa.

La penetración del servicio de telefonía móvil en los últimos 5 años, el alto nivel de inversiones que históricamente ha tenido y la potencia como uno de los principales motores de la economía deja en claro que el análisis costo-beneficio será positivo y marcará el punto de partida hacia una provincia tecnológica donde la brecha digital que nos separa sea cosa del pasado.

### **3.4.1 VIABILIDAD ECONÓMICA.**

El miércoles 12 de diciembre del 2012, la CNT E.P se convirtió en la primera empresa de telecomunicaciones con autorización para proveer tecnología móvil de cuarta generación o LTE.

Fue posible gracias a que el Consejo Nacional de Telecomunicaciones resolvió autorizar el uso de 30 MHz en la banda de 700 MHz y de 40 MHz más en la banda de 1700-2100 MHz.

La empresa contratada por CNT E.P es Alcatel-Lucent que inició la instalación de tecnología 4G por un costo de 28 millones de dólares, en las principales ciudades del país, para aproximadamente en junio del 2014, actualizar la tecnología en las costas del pacifico, entre ellas la provincia de Santa Elena.

Según un estudio realizado por el INEC como indica la figura 3.11 el año pasado, el 12,2% de las personas que tenían un celular era un teléfono inteligente (smartphone), mientras que en el 2011 la cifra era del 8,4%. Guayas es la provincia con el mayor número de personas que tienen este tipo de teléfonos lo que significa un 14,3%, seguida de El Oro con 12,6%, Santa Elena cuenta con el 5,2% y se encuentra en décimo puesto de las 24 provincias del Ecuador.

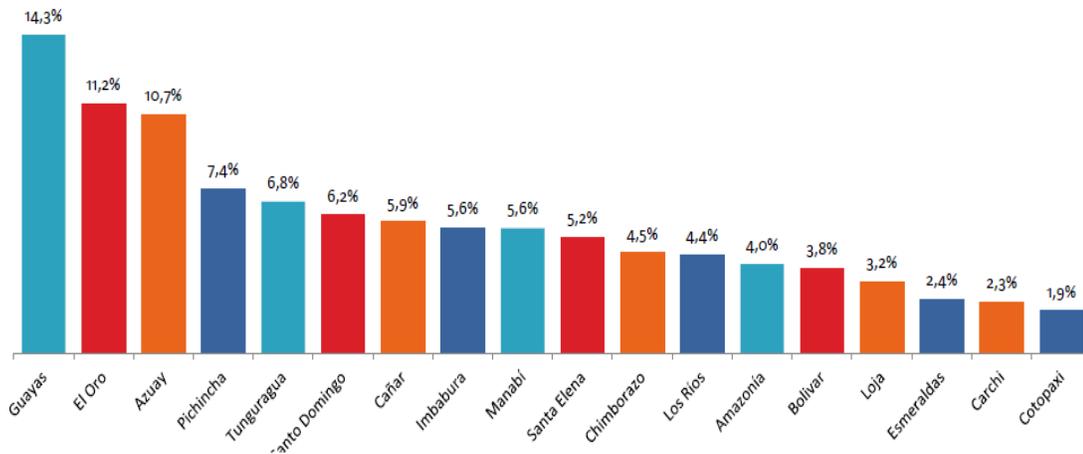


Figura 3.11 Porcentaje de personas que tienen teléfonos inteligentes (smartphone), por provincias

Fuente: [www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec)

La iniciativa de CONATEL tiene como objetivo principal fortalecer la posición competitiva de CNT E.P. frente a sus competidores móviles e incentivar el despliegue de nuevos y mejores servicios móviles en el mercado.

En este marco, la medida tomada por CONATEL desalienta las inversiones de los operadores privados al desdibujar el marco de libre competencia que rige el mercado. Este punto se evidencia claramente en el hecho que CNT E.P. cuenta actualmente con casi tres veces más espectro que Claro y Movistar, a pesar de poseer 37 y 16 veces menos líneas, respectivamente, tabla III.VI.

OPERADOR	700MHz	850MHz	1.7/2.1GHz	1.9 GHz	TOTAL
CLARO		25		10	35
CNT E.P.	30		40	40	110
MOVISTAR		25		10	35
TOTAL	30	50	40	60	180

Tabla III.VI Espectro por operador

Fuente: [www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec)

### 3.4.2 TARIFAS OFERTADAS POR LAS OPERADORAS, PLANES CONTROLADOS Y PREPAGOS.

En la tabla III.VII se observa la evolución de líneas de telefonía móvil, de acuerdo al tipo de modalidad de prestación de servicios: prepago y pospago.

Según el Plan Nacional de Conectividad del Ministerio de Telecomunicaciones, en estos últimos cinco años el mayor crecimiento mostrado por la CNT E.P. se ha notado en la transmisión de datos, ya que se aspira a que la mitad de los ingresos provengan de servicios de banda ancha para el año 2014, con una meta de 1,5 millones de abonados. Para lo cual se debe brindar servicios de Internet de alta velocidad que permitan aplicaciones como localización, banca móvil, inclusión digital, convergencia fijo-móvil y masificación de dispositivos de bajo costo.

OPERADOR	PREPAGO	POSPAGO	TOTAL	PORCENTAJE
CLARO	9.363.416	1.462.657	10.826.073	69.70%
MOVISTAR	3.745.175	670.307	4.415.482	28.40%
CNT-EP	234.895	54.816	289.711	1.90%
TOTAL	13.343.486	2187.780	15.531.266	100%

Tabla III.VII Índice de penetración de los operarios de telefonía móvil en el Ecuador

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

En la figura 3.12 se muestra las tarifas utilizadas para voz por minuto de las tres operadoras móviles del país, las dos empresas privadas son dominantes y sus precios son variables, aunque en los últimos años han bajado en un 56% y 76% respectivamente, debido a la presión de las autoridades y la competencia de la CNT E.P. que viene en alza.

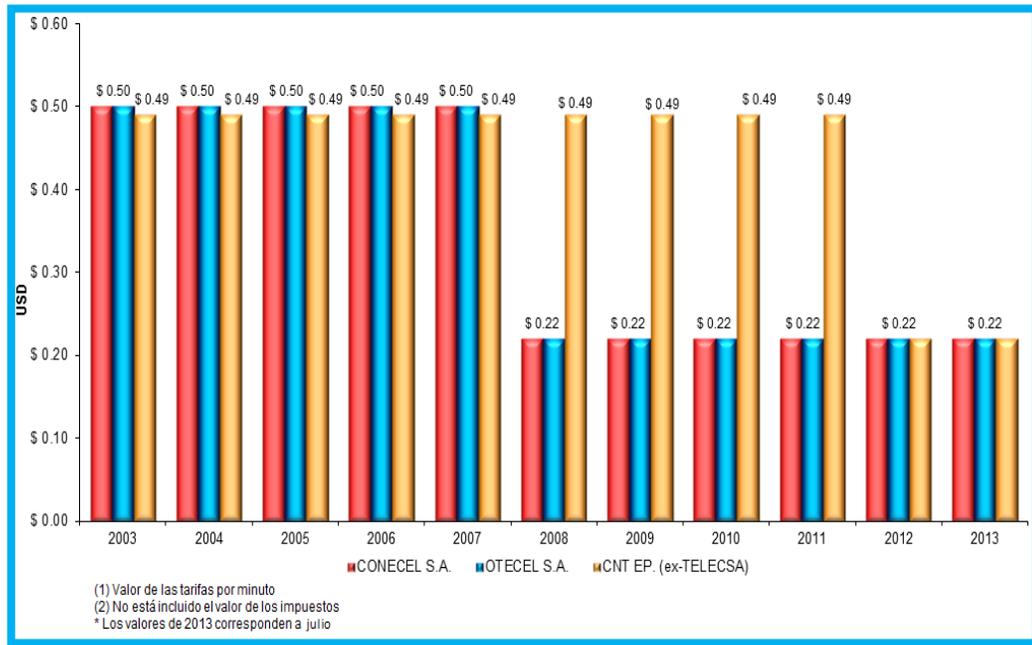


Figura 3.12 Tarifas de uso de voz por minuto en Ecuador

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

Cada operador establece sus tarifas dependiendo de sus planes y estrategias de negocio, siempre y cuando cumplan con las reglas establecidas dentro del contrato de concesión.

TARIFAS PREPAGO Y POSPAGO (USD)				
Operadoras	Tarifas Máximas		Tarifas Mínimas	
	Prepago	Pospago	Prepago	Pospago
CLARO	0,22	0,22	0,05	0,02
MOVISTAR	0,22	0,19	0,08	0,04
CNT E.P.	0,22	0,15	0,05	0,04

Tabla III.VIII Tarifas máximas y mínimas prepago y pospago por operadora

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

La empresa estatal CNT E.P. actualmente tiene precios por minuto más bajos que las otras dos operadoras.

Dado que el espectro para desplegar LTE fue concesionado recientemente, y aún no empieza la comercialización de la red, no se tienen datos de cuánto podría costar el servicio con esta tecnología. Se espera que las ofertas comerciales sean entregadas por la CNT E.P. poco antes de realizar la apertura pública de la red.

Se piensa que los valores de los servicios LTE podrían ser aproximados a los costos por el servicio pospago de banda ancha móvil en las redes HSPA+, tal como se muestra en la tabla III.IX

Nombre del Plan	Costo básico mensual	Megas Incluidos	Costo Mega adicional
<b>Banda Ancha HSPA+ control 15</b>	\$ 15	700	0,10 ctvs.
<b>Banda Ancha HSPA+ control 19</b>	\$ 19	1000	0,10 ctvs.
<b>Banda Ancha HSPA+ control 25</b>	\$ 25	1500	0,10 ctvs.
<b>Banda Ancha HSPA+ control 29</b>	\$ 29	2000	0,10 ctvs.
<b>Banda Ancha HSPA+ control 39</b>	\$ 39	3000	0,10 ctvs.

Tabla III.IX Tarifas de planes de banda ancha con HSPA+ de la operadora CNT E.P.

Fuente: [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

### **3.4.3 PRONÓSTICO DE CLIENTES E INGRESOS CON LA ACTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.**

Para que la CNT E.P. pueda atraer suscriptores, debe de implementar servicios novedosos de última generación capaces de cubrir las expectativas de grandes y pequeños consumidores, por tal motivo la tecnología LTE abre este sin número de posibilidades para ir a la par con las grandes empresas y equilibrar el mercado.

La empresa ecuatoriana se ve en la obligación de ofrecer servicios competitivos e innovadores, de calidad con una cobertura ampliada para

satisfacer las demandas e implementar nuevas redes de transmisión de datos móviles y ofrecer mejores servicios de banda ancha con sus servicios de valor agregado.

El proceso será gradual pero se espera que en el 2015 ya existan más de 300.000 estaciones bases LTE en todo el mundo, en Ecuador cubra el 15% del territorio, en Santa Elena comenzando con una inversión de 5 millones de dólares, para la expansión de LTE, aproximándose a 35 radio bases con tecnología 4G para brindar servicios y aplicaciones para móviles del futuro a más 40.000 abonados. Según SENATEL el crecimiento de abonados SMA es exponencial con índices a la alza, alcanzando valores muy superiores a los imaginados, afirmando que con la cantidad de dispositivos móviles actualmente en el mercado y los precios ofertados por la operadora del estado, se tendrá grandes ingresos.

#### **3.4.4 ESTRATEGIA DE DESPLIEGUE.**

La estrategia de despliegue de esta nueva tecnología como se ha mencionado en apartados anteriores, no es necesario que se implemente en su totalidad ya que aquello requeriría de inversiones extranjeras fuertes, sino que sea paulatinamente, ya que posee las características de escalabilidad y convergencia con las demás redes existentes, aunque sea una tecnología totalmente IP tanto para datos como para voz, al realizar un handover con celdas con tecnologías 2G o 3G se realiza la conversión por medio de las compuertas de enlace que utilizan cada tecnología, llevando así la transmisión de voz también por conmutación de circuitos. Los operadores en telecomunicaciones, podrían empezar el despliegue de servicios con red LTE, de dos formas:

1.-Dedicar la red LTE únicamente para ofrecer servicios de datos y ofrecer el servicio de voz sobre redes 2G y 3G.

2.-Utilizar la red LTE para ofrecer servicios de voz y datos.

CNT iniciará utilizando su red LTE con la opción 1, es decir optara por ofrecer únicamente datos y la voz seguirá siendo sobre 2G y 3G.

### **SOPORTE DE VOZ SOBRE LTE.**

CNT E.P. empezará ofreciendo solo datos anexo (1), se realiza una breve explicación de la opción 2, ya que la empresa contratista Alcatel-Lucent ya se ha decidido por una tecnología de voz sobre LTE.

En la nueva arquitectura LTE y SAE, no existe el dominio de circuitos conmutados para manejar las llamadas de voz que se utilizaba en las redes 2G/3G. Se manejaban varias opciones para ofrecer voz sobre LTE como por ejemplo:

1. VoLTE (voz basado en IMS),
2. VoLGA (voz over LTE vía generic access),
3. mVoIP (mobile VoIP over the top) de OTT; y
4. CSFB (circuit switch fallback).

La opción escogida por Alcatel-Lucent es VoLTE ya que representa una implementación completa de IP Multimedia Subsystem (IMS). VoLTE en su forma más sencilla, especifica un servicio basado en IMS (IP Multimedia Subsystem) que trata de replicar las funcionalidades ofrecidas actualmente en el dominio de conmutación de circuitos 2G/3G. VoLTE proporciona los servicios tradicionales con una mayor calidad debido a la utilización de codecs de banda ancha y el reducido tiempo de establecimiento de llamadas inferior a un segundo, frente a los cerca de tres segundos de UMTS.<sup>18</sup>

En el handover entre redes GERAN/UTRAN y LTE, VoLTE utiliza SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) que emplea una única tecnología radio que permite mover llamadas activas entre estas redes, en vez de dos tecnologías activas al mismo tiempo, para preservar la batería del móvil.

### **3.5 ANÁLISIS OPERATIVO PARA CONOCER EL NIVEL DE ACEPTACIÓN DE EQUIPOS DE CUARTA GENERACIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA.**

Para obtener el tamaño de la muestra de personas que deben ser encuestadas en la provincia de Santa Elena cantones principales (Santa Elena cabecera cantonal, La Libertad, Salinas) donde se centra nuestro objeto de estudio, se tomó los últimos resultados del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) elaborado en el año 2010 donde el tamaño de la población es 205969 habitantes, se utilizará el **muestreo aleatorio simple**, expresada en la siguiente formula:<sup>19</sup>

$$n = \frac{no}{1 + \frac{no}{N}} \quad \text{Fórmula 1}$$

$$no = \frac{Z\alpha^2 \cdot \sigma^2}{E^2} \quad \text{Fórmula 2}$$

Dónde:

n = Tamaño de muestra.

no = Tamaño de muestra aproximado.

N = Tamaño de la población bajo estudio.

Z $\alpha$ = Valores correspondientes al nivel de significancia.

E = Error de tolerancia de la estimación.

$\alpha$  = Nivel de significancia.

$\sigma^2$  = Varianza de la variable.

Se comparará la fórmula antes mencionada con un **muestreo de proporciones** donde la varianza es igual a P.Q ( $\sigma^2$ ) donde P denota la proporción estimada o esperada de la variable; si no se conoce tal valor, se reemplaza por 0.5 (P=1/2 y Q=1-P); la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$n_o = \frac{Z\alpha^2 \cdot \sigma^2}{E^2} = \frac{Z\alpha^2 \cdot P \cdot Q}{E^2} \quad \text{Fórmula 3}$$

**El error muestral o error de estimación:** es el error a causa de observar una muestra en lugar de la población completa. Este valor depende del investigador y se encuentra entre 0% y 10%.

**El nivel de confianza:** es la probabilidad a priori de que el intervalo de confianza a calcular contenga al verdadero valor del parámetro. Se indica por  $1-\alpha$  y habitualmente se dan en porcentaje. Los valores que se suelen usar para el nivel de confianza son el 95%, 99% y 99,9%.

Para el caso de estudio, nivel de aceptación de dispositivos de cuarta generación en la Provincia de Santa Elena se utilizará un error de estimación del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Aplicando la fórmula 1 del muestreo aleatorio simple se obtiene un total de 383,44 encuestas en la población de la Provincia de Santa Elena.

Para aplicar el muestreo aleatorio estratificado, asignación proporcional, se realizaron 10 encuestas, 5 en La Libertad, 3 en Salinas y 2 en Santa Elena Cabecera cantonal, en la pregunta 8 de la encuesta anexo (2), por ser la pregunta más significativa, por la aceptación que se tenga de los dispositivos móviles de cuarta generación, dando como resultado el 90% de aceptación y aplicando la fórmula 3 del muestreo estratificado proporcional se obtiene un

total de 245,56 personas para encuestar, por tal motivo se ha considerado realizar 384 encuestas en total.

Debido a que la población contiene 3 cantones, La Libertad con 95942 habitantes un total de 46,58%, Salinas con 56853 habitantes un total de 27,60%, Santa Elena Cabecera cantonal con 53174 habitantes un total de 25,81%, se realizaron 179 encuestas en La Libertad, 106 encuestas en Salinas y 99 encuestas en Santa Elena cabecera cantonal, como se muestra en la figura 3.13 y figura 3.14.

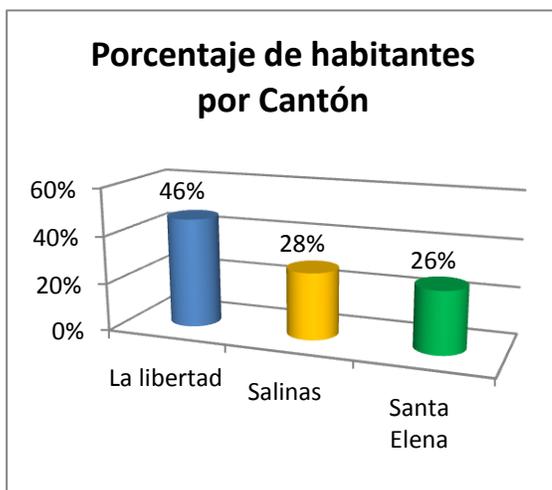


Figura 3.13 Porcentaje de habitantes por cantón  
Fuente: Diseño de tesis

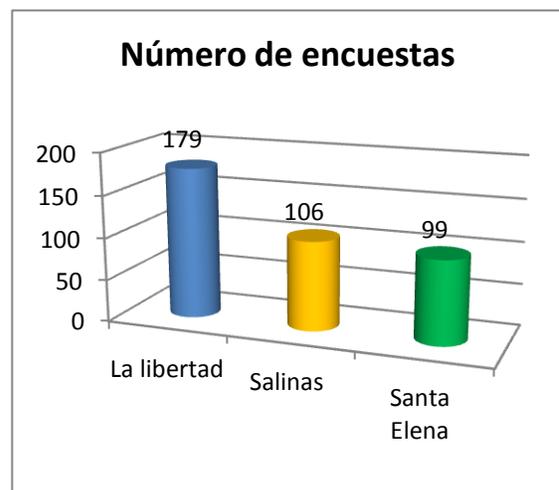


Figura 3.14 Número de encuestas por cantón  
Fuente: Diseño de tesis

Las preguntas fueron elaboradas en base a los estudios que realiza el INEC, ya que se basa en datos de grupos representativos, como: edad, género, nivel de instrucción, nivel de ingresos de los abonados, para adquirir información sobre las TIC's en la provincia de Santa Elena y así obtener los porcentajes de: celulares por edad, celulares por género, teléfonos inteligentes por nivel de instrucción, teléfonos por nivel de ingresos, tabla III.X entre otros.

<b>POBLACIÓN POR PROVINCIA Y SEXO CON TELÉFONO INTELIGENTE, SEGÚN GRUPOS DE EDAD.</b>				
		Provincias		
		Santa Elena		
		SEXO		
		Hombre	Mujer	
		Tiene teléfono celular activado		
		Si		
		El teléfono es SMARTPHONE		
		Si		
		Recuento		Recuento
		<b>Grupos de edad</b>	Total	3,246
16 y 20	628		231	
21 a 25	770		468	
26 a 35	421		525	
36 a 45	373		379	
36 a 45	974		852	
56 a 64	80		192	
65 años y más	-		99	

Tabla III.X Población por provincia y sexo con teléfono inteligente por grupo de edad

Fuente: [www.inec.gob.ec](http://www.inec.gob.ec)

### 3.5.1 GRUPO DE EDADES ENCUESTADAS.

En la figura 3.15 se observa el diagrama de las edades de las personas encuestadas, donde el grupo más representativo que se encuestó fue en el rango de 20 a 29 con un 36%, seguido del grupo de 30 a 39 años con un 20%.

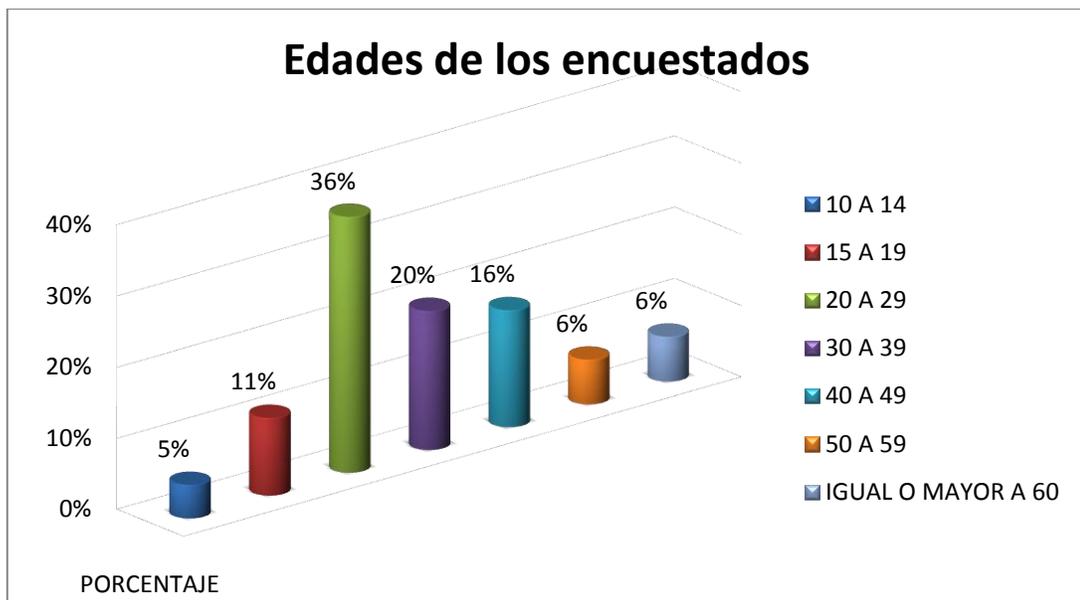


Figura 3.15 Edades de los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.2 GÉNERO DE LOS ENCUESTADOS.

En la figura 3.16 apreciamos que el 68% de los encuestados son de género masculino más del doble del género femenino.

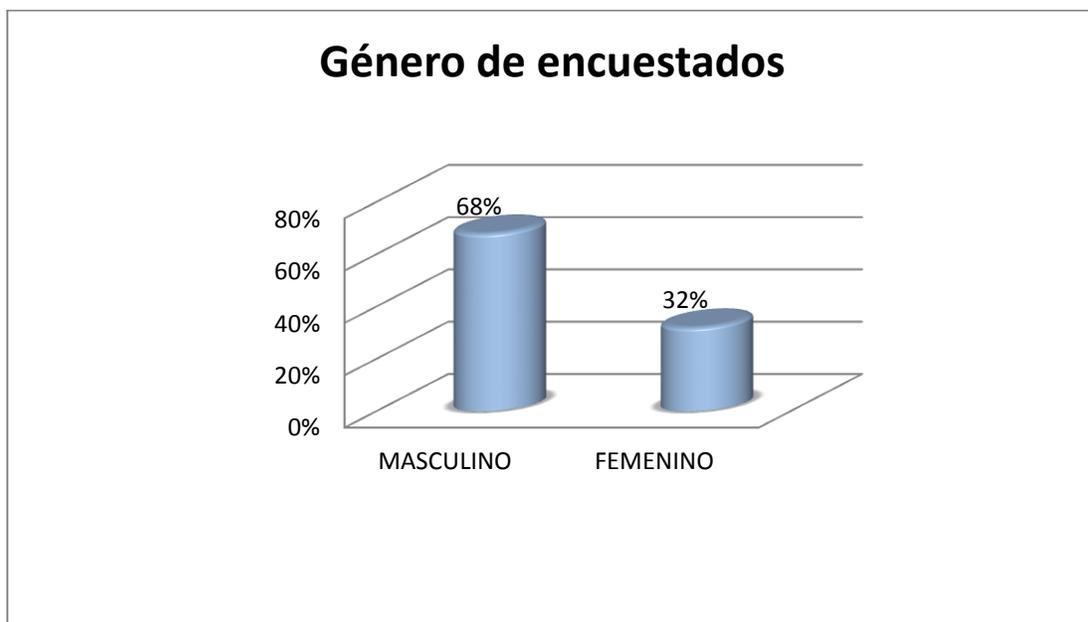


Figura 3.16 Género de los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.3 NIVEL DE INSTRUCCIÓN DE LOS ENCUESTADOS.

En la figura 3.17 se observa que el 46% de los encuestados entre hombres y mujeres solo estudiaron hasta colegio o están cursando el colegio actualmente, para continuar con las personas que se encuentran en universidad con un valor de un 31%, niveles donde se encuentra la mayor densidad de la población de la provincia sumando entre ambos 77%.

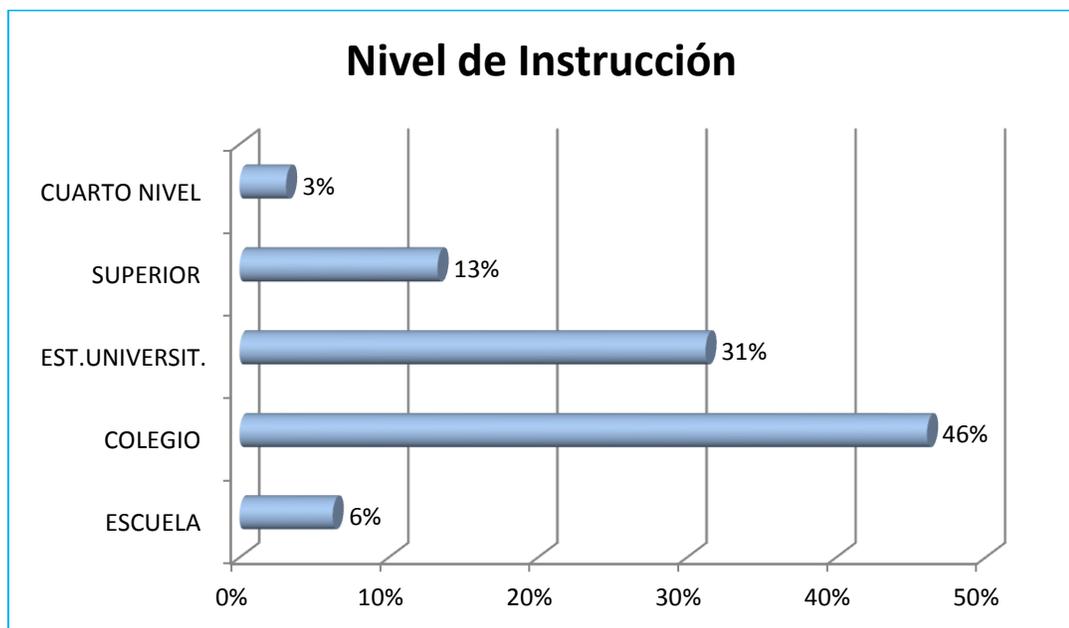


Figura 3.17 Nivel de instrucción de los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.4 ¿QUÉ OPERADORA DE TELEFONÍA MÓVIL UTILIZA?

En la figura 3.18 se presenta la operadora que brinda los servicios de telefonía móvil de los encuestados, afirmando a la operadora claro con 84%, y con un 3% de usuarios de la muestra equivalente a 30 personas como abonados de la operadora CNT E.P. el cuál es el objeto de análisis, por tal motivo CNT E.P. se encuentra realizando los esfuerzos necesarios para ser competente en el mercado de telefonía celular y banda ancha móvil con el acceso a la tecnología del futuro LTE o 4G, como la primera operadora dentro del país capaz de brindar capacidades de ancho banda superiores al de sus competidores, siendo una manera eficiente de ganar mercado y ofreciendo planes de acceso cómodos al alcance de todos.

Aunque es superada ampliamente por la operadora CLARO, es muy difícil competir en voz, pero la operadora estatal piensa competir en datos, debido a que todos los smartphones tienen acceso a dos chips, CNT busca ofertar mejores planes de datos, con precios cómodos y obtener usuarios que aunque en voz sean CLARO, en datos serán CNT E.P.

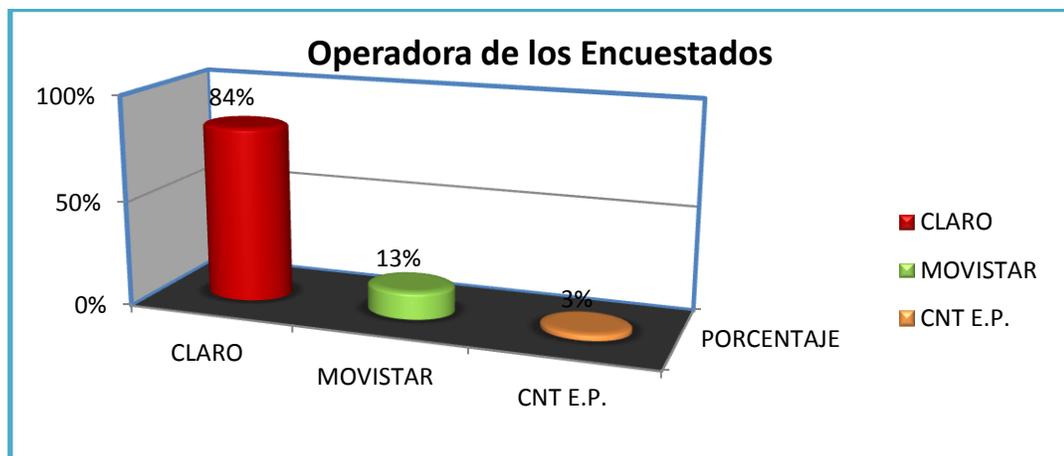


Figura 3.18 Operadora de telefonía móvil de los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.5 SERVICIOS QUE POSEEN LOS DISPOSITIVOS MÓVILES UTILIZADOS POR LOS ENCUESTADOS.

En la figura 3.19 se presentan los servicios con lo que cuentan los dispositivos móviles de los encuestados, observando que como es de imaginarse el 100% de los celulares poseen mensajes cortos, indispensables para todo móvil, seguidos del navegador Web, Facebook, mensajes multimedia y whatsApp como más representativos, así mismo apreciamos que la descarga de archivos a grandes velocidades y mantener la conexión a internet mientras se viaja a velocidades superiores a los 150 km/h son los servicios menos representativos, debido a que la tecnología actual no cubre en su totalidad con estos servicios o los planes poseen valores económicos elevados.

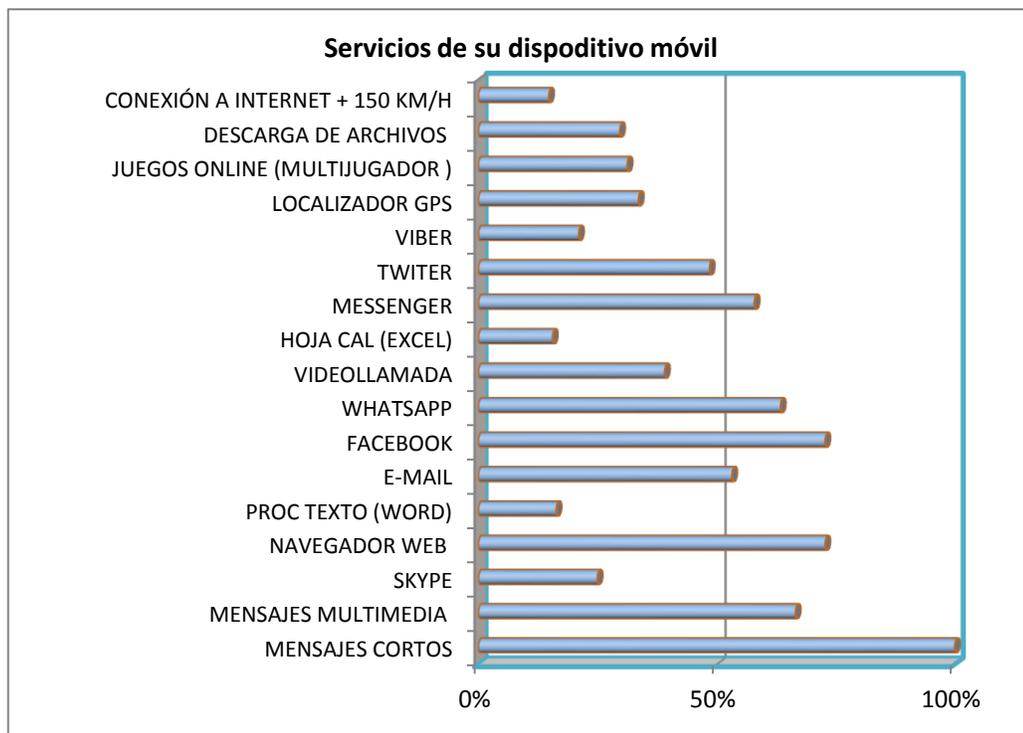


Figura 3.19 Servicios que poseen dispositivos móviles utilizados por los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.6 SERVICIOS CONSIDERADOS COMO IMPORTANTES PARA UN DISPOSITIVO MÓVIL.

En la figura 3.20 observamos los servicios considerados por los encuestados como importantes para un dispositivo móvil, de donde el promedio es del 80% de todos los servicios propuestos en la encuesta, entre los atractivos mayores es la descarga de los archivos a grandes velocidades, lo cual es posible lograr con LTE debido a que es capaz de brindar un gran ancho de banda, así como el manejo de nuevas aplicaciones, video streaming en tiempo real de alta definición, la telemedicina, la domótica, brinda más seguridad en pagos online de distintos servicios y transferencias bancarias, haciendo que las expectativas por los servicios de LTE aumenten notablemente en los clientes.



Figura 3.20 servicios considerados importantes para un dispositivo móvil

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.7 RANGO DE VALORES DEL DISPOSITIVO MÓVIL DE LOS USUARIOS ENCUESTADOS.

En la figura 3.21 se observa que el 31% de los encuestados poseen un dispositivo móvil entre el rango de los \$100 a \$200, el segundo grupo más representativo se encuentra entre los \$200 a \$299 y el tercer grupo menor a \$99, el cuarto grupo entre los \$400 a \$499 y el quinto grupo entre los \$300 a \$399, lo cual nos da un indicativo que el 65% con valores inferiores a \$300 cambiaría su dispositivo a un móvil 4G, más rápido que el 3% (de \$700 a \$799, igual o mayor a \$800) que ya poseen móviles que soportan tecnología 4G.

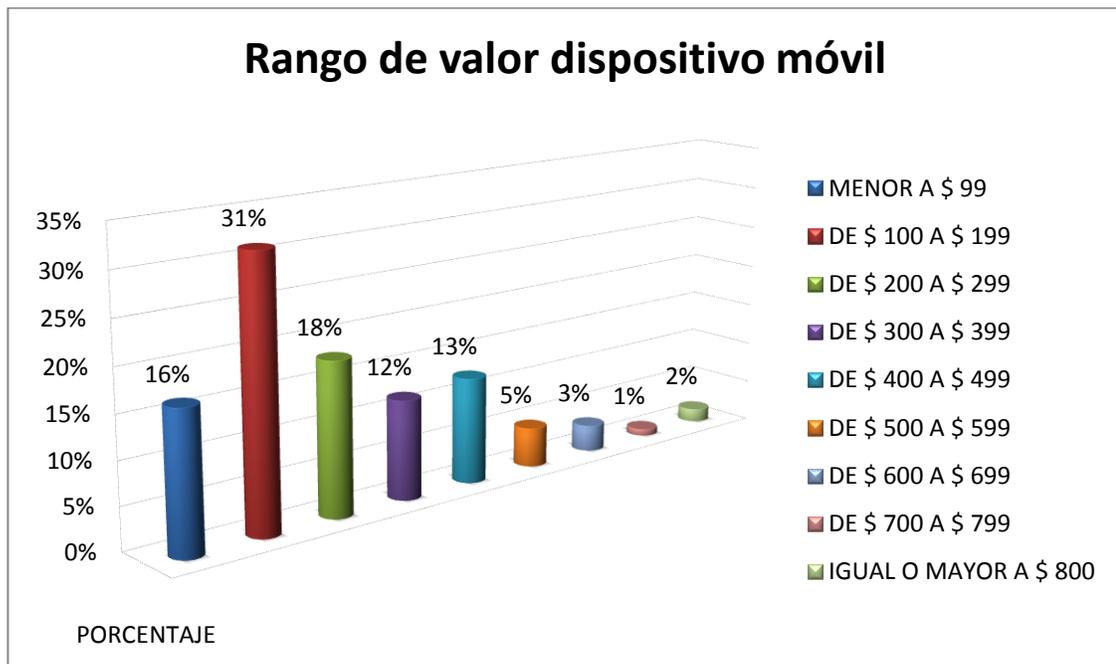


Figura 3.21 Rango de valores de los dispositivos móviles de los encuestados

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.8 DISPOSICIÓN DEL USUARIO PARA ADQUIRIR UN DISPOSITIVO MÓVIL 4G.

En la figura 3.22 observamos que el 92% de los encuestados estarían dispuestos a adquirir un móvil de cuarta generación, mientras que tan solo el 8% no lo comprarían, apreciando claramente que los usuarios se relacionan directamente con la tecnología actual, renovando constantemente.

Claramente apreciamos que la acogida de los dispositivos de cuarta generación como el Samsung Galaxy S4, el Nokia Lumia 9020, para mencionar, son los preferidos por los usuarios, aun siendo de niveles económicos elevados, para lo cual existen los planes, debido a que un celular ya no es lujo, es un medio de comunicación, de información, de medicina, es un abogado, es nuestro diccionario, nuestra guía, nuestra brújula, incluso nuestro guardián.

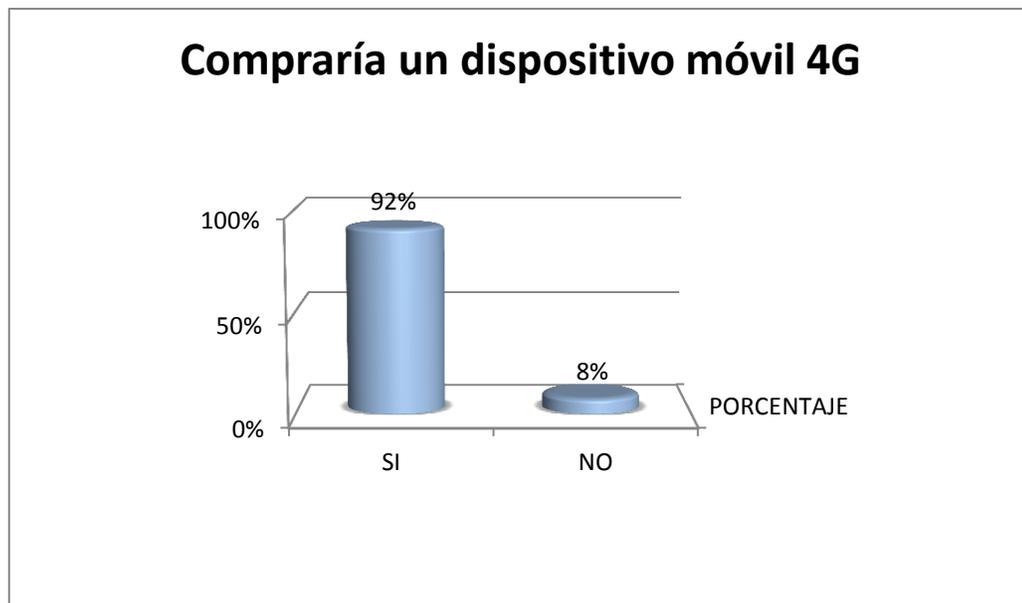


Figura 3.22 Disposición del usuario para adquirir un dispositivo móvil 4G

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.9 PREFERENCIA DE PLANES PARA LA ADQUISICIÓN DE UN DISPOSITIVO MÓVIL 4G.

En la figura 3.23 se aprecia la forma de pago que más le convenga al usuario, ambas tomadas de la página oficial de la CNT E.P. ([www.cnt.gob.ec](http://www.cnt.gob.ec)), de donde el 84% de los encuestados prefieren el equipo con plan de voz y datos.

La encuesta lo demuestra, los usuarios prefieren adquirir un móvil 4G directamente con un plan de datos, a diferencia de comprarlo al contado, y es precisamente lo que conviene a CNT, ya que es donde busca fortalecerse y adquirir mercado, y una de las ventajas de LTE es manejar grandes cantidades de datos.

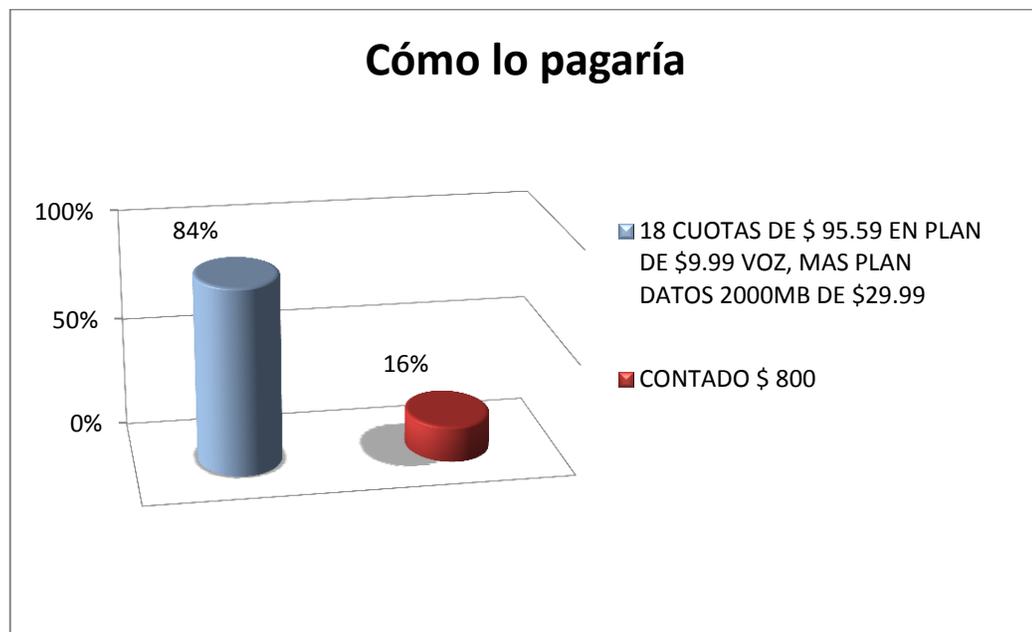


Figura 3.23 Preferencias de planes para un dispositivo móvil 4G

Fuente: Diseño de tesis

### 3.5.10 NIVEL DE INGRESOS PROMEDIO MENSUAL.

En la figura 3.24 observamos que el 66% de los encuestados tienen un ingreso promedio mensual inferior a los \$500, mientras que el 15% tiene ingresos entre \$500 a \$999, los encuestados con ingresos superiores a los \$1000 eran personas con títulos de tercer y cuarto nivel.

Hay que tomar en cuenta que muchas de las personas que presentan ingresos promedios inferior a los \$500, son estudiantes (colegio y estudiantes universitarios), y/o no poseen un ingreso mensual, sin embargo de acuerdo al nivel en los precios de los dispositivos móviles que manejan se puede evidenciar que poseen la factibilidad de adquirir un móvil 4G.

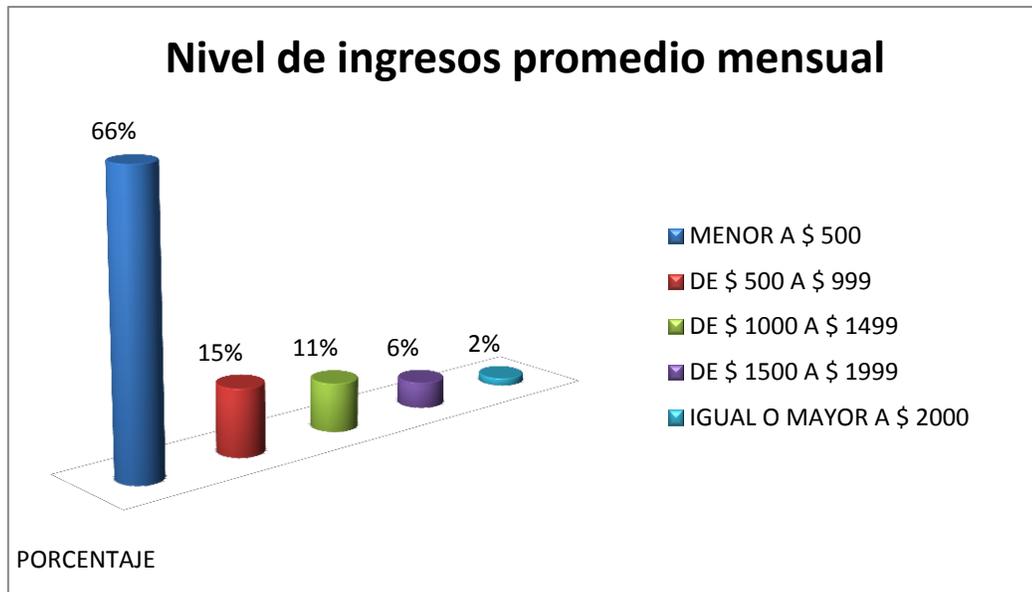


Figura 3.24 Nivel de ingresos promedio mensual

Fuente: Diseño de tesis

De acuerdo a las encuestas realizadas en los tres cantones principales de la Provincia, se obtiene que:

- ⤴ De 384 encuestas las personas con la edad y distintos géneros más representativa que comúnmente se encuentra por las calles de los tres cantones están entre los 20 a 50 años con un 72%, debido a que la mayoría de las encuestas fueron realizadas en fines de semana, y además se podría decir que en este rango de edades se encuentra la población económicamente activa de la provincia.
- ⤴ Tal y como lo demuestra el INEC en sus estudios, las personas que cuentan con teléfonos inteligentes oscilan entre los 20 a 50 años, de la misma forma que se muestran en las encuestas realizadas por la presente tesis, y de tal manera concluir que se tiene un extenso mercado para el ingreso de dispositivos móviles 4G y el diseño de la red sea factible.
- ⤴ También se obtuvo datos del nivel de instrucción, observando que el mayor número de encuestados respondió que estudian o solo estudiaron hasta colegio, por lo que sus salarios se limitan al sueldo básico, y por ende prefieren adquirir los dispositivos móviles 4G con un plan de voz y datos, para cancelarlo en cuotas y no de contado.
- ⤴ Cabe aclarar que 84% de los encuestados consideran que los dispositivos móviles del futuro o 4G deberían tener la capacidad de transmitir datos a grandes velocidades, sin importar las distancias o velocidad a la que se mueva, sin perder la cobertura del móvil y que los videos de alta calidad o la televisión en vivo sufra algún defecto de señal.

# **CAPÍTULO 4**

## **DISEÑO**

### **4. DISEÑO.**

Descripción del diseño de la red, para lo cual se elaboró un estudio geográfico del campo de estudio y utilización de fórmulas logarítmicas, así como el diseño de la red en software predictivo con simulaciones de radio

enlaces para obtener cobertura, recepción y pérdidas de propagación en la transmisión.

#### **4.1 ESTUDIO GEOGRÁFICO PARA EL DISEÑO DE LA RED EN SOFTWARE PREDICTIVO RADIO MOBILE.**

Para el desarrollo del proyecto se ha realizado el estudio de campo de los lugares en donde se va a realizar la actualización de la tecnología a 4G, en base a un estudio realizado por la CNT E.P. se detallan los cantones principales donde se actualizara la tecnología: Salinas, La Libertad, Santa Elena cabecera cantonal, para cubrir con el territorio escogido como primer despliegue de LTE, la central principal es salinas 2 de coordenadas (lat:2°13'16.22", long:80°56'46.77") es el lugar donde llega el cable submarino Panamericano de Fibra Óptica, y donde se encuentra el backhaul o red de transporte IP/MPLS, indispensable para obtener el mayor beneficio de LTE, figura 4.1.

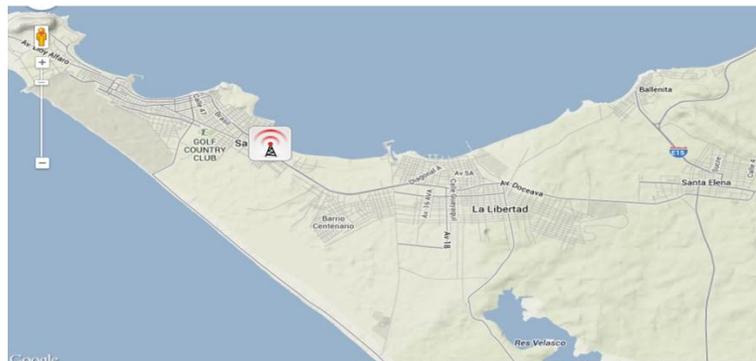


Figura 4.1 Central Salinas 2

Fuente: Google Map

En el estudio de campo se determinó los parámetros geográficos y la infraestructura de la misma que serán de gran ayuda para la simulación y análisis de resultados, en cuanto a nivel de recepción, pérdidas, cobertura, cantidad de usuarios, etc.

El proyecto de actualización de la tecnología a cuarta generación que lidera CNT E.P. junto con su socio Alcatel-Lucent tiene como nombre: Ampliación 3G, cuyo objetivo tiene como finalidad la instalación de eNodeB o Estación Base Transmisor-Receptor (BTS) en los distintos lugares descritos en la tabla IV.I, y fotos anexo (3), ya que aproximadamente en julio del 2014 se instalarán los equipos 4G, por el momento se encuentran en proyecto un total de 14 BTS más 5 que ya están en funcionamiento, se prevé que para el próximo año la CNT E.P. posea alrededor de 19 Radio bases dentro de los principales puertos de la provincia.

eNodeB	CANTON	UBICACIÓN GEOGRAFICA		Altura sobre Nivel del mar
		Latitud	Longitud	
RADIO BASE SANTA ELENA	SANTA ELENA	02°13'43.7" S	80°51'33.3" O	42.8 m
F4 LIBERTAD_SURESTE	LA LIBERTAD	02°13'51.5" S	80°53'24.2" O	38.8 m
PROPICIA	LA LIBERTAD	02°14'10.4" S	80°53'39.9" O	28.5 m
F4 LIBERTAD_VALDIVIA	LA LIBERTAD	02°13'58.1" S	80°53'54.0" O	38 m
F4 LIBERTAD_SUR	LA LIBERTAD	02°13'56.7" S	80°54'26.3" O	26.9 m
JAIME ROLDOS	LA LIBERTAD	02°14'47.6" S	80°54'25.5" O	19.2 m
F4 LIBERTAD_SUROESTE	LA LIBERTAD	02°14'30.4" S	80°54'44.1" O	17 m
F4 LIBERTAD_ESTE	LA LIBERTAD	02°13'33.7" S	80°54'04.9" O	26.8 m
F4 LIBERTAD_NOESTE	LA LIBERTAD	02°14'33.8" S	80°54'21.0" O	25 m
CNT LA LIBERTAD	LA LIBERTAD	02°13'12.9" S	80°54'26.8" O	11.1 m
RADIO BASE LIBERTAD	LA LIBERTAD	02°13'21.5" S	80°54'46.0" O	21.4 m
F4 LIBERTAD_NORTE	LA LIBERTAD	02°13'33.6" S	80°55'09.9" O	21 m
F4 LIBERTAD_OESTE	LA LIBERTAD	02°13'45.0" S	80°54'50.3" O	22.6 m
F4 SALINAS_ESTE	SALINAS	02°13'55.6" S	80°55'24.2" O	15 m
F4 SALINAS 2	SALINAS	02°13'37.6" S	80°56'06.2" O	10.3 m
COLEGIO RUBIRA	SALINAS	02°12'48.0" S	80°57'13.1" O	16.2 m
BARCELÓ	SALINAS	02°12'20.1" S	80°57'51.6" O	10.9 m
SALINAS 1	SALINAS	02°12'27.2" S	80°58'16.7" O	7 m
ANTENA CHIPIPE	SALINAS	02°12'10.9" S	80°58'39.2" O	12.6 m

Tabla IV.I Coordenadas de ubicación de nodos

Fuente: Diseño de tesis

Los eNBs están ubicados en puntos geográficos estratégicos para permitir la cobertura a los cantones principales antes mencionados, como se muestra en la figura 4.2.

Los eNBs se encuentran separados por aproximadamente 0.7 km que es donde cada celda ofrece cobertura estabilizada y con todos los beneficios mencionados en los capítulos anteriores, lo que permite la re-utilización de frecuencias a través de los cantones, con lo que miles de peninsulares pueden usar sus teléfonos al mismo tiempo sin perder la señal y manteniendo el gran ancho de banda ofrecido.

Los puntos de color rojo son las centrales de distribución de fibra óptica, provenientes del cable panamericano para permitir la extensión de las redes en largas distancias.



Figura 4.2 Puntos geográficos de ubicación de nodos en Google Earth

Fuente: Google earth

#### 4.1.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA RED LTE EN LA ZONA DE IMPLEMENTACIÓN.

En la figura 4.3 los círculos de color verde representan al cantón Santa Elena, los de color amarillo al cantón La Libertad y los de color rojo al cantón Salinas, observamos la distribución de los eNBs en las zonas escogidas para brindar cobertura LTE, las líneas de color verde muestran las rutas donde existen conexión LTE y los abonados pueden disfrutar de las ventajas que esto conlleva, con línea roja entrecortada se muestran las zonas sin cobertura, es decir que se tiene cobertura en aproximadamente el 80% de la zona de estudio.

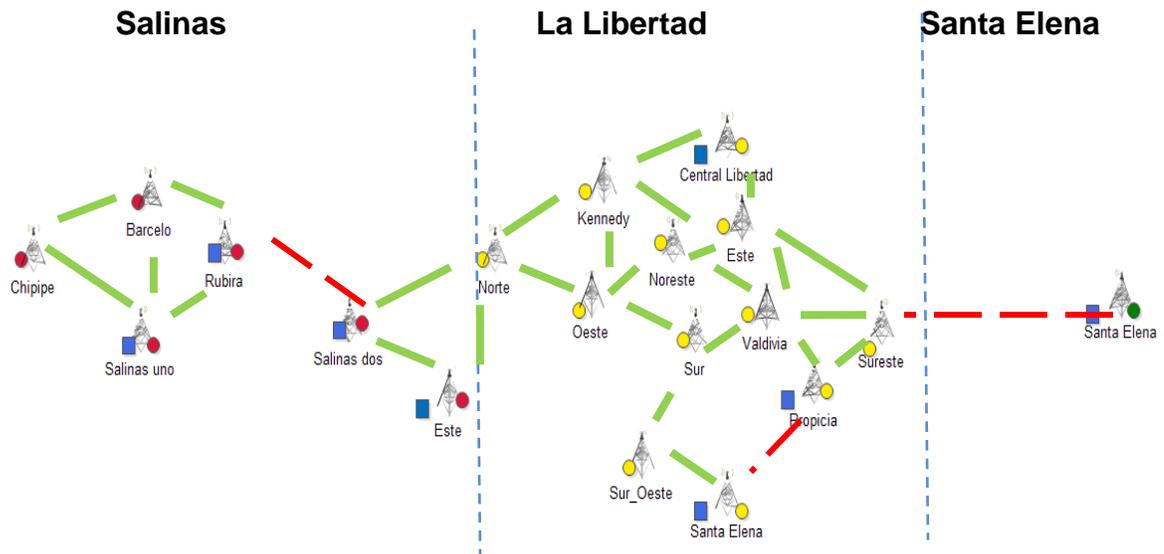


Figura 4.3 Diagrama esquemático de la red LTE en las zonas de implementación

Fuente: Diseño de tesis

#### **4.1.2 ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA COBERTURA.**

Para realizar la planificación de un sistema celular LTE, se deben considerar parámetros muy importantes para el proveedor que desea desplegar sus redes, indistintamente del lugar o zona de implementación, como por ejemplo:

Las prestaciones del sistema de distribución celular LTE se miden por medio del porcentaje de abonados que poseen un nivel de señal adecuado para alcanzar una calidad excelente. LTE soporta hasta 1200 abonados por celda es decir 400 usuarios por sector con una capacidad de 100 Mbps, en el peor de los casos 250 Kbps por abonado, pero existe una baja probabilidad de que esto suceda, para evitar esta situación se instalarán torres con una cercanía de 700m, para optimizar el solapamiento entre celdas lo que generará la redundancia del sistema.

La cobertura de la celda se encuentra directamente relacionada con la calidad de servicio exigida en el caso de la banda de 1900MHz los radios típicos de celda oscilan entre 0.7 km y 1 km. No obstante el tipo de área (urbana, suburbana o rural) condiciona enormemente el tamaño de celdas por cuestiones de tráfico. A pesar de que los distintos abonados pueden disponer de un nivel de señal suficiente, el ancho de banda disponible es un recurso compartido. De este modo, en el caso de zonas con alta densidad de usuarios o grandes consumos de anchos de bandas (edificios de empresas), no se puede garantizar una cierta calidad de servicio y es necesario reducir el radio de las celdas a 500m.

## **TORRE Y ESTRUCTURA A UTILIZAR.**

Una vez establecido los parámetros técnicos y la ubicación de los nodos en los cuales se va a montar la antena, se procede a visitar el área y encontrar un lugar adecuado para la instalación de las torres.

En el proyecto de actualización tecnológica que lidera CNT E.P. se utilizarán antena tipo monópolo, figura 4.4 cuyas estructuras son instaladas en lugares en donde se requiere conservar la estética, pues son las que ocupan menos espacio, y se pintan de algún color para camuflar la estructura debido a que se colocarán en lugares céntricos. Como estas antenas están sobre terrenos, se deberá de construir una cimentación adecuada para resistir los efectos de la misma. Cuando se construyen estas torres se instalan antenas en su parte superior y en la parte inferior se instalan los equipos adicionales para su funcionamiento.



Figura 4.4 Torre tipo Monópolo

Fuente: Diseño de tesis

## **4.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO**

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado.

Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor móvil o fijo. La ventaja de modelar radiocanales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos.

Para el presente proyecto se ha elegido, tres tipos de modelos con el fin de obtener más datos para determinar el comportamiento de la red con diferentes medios de propagación:

- ▲ Modelo de propagación en el espacio libre.
- ▲ Modelo de propagación COST 231-Hata.
- ▲ Modelo de propagación COST 231 Walfisch-Ikegami.

Para calcular los valores de la potencia recibida, la cual deberá ser mayor que el valor de sensibilidad del receptor, se utilizará la siguiente fórmula:

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - L_P + G_{RX} - L_{RX} \quad \text{Fórmula 4}$$

Ptx: Potencia del transmisor BTS.

Ltx: Pérdida de la línea BTS.

Gtx: Ganancia de transmisión BTS.

Lf: Pérdida de la línea del móvil.

Grx: Ganancia de la antena receptora móvil.

Lrx: Pérdidas en el espacio libre.

#### 4.2.1 MODELO DE PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE.

Este modelo es utilizado para predecir la potencia de la señal de recepción y las pérdidas de propagación, cuando no existe ningún bloqueo entre transmisor y receptor, es decir una clara línea de vista. Se basa en una trayectoria libre de obstáculos con antenas isotrópicas.<sup>20</sup> Se utilizará esta fórmula solo para verificación del mínimo nivel de pérdidas requerido entre una transmisión.

$$L_B(dB) = 32.44 + 20\log_{10}f_{MHz} + 20\log_{10}d_{Km} \quad \text{Fórmula 5}$$

Donde,

F= Frecuencia de la portadora

D= distancia en Km de la antena receptora

Aplicando la fórmula 5 se obtienen los siguientes resultados por pérdidas de propagación:

PÉRDIDAS ESPACIO LIBRE		
FRECUENCIA	DISTANCIA	PÉRDIDAS
1900 MHz	0.7 Km	94.91 dB
1900 MHz	1 Km	98.01 dB
1900 MHz	1.5 Km	101.53 dB
1900 MHz	2 Km	104.03 dB

Tabla IV.II Pérdidas de propagación en el espacio libre

Fuente: Diseño de tesis

Aplicando la fórmula 4 se obtienen los siguientes resultados de nivel potencia de recepción en el espacio libre.

ESPACIO LIBRE NIVEL POTENCIA (RX)		
COCERTURA	DISTANCIA	NIVEL RX
ROJO	0.7 Km	-12.11 dB
AMARILLO	1 Km	-15.21 dB
AMARILLO-VERDE	1.5 Km	-18.73 dB
VERDE	2 Km	-21.23 dB

Tabla IV.III Nivel de potencia de recepción en el espacio libre

Fuente: Diseño de tesis

#### 4.2.2 MODELO DE PROPAGACIÓN DE COST 231-HATA.

Es uno de los modelos más utilizados para la predicción de las pérdidas de propagación y potencia de recepción en áreas urbanas ya que se maneja en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de la antena de la estación base y la estación móvil, además de varios factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayecto.

Este modelo es aplicable para el rango de frecuencias entre 1500 a 2000 MHz, con una distancia entre transmisor y receptor de hasta 100 Km. Puede ser usado para alturas de la antena de la estación base en el rango de 30 m a 1000 m. Las pérdidas existentes en el enlace pueden ser obtenidas mediante la ecuación.

$$L_B(dB) = 46.3 + 33.9 \log_{10} fc + 13.82 \log_{10} ht - a(hr) + (44.9 - 6.55 \log_{10} ht) \log_{10} d + C$$

Fórmula 6

$\alpha$  (hr)= es el factor de corrección de la antena del móvil. Para ciudades grandes y medianas, viene dada la siguiente formula:

$$a(hr) = (1.1\log_{10}fc - 0.7)hr - (1.56\log_{10}fc - 0.8) \quad \text{Fórmula 7}$$

Donde,

F= Frecuencia de la portadora (MHz).

ht= altura de la BTS (m).

hr= altura del móvil (m).

D= distancia en km entre el móvil y BTS (km).

$\alpha$  (hr)= definida previamente como C=0 dB para ciudades medianas y C=3 dB para centros metropolitanos.

Cm= factor de corrección del tipo de área.

Cm urbano = 0 Db.

Cm rural = -15 dB.

Aplicando la fórmula 6se obtiene los siguientes resultados de pérdidas por propagación según modelo COST 231-Hata.

PÉRDIDAS COST 231-Hata				
FRECUENCIA	DISTANCIA	ALTURA DE LA TORRE	ALTURA DEL MOVIL	PÉRDIDAS
1900 MHz	0.7 Km	30 m	1.5 m	130.21 dB
1900 MHz	1 Km	30 m	1.5 m	136.99 dB
1900 MHz	1.5 Km	30 m	1.5 m	144.69 dB
1900 MHz	2 Km	30 m	1.5 m	150.15 dB

Tabla IV.IV Pérdidas de propagación modelo COST 231-Hata

Fuente: Diseño de tesis

Aplicando la fórmula4 se obtiene el nivel de potencia de recepción según el modelo COST 231-Hata

COST 231-Hata NIVEL DE POTENCIA (RX)		
COCERTURA	DISTANCIA	NIVEL RX
ROJO	0.7 Km	-47.41 dB
AMARILLO	1 Km	-54.19 dB
AMARILLO-VERDE	1.5 Km	-61.89 dB
VERDE	2 Km	-67.35 dB

Tabla IV.V Nivel de potencia de recepción modelo COST 231-Hata

Fuente: Diseño de tesis

#### 4.2.3 MODELO DE PROPAGACIÓN COST 231 WALFISH-IKEGAMI.

Este modelo es más complejo y se basa en parámetros de densidad de edificios en ambientes urbanos, altura promedio de los edificios, altura de las antenas, anchura de las calles, separación entre edificios, dirección de la calle con respecto a la trayectoria directa de la antena transmisora y antena receptora. Es un modelo híbrido para sistemas celulares de PCS de corto alcance, y puede ser utilizado en las bandas UHF y SHF. Se utiliza para predicciones en micro células para telefonía celular y ambientes urbanos denso.<sup>21</sup>

Los parámetros a utilizarse se ven en la figura 4.5

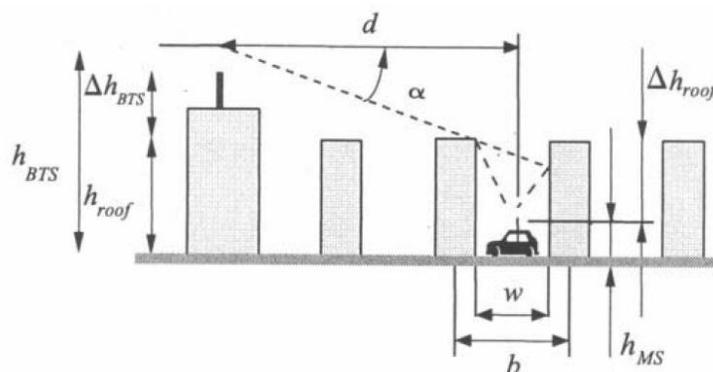


Figura 4.5 Parámetros del modelo de propagación Walfish-Ikegami

Fuente: The Mobile Radio Propagation Channel

La siguiente fórmula se utiliza en condiciones:

LOS (con línea de vista)

$$L(dB) = 42.6 + 26\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad \text{Fórmula 8}$$

La fórmula para NLOS (sin línea de vista)

$$L(dB) = 32.4 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + L_{rts} + L_{msd} \quad \text{Fórmula 9}$$

Donde,

L= pérdida de trayecto (dB).

f= frecuencia (MHz).

d= distancia (Km).

$L_{rts}$ = difracción de la torre a la calle y la pérdida de dispersión.

$L_{msd}$ =pérdida por difracción múltiple.

Ecuación para calcularla difracción de la torre a la calle y la pérdida de dispersión

$$L_{rts} = -16.9 - 20\log_{10}w + 10\log_{10}(f) + 20\log_{rts}(h - h_m) + L_{ori} \quad \text{Fórmula 10}$$

$L_{ori}$ = tiene en cuenta el ángulo  $\phi$ :

Donde  $\phi$  es el ángulo, en grados entre la onda incidente de la estación base y el camino, como se muestra en la figura 4.6.

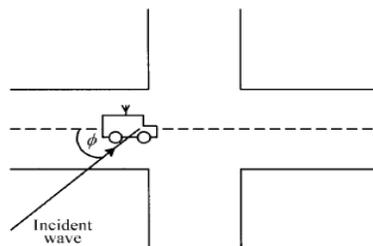


Figura 4.6 Orientación del ángulo de incidencia

Fuente: The Mobile Radio Propagation Channel

Donde  $L_{ori}$  es:

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & 0^\circ \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35) & 35^\circ \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55) & 55^\circ \leq \phi < 90^\circ \end{cases}$$

La otra definición usada para la ecuación:

$$\Delta h_{MS} = h_{roof} - h_{MS}$$

$$\Delta h_{BTS} = h_{BTS} - h_{roof}$$

$L_{msd}$  es una estimación de la difracción multi-obstáculo entre el Tx y el edificio próximo al Rx.

$$L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log_{10}(d) + K_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b) \quad \text{Fórmula 11}$$

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log_{10}(1 - \Delta h_{BTS}) & h_{BTS} > h_{roof} \\ 0 & h_{BTS} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & h_{BTS} > h_{roof} \\ 54 - 0.8 \Delta h_{BTS} & d \geq 0.5 \text{ km and } h_{BTS} \leq h_{roof} \\ 54 - 0.8 \Delta h_{BTS} \frac{d}{0.5} & d < 0.5 \text{ km and } h_{BTS} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & h_{BTS} > h_{roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{BTS}}{h_{roof}} & h_{BTS} \leq h_{roof} \end{cases}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para áreas suburbanas} \\ -4 + 1.5 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para áreas urbanas} \end{cases}$$

El término  $K_a$  representa el aumento de la pérdida en el trayecto cuando la antena de la estación base está por debajo de la altura en la azotea. El término  $K_d$  y  $K_f$  permiten dependencia de la pérdida por difracción en el rango de alcance y frecuencia, respectivamente. Para el uso de esta fórmula se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

Frecuencia	800 - 2000 MHz
Altura antena hbts	4 - 50 m
Altura antena hms	1 - 3 m
Distancia	0.02 - 5 Km

Tabla IV.VI Parámetros para uso de fórmula Walfisch-Ikegami

Fuente: The Mobile Radio Propagation Channel

Para la obtención de las pérdidas según el modelo COST 231 Walfisch-Ikegami, se han tomado los siguientes valores: de estaciones base a una altura de 30 m,  $b=20$ ,  $w=10$ ,  $\phi=90$ , y se muestran los siguientes resultados:

Aplicando la fórmula 9 se obtiene los siguientes valores:

PÉRDIDAS COST 231 WALFISCH-IKEGAMI		
FRECUENCIA	DISTANCIA	PERDIDA
1900 MHz	0.7 Km	126.65 dB
1900 MHz	1 Km	132.53 dB
1900 MHz	1.5 Km	139.21 dB
1900 MHz	2 Km	144.02 dB

Tabla IV.VII Pérdidas de propagación modelo COST 231 Walfich-Ikegami

Fuente: Diseño de tesis

Aplicando la fórmula 4 se obtuvo los siguientes resultados según el modelo COST 231-Walfisch-Ikegami.

COST 231-WALFISCH IKEGAMI NIVEL DE POTENCIA (RX)		
COCERTURA	DISTANCIA	NIVEL RX
ROJO	0.7 Km	-43.85 dB
AMARILLO	1 Km	-49.73 dB
AMARILLO-VERDE	1.5 Km	-56.41 dB
VERDE	2 Km	-61.22 dB

Tabla IV.VIII Nivel de potencia de recepción modelo COST 231 Walfisch-Ikegami

Fuente: Diseño de tesis

Se ha realizado la predicción de pérdidas de propagación y el nivel de potencia de recepción por distancias, en tres modelos matemáticos diferentes, para realizar el análisis respectivo en el capítulo 5, donde se compararán con los datos de la simulación en Radio Mobile.

### **4.3 DISEÑO DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL CON SISTEMA DE CUARTA GENERACIÓN.**

Para la elaboración del diseño de la red se ha escogido el simulador Radio Mobile, que es un programa gratuito que permite diseñar radio enlaces con el fin de predecir el comportamiento de las redes que se desean simular.

El software presenta el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, utilizando los datos de elevación del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM), trabaja en rangos de frecuencias entre 20MHz y 20GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice.<sup>22</sup>

La red desplegada por CNT E.P. actualmente en la provincia de Santa Elena (Santa Elena cabecera cantonal, La Libertad, Salinas) cuenta con tecnología HSPA+ es decir se encuentran instalados eNBs, lo que permite llamadas de voz por conmutación de circuitos y descarga de datos por conmutación de paquetes con una velocidad máxima de 1Mbps y una latencia de hasta 200ms por paquete en el mejor de los casos, velocidad considerada como lenta a la hora de ver o descargar un video de youtube o reproducir una película.

En la figura 4.7, se aprecian los puntos donde se instalarán los eNBs por la CNT E.P., de color verde se encuentra el eNB de Santa Elena cabecera cantonal, de color amarillo se encuentran los eNBs en la Libertad, de color rojo los eNBs de Salinas.

Para elaborar el diseño de la red se entrevistó con personal técnico de CNT E.P. Santa Elena, los mismos que facilitaron los planos de los puntos donde se van a colocar los eNB con mira a LTE. La cercanía de cada una de las antenas, es debido a que la cobertura de LTE es de 700m en zonas urbanas, para obtener las capacidades requeridas y ofertadas. Como indica en el plano anexo (4), la instalación de los eNB comenzará en julio del 2014, con una proyección de 3 años para completar la obra. Se calcula que se ha otorgado para la inversión un aproximado de 5 millones de dólares.

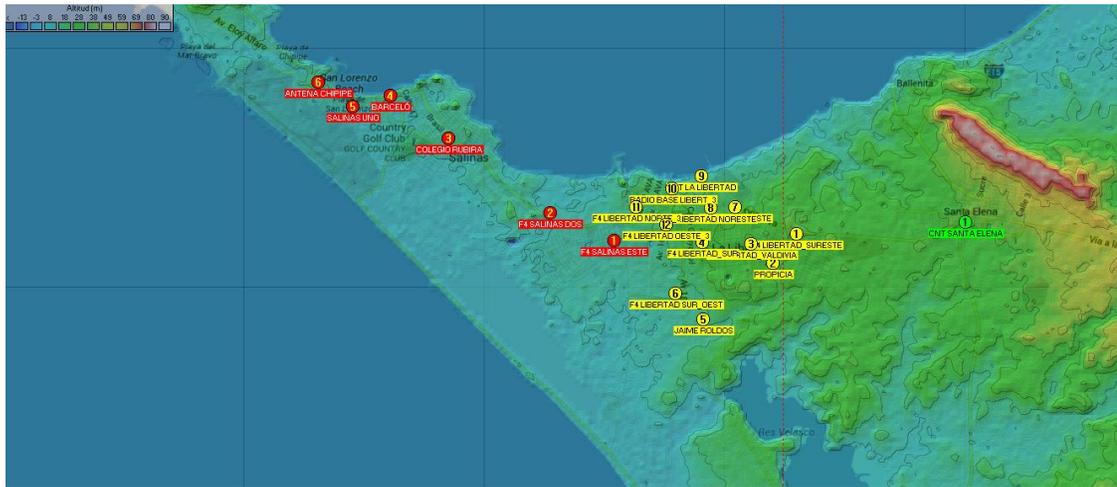


Figura 4.7 Puntos geográficos de ubicación de nodos en Radio Mobile

Fuente: Diseño de tesis

Para obtener la posible zona de cobertura se ha realizado la simulación de arcos de 700 m de diámetro, el cual nos permite observar la distribución que tendrán las ondas electromagnéticas en el espacio de cada uno de los Nodos plantados, lo cual nos permite predecir en qué lugares se tendrá mejor señal, cobertura y transmisión de datos a una velocidad de 5 Mbps por usuario.

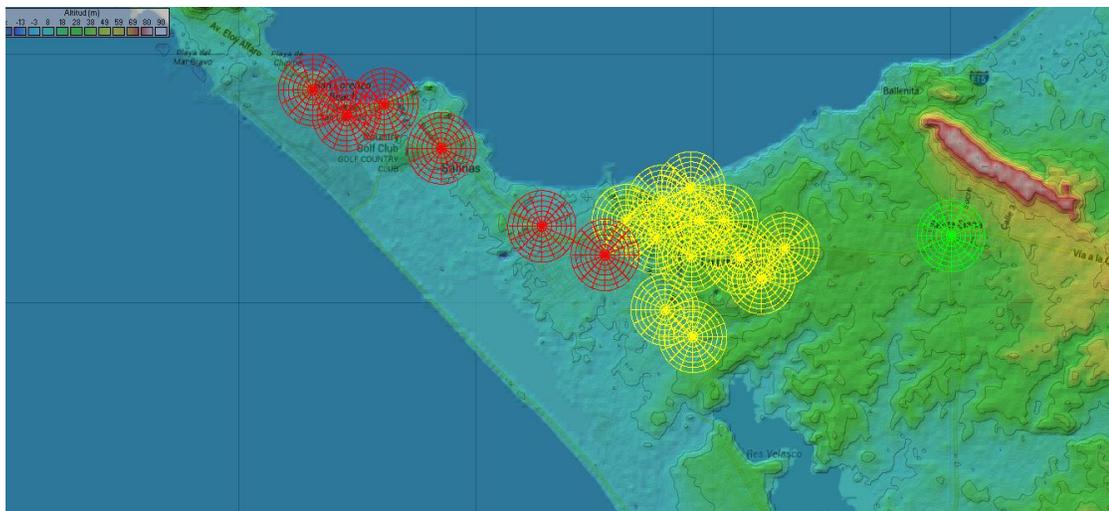


Figura 4.8 Simulación de arcos de cobertura en Radio Mobile

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.9 se ha simulado la cobertura visual de los eNBs, es decir una observación de la zona que se debería cubrir por la altura a la que se encuentran las antenas, con respecto a los dispositivos móviles, para lo que se ha considerado una altura de 1.5 m.

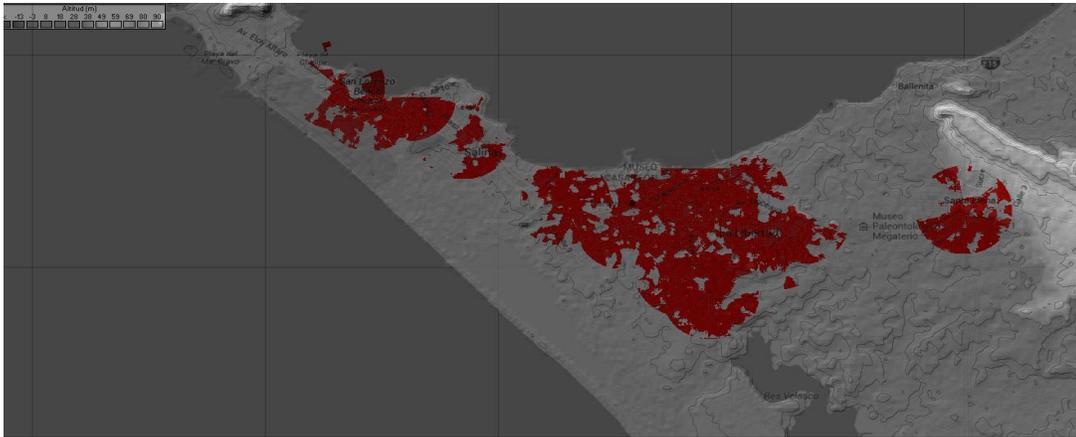


Figura 4.9 Cobertura visual de eNBs.

Fuente: Diseño de tesis

En la tabla IV.IX se observan los valores teóricos (máximos y mínimos) de los parámetros que solicita el software, cabe aclarar que para la simulación se utilizaran valores más bajos de potencia de transmisión y sensibilidad de recepción, que se acoplan mejor a las transmisiones reales.

IT	DESCRIPCION	VALORES
1	Frecuencia Mínima	1900
2	Frecuencia Máxima	1940
3	Polarización	Vertical
4	Modo Estadístico	Móvil
5	Clima	Continental templado
6	Topología	Red de voz
7	Potencia del transmisor (máximo)	47.8 dBm
8	Umbral del Receptor (mínimo)	-125dBm
9	Perdida de Línea	0.5 dB
10	Tipo de antena	Cardio

<b>11</b>	Ganancia de antena	18dBi
<b>12</b>	Altura de antena	30 m
<b>13</b>	Perdida adicional del cable	2.45 dB

Tabla IV.IX Parámetros de transmisión y recepción que solicita Radio Mobile

Fuente: Diseño de tesis

Para la simulación se ha utilizado una potencia de transmisión de 30 dBm y una sensibilidad de -90 dBm <sup>23</sup>, ya que los descritos en la tabla IV.IX son los valores máximos y mínimos.

### **FRECUENCIAS NO IONIZANTES Y FRECUENCIAS IONIZANTES.**

En la tabla IV.X se presentan las frecuencias no ionizantes debido a que el estudio trata sobre tecnologías celulares y es importante mencionar que su frecuencia de trabajo se encuentra dentro de estos parámetros, establecidos por el ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante), y el OMS (Organización mundial de la salud).

<b>NO IONIZANTE</b>					
<b>SUBRADIO FRECUENCIAS</b>	<b>RADIO FRECUENCIAS</b>	<b>MICROONDAS</b>	<b>INFRARROJOS</b>	<b>LUZ VISIBLE</b>	<b>ULTRAVIOLETAS NO IONIZANTES</b>
0 - 30 KHz	30 KHz - 1 GHz	1 GHz - 300 GHz	300 GHz - 385 THz	385 THz - 750 THz	750 THz - 3000 THz
∞ - 100 Km	100 km - 300 mm	300 mm - 1 mm	1 mm - 780 nm	780 nm - 400 nm	400 nm - 100 nm
ELF	UHF, SHF, EHF				

Tabla IV.X Frecuencias no ionizantes

Fuente: [www.física.uh.cu](http://www.física.uh.cu)

En la tabla IV.XI se muestran las frecuencias ionizantes, es decir, el rango de frecuencias que son dañinas para los seres vivos.

<b>IONIZANTE</b>			
<b>ULTRAVIOLETAS IONIZANTES</b>	<b>RAYOS X</b>	<b>RAYOS GAMMA</b>	<b>RAYOS COSMICOS</b>
3 PHz - 30 PHz	30 PHz - 300 EHZ	3 EHZ - 3000 EHZ	> 3000 EHZ
100 nm - 10 nm	10 nm - 1 pm	100 pm - 0.1 pm	< 0.1 pm

Tabla IV.XI Frecuencias ionizantes

Fuente: [www.física.uh.cu](http://www.física.uh.cu)

Las radiaciones electromagnéticas generadas por los eNBs, no superan los valores establecidos por las normas internacionales, ya que la frecuencia con la que trabaja la tecnología de cuarta generación se encuentra dentro del rango SHF (Súper alta Frecuencia), y no es nociva para el ser humano como se indica en la tabla IV.X.

En la figura 4.10 se muestran los enlaces con éxito realizados en el simulador para la zona de La Libertad, donde observamos que por la cercanía de las celdas, el nivel de solapamiento será exitoso, y las personas que circulen por estos alrededores alcanzarán la mayor capacidad de la red.

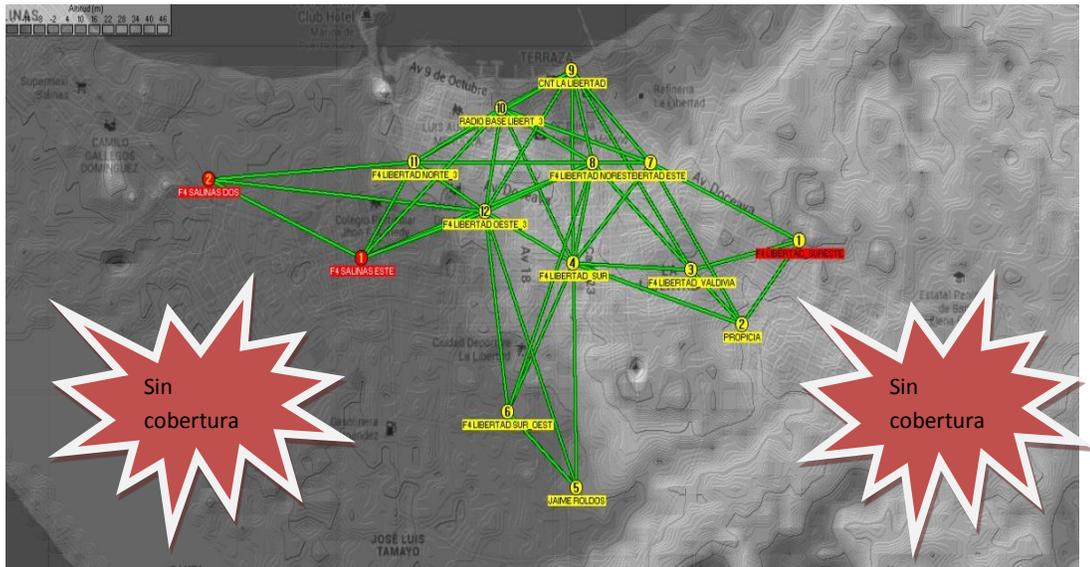


Figura 4.10 Simulación de Radio Enlace de los nodos en el cantón La Libertad

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.11 observamos la simulación en el cantón Salinas donde observamos que existen lugares sin cobertura, teniendo un acceso a 4G más limitado, debido a que esta fase del proyecto cuenta con 6 nodos.



Figura 4.11 Simulación de Radio Enlace de nodos en el cantón Salinas

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.12 se muestra la simulación de un radio enlace, donde apreciamos la altura de la antenna, la altura total con respecto al nivel del mar, la distancia a la que se encuentran ubicados los nodos, la frecuencia de transmisión, las pérdidas en el espacio libre, cuyos valores nos sirven para predecir el comportamiento de la red dentro de los diferentes nodos instalados en los principales cantones de la provincia.

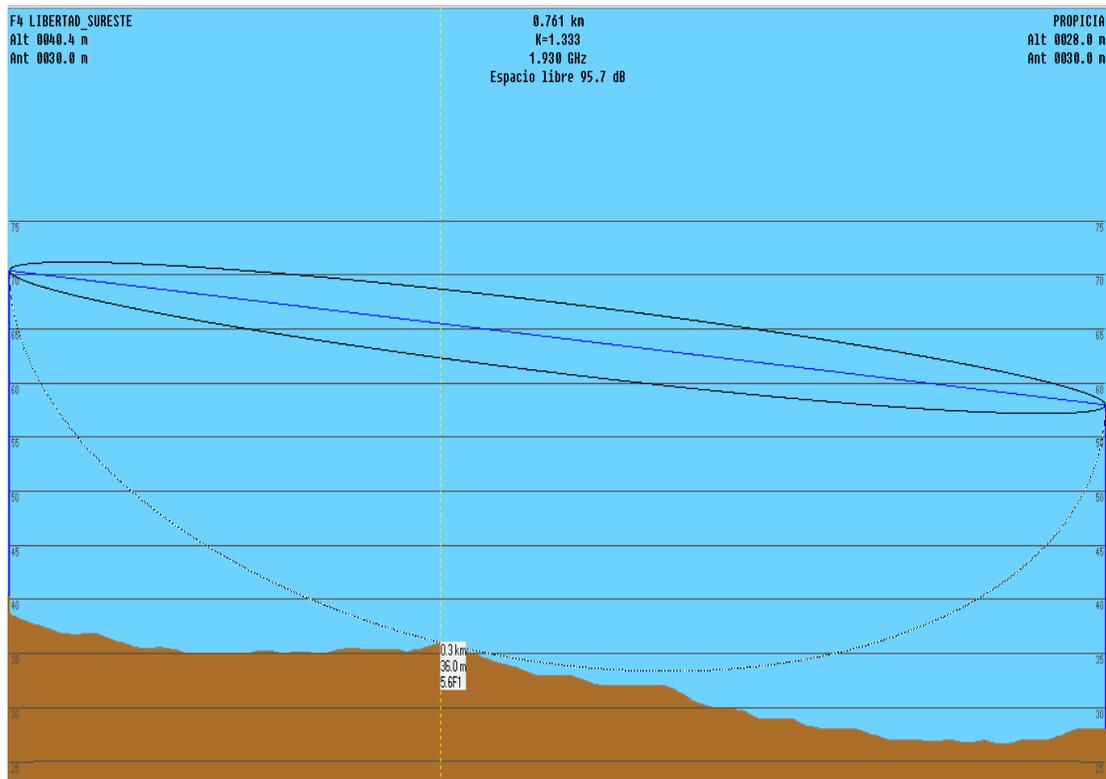


Figura 4.12 Simulación de Radio Enlace entre nodo Libertad Sureste y nodo Propicia

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.13 observamos la distribución de cada una de las antenas sectoriales utilizadas en la simulación, demostrando el rango de cobertura individual y como cubre los 360°, como se mencionó anteriormente para la simulación se ha utilizado antenas tipo cardio, ya que su rango de acción es parecida a la de una antena celular sectorial, cabe aclarar que se utilizan tres

antenas sectoriales cada una con un rango de 120° para mejorar la potencia de la señal y obtener un mayor grado de recepción de los móviles, ya que la potencia que emite un dispositivo móvil es muy baja (mili Watts/cm<sup>2</sup>), la radio base es la encargada de captar hasta la más mínima señal radiada por el móvil sin afectar la salud de las personas, también nos permite una mayor duración de la batería, porque el móvil no realiza mucho esfuerzo para tener conexión.

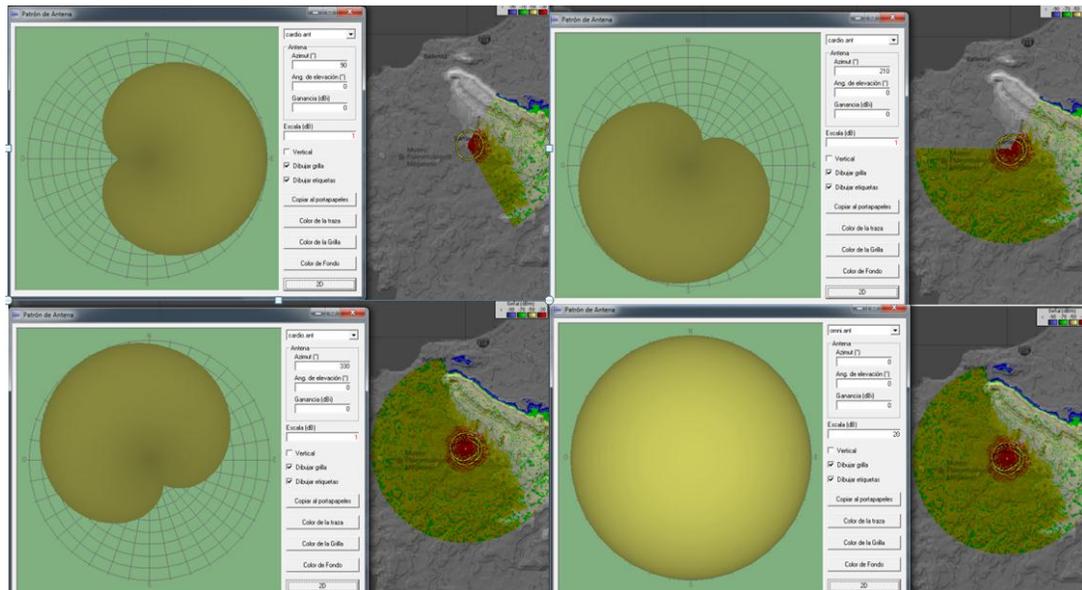


Figura 4.13 Distribución de cobertura de las tres antena sectoriales de un nodo

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.14 se observa la cobertura individual de una celda LTE, como ejemplo se ha tomado el nodo instalado en Santa Elena, con el nodo F4 Libertad sureste, para demostrar mediante simulación la cobertura de la señal y los puntos de mayor acceso, así como los lugares donde aunque existe señal, la radio base no es capaz de transmitir datos, debido a que el nivel de recepción es bajo.

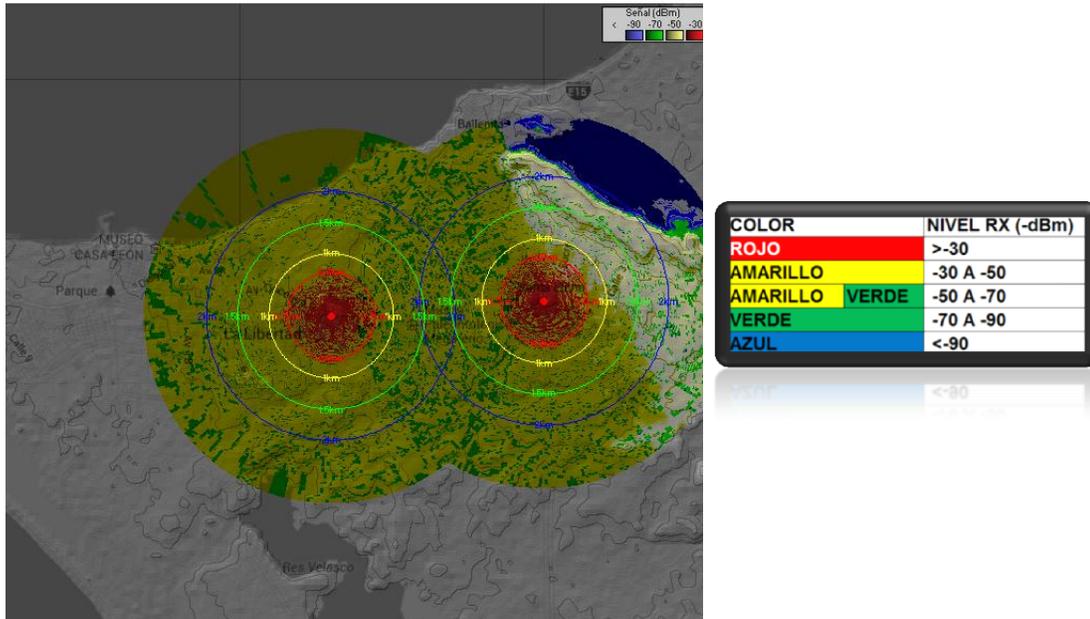


Figura 4.14 Cobertura simulada en Radio Mobile de eNodeB y nivel de Rx

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.15 se muestra la simulación de un radio enlace entre los nodos F4 LIBERTAD NORTE Y F4 LIBERTAD OESTE, ya que la distancia entre ambos es de 0,7 Km, y nos permite observar la potencia de recepción y las pérdidas de propagación, consiguiendo una cobertura color rojo.

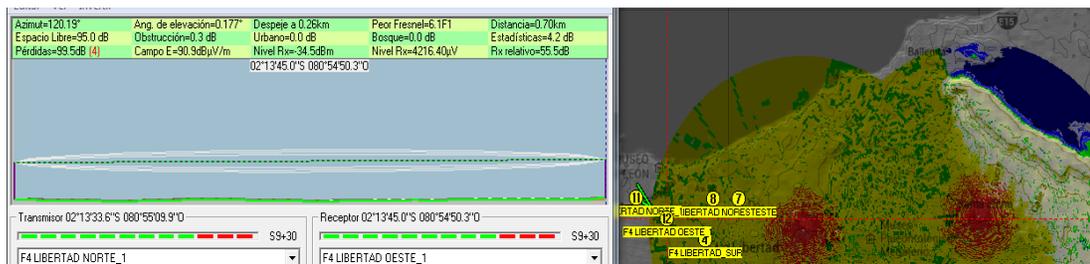


Figura 4.15 Radio enlace Nodos F4 Libertad Norte y F4 Libertad Oeste

Fuente: Diseño de tesis

La figura 4.16 muestra un radio enlace entre F4 LIBERTAD OESTE y F4 LIBERTAD ESTE, con una distancia de separación de 1,09 Km, lo que nos permite observar una cobertura de color amarillo.

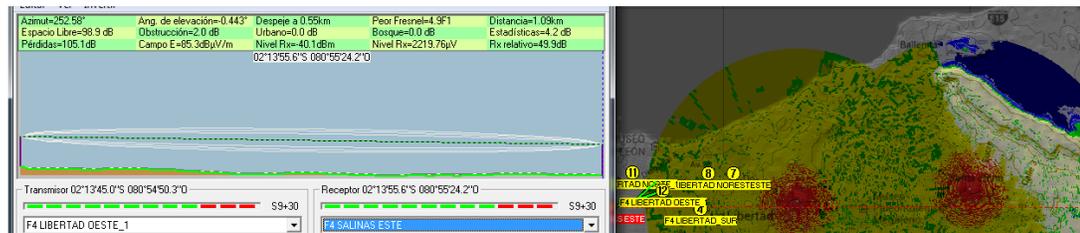


Figura 4.16 Radio enlace Nodos F4 Libertad Oeste y F4 Libertad Este

Fuente: Diseño de tesis

La figura 4.17 muestra la simulación entre los nodos F4 LIBERTAD SUR Y JAIME ROLDOS a una distancia de separación de 1,57 Km, es decir una cobertura amarillo-verde, con sus respectivos niveles de recepción y pérdidas de propagación.

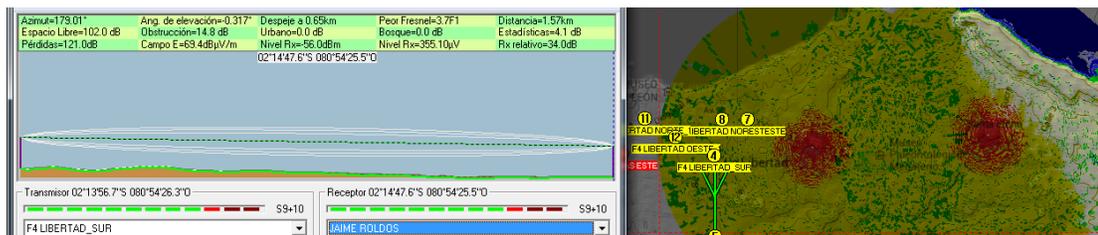


Figura 4.17 Radio enlace Nodos F4 Libertad Sur y Jaime Roldos

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 4.18 se observa el radio enlace entre los nodos CNT SANTA ELENA Y F4 LIBERTAD SURESTE, con una distancia de separación de 3,40 Km, es decir en cobertura de color verde, y no es posible la transmisión de paquetes de datos a alta velocidad.

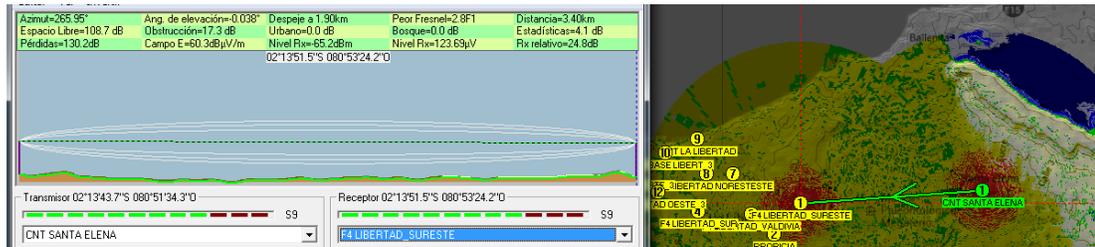


Figura 4.18 Radio enlace Nodos CNT Santa Elena y F4 libertad Sureste

Fuente: Diseño de tesis

En la tabla IV.XII se observa los valores de los radio enlaces simulados en Radio Mobile, con sus respectivas distancias, niveles de recepción y pérdidas de propagación tanto en el espacio libre como en el simulador.

RADIO MOBILE PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN Y NIVEL DE RECEPCIÓN				
ENLACE	DISTANCIA	PÉRDIDAS RADIO MOBILE	PÉRDIDAS ESPACIO LIBRE	NIVEL RX
CNT SANTA ELENA-F4_LIBERTAD_SURESTE	3.40 Km	130,2 dB	108,7 dB	-65,2 dBm
F4_LIBERTAD_SURESTE-PROPICIA	0,76 Km	96,0 dB	95,7 dB	-31,0 dBm
RPOPICIA-F4_LIBERTAD_VALDIVIA	0,58 Km	93,5 dB	93,4 dB	-28,5 dBm
F4_LIBERTAD_VALDIVIA-F4_LIBERTAD_SUR	1 Km	99,4 dB	98,1 dB	-34,4 dBm
F4_LIBERTAD_SUR-JAIME ROLDOS	1,52 Km	121,0 dB	102,0 dB	-56,0 dBm
JAIIME ROLDOS-F4_LIBERTAD SUR_OESTE	0,78 Km	95,7 dB	96,0 dB	-30,7 dBm
F4 LIBERTAD_ESTE-F4 LIBERTAD NORESTE	0,50 Km	111,2 dB	92,0 dB	-46,2 dBm
F4 LIBERTAD NORESTE_CNT LA LIBERTAD	0.67 Km	93,6 dB	94,6 dB	-28,6 dBm
CNT LA LIBERTAD-RADIO BASE LIBERTAD	0,65 Km	97,0 dB	94,4 dB	-32,0 dBm
F4 RADIO BASE LIBERTAD-F4 LIBERTAD NORTE	0,83 Km	96,7 dB	96,5 dB	-31,7 dBm

F4 LIBERTAD NORTE-F4 LIBERTAD OESTE	0,70 Km	99,5 dB	95,0 dB	-34,5 dBm
F4 LIBERTAD OESTE-F4 SALINAS ESTE	1,09 Km	105,1 dB	98,9 dB	-40,1 dBm
F4 SALINAS ESTE-F4 SALINAS DOS	1,41 Km	124,4 dB	101,1 dB	-60,4 dBm
F4 SALINAS DOS-COLEGIO RUBIRA	2,75 Km	124,9 dB	106,9 dB	-59,9 dBm
COLEGIO RUBIRA-BARCELÓ	1,47 Km	112,3 dB	101,4 dB	-47,3 dBm
BARCELÓ-SALINAS UNO	0,80 Km	98,3 dB	96,2 dB	-33,3 dBm
SALINAS UNO-ANTENA CHIPIPE	0,86 Km	101,9 dB	96,8 dB	-41,3 dBm

Tabla IV.XII Radio Mobile, pérdidas de propagación y nivel de recepción

Fuente: Diseño de tesis

En la tabla IV.XIII se muestran los promedios obtenidos de los radio enlaces simulados cada uno a sus respectivas distancias, tomando como limite el inicio de cada rango de cobertura para ser asignado a los colores que muestra el simulador

<b>RADIO MOBILE PROMEDIOS DE PÉRDIDAS Y NIVEL DE RECEPCIÓN</b>				
<b>DISTANCIA</b>	<b>PÉRDIDAS RADIO MOBILE</b>	<b>PÉRDIDAS ESPACIO LIBRE</b>	<b>NIVEL RX</b>	<b>RANGO RX</b>
<b>0,7 Km</b>	983.40	950.60	337.80	
	98.34	95.06	33.78	>-33
<b>1 Km</b>	328.90	298.10	134.90	
	109.63	99.37	44.97	-34 A -50
<b>1,5 Km</b>	233.30	203.40	103.30	
	116.65	101.70	51.65	-51 A -61
<b>2 Km</b>	255.10	215.60	125.10	
	127.55	107.80	62.55	< -62

Tabla IV.XIII Radio Mobile, promedio de pérdidas y nivel de recepción

Fuente: Diseño de tesis

En la tabla IV.XIV se explican los valores mostrados en la simulación por nivel de recepción, es decir de color rojo con una cobertura de 700m el nivel de recepción es de -34.5dB nivel idóneo para realizar la transmisión y cumplir con el ancho de banda propuesto, de color amarillo a 1 Km de distancia el nivel de recepción todavía sigue siendo aceptable con -40.1dB, para el color amarillo-verde con un nivel de recepción de -56.0dB la cobertura ya no es buena, y aunque el dispositivo móvil sigue teniendo señal 4G no será posible la transmisión IP, de color verde se encuentra fuera de la cobertura del nodo y se perderá totalmente la transmisión con tecnología LTE.

RADIO MOBILE NIVELES DE POTENCIA (RX)		
COCERTURA	DISTANCIA	NIVEL RX
ROJO	0.7 Km	-34.5 dB
AMARILLO	1 Km	-40.1 dB
AMARILLO-VERDE	1.5 Km	-56.0 dB
VERDE	2 Km	-65.2 dB

Tabla IV.XIV Valores de potencia de recepción en Radio Mobile

Fuente: Diseño de tesis

La tabla IV.XV muestra los niveles de pérdidas de propagación calculadas por el simulador Radio Mobile. A mayor distancia menos cobertura y más pérdidas.

PÉRDIDAS RADIO MOBILE		
FRECUENCIA	DISTANCIA	PÉRDIDAS
1900 MHz	0.7 Km	99.50 dB
1900 MHz	1 Km	105.10 dB
1900 MHz	1.5 Km	121.00 dB
1900 MHz	2 Km	130.20 dB

Tabla IV.XV Valores de Pérdidas de Propagación en Radio Mobile

Fuente: Diseño de tesis

Radio Mobile permite realizar coberturas múltiples con el propósito de tener una visión clara de los niveles de cobertura aceptables en cada uno de los lugares estudiados como se muestra en la figura 4.19.

Lo que se intenta lograr al tener distribuida las celdas una cerca de la otra, es el nivel de solapamiento que se consigue, así como la reutilización de las frecuencias, ya que LTE es una tecnología 100% IP, lo que se requiere es que los paquetes lleguen a su destino, con seguridad y menor latencia.

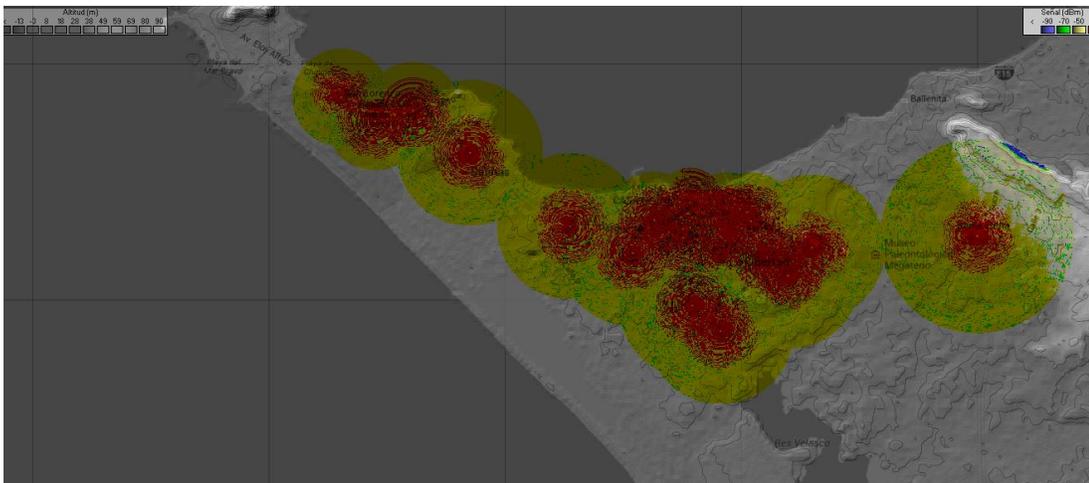


Figura 4.19 Cobertura Total en la zona de implementación

Fuente: Diseño de tesis

La figura 4.19 nos indica que en La Libertad se tendrá cobertura de aproximadamente el 90%, siendo el cantón más beneficiado con este proyecto debido a que es el principal centro comercial de la provincia, incluso superando a Salinas.

En Santa Elena se comenzará con cobertura de una sola radio base, cubriendo el centro principal, y turístico del cantón, donde se realizan las fiestas patronales y acuden un sin número de habitantes con sus teléfonos inteligentes.

En Salinas se cubrirá un 70% de la población ya que es el principal balneario turístico por sus playas. Aunque se debería cubrir en su totalidad, esto se plantea como recomendación más adelante.

En la figura 4.20 se muestran 3 radios enlaces, uno en cada cantón, a diferentes distancias, para calcular el nivel recepción que existe cuando se realiza una llamada de un móvil ubicado en un punto X, y hasta que distancia la radio base es capaz de detectar al móvil y cumplir con el establecimiento de la comunicación, obteniendo resultados satisfactorios ya que los móviles se encuentran en zonas de cobertura.

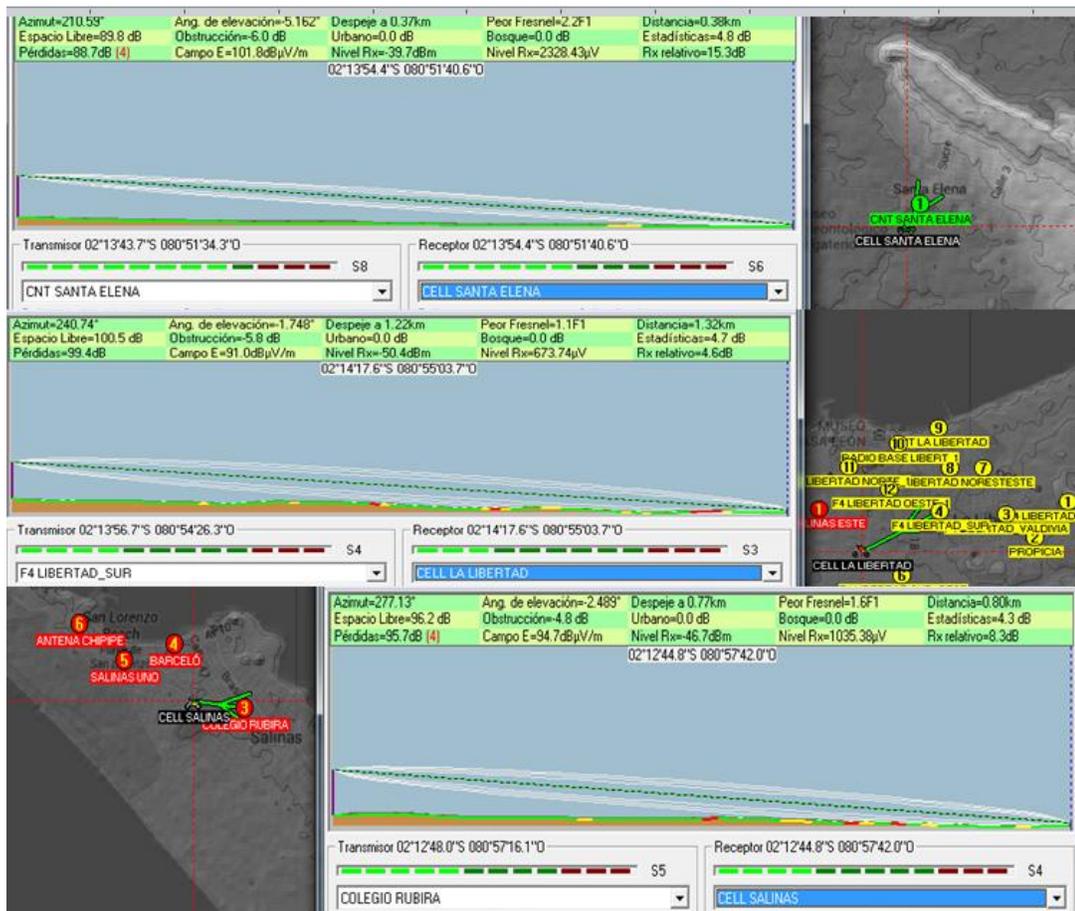


Figura 4.20 Radio enlaces entre eNBs y celulares

Fuente: Diseño de tesis

# **CAPÍTULO 5**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Descripción de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, así como la comparación de resultados entre fórmulas y simulaciones, se expresa brevemente una análisis de ubicación de nodos, el cálculo de tráfico que se obtendrá con la red 4G, así como la movilidad de usuarios y el handover

entre celdas. Se realiza un estudio del ancho de banda actual en la Provincia por medio de la aplicación móvil SpeedTest. Gráficamente se muestra la delimitación de la zona de cobertura de cada nodo en Google Earth.

## **5.1 RESULTADOS DEL DISEÑO DE LA ACTUALIZACIÓN DE LA RED.**

Al realizar la actualización de la tecnología en la provincia de Santa Elena se obtendrá claramente el desarrollo de las TIC's, debido que todo gira en torno a la tecnología, como se ha mencionado, los teléfonos celulares o dispositivos móviles ya no son un lujo, en estos tiempos son un complemento que hacen que nuestra vida sea más eficiente, y para esto es necesario obtener una red de acceso y transporte de datos de acuerdo a las exigencias necesidades y cambios que sufre el planeta, donde las tecnologías de comunicaciones son fundamentales, ya que nos sacan del sedentarismo, además es evidente que en un corto tiempo la capacidad de las redes HSPA actuales no serán suficientes para soportar el incremento del tráfico y se ha demostrado con datos estadísticos que la evolución de las tecnologías de las telecomunicaciones va en alza, no va a parar, el mundo ahora es Smart (inteligente).

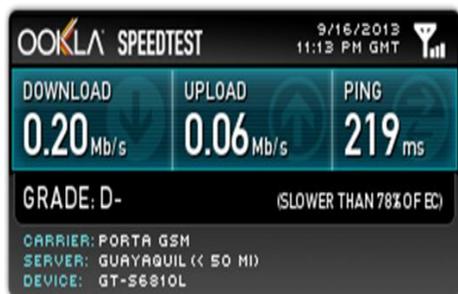
Gracias a la tecnología 4G, serán muy habitual las llamadas a través de internet, por ejemplo se podrá llamar utilizando la señal Wi-Fi, además, la tecnología 4G permitirá que se hagan comunes las videoconferencias debido a la alta calidad con la que se podrán establecer video llamadas, reuniones, conferencia de prensa, o incluso una junta.

Se tendrá la aparición de nuevas y diversas aplicaciones, las cuales distinguen a esta tecnología de las anteriores, como la publicidad móvil, servicios basados en localización, comunicaciones unificadas, comercio móvil, redes sociales, entre otros. Estas y otras aplicaciones han podido desarrollarse gracias a las altas tasas de transmisión que se logra con las tecnologías 4G.

Los sistemas LTE, pueden coexistir con sistemas móviles de generaciones anteriores, lo que ayuda de manera significativa a una migración segura. Sin embargo, la manera más eficiente en la que puede trabajar un sistema de una red LTE es en una implementación total, debido a que de esta manera toda la red trabajaría en un entorno IP y se tendría una red más eficiente, garantizando los parámetros establecidos para redes de cuarta generación.

## **5.2 RESULTADOS DE LA TECNOLOGÍA ACTUAL EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA Y COMPARACIÓN CON 4G.**

Para elaborar un análisis de resultados se ha procedido a realizar mediciones de telefonía móvil en los sitios donde se va actualizar la tecnología, cerca de los nodos donde se debería tener la mejor cobertura de datos, para estas mediciones se tomó como referencia el software de la empresa estadounidense de servicios de diagnósticos de internet OOKLA Net Metrics, con la aplicación Speedtest, que es una herramienta de análisis de velocidad de banda ancha, con servidores ubicados a nivel global, que permite a cualquiera probar su conexión a internet, por ejemplo: saber la velocidad de subida, descarga y latencia en un punto, además se obtiene las coordenadas geográficas del punto donde se realiza la prueba, Ookla ofrece este servicio de forma gratuita.



CANTON, LUGAR	COORDENADAS	
	LATITUD	LONGITUD
LA LIBERTAD, PASEO SHOPPING	02°13'38.4"	080°55'19.5"

Figura 5.1 Resultados de la aplicación SpeedTest

Fuente: Diseño de tesis

En la tabla V.I se describen los puntos donde se realizó las pruebas de velocidad, así como sus coordenadas.

CANTON	LUGAR	COORDENADAS		RESULTADOS PRUEBA SPEEDTEST		
		LATITUD	LONGITUD	DESCARG	CARGA	LATENCIA
LA LIBERTAD	PASEO SHOPPING	02°13'38.4"	080°55'19.5"	0.20 Mbps	0.06 Mbps	219 ms
LA LIBERTAD	MALECON DE LIBERTAD	02°13'21.2"	080°54'40.8"	0.05 Mbps	0.04 Mbps	875 ms
LA LIBERTAD	PARQUE LA LIBERTAD	02°13'20.0"	080°54'22.9"	0.03 Mbps	0.04 Mbps	898 ms
SALINAS	CENTRAL SALINAS 2	02°13'25.6"	080°56'26.1"	1.46 Mbps	0.32 Mbps	157 ms
SALINAS	COLEGIO RUBIRA	02°12'53.3"	080°57'0.30"	0.60 Mbps	0.31 Mbps	168 ms
SANTA ELENA	PARQUE CENTAL	02°13'37.2"	080°51'28.6"	1.55 Mbps	0.35 Mbps	156 ms

Tabla V.I Parámetros descargados con aplicación SpeedTest en los puntos de mayor demanda

Fuente: Diseño de tesis

Una vez realizado las pruebas en las zonas de cada cantón, se puede concluir en lo siguiente:

- En Santa Elena se obtiene una velocidad de descarga de 1.55 Mbps y carga máximo de 0.35 Mbps, con latencia (tiempo en que un paquete cruza la red) de 156 ms.

- ▲ En Salinas se obtienen datos similares a los conseguidos en Santa Elena con 1.46 Mbps de descarga y 0.32 Mbps de carga, con latencia promedio de 162.5 ms.
- ▲ En La Libertad se obtuvieron datos relativamente bajos, 0.20 Mbps de descarga y 0.06 Mbps de carga, con latencia de 219 ms, debido a la demanda que se genera en el principal puerto económico de la provincia, es por este motivo que la CNT planea instalar 9 nodos más, y así cubrir con la demanda existente, ya que el servicio actual se ve mermado por la poca infraestructura con la que se cuenta.

En base a los resultados expuestos se ve realidad de la pobre cobertura de la CNT E.P. y la necesidad de realizar las instalaciones de nuevos nodos y la aplicación de nuevas tecnologías, ya que se viene el boom de los móviles de cuarta generación, y es una oportunidad única de sobresalir, adquirir más mercado y competir con las otras operadoras.

Como se observa en la tabla V.I los valores promedios de la tecnología actual se encuentran entre 0.64 Mbps de descarga, 0.18 Mbps de carga, latencias de 386 ms, debido a la arquitectura jerárquica con la que se maneja y al ancho de banda de 5 MHz que utiliza, siendo fácilmente superada por LTE, que maneja velocidades de 5Mbps de descarga, 1.5 Mbps de carga, latencias de 20 ms, debido a que utiliza 20 MHz de ancho de banda para descarga y 20 MHz de ancho de banda para carga, además de poseer una arquitectura no jerárquica.

En la tabla V.II observamos los valores de la tecnología HSPA (release7) y la tecnología LTE (release8), evidenciando claramente las diferencias de velocidades.

Tecnología	Ancho de Banda Asignado	Velocidad de Transferencia de Datos (promedio)		Latencia	Arquitectura
		descarga	carga		
3G HSPA	5 MHz	42 Mbps	11 Mbps	386 ms	Jerárquica
4G LTE	20 MHz	100 Mbps	50 Mbps	20 ms	No Jerárquica

Tabla V.II Comparación de tecnologías 3G y 4G

Fuente: Diseño de tesis

### 5.3 VENTAJAS QUE PROPORCIONA LA ACTUALIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA A CUARTA GENERACIÓN.

De lo establecido en el capítulo 3 velocidades a alcanzar con el sistema LTE y el anexo (1), se puede esclarecer que este sistema de cuarta generación brindará velocidades superiores a las actuales, con una red de transporte IP/MPLS que utilizará acceso por fibra óptica, es decir cumplirá con todas las expectativas planteadas por el operador y por los usuarios, convirtiéndola en un gran avance tecnológico para la provincia.

Entre sus ventajas se puede mencionar:

- ▲ La arquitectura de LTE ha logrado la mejora del estándar 3GPP
- ▲ Arquitectura más simple.
- ▲ Optimización para servicios basados en conmutación de paquetes.
- ▲ Optimización para soporte de altas tasas de transmisión.
- ▲ Disminución en tiempos de respuesta y retardos en la transmisión.
- ▲ Simplificación del sistema, comparando respecto a otros sistemas celulares implementados.
- ▲ Optimización de la interconexión con otras redes de acceso inalámbricas y con otras redes 3GPP Y no 3GPP.

#### **5.4 ANÁLISIS DE UBICACIÓN DE NODOS.**

Para que la actualización de la red sea efectiva se deben considerar la ubicación de eNBs en puntos estratégicos de la zona a cubrir y como parte de este estudio también se ha considerado realizar el análisis de los parámetros a considerar para la ubicación de los nodos y los motivos por los que CNT E.P. deberá ejecutar este proyecto.

- ⤴ Debe estar localizada en una zona debidamente estratégica de la red para poder entregar el servicio y dar cobertura a los usuarios.
- ⤴ La altura de los edificios o edificación donde vaya cada uno de los nodos debe ser adecuada ya que debe cubrir la zona planificada.
- ⤴ Conociendo la geografía de la Provincia se pudo encontrar puntos clave para la colocación de los nodos los cuales cubrirán el 80% de los principales cantones de la Provincia y de esta manera se podrá dar servicio a todos los usuarios posibles.

Los motivos que originan implementar el proyecto por la CNT E.P. son:

- ⤴ Extender y desplegar las redes
- ⤴ Reforzar y mejorar la red en zonas con cobertura (mejor calidad del servicio)
- ⤴ Ampliar la capacidad de la red.
- ⤴ Atraer más clientes.

#### **5.5 ZONA DE COBERTURA RADIOELÉCTRICA.**

Para realizar un análisis de la zona de cobertura radioeléctrica que se obtendrá con LTE se realizó la simulación de la red en Radio Mobile en el capítulo 4, así como la aplicación de fórmulas de propagación en el espacio, en la figura 5.2 se observa la comparación de los modelos utilizados para

calcular el nivel potencia de recepción, por distancia y determinar hasta donde se puede tener cobertura y transferencia de datos estable.

Podemos apreciar que en la simulación en Radio Mobile, así como en los modelos de propagación Cost 231-Hata y Cost 231-Walfish Ikegami, los valores potencia de recepción son muy parecidos, debido a que los cálculos son más complejos y utilizan varios parámetros de medición, caso contrario con el modelo en el espacio libre cuyo cálculo sólo se basa en la frecuencia utilizada y en la distancia de transmisor a receptor sin ningún obstáculo con línea de vista, por lo que solo es utilizada para medir el mínimo nivel de recepción posible en una transmisión.

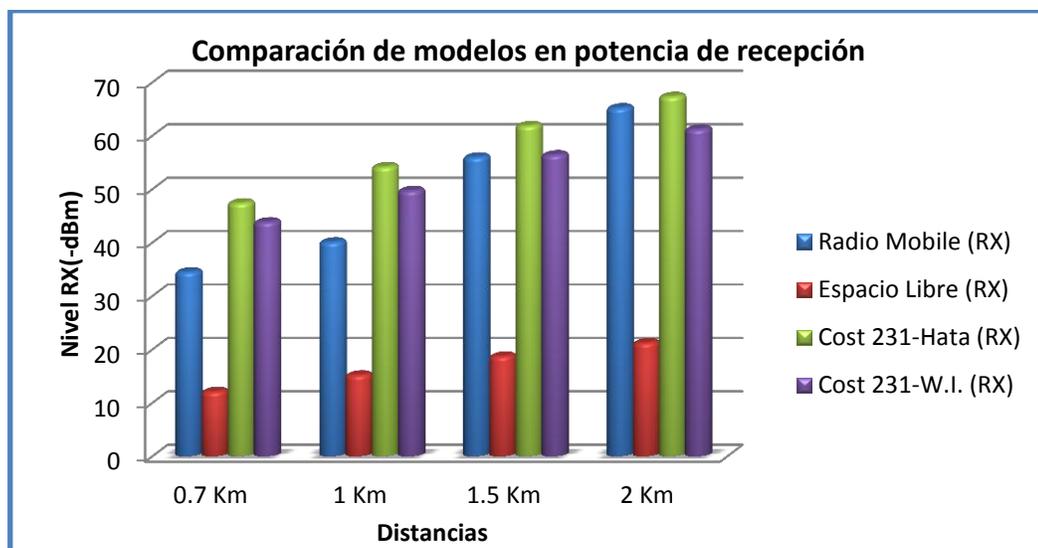


Figura 5.2 Comparación de modelos en potencia de Recepción

Fuente: Diseño de tesis

En la figura 5.3 descargada de google earth observamos la cobertura total de los 3 cantones escogidos como primer despliegue de LTE, debido a la gran cantidad de tráfico que se maneja, al crecimiento de la población y por ser el centro económico de la provincia.



Figura 5.3 Cobertura total de los eNodeB en la zona de implementación

Fuente: Google earth

La figura 5.4 muestra el nivel de pérdidas obtenidas con la simulación y los métodos de propagación, obteniendo un promedio mayor de pérdidas de (126.6 a 132.1) dB, con distancias de (1.5 a 2) Km es decir en este nivel ya no se tendría cobertura de datos. En distancias de (0.7 a 1) km las pérdidas son de (112.8 a 118.2) dB, nivel de pérdidas que los nodos y los terminales pueden superar sin sufrir alteración en los paquetes de datos transmitidos.

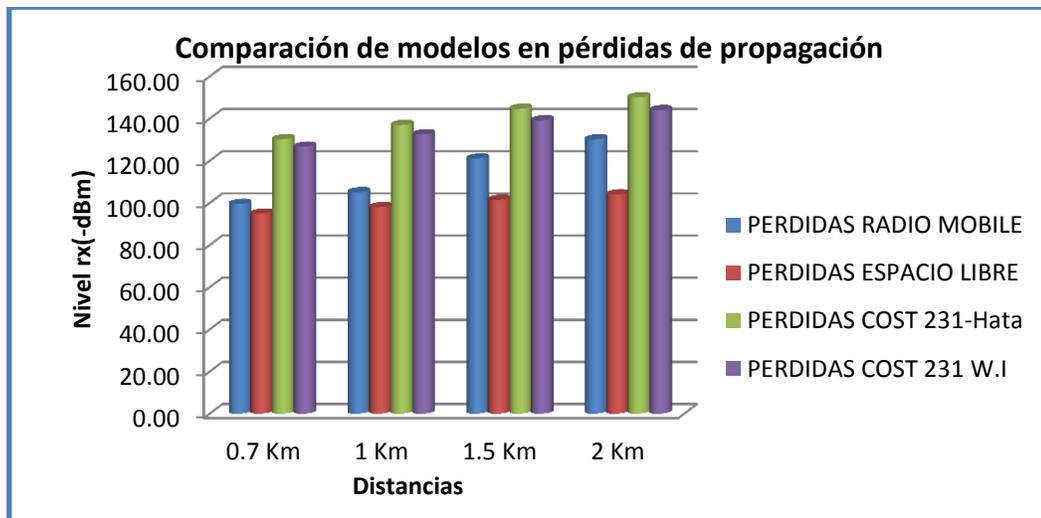


Figura 5.4 Comparación de modelos en pérdidas de propagación

Fuente: Diseño de tesis

## 5.6 CÁLCULO DE TRÁFICO

La industria inalámbrica ha visto el crecimiento explosivo en la demanda tanto en el servicio de datos como voz durante los últimos años. El número de suscriptores de telefonía móvil ha crecido considerablemente y las operadoras han estado actualizando sus redes con tecnologías más avanzadas para cumplir con el crecimiento de la demanda.

LTE puede interconectar con otras tecnologías de acceso alámbricas e inalámbricas, con el fin de que la operadora pueda converger su red LTE, creando la oportunidad de entregar a sus suscriptores la verdadera comunicación a bajos costos.

Se deberá considerar por parte CNT E.P. realizar propagandas o anuncios para dar a conocer los dispositivos móviles de cuarta generación que se comercialicen, confirmando la aceptación del 92% de la muestra de la población en los 3 cantones y el 84% prefieren adquirir los móviles con un plan de voz y datos, y no al contado, ya que precisamente es para eso que se desarrolló esta tecnología, para soportar múltiples usuarios y una gran demanda.

Para obtener una excelente señal en casas y edificios crecerá la instalación de femtoceldas o pequeñas estaciones bases, tecnología poco conocida en Ecuador, pero en un corto plazo estará en auge gracias a la tecnología 4G, ya que permiten ofrecer cobertura de aproximadamente 100 m en ambientes indoor, permitiendo que las nuevas aplicaciones que se generen puedan interactuar con facilidad porque no solo dependerá de la estación base más cercana, sino que se tendrá la ayuda de estos pequeños dispositivos parecidos a un router que harán sus veces de estaciones bases, potenciando aún más el nivel de recepción de los dispositivos dentro del rango de cobertura, acercándonos más a una ciudad smart (inteligente).

## 5.7 MOVILIDAD DE USUARIOS

De acuerdo al estudio realizado del ancho de banda y de la tolerancia a retrasos en la transmisión de los datos hace que la movilidad de los usuarios en el cantón La Libertad sea mayor que en Santa Elena y Salinas, por lo que para el tráfico exigido es necesario adoptar no solo técnicas de ingeniería de tráfico, sino también de clasificación del tráfico generado a la calidad de servicio definido por clases de servicio.

De alta prioridad:

- ◆ Video: esta clase de servicio tiene el nivel de prioridad más alto de las clases de servicio para datos.
- ◆ Voz: tiene un nivel de prioridad equivalente al del video.

De baja prioridad:

- ◆ Mensajes de textos.
- ◆ Correos electrónicos.

La movilidad es un aspecto importante porque se toma en cuenta la localización del usuario para la activación de los servicios e intercambio de celdas o handover, ya que los usuarios pueden estar quietos o desplazarse a una velocidad determinada que puede cambiar en cada posición con una cierta probabilidad, descrita por los parámetros de la tabla V.III.

Velocidad Media	3 Km/h
Velocidad Mínima	0 Km/h
Desviación Típica de la Velocidad	0.3 Km/h
Probabilidad de cambiar de Velocidad	0.2
Probabilidad de girar en un cruce	0.5

Tabla V.III Modelo de movilidad del entorno peatonal <sup>24</sup>

Fuente: Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación IMT-2000

Otro tipo de movilidad es la vehicular que es de tipo pseudoaleatoria con trayectorias semidirectas. Los móviles se distribuyen uniformemente y la actualización es de acuerdo con la longitud de correlación y la dirección puede cambiar en cada actualización de la posición según una cierta probabilidad. La velocidad del móvil es variable y el modelo de movilidad se define mediante los parámetros de la tabla V.IV.

Velocidad Media	120 Km/h
Probabilidad de cambiar de dirección	0.2
Angulo máximo de cambio de dirección	45°
Longitud de correlación	20 m

Tabla V.IV Parámetros de modelo de movilidad vehicular<sup>20</sup>

Fuente: Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación IMT-2000

El handover permite mantener la conexión activa frente al cambio de estación, esta tecnología usa el hard handover, lo que significa que se corta la comunicación en un lapso no mayor a 10 ms, todo este mecanismo es controlado por la red, es decir que quien toma la decisión para el cambio de estación base, es la propia estación, ya que la conexión es activa entre UE y eNB. Lo que hace idónea a la tecnología de cuarta generación, para realizar los handover entre nodos ya sean 3GPP o no 3GPP.

La tecnología LTE usa configuración de antenas MIMO las cuales tienen la habilidad de realizar varias transmisiones dependiendo del tipo de configuración que se consiga, además de aumentar la capacidad de transmitir de la red, es decir se obtendrá una excelente cobertura en el cantón La Libertad, sin importar el nivel de movilidad o velocidad que tenga el usuario, ya que MIMO 2x2 que es la configuración que utilizará CNT E.P. para comenzar, refleja varias señales en todos los sentidos, incluso detrás de edificios u otros obstáculos. En los cantones Santa Elena y Salinas será necesaria la instalación de más nodos para obtener las mismas ventajas.

## **CONCLUSIONES:**

Las características presentadas por la tecnología LTE ofrecen mejores prestaciones que sus predecesoras, ya que maneja una alta tasa de transferencia de datos llegando a los 100Mbps de descarga y 40-60Mbps de carga con un ancho de banda de 20MHz para cada canal. Su arquitectura es plana, no jerárquica, es decir, no es necesario ningún equipo adicional como el RNC para la comunicación entre eNBs, lo que genera que se formen arquitecturas semi-malladas entre nodos que permiten el envío de información de control y de tráfico de usuarios al nodo de la red troncal más adecuado, atendiendo a criterios de balanceo de carga.

La tecnología LTE soporta elevadas prestaciones de movilidad de hasta 220Km/h sin perder la conectividad, servicio muy atractivo para usuarios en otros países, aunque no en Ecuador ya que las leyes de tránsito solo permiten viajar hasta los 100Km/h.

Las encuestas revelaron que del 92% de aceptación de comprar un dispositivo móvil 4G, el 84% de los encuestados optaron por adquirir el móvil con plan de voz y datos. Las estadísticas comprueban que el 73,58% de los peninsulares tienen un celular activado, el 5.2% es un smartphone y el 80% accede a una conexión de banda ancha desde distintos lugares.

La capacidad promedio actual de transferencia de datos en los principales cantones de la provincia difícilmente supera 1Mbps de descarga y posee altas latencias, evidenciando la baja calidad de servicio y la pobre cobertura en ancho de banda para datos.

## **RECOMENDACIONES:**

De acuerdo a las prestaciones mostradas por la tecnología LTE, la operadora del estado deberá invertir en la construcción de nuevos eNBs con nuevas infraestructuras y actualizar los nodos que existen actualmente en toda la provincia, empezar a realizar estudios en la zona norte con la frecuencia para tecnología LTE de 700MHz asignada para zonas rurales en balnearios como Montañita donde la afluencia de turistas es masiva, más aún que los dispositivos móviles de cuarta generación ya se comercializan en el mercado, pero todavía no se cuenta con redes de acceso que soporten tecnología 4G o LTE en la provincia de Santa Elena. Se recomienda la actualización de la tecnología por fases, primero brindar solo datos, para luego ofrecer redes que permitan la transmisión de voz y datos simultáneamente, evolucionando en una red puramente IP sin limitaciones y sin necesidad de tener una red cableada alcanzar velocidades superiores, llegando a la evolución final conocida como LTE-Advanced que permiten hasta 300Mbps por usuario (release10).

Aunque una de las ventajas que posee esta nueva tecnología es la estabilidad en la transferencia de datos a altas velocidades de movimiento, debido a que en países europeos es posible superar los 180Km/h porque sus leyes lo permiten, en Ecuador no, por lo que se recomienda que solo sea usado por los pasajeros o acompañantes cuando viajan en carreteras rectas donde se puede alcanzar una velocidad máxima de hasta 100Km/h.

Ofrecer equipos con planes de datos acorde a la tecnología de cuarta generación, es decir planes de datos ilimitados, acceso a redes sociales ilimitadas, capacidades de descarga de al menos 1Gbps con valores asequibles a los usuarios, con el fin de conseguir un mayor mercado y contribuir al desarrollo de la provincia. Difundir propagandas sobre los

beneficios de la tecnología tanto para usuarios como para empresas. Ofrecer equipos inalámbricos conocidos como femtoceldas para expandir la conexión LTE y permitir cobertura en ambientes cerrados como casas o edificios.

Realizar la actualización de la tecnología a cuarta generación en el menor tiempo posible debido a la baja velocidad de transferencia de datos que existe en los cantones de estudio y a las exigencias de los usuarios orientado cada vez a mayores velocidades, nuevos servicios y nuevas aplicaciones que incluso ya se manejan en otros países del continente americano. Además la instalación más eNBs, dos en el cantón Santa Elena y dos en el cantón Salinas para obtener cobertura total y brindar a todos los clientes que posean un móvil 4G la experiencia de la cuarta generación como por ejemplo: videoconferencias, telemedicina, domótica, localización, observar la televisión en tiempo real, etc.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

---

- <sup>1</sup> Ministerio de Telecomunicaciones (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.mintel.gob.ec>. [2013, 22 febrero].
- <sup>2</sup> Consejo Nacional de Telecomunicaciones (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec> [2013, 20 marzo].
- <sup>3</sup> Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censo (2010). [en línea]. Disponible en: <http://www.inec.gob.ec>. [2013, 8 enero].
- <sup>4</sup> Radioaficionado (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.radioaficionado.wordpress.com>. [2013, 14 marzo].
- <sup>5</sup> Javier Esteban, Manuel López (2010). Infraestructuras comunes de telecomunicaciones en viviendas y edificios. España: Marcombo ediciones.
- <sup>6</sup> Secretaria Nacional de Telecomunicaciones (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec>. [2013, 3 abril].
- <sup>7</sup> 4gamericas (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.4gamericas.org> [2013, 5 abril].
- <sup>8</sup> GsmSpain (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.gsmSpain.com> [2013, 10 abril].
- <sup>9</sup> 3GPP (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.3gpp.org>. [2013, 15 abril].
- <sup>10</sup> Superintendencia de Telecomunicaciones (2013). [en línea]. Disponible en: <http://www.supertel.gob.ec>. [2013, 2 mayo].

---

<sup>11</sup> Ramón Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, Fernando Casadevall Palacios, Ramón Ferrús Ferre, Jordi Pérez Romero, Oriol Sallent Roig (2010). LTE Nuevas tendencias en comunicaciones móviles. España: Editorial Fundación Vodafone.

<sup>12</sup> The Global Mobile Suppliers Association (2013). [En línea]. Disponible en: <http://www.gsacom.com>. [2013, 23 mayo].

<sup>13</sup> Alcatel-lucent. (2011). Alcatel-Lucent 9326 digital 2U V2 Node B | V7.1.3 Technical. Description. [pdf]. Paris: Alcatel-Lucent, 90 hojas.

<sup>14</sup> Alcatel-lucent. (2011). Alcatel-Lucent RRH2x60W Product Description. [pdf]. Paris: Alcatel-Lucent, 40 hojas.

<sup>15</sup> Tongyu Communication. (2011). Dual-Band Variable Electrical Antenna. [pdf]. China: Tongyu Communication equipment Co, Ltd, 36 hojas.

<sup>16</sup> Alfaro, F.M, Cascante M.S, Quirós P.A, Salazar J.P, (2009). Propuesta de Requerimientos Técnicos para la Implementación de Redes Móviles con la Tecnología “long term evolution (lte)” en Costa Rica. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Eléctrica. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

<sup>17</sup> Telesemana. (2013). Redes de Transporte móvil IP/MPLS. Revista Española de tecnología, 2-11.

<sup>18</sup> Ramón Jesús Millán Tejedor. (2006). IP Multimedia Subsystem. Convergencia total en IMS. Brasil, Comunicaciones World nº 214, IDG Communications S.A.

<sup>19</sup> Nel Quezada Lucio. (2010). Estadística para ingenieros. Perú. Editora Macro E.I.R.L.

---

<sup>20</sup> Jukka Lempijäinen, Matti Manninen. (2002). Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS. Estados Unidos. Kluwer Academic Publishers.

<sup>21</sup> J.D.Parsons. (2000). The Mobile Radio Propagation Channel, Second Edition. Inglaterra. Jhon Wiley & Sons Ltd.

<sup>22</sup> Grupo de Radiocomunicaciones (2007). Tutorial de Radio Mobile. Departamento SSR. ETSIT – UPM.

<sup>23</sup> Harri Holma, Antti Toskala. (2009). LTE for UMTS OFDMA AND SC-FDMA BASED RADIO ACCES. Estados Unidos. Jhon Wiley & Sons Ltd.

<sup>24</sup> Vicente Martínez, Leandro de Haro, José Hernando Rábanos. (2000). UMTS: Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación IMT-2000 (UMTS). España. Editorial Fundación Vodafone.

<sup>25</sup> Kumar, Anurag; Manjunath, D. Kuri, Joy. (2008). Wireless Networking. Disponible en: <http://www.ebib.com>

<sup>26</sup> Garg, Vijay. (2010). Wireless Communications & Networking: an introduction. Disponible en: <http://www.ebib.com>