

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Bibliotecas Bucaramanga
Universidad Santo Tomás

Diseño de un Red 4g LTE en el Municipio de Bucaramanga y Floridablanca

Presentado por:

Ing. Pablo Cárdenas Sánchez

Ing. Daniela Gáfaro Chivatá

**Trabajo de grado para optar al título de
Especialista en Gerencia Comercial de Proyectos de Telecomunicaciones**

VII Cohorte

Evaluada por:

Diana Carolina Contrera

Ingeniero en Telecomunicaciones

Director

Mauricio Velazco

Ingeniero en Telecomunicaciones

Universidad Santo Tomas

Especialización en Gerencia Comercial de Proyectos de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2016

Agradecimientos

A la Ingeniera Diana Carolina Contreras por su orientación en el desarrollo de ésta tesis y por incentivar el trabajo en equipo para la resolución y viabilidad de temas de diseño e ingeniería.

Al Ingeniero Luis Ospina por su apoyo en la simulación y pruebas con el software Radio Mobile, el cual marcó la pauta para el desarrollo de éste proyecto.

Resumen

Este trabajo de Tesis de grado pretende desarrollar un estudio de viabilidad y factibilidad para la creación de una red celular 4G LTE en los municipios de Bucaramanga y Floridablanca en el departamento de Santander.

El municipio de Bucaramanga tiene una gran ventaja gracias a su extensión y pocos accidentes geográficos dentro de su casco urbano, lo cual permite tener una cobertura casi total en cada uno de sus rincones.

Bucaramanga se constituye hoy por hoy en uno de las ciudades más apetecidas para invertir en infraestructura tanto por recursos internos como extranjeros.

Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Planteamiento del Problema	11
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo General:	13
2.2. Objetivos Específicos:.....	13
3. Justificación	14
4. Metodología	15
4.1. Grupos del Proceso del Proyecto	16
4.2. Procesos del Proyecto.....	17
4.3. Fases del Proyecto	18
4.4. Cronograma de Actividades	19
4.5. Diagrama de Gantt	21
2. Marco Teórico.....	23
2.1. Diferencia de LTE con otras Tecnologías.....	23
2.1.1 ¿Qué es 1G?.....	23
2.1.2 ¿Qué es 2G?.....	24
2.1.3 ¿Qué es 2.5G?.....	24
2.1.4 ¿Qué es 3G?.....	25
2.1.5. ¿Qué es 3.5G?.....	25
2.1.6. ¿Qué es 4G?.....	25
2.2. Cuarta Generación.....	27
2.2.1. Tecnología LTE.....	27
2.2.3. Los Objetivos de LTE Son:	28
2.2.4. Beneficios de LTE	28
2.3. LTE Advanced	30
2.4. LTE Advanced Características Clave	31
2.4.1. Tecnologías LTE Advanced	32
2.4.2. Arquitectura LTE.....	33
2.4.3. Red de Acceso	34
2.4.4. LTE Versus 3G y 2G	36
2.4.5. Arquitectura de Protocolos de LTE	37
2.4.6. Servicios Prestados Por La Red LTE	38

3. Estado del Arte.....	42
3.1. Antecedentes	42
3.1.1. Antecedentes del Mundo	42
3.2. Subasta 4g en Colombia.....	44
3.3. Cifras en Colombia.....	49
3.4. Demografía de Bucaramanga y Floridablanca	55
3.5. Geografía de Bucaramanga y Floridablanca	56
4. Diseño de Ingeniería	59
4.1. Diseño de Red	59
4.1.1. Estaciones Base	59
4.1.2. Diseño de Celdas	64
4.2. Equipos.....	66
4.2.1. Nodo	66
4.3. Gabinete	67
4.3.1. Unidad de Procesamiento	68
4.3.2. Unidad Remota de Radio.....	69
4.3.3. Antena.....	70
4.4. Tipos de Usuarios.....	71
4.4.1. Prepago:	71
4.5. Servicios Ofrecidos	72
4.5.1. Plan Básico	73
4.5.2. Plan Intermedio.....	73
4.5.3. Plan Empresarial.....	74
4.6. Planeación de la Red	74
4.6.1. Consumo en Megas de los Planes.....	77
5. Simulación	79
5.1. Simulación En Radio Mobile	79
5.1.1. Paso A Paso	79
6. Costos y Presupuesto	89
6.1 Análisis Financiero.....	89
6.1.1 Costos de Instalación.....	89
6.2 Elementos de la Red de Acceso	89
6.2.1 Sistema Radiante	91
6.2.2 Infraestructura.....	91
6.2.3 Instalación de Equipos.....	92
6.2.4 Recurso Humano	93
6.2.4 Mantenimiento.....	94
6.2.5 Gastos Administrativos.....	94
6.3 Total De Gastos	95
6.3.1 Precio Total de Inversión de Bienes	95
6.3.2 Operación.....	96
6.3.3 Gastos Totales.....	96
6.4 Ingresos de Planes	97

6.5 Evaluación Financiera	98
7. Conclusiones	100
8. Recomendaciones	101
Bibliografía	102

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de Actividades.....	19
Tabla 2.Requisitos IMT-Advanced y capacidad anticipada para LTE-Advanced.	31
Tabla 3. Elementos del EPC (Envolved Packet Core).....	34
Tabla 4. Red de Acceso E-UTRAN.....	35
Tabla 5. Cronograma del Ministerio.....	47
Tabla 6. Abonados y variación telefonía móvil.....	51
Tabla 7. Participación en total de abonados por proveedor, Datos reportados por los proveedores de redes y servicios al MINTIC	52
Tabla 8. Participación en total de abonados por categoría, Datos reportados por los proveedores de redes y servicios al MINTIC	53
Tabla 9. Abonados e índice de penetración de telefonía móvil.....	54
Tabla 10. Pablo y Gafaro (2016).....	73
Tabla 11. Pablo y Gafaro (2016).....	73
Tabla 12. Pablo y Gafaro (2016).....	74
Tabla 13. Planes	76
Tabla 14. Plan Básicos.....	76
Tabla 15. Plan Intermedio.....	77
Tabla 16. Plan Empresarial	77
Tabla 17. Consumo en Mbps del plan básico	77
Tabla 18. consumo en Mbps para el plan intermedio	78
Tabla 19. Consumo en Mbps para el plan empresarial.....	78
Tabla 20. Elementos de la Red de Acceso	90
Tabla 21. Sistema Radiante.....	91
Tabla 22. Costos Infraestructura	92
Tabla 23. Costos Instalación de equipos.....	92
Tabla 24. Costos Recurso Humano.....	93
Tabla 25. Costos de Mantenimiento	94
Tabla 26. Gastos Administrativos.....	95
Tabla 27. Precio Total inversión de Bienes	95
Tabla 28. Costos de la operación	96
Tabla 29. Gastos Totales.....	96
Tabla 30. Ingresos de Planes.....	97
Tabla 31. Ingresos de Planes.....	98
Tabla 32. Evaluación Financiera.....	99

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cárdenas Pablo. (2015).Grupos del proceso del Proyecto.....	16
Figura 2. Cárdenas, Pablo. (2015).Procesos del Proyecto	17
Figura 3. Cárdenas, Pablo. (2015).Fases del Proyecto.....	18
Figura 4. Diagrama de Gantt.....	22
Figura 5. LTE Versus 3G y 2G	37
Figura 6. Arquitectura LTE.....	38
Figura 7. Resultados de la subasta 4G en Colombia.	49
Figura 8. Líneas TPBC y Abonados Móviles.	50
Figura 9. Abonados y Variación Telefonía Móvil.	52
Figura 10. Participación total de abonados por categoría Telefonía Móvil.	53
Figura 11. Abonados e Índice de penetración de Telefonía Móvil.	54
Figura 12. Pirámide Poblacional de Bucaramanga. Censo DANE 2005.	55
Figura 13. Relieve de la meseta de Bucaramanga.....	57
Figura 14. Vista panorámica de la Ciudad de Bucaramanga.	58
Figura 15. Enlace entre las Centrales de los Operadores de Telefonía Móvil.	62
Figura 16. Anillo de Fibra óptica para enlace con otros operadores.....	63
Figura 17. Estación base distribuida DBS3900.....	67
Figura 18. Gabinete APM 30H	68
Figura 19. Unidad de Procesamiento BBU3900.....	69
Figura 20. Unidad Remora de Procesamiento.	69
Figura 21. Diagrama de Red Móvil. Autor: Mobile Configure.	75
Figura 22. Simulación Estaciones Base En Radio Mobile.....	80
Figura 23. Enlace entre las Estaciones Base En Radio Mobile.....	81
Figura 24. Enlaces de Radio	81
Figura 25. Sistemas y Parámetros de la Antena.....	82
Figura 26. Patrón de Radiación de una Estación Base.....	83
Figura 27. Resultado Final de la Simulación	84
Figura 28. Ejemplo 1Enlace Punto a Punto	84
Figura 29. Parámetros de enlace punto a punto	85
Figura 30. Ejemplo2 Enlace Punto a Punto	86
Figura 31. Parámetros de enlace punto a punto	86
Figura 32. Alternativa de solución enlace punto a punto.....	87
Figura 33. Parametros de la Solucion Punto a Punto.....	88

Introducción

La necesidad de comunicarse inalámbricamente es solo uno de los tantos sueños que se ha forjado el hombre, el cual se ve enriquecido cada día con los nuevos avances científicos. Consecuentemente esta necesidad llega más allá trasponiendo la simple frontera de la comunicación, asciende entonces a la imperiosa pero muy satisfactoria necesidad por querer estar siempre informado. No son solo simples lujos, lo racional de esto es que por medio de un gran sistema como lo es la red celular, puede estar concretizando los dominios de su vida, teniendo así acceso a diversos temas de interés común (videojuegos, redes sociales, política, base de datos, transacciones bancarias), cosas que hace unos años solo se pensaría que existiera en relatos.

La Telefonía móvil avanza a pasos agigantados. Pasos incontrolables de placer por la tecnología. Y fiel reflejo de ello es la Tecnología Celular de Cuarta Generación. Esto ya no es una fantasía, es una realidad que se alimenta y fructifica con todos los avances científicos y que día a día hace parte de nuestro diario vivir.

Conforme a cómo va avanzando la penetración sustancial de las herramientas inalámbricas, hoy por hoy el mundo de las Telecomunicaciones cobra más importancia arraigada también en sus estándares de Calidad y robustez, influenciando la vida de cualquier ser humano con la de querer comunicarse.

Las comunicaciones móviles que están en constante evolución y sus usuarios quienes exigen mayor calidad en las llamadas, mejores costos tanto de los planes como de los terminales, amplia cobertura de los proveedores de servicio móvil y mejor solvencia a la hora de tratar temas de

aplicaciones que requieran altas velocidades, experimentan un nuevo entorno tecnológico con un amplio universo de posibilidades en donde las limitaciones no están consideradas.

Si bien es sabido que a medida que se desarrolla una nueva tecnología, los usuarios inundan con requerimientos especiales las necesidades del desarrollo de ésta, las exigencias dependen de los estándares a utilizar.

Estas exigencias se deben a la aparición de nuevas tecnologías (OFDMA Acceso múltiple por división de frecuencias de portadora, SC-FDMA) y estándares (LTE), así como a la evolución de algunas ya existentes (HSPA, WCDMA). También se debe al desarrollo de nuevos equipos móviles, nuevos programas informáticos, aplicaciones y servicios como los ya mencionados.

Según las proyecciones de Factibilidad e Implementación todo parece indicar que el estándar que abrirá el paso y sentará las bases del 4G será LTE.

Con estas nuevas destrezas plasmadas en las nuevas tecnologías móviles de cuarta generación se abrirá una gran brecha entre los que tienen que emerger e implementar 4G LTE como metodología para la satisfacción de los usuarios y los que se quedarán rezagados en los hechos circunstanciales de no evolucionar.

Solo el tiempo dirá si LTE suplió esa necesidad de esta sociedad tan cambiante y exigente, constituida con un paradigma entre los que se pueden comunicar y expresar sus ideas, pensamientos y sentimientos, y los que adoptaron una postura ajena y desinteresada. Lo cierto es que LTE está imponiendo esquemas de comunicación y conectividad jamás visto y puede llegar a ser la pauta para la integración de nuevos servicios y el desarrollo de nuevas tecnologías.

1. Planteamiento del Problema

Conforme al dinamismo mostrado por parte de las comunicaciones móviles concernientes a las dos últimas décadas, es válido decir que dependieron del crecimiento exponencial de los usuarios de voz, al amparo de un entorno cada vez más competitivo y unido al estado tecnológico y que por ende hace pensar en una demanda de aplicaciones de una generación de banda ancha.

Colombia no está exenta a estas repercusiones tecnológicas que rigen los mercados comerciales y laborales, y según las últimas estimaciones existen más líneas activas que personas en Colombia. La ciudad de Bucaramanga como punto estratégico en la zona nororiental del país es sin duda un lugar en el que se acrecientan los servicios de internet móvil y de telefonía móvil. Gracias a su gran expansión el área metropolitana de Bucaramanga es un buen punto para crear una red 4G LTE.

La ciudad de Bucaramanga, Santander, posee una red inalámbrica celular de tercera generación mediante la cual provee servicios a sus usuarios con diferentes aplicaciones. El tipo de acceso priva a sus usuarios de otros servicios incorporados lentamente pero que se consolidan en el mercado con una provisión de un buen ancho de banda, además del uso del espectro electromagnético eficiente que día a día provoca una migración de los usuarios a otros proveedores de servicios.

Con la red de 4G LTE se tiene previsto realizar un uso más eficiente del espectro radioeléctrico y por consiguiente brindar mejores servicios de banda ancha que hoy por hoy es una necesidad que tiene cada uno de los usuarios del área metropolitana de Bucaramanga. Para mejorar la calidad de servicio de telefonía provisto por la red inalámbrica de tercera generación,

se tiene la necesidad de migrar esos usuarios a una nueva red que le permita proveer telefonía básica y otros servicios (internet, video conferencia, video streaming, etc.). La solución es la migración de dichos usuarios a una nueva red inalámbrica de banda ancha LTE (Long Term Evolution). LTE es una tecnología de redes móviles desarrollada por el 3GPP (3rd Generation Partnership Project o Proyecto Asociación de Tercera Generación) y sobre la cual se basa la nueva red que podrá brindar servicios de banda ancha.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General:

Diseñar una red Celular de Cuarta Generación (LTE) para brindar los servicios de banda ancha en el área del municipio de Bucaramanga y Floridablanca.

2.2. Objetivos Específicos:

- Investigar y ejecutar los procedimientos básicos de planificación necesarios para el diseño de la nueva red LTE.
- Analizar para la red de Datos LTE los servicios que se van a prestar y Evaluar las ventajas que brinda la nueva Tecnología.
- Definir el tráfico de la red y el tráfico móvil que manejará el sistema a partir de los datos suministrados por el Ministerio de Tecnologías de la información y las comunicaciones. Realizar un análisis de Factibilidad y Viabilidad para la implementación de esta nueva Tecnología en la Región.
- Realizar un análisis de ingeniería, que contemple el estudio de equipos necesarios para la instalación de 4G LTE en el municipio de Bucaramanga y Floridablanca.

3. Justificación

En el área metropolitana de Bucaramanga se brinda los servicios de telefonía móvil y de Internet inalámbrico a más de 800.000 usuarios. Hoy se observan las nuevas tendencias en tecnologías para la comunicación como un mecanismo de integración de servicios que hoy por hoy hacen ver al sector de las Telecomunicaciones como uno de los más productivos de la industria. Es por eso que se ve la necesidad de migrar los usuarios a una nueva red la cual podrá realizar un mejor uso del espectro radioeléctrico, con el diseño de una red de cuarta generación LTE. En la ciudad se podrá brindar los servicios de banda ancha utilizando la misma red de tercera generación con la que cuenta actualmente.

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de una red LTE sobre la red ya mencionada, realizando las modificaciones correspondientes para un buen desempeño, de esta manera consolidar una eficiencia espectral mucho mayor de la que tiene actualmente, y el cual aparte de brindar los servicios de voz, se puede aprovechar para brindar servicios de internet en banda ancha, lo cual traería consigo beneficios a los usuarios por la nueva gama de servicios que se puede disfrutar en las redes de última generación.

4. Metodología

La investigación del proyecto propone una serie de estudios que van encaminados a pruebas de factibilidad los cuales proyectan un desarrollo ingenieril para las zonas inmersas en el municipio de Bucaramanga.

Para el desarrollo del proyecto se recopila información de tecnología en el ámbito nacional e internacional que cita fuentes bibliográficas de la incursión de nuevas tecnologías en la telefonía móvil y su penetración en la vida civil de sus habitantes.

Adicionalmente se realiza un estudio demográfico que incorpore elementos económicos y políticos del sector que nos encaminen a un estudio de pre factibilidad más verídico y sobre el comportamiento de la población Santandereana. Bucaramanga por ser la ciudad más importante del nororiente colombiano es propensa al desarrollo de nuevas economías y tecnologías que fortalezcan los sectores que alimentan su industria.

Seguidamente se realiza el dimensionamiento del tráfico de red con los datos obtenidos en las necesidades de la población y hacia dónde van dirigidos sus planes industriales para el desarrollo de la región. El dimensionamiento del tráfico también dependerá de procesos estadísticos donde se escogerán las estaciones bases de acuerdo a la aglomeración de habitantes por zonas, y partiendo de éste principio la selección posterior de equipos necesarios para la infraestructura de red.

Cuando exista un diseño factible para subsanar las necesidades de las zonas bumanguesas, es necesario realizar una simulación donde se incorporen las especificaciones técnicas de equipos, cobertura y línea de vista entre estaciones base.

Por último se realizará un análisis de costos donde se evidenciará el presupuesto de infraestructura, el tiempo del ROI (Return on Investment) y los beneficios que traerá consigo el proyecto.

La metodología utilizada en el proyecto está basada en PMI (Project Management Institute) el cual avanza carreras, mejora el éxito de la organización y más madura la profesión de gestión de proyectos a través de sus normas reconocidas a nivel mundial, certificaciones, recursos, herramientas de investigación académica, publicaciones, cursos de desarrollo profesional y oportunidades de networking (PMI)

4.1. Grupos del Proceso del Proyecto



Figura 1. Cárdenas Pablo. (2015). Grupos del proceso del Proyecto

4.2. Procesos del Proyecto



Figura 2. Cárdenas, Pablo. (2015).Procesos del Proyecto

4.3. Fases del Proyecto



Figura 3. Cárdenas, Pablo. (2015).Fases del Proyecto

4.4. Cronograma de Actividades

Tabla 1. *Cronograma de Actividades*

	▲ CRONOGRAMA TESIS	156 días	
	▲ Diseño de una Red Celular 4G LTE	156 días	
	▲ Fase de Aprestamiento e Inicio del PJ	36 días	
	▲ Alistamiento documentacion PJ	25 días	
	Contextualizacion proponentes stakeholders y revisión Estado del PJ	5 días	
	Definicion Alcance	10 días	5
	Definición del Diseño	10 días	6
	▲ Alistamiento de la Operación del PJ	21 días	4
	Elaboracion plan operativo del PJ	10 días	5,6
	Aprobacion del Plan Operativo	5 días	9
	Aprobación de la idea del Proyecto	5 días	10
	Aprobación INICIO DEL PROYECTO	1 día	9,10,11
	▲ Fase I Planeacion Promocion del Proyecto	20 días	12
	Contacto y definición del TUTOR del PJ	7 días	
	Reunión con el TUTOR del PJ	7 días	14
	Divulgacion del proyecto, alcance, procesos y metodología.	5 días	15
	Final Planeacion y Promocion PJ	1 día	14,15,16
	▲ Fase II Implementacion y Ejecucion del PJ	114 días	13
	Implementación de Metodología en el Proyecto	8 días	17
	▲ Marco Teórico	6 días	19
	Definición de Redes 4G LTE	3 días	
	Protocolos 4G LTE	3 días	21
	▲ Estado del Arte	12 días	19,20
	Cifras MinTIC	3 días	
	4G LTE en la Actualidad	3 días	24
	Demografía de Bucaramanga y Floridablanca	3 días	25
	Geografía de Bucaramanga y Floridablanca	3 días	26
	Pre Diseño de Red 4G LTE	8 días	27
	Aprobación del Prediseño de Red 4G LTE	2 días	28
	▲ Diseño de Red 4G LTE	30 días	19
	Selección de BS	8 días	
	Definición de Población de usuarios	4 días	31
	Definición de Planes	3 días	32
	Definición de Servicios	2 días	33
	Selección de Equipos de Infraestructura	8 días	34

✦	Presupuesto de Instalación	5 días	35
✦	✦ Simulación en Radio Mobile	66 días	30
✦	Ubicación de BS	5 días	
✦	Análisis de requerimientos de Red	3 días	38
✦	Ingreso de especificaciones de equipos	15 días	39
✦	Simulación de la Red	30 días	40
✦	Resultados de Simulación	8 días	41
✦	Corrección de requerimientos de Red	5 días	42
✦	✦ Resultados Obtenidos	10 días	37
✦	Evaluación y lecciones aprendidas de la Simulación	5 días	
✦	Preparación informe técnico	5 días	45
✦	✦ Gestión de Sostenibilidad del PJ	22 días	18
✦	Asegurar la transferencia y gestión del conocimiento mediante la generación de documentación y memorias de la metodología y contenidos.	5 días	44
✦	Transferencia de Conocimiento	3 días	48
✦	Memorias del Proceso, documentación	3 días	49
✦	Repositorios	3 días	50
✦	Aprobación - Acciones de sostenibilidad del PJ	8 días	51
✦	✦ Administración y Seguimiento del PJ	13 días	18
✦	4.1 Planificación	4 días	
✦	4.2 Administración y documentación	4 días	54
✦	4.3 Seguimiento, evaluación del PJ, lecciones aprendidas	4 días	55
✦	4.4 Cierre PJ	1 día	56
✦?	Entrega final del PJ	1 día	

4.5. Diagrama de Gantt

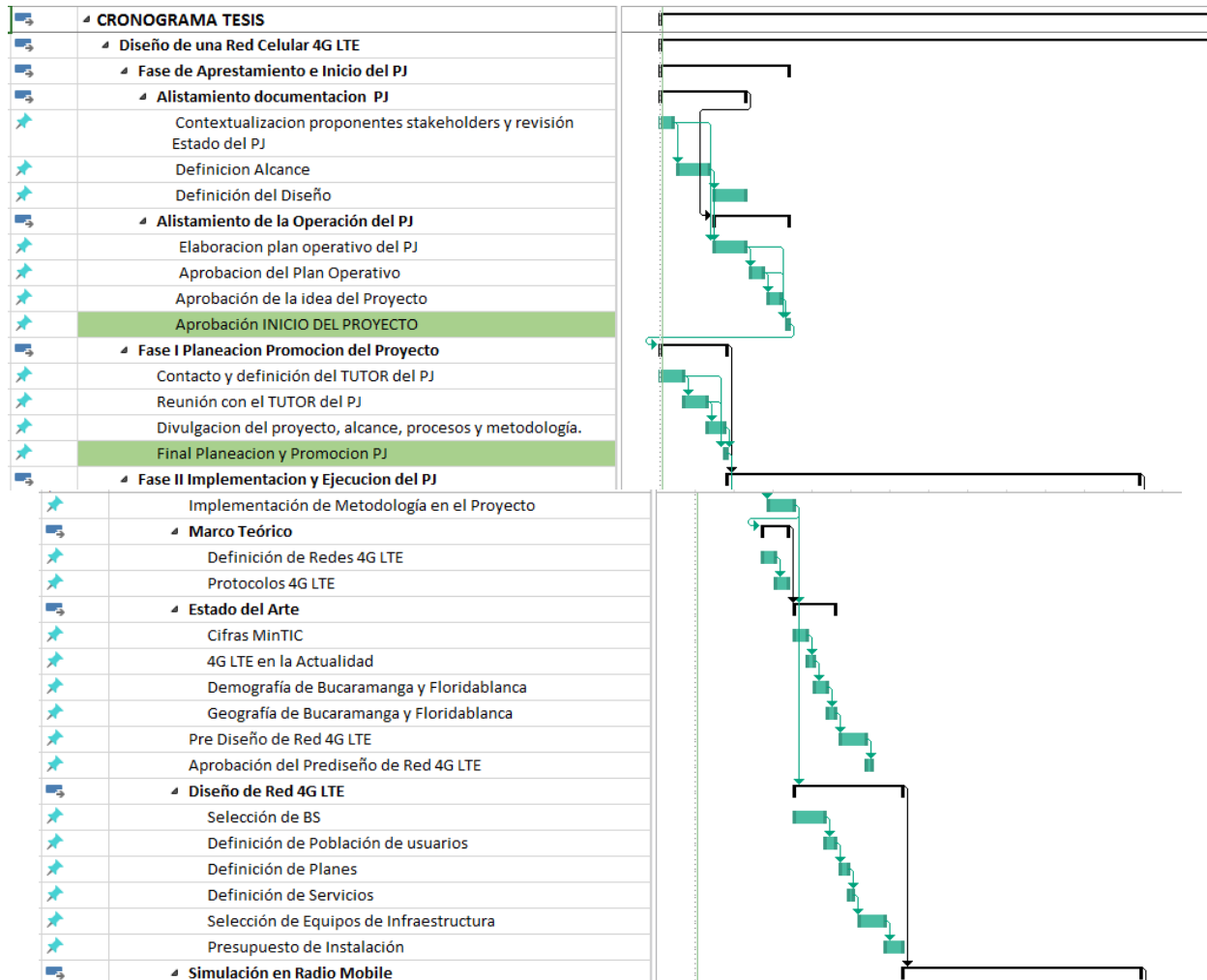




Figura 4. Diagrama de Gantt

2. Marco Teórico

2.1. Diferencia de LTE con otras Tecnologías

La nomenclatura de las generaciones inalámbricas celulares en general se refiere a un cambio en la naturaleza fundamental del servicio, tecnología de transmisión compatible pero no en sentido reverso, y nuevas bandas de frecuencia. Según como ha transcurrido ese desarrollo inalámbrico se estima que cada 10 años hay un cambio representativo que hace que se altere la manera de ver la nueva generación. Se puede decir entonces, que el primer paso se remonta al año 1981 donde se da apertura a la transmisión analógica de 1G a transmisión digital de 2G en 1992. Tomó menos de 10 años en obtener un soporte multimedia con la adopción de la tecnología 3G en 2001 gracias a su transmisión es espectro distribuido. Y finalmente en el 2011 por la 4G que se refiere a las redes conmutadas bajo protocolo IP, acceso a ultra banda ancha móvil (velocidad en gigabits) y transmisión multi-portadora. (Americas)

2.1.1 ¿Qué es 1G?

Primera generación se refiere a los primeros teléfonos analógicos introducidos para tecnología celular móvil. Los teléfonos celulares comenzaron con 1G y representan los estándares de tecnología inalámbrica analógica de primera generación que se originaron en la década de 1980. La 1G fue reemplazada por estándares inalámbricos digitales de 2G. (Peña, 2015)

2.1.2 ¿Qué es 2G?

2G significa tecnología digital inalámbrica de segunda generación. Las redes de 2G totalmente digitales reemplazaron a la 1G analógica, que se originó en la década de 1980. Éstas redes comenzaron a existir a nivel comercial en el estándar Global System for Mobile Communications, o GSM cerca del año 1991. Además del protocolo GSM, la 2G también utiliza diversos protocolos digitales adicionales, entre ellos CDMA, TDMA, iDEN y PDC. Las redes digitales de segunda generación están basadas en TDMA. (Redes Móviles de Cuarta Generación)

2.1.3 ¿Qué es 2.5G?

La tecnología inalámbrica de 2.5G es un peldaño en el camino que unió la tecnología inalámbrica de 2G con la de 3G, y a veces se la utiliza para describir a las tecnologías evolucionadas que en un principio fueron consideradas de 2G. Mientras que 2G y 3G fueron definidas oficialmente como estándares inalámbricos por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), 2.5G no fue definida y se creó únicamente con un objetivo comercial.

La evolución de 2G a 3G dio paso a transmisión de datos más veloz y de mayor capacidad. Algunas de las tecnologías que se consideraron como el paso evolutivo a la 3G son EDGE (Enhanced Data Rates for GSM) y CDMA (Code division multiple access) 2000 1X que en ocasiones se denominan “3G”, ya que ambas cumplen algunos de los requisitos de la UIT para los estándares de 3G. (Maldonado, 215)

2.1.4 ¿Qué es 3G?

3G es la tercera generación de estándares y tecnología de teléfonos móviles. Dicha tecnología sustituye a la tecnología de 2G y precede a la de 4G. Los sistemas de 3G actuales fueron establecidos mediante el proyecto de la UIT sobre Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000).

Las tecnologías de 3G habilitaron mayores velocidades de transmisión de datos, mayor capacidad de las redes y más servicios de red avanzados. (Sites.google)

2.1.5. ¿Qué es 3.5G?

De manera similar a lo que ocurre con la sigla 2.5G, la 3.5G no es un estándar reconocido oficialmente por la UIT. Se trata de un paso interino o evolutivo a la próxima generación de tecnología celular que será conocido como IMT-Advanced según las definiciones de la UIT. IMT-Advanced será la cuarta generación de tecnología celular. Las tecnologías que están dentro de la familia de tecnologías GSM y se consideran posteriores a la 3G incluyen a HSPA+ y LTE. Estas tecnologías de 3.5G a menudo también se denominan “pre-4G”. (Carbajosa, 2014)

2.1.6. ¿Qué es 4G?

4G es el término empleado para referirse a la cuarta generación de servicios inalámbricos móviles que definió la UIT y su Sector de Radiocomunicaciones (ITU-R) y estableció como definición acordada y aceptada globalmente en IMT-Advanced. (Ecured, 2016)

La UIT desarrolló requisitos para una tecnología a considerarse IMT-Advanced, que es la tecnología inalámbrica de próxima generación. Un sistema celular IMT-Advanced debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar basado en una red totalmente IP conmutada por paquetes.
- Proveer tasas de datos máximas de hasta aproximadamente 100 Mbit/s para alta movilidad, como en el acceso móvil, y hasta aproximadamente 1 Gbps para baja movilidad, como en el acceso nómada / local inalámbrico, según los requisitos de la UIT.
- Compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red para dar soporte a más usuarios simultáneos por celda.
- Ancho de banda de canal escalable 5–20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz.
- Eficiencia espectral máxima de 15 bit/s/Hz en el enlace descendente y de 6.75 bit/s/Hz en el enlace ascendente (lo que significa que debe ser posible lograr 1 Gbps en el enlace descendente en menos de 67 MHz de ancho de banda).
- Eficiencia espectral del sistema de hasta 3 bit/s/Hz/celda en el enlace descendente y 2.25 bit/s/Hz/celda para uso en interiores.
- Traspasos suaves entre redes heterogéneas.
- Capacidad de ofrecer alta calidad de servicio para soporte multimedia de próxima generación.

2.2. Cuarta Generación

Cuarta generación en telefonía móvil permite a los usuarios, entre otras cosas, acceder a servicios de voz por IP (Internet Protocol), recibir y compartir datos multimedia de alta definición. Es decir, los usuarios contarán con acceso a Internet móvil de alta velocidad y con una red inalámbrica más eficiente.

2.2.1. Tecnología LTE

LTE es parte del camino evolutivo GSM para banda ancha móvil, posterior a EDGE, UMTS, HSPA (HSDPA y HSUPA combinadas) y HSPA Evolution (HSPA+).

LTE presupone una arquitectura de red totalmente basada en Protocolo de Internet (IP) y está diseñada para dar soporte a voz en el dominio de los paquetes. Además incorpora técnicas de radio de primera línea para alcanzar niveles de performance superiores a los que resultarán prácticos con enfoques CDMA. Algo relevante es que coexiste con sistemas 3G y 2G lo que permite una escalabilidad mayor. (Uacmmobile, 2015)

Las capacidades de LTE incluyen:

- Tasas de datos máximas en el enlace descendente de hasta 326 Mbps con ancho de banda de 20 MHz.
- LTE propone la técnica de Conmutación por Paquetes IP (PS).
- proporciona un alto rendimiento para velocidades de 0 a 15 km/h y la conexión es mantenida en velocidades de 300 a 500 km/h.
- Tasas de datos máximas en el enlace ascendente de hasta 86.4 Mbps con ancho de banda de 20 MHz.

- Operación tanto en modo TDD como FDD.
 - Ancho de banda escalable hasta 20 MHz, cubriendo 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, y 20 MHz en la fase de estudio.
 - Entre dos y cuatro veces más eficiencia espectral respecto del Release 6 de HSPA.
 - Latencia reducida, hasta un tiempo de ida y vuelta de 10 milisegundos (ms) entre el equipo del usuario y la estación base, y a menos de 100 ms de transición de inactivo a activo.
- (Google, 2014)

2.2.3. Los Objetivos de LTE Son:

- El aumento de la eficiencia.
- La reducción de los costes.
- La ampliación y mejora de los servicios ya prestados.
- Una mayor integración con los protocolos ya existentes.

2.2.4. Beneficios de LTE

Como es lógico suponer existen un sin número de tecnicismos con respecto a los beneficios que pueden traer la Tecnología LTE a un usuario de terminal móvil, los más relevantes se enumeran a continuación:

- LTE proporciona velocidades máximas de bajada alrededor de 100 megabytes por segundo, mientras de subida anda por los 50 Mbps.

- Asegura a los usuarios soporte necesario para la movilidad y compatibilidad entre los sistemas, (conectividad con otras redes), con lo cual se podrá utilizar el servicio de banda ancha en cualquier momento y lugar.
 - Otorga a todo smartphone con acceso a redes 4G la posibilidad de conectarse desde y en cualquier país del mundo a velocidades similares y en algunos casos superiores a las que tiene la banda ancha tradicional.
 - Desde sus teléfonos inteligentes, los usuarios podrán conectarse a Internet con velocidades diez veces más rápidas que a través de redes de 3G, por lo tanto es enorme el mejoramiento en cuanto a la navegación por la Web.
 - Capacidad para efectuar, sin ningún tipo de cortes, videoconferencias y videollamadas con imagen y sonido de alta calidad, así como también realizar transmisiones en vivo y directo.
 - Gracias a estas redes de alta velocidad disfrutarás aún más de los juegos en red, con mejor definición y mayores propiedades.
 - Ver televisión en *high definition* y en 3D es otra posibilidad cierta con las LTE 4G.
 - Esta tecnología también permite hacer *streaming* en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones ni tiempo de espera por el *buffer*. Como ejemplo te podemos citar los videos de YouTube, los cuales visualizarás con mayor calidad.
 - La transferencia de datos se ejecutará con mayor rapidez.
 - La velocidad tampoco te impondrá límites para tener en tu smartphone el mayor número de aplicaciones.
 - Podrás subir fotos y videos de una cámara digital en tiempo real desde cualquier lugar.
- (celulares about, 2014)

2.3. LTE Advanced

LTE-Advanced es un término utilizado para nombrar a la tecnología que atiende a los requisitos de IMT-Advanced. La UIT ratificó a LTE-Advanced como IMT-Advanced en noviembre de 2010. Es significativo que LTE-Advanced es compatible tanto hacia atrás como hacia adelante con LTE, lo que significa que los dispositivos LTE operan en las redes LTE-Advanced más nuevas, y que los dispositivos LTE-Advanced operarán en las redes LTE más antiguas.

LTE-Advanced es una evolución posterior a LTE convirtiéndose en una tecnología basada en OFDMA soportada por un ecosistema impresionante de fabricantes y operadores de todo el mundo, y ya ha probado ser la tecnología de próxima generación global. (4 G americas)

Alguna de las ventajas de LTE-Advanced se pueden contemplar en la siguiente numeración:

- Mayor soporte de ancho de banda para hasta 100 MHz a través del agregado de bloques de 20 MHz (Agregación de Portadoras).
- MIMO en el enlace ascendente (dos antenas de transmisión en el dispositivo).
- MIMO de mayor orden en el enlace descendente de hasta 8 por 8 en el Release 10.
- Transmisión Multipunto Coordinada (CoMP, por su sigla en inglés) con dos enfoques propuestos: programación coordinada y/o formación de haz, y procesamiento/transmisión conjuntos en el Release.
- Soporte para redes heterogéneas (Het-net) que incluye Coordinación de Interferencia Inter-celda optimizada (eICIC, según su sigla en inglés).
- Nodos intermedios.

La siguiente tabla resume el desempeño anticipado para LTE-Advanced respecto de los requisitos de IMT-Advanced. En todos los casos, las proyecciones del desempeño de LTE-Advanced superan las de los requisitos de IMT-Advanced.

Tabla 2. *Requisitos IMT-Advanced y capacidad anticipada para LTE-Advanced.*

Item	IMT-Advanced Requirement	LTE-Advanced Projected Capability
Peak Data Rate Downlink		1 Gbps
Peak Data Rate Uplink		500 Mbps
Spectrum Allocation	Up to 40 MHz	Up to 100 MHz
Latency User Plane	10 msec	10 msec
Latency Control Plane	100 msec	50 msec
Peak Spectral Efficiency DL ¹³³	15 bps/Hz	30 bps/Hz
Peak Spectral Efficiency UL	6.75 bps/Hz	15 bps/Hz
Average Spectral Efficiency DL	2.2 bps/Hz	2.6 bps/Hz
Average Spectral Efficiency UL	1.4 bps/Hz	2.0 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency DL	0.06 bps/Hz	0.09 bps/Hz
Cell-Edge Spectral Efficiency UL	0.03 bps/Hz	0.07 bps/Hz

Fuente: Archive for the 'Computers and Internet' Category

Useless 4G Moniker. <https://vootwerk.wordpress.com/category/computers-and-internet/page/2/>

2.4. LTE Advanced Características Clave

Tras el éxito con LTE Advanced aparecieron una serie de requisitos fundamentales que se deben tener en cuenta al considerar un sistema similar. Aunque sólo son indicios, se puede hacer una premonición de lo que la tecnología traerá consigo. Actualmente algunos de los titulares principales objetivos para LTE Advanced se pueden ver a continuación:

- Velocidades de datos pico: enlace descendente - 1 Gbps; de enlace ascendente - 500 Mbps.
- La eficiencia del espectro: 3 veces mayor que LTE.
- Pico de la eficiencia del espectro: enlace descendente - 30 bps / Hz; enlace ascendente - 15 bps / Hz.
- Uso del espectro: la capacidad para apoyar el uso de ancho de banda escalable y agregación espectro donde necesita espectro no contigua a utilizar.
- Latencia: desde el ralentí a Conectado en menos de 50 ms y luego más corta que 5 ms un camino para la transmisión de paquetes individual.
- Rendimiento para el usuario borde de la célula para ser el doble que el de LTE.
- Rendimiento promedio usuario sea 3 veces la de LTE.
- Movilidad: Igual que en LTE
- Compatibilidad: LTE Advanced será capaz de interfuncionamiento con sistemas LTE y legados 3GPP. (Xatakamovil, 2015)

2.4.1. Tecnologías LTE Advanced

Hay una serie de tecnologías clave que permitirán a LTE Advanced convertirse en lo que que todo el mundo tecnológico espera. Para alcanzar las altas tasas de transferencia de datos que se requieren. MIMO y OFDM son dos de las tecnologías de base que serán facilitadores. Junto con éstos hay una serie de otras técnicas y tecnologías que se emplearán.

OFDM forma la base de la portadora de radio. Junto a ella hay OFDMA (Orthogonal Frequency División Múltiple Access), junto con SC-FDMA (Single Channel por división

ortogonal de frecuencia Múltiple Access)). Estos serán utilizados en un formato híbrido. Sin embargo, la base de todos estos esquemas de acceso es OFDM.

Uno de los otros potenciadores clave de LTE Advanced que es común a LTE es MIMO. Este esquema también es utilizado por muchas otras tecnologías, incluyendo WiMAX y Wi-Fi - 802.11n. MIMO - Múltiple Input Múltiple Output permite las velocidades de datos obtenidos a aumentar más allá de lo que el portador de radio básico normalmente permitiría.

Para LTE Advanced, es probable que implique más y más avanzadas técnicas con antenas adicionales en la matriz para permitir rutas adicionales a ser demandado, aunque, como el número de antenas aumenta, los aumentos generales y el regreso por ruta adicional es menor el uso de MIMO .

En adicional a los números de antenas cada vez mayor, es probable que las técnicas tales como la formación de haz se pueden usar para permitir que la cobertura de la antena a concentrarse allí donde se necesita.

Con el aumento de las velocidades de datos muy por encima de lo que estaba disponible anteriormente, será necesario garantizar que la red central se actualiza para satisfacer las necesidades cada vez mayores. Por tanto, es necesario mejorar aún más la arquitectura del sistema. (Google, 2015)

2.4.2. Arquitectura LTE

La arquitectura de LTE no está lejos de ser diferente a la arquitectura precedida por tecnologías como 3G con respecto a su esencia. Está compuesta por el núcleo red y la red de acceso, donde la primera corresponde al EPC (Evolved Packet Core) que proviene del SAE, mientras que la red de acceso hace referencia a la E-UTRAN. Ambas redes, tanto el núcleo de

red como la de acceso, conforman el EPS. El EPS conecta a los usuarios a la PDN por medio de la dirección IP para acceder a distintos servicios como Internet y VoIP. (Telecomsharing, 2013)

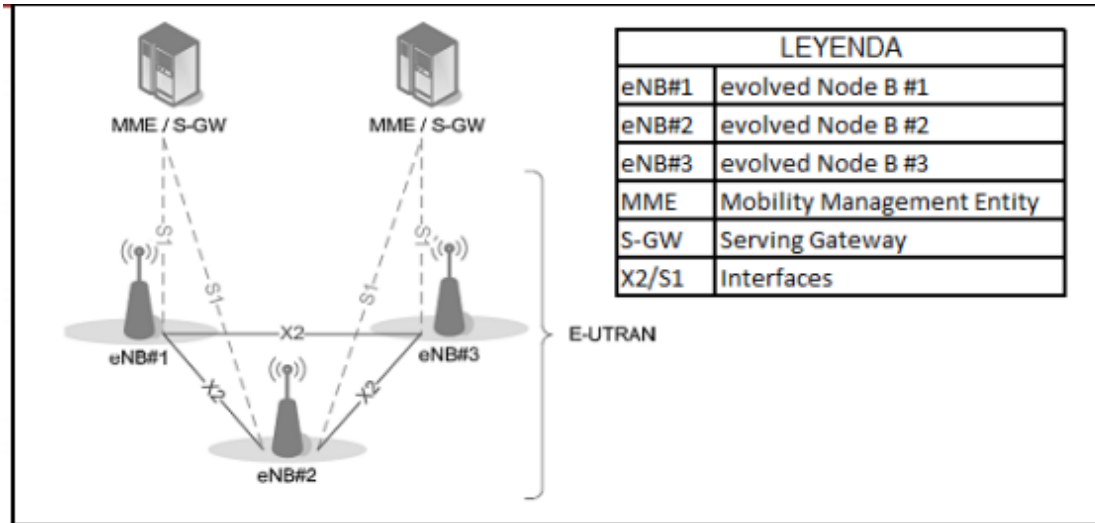
Tabla 3. *Elementos del EPC (Envolved Packet Core).*

Elementos de EPC	Función
MME	Procesar información de señalización entre el núcleo de la red y el UE. Establecer, mantener y liberar portadores (bearers). Gestionar la seguridad y el establecimiento de la conexión entre el UE y la red.
P-GW	Asignar una dirección IP para un UE así como de realizar la facturación basada en el flujo. Encargado de la aplicación de los QoS.
S-GW	Transferir paquetes IP y almacenar información de movilidad local cuando un UE transita a través de varios eNodeB.
PCRF	Provee la autorización de QoS y controla las funciones de facturación basadas en el flujo.
HSS	También conocido como HLR. Contiene datos de la subscripción del usuario e información dinámica como la identificación del MME al que el usuario está conectado actualmente.

2.4.3. Red de Acceso

La red de acceso también conocida como E-UTRAN está compuesta por una red de eNodeB conectados entre ellos a través de interfaces denominadas X2. Cada eNodeB está conectado a la EPC por medio de la interfaz S1 y está conectado a la MME a través de la interfaz S1-MME. Los protocolos que se dan entre el eNodeB y el UE se les conocen como protocolos AS.

Tabla 4. Red de Acceso E-UTRAN.



Las principales obligaciones de la red de acceso son la gestión de recursos de radio, compresión de cabecera para que la interfaz de radio pueda ser usada eficientemente en el caso de paquetes pequeños de IP, seguridad en cuanto a la encriptación, y la conectividad con la EPC en cuanto al encaminamiento y la señalización

Las redes de Acceso Radio Evolucionada constan de un único elemento, el eNB que funciona como interface con el terminal del usuario. Entre sus funciones se encuentran la administración de los recursos de radio, encriptación de la información del usuario y la compresión de los paquetes que contiene los datos.

El SAE (Service Architecture Evolution) Gateway está conformado por dos entidades lógicas, el Serving Gateway y el PDN Gateway, la cuales cumplen la función de interface entre la red de acceso y las diferentes redes de paquetes. El Serving Gateway se encarga de intervenir de forma activa en el proceso de movilidad cuando se produce un traspaso entre eNBs. El PDN Gateway es el punto de entrada o salida del tráfico desde el usuario hasta las redes externas.

El MME (Mobility Management Entity) es entidad de control encargada de la señalización y por ella no hay tráfico de paquetes de datos de los usuarios, gracias a un elemento de la red dedicado a la señalización y separado funcionalmente de los gateways, los operadores tienen la ventaja de poder crecer la capacidad de señalización de forma independiente del tráfico del usuario.

El plano de control MME es fundamental para cumplir con los objetivos de la arquitectura de la LTE que se generan a raíz de la demanda y capacidad de los servicios como el de internet móvil. MME es el nodo principal de acceso a la red LTE, administrando las interfaces de la red de acceso y el núcleo de la red. (Academia, 2015)

2.4.4. LTE Versus 3G y 2G

En 3G el Nodo B, RNC y SGSN gestiona la función de movilidad. En LTE, MME y eNode B asumen estas funciones. Un requisito clave para los móviles es la optimización de la gestión de movilidad mejorando la experiencia del usuario. Para asegurar esto 3G despliega SGSN en la RAN y en LTE se despliega MME en el RAN como se observa en la anterior figura. En 3G las funciones se concentran cerca a los centros de datos e internet, en cambio LTE permite el plano de datos ser mucho más distribuido como se muestra en la figura. (Psafe, 2014)

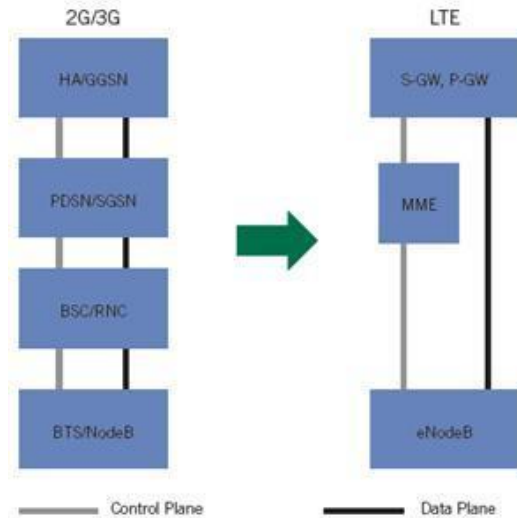


Figura 5. LTE Versus 3G y 2G

2.4.5. Arquitectura de Protocolos de LTE

El funcionamiento de los datos provienen en forma de paquetes IP de capas superiores al PDCP que se encarga de la compresión de la cabecera junto con el cifrado. Los PDUs que se originan son enviados al RLC para un procesamiento posterior. El RLC primero reúne los PDUs en RLC SDUs y luego realiza una segmentación junto con la colocación de la cabecera. Luego los RLC PDUs son enviados a la capa MAC que reúne a los MAC SDUs y los convierte MAC PDUs. Estos PDUs son enviados a la capa física, que se encarga de la codificación y decodificación de datos y organiza los PDUs enviados por la capa MAC en bloques de transporte. En cada bloque de transporte, la capa física coloca un CRC Tanto la capa física como la capa MAC serán desarrolladas posteriormente. (Tot4blog, 2013)

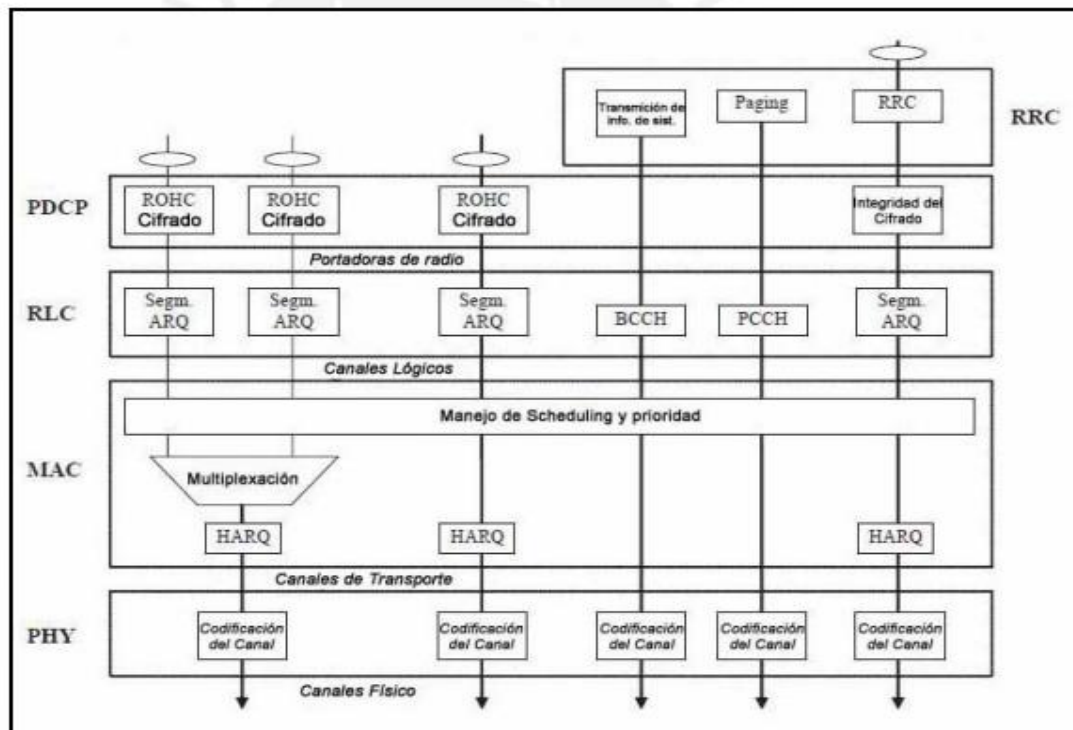


Figura 6. Arquitectura LTE.

Recuperado de <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>

2.4.6. Servicios Prestados Por La Red LTE

- navegación web.
- FTP.
- vídeo streaming.
- Voz sobre IP.
- juegos en línea.
- vídeo en tiempo real.
- (push-to-talk) .

- (push-to-view).
- Voz.
- Identificador de llamada.
- Directorio de número de emergencias.
- Restricción de llamadas.
- Retención de llamadas.
- Conferencia telefónica.
- Desvío automático de llamadas.
- Buzón de voz básico.
- Mensajes de Texto Cortos (SMS).

Los Servicios que Incluirán un Valor Agregado son:

- Video llamada
- Mensaje Multimedia Corto MMS
- Chat
- Streaming MM
- Acceso a internet por navegadores (WAP, WEB)
- Juegos interactivos
- Promociones en planes de voz y datos
- Personalización de los servicios según el usuario

Estos servicios nombrados anteriormente, están visto de manera general. De manera particular los servicios prestados por nuestra empresa serán voz y datos.

Voz

- Llamadas locales, nacionales y de larga distancia internacional.
- Llamadas a fijos u otros operadores
- Tiempo adicional o extra tiempo
- Llamadas por cobrar

Datos

- Mensajes: SMS(Mensajes Cortos) y MMS (Mensaje Multimedia Corto)
- Chat
- Promociones. Mensajes Push (sin valor agregado)
- Horóscopo
- Chistes
- Noticias
- Información (Recomendaciones, Salud, Amor, Etc)
- Deportes
- Economía

Servicios Adicionales

- Recargas Electrónicas: Permite recargar un celular con cuenta control o prepago desde el mismo celular a través de ciertas entidades bancarias.

- Identificador de llamada: Con este servicio se podrá identificar en el celular el número del cual proceden llamadas entrantes.
- Llamadas en Espera: Mientras se tenga establecida una conversación se podrá recibir otra llamada, de esta forma se pueden tener conversaciones al aire y cambiarse entre ellas cuantas veces quieran.
- Roaming Internacional.
- Acceso a Internet.
- Marcación Especial.
- Servicios públicos en telecomunicaciones.
- Servicio básico.
- Tele servicio.
- Servicios fijos.
- Tpbclcd telefonía pública básica conmutada larga distancia.
- Telefonía rural.
- Servicios móviles.
- Pcs.

3. Estado del Arte

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes del Mundo

La tecnología 4G es la cuarta generación en telefonía móvil que permite a los usuarios entre otras cosas, acceder a servicios de voz por IP (Internet Protocol), recibir y compartir datos multimedia de alta definición.

Para los que no creían que era posible navegar a una mayor velocidad desde un dispositivo móvil, la tecnología 4G demuestra lo contrario. Con la llegada de esta innovación al mundo navegar a 100 megabytes por segundo en móviles para acceder de forma más rápida y eficiente a los servicios de la Web.

Antes de empezar a analizar y conceptualizar cada uno de los componentes de una red móvil 4G es necesario citar y comprender cómo ha trascendido la tecnología móvil desde sus inicios hasta nuestros días.

Está claro que, en la historia de la red móvil, siempre podemos hablar de un antes y un después. A día de hoy, incluso podríamos hacer un balance entre antes del 3G y después del 3G.

Para poder comprender las repercusiones de esta hazaña hay que remontarnos al año 1901 concretamente al momento en el que Marconi logró transmitir su voz a través del Océano Atlántico gracias a la primera comunicación inalámbrica conocida, fruto de su ingenio. (Vidas,

Biografías y, 2014) A partir de ese preciso instante, podemos decir que la historia de la red móvil comenzó a escribirse.

Sólo hasta el año 1970, la conocida compañía llamada AT&T creó un novedoso sistema que admite un espectro de frecuencia más amplio, mejorando así las comunicaciones. (Ruiz, 2013)

Tres años después, concretamente el 3 de abril de 1973, se vivió uno de los hechos históricos de la tecnología, un directivo de Motorola por aquella época, Martin Cooper, realizó la primera llamada con un teléfono móvil desde el hotel Hilton de la Sexta Avenida de Nueva York. No sería hasta el año 1975, cuando la FCC (Federal Communication Committee) concediera a AT&T la primera licencia para lanzar un servicio de red móvil en la ciudad de Chicago. Este servicio se llamó AMPS (Advanced Mobile Phone Service). (Diario de un Teleco, 2014)

Posteriormente hasta el año 1980, tras varios intentos y tras una serie de acontecimientos que fueron reforzando y mejorando un sistema inalámbrico el cual trajo consigo una nueva generación denominada 1G. (Ohmyphone.orange, 2009)

Así llegó la primera generación de la Red Móvil (1G) la cual llegó en los años 80s. Era una época donde ya existían varias redes móviles, todas aquellas basadas en una sola antena.

Estas redes contaban con un número limitado de canales y requerían del uso de terminales analógicos.

Fue en 1991 cuando llegó el esperado 2G, su gran cambio fue pasar de una sistema analógico a uno digital. Las redes 2G, llegaron de la mano del standard mundial denominado Global System for Mobile Communications (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), más conocido como GSM. (wikipedia, 2015) La red 2G GSM fue utilizada por primera, comercialmente hablando, en 1991 por el operador finlandés 'Radiolinja'.

Hubo un intermedio entre 2G y 3G llamado 2.5G, un paso en la evolución de la red móvil que puso en aumento la velocidad de la transmisión de Datos. Tecnologías como la EDGE son fiel prueba de ello. (Cancela, 2015)

3G, la tercera generación de la red móvil, llegó inicialmente de la mano de la japonesa NTTDoCoMo en mayo de 2001 bajo la marca FOMA. En el mes de octubre de 2001 llegó el primer lanzamiento comercial de 3G en Japón. Además de habilitar una capacidad de red, mayor velocidad de transmisión de datos y más servicios de red avanzados, propició la llegada de la tecnología UMTS-HSPA. (ohmyphone.orange, 2009)

Así como entre 2G y 3G existió un paso intermedio, la red 3.5G fue un paso intermedio evolutivo hasta la llegada del esperado 4G. Puede decirse que abrió las puertas a la tecnología conocida como IMT-Advanced y a las denominadas HSPA+ y LTE. (miguel-huamani)

UIT indicó que IMT-Advanced es considerada '4G', aunque este término puede aplicarse también a las tecnologías antecesoras como LTE y WiMAX. 4G es la red móvil basada en el protocolo IP capaz de proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbit/s, manteniendo la calidad del servicio.

La empresa NTT DoCoMo fue la primera en realizar experimentos con las tecnologías 4G hasta que en diciembre de 2010 en Tokyo, Nagoya y Osaka, lanzó los primeros servicios 4G basados en tecnología LTE. (Antecedente Red Movil Celular, 2000 - 2016)

3.2. Subasta 4g en Colombia

Colombia como un país es vía de desarrollo tiene que adaptarse los diferentes métodos que hacen que el mundo funcione concorde a la Globalización. Como potencial absoluto en búsqueda de

nuevos mercados emergentes se encuentra los de las tecnologías de la información, gracias a las pautas mostradas en las últimas décadas donde se ve un crecimiento exponencial en todos los ámbitos comerciales. Las redes de telefonía celular han traído al país varios cambios que hace unos años eran difíciles de creer, pero que hoy se constituyen como pilar fundamental de una sociedad que intenta progresar a pesar de tanta adversidad.

El Gobierno de Colombia y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), en conjunto con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) tras varios intentos de traer al país la tecnología de 4G adelantan desde el 22 de marzo de 2012 el proceso para asignar -a través del mecanismo de subasta- permisos para uso del espectro radioeléctrico en donde funcionarán las redes de cuarta generación, más conocida como 4G. (Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2012)

Durante este tiempo, se ha abierto diversos espacios de participación para que, en conjunto con los operadores, las entidades gubernamentales, organismos internacionales y la sociedad civil en general, se pueda estructurar el proceso de subasta de una forma participativa y transparente. Dicha subasta tuvo la siguiente cronología del proceso:

- **22 de marzo de 2012:** El Ministerio TIC presentó ante los operadores y los medios de comunicación el proceso de subasta para el uso del espectro para implementar redes de cuarta generación en Colombia
- **20 de abril de 2012:** fueron publicados los comentarios hechos al borrador de resolución.

- **22 de mayo de 2012:** Se realizó el Foro Internacional de 4G, con la participación del Presidente de la República, Juan Manuel Santos y con expertos nacionales e internacionales en el uso del espectro.
- **23 de mayo de 2012:** Se realizó la Audiencia Pública de Presentación de Comentarios al Proyecto para Asignación de Espectro 4G.
- **Del 2 al 6 de julio de 2012:** Se realizó la XIX reunión del Comité Consultivo Permanente II (CPPII) de la CITEL, entidad adscrita a la OEA, y en el marco de ésta, el Ministerio TIC y la ANE realizaron un panel sobre el proceso de subasta 4G.
- **31 de julio de 2012:** El Ministro TIC, Diego Molano Vega, participó en la audiencia pública sobre la subasta de espectro electromagnético para Internet de alta velocidad o tecnología 4G, que convocó la Comisión Sexta del Senado.
- **15 de agosto de 2012:** El Ministerio TIC y la ANE presentan a los medios de comunicación el documento de análisis de alternativas de diseño de subasta de 4G
- **24 de agosto de 2012.** Audiencia pública de presentación de comentarios del documento de análisis de alternativas de diseño de subasta de 4G
- **1 de noviembre de 2012.** Prioridad del Gobierno: los usuarios y la sana competencia. Ministro TIC exige calidad a los operadores para participar en 4G
- **9 de noviembre de 2012.** El Ministerio TIC publica el segundo proyecto de resolución para la estructuración de la Subasta 4G
- **28 de noviembre de 2012.** MinTIC y ANE realizaron audiencia pública del segundo proyecto de resolución para la Subasta 4
- **29 de noviembre de 2012.** El MinTIC publica comentarios del sector al segundo proyecto de resolución para la Subasta 4G

- **12 de marzo de 2013.** El Ministerio TIC presentó la Resolución 449 de 2013 donde se definen las condiciones para el Proceso de Subasta 4G.
- **30 de abril de 2013:** El Ministerio TIC expide la Resolución 000987 del 26 de abril de 2013 con la cual se modificando algunas condiciones de la Subasta 4G incluidas en la Resolución 449 de 2013 "Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para otorgar permisos para el uso de hasta 225 MHz de espectro radioeléctrico en las bandas de 1.850 MHz a 1.990 MHz, 1.710 MHz a 1.755 MHz pareada con 2.110 MHz a 2.155 MHz y 2.500 MHz a 2.690 MHz para la operación y prestación del servicio móvil terrestre"

Así mismo, fueron organizados espacios orientados a hacer pedagogía sobre el tema con la prensa especializada, para dar a conocer los escenarios y las posibilidades que representa la implementación de la tecnología 4G en Colombia (Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2012)

Para dicho proceso de adjudicación propuesto por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones se planteó el siguiente cronograma:

Tabla 5. *Cronograma del Ministerio.*

ITEM	Fechas
Resolución definitiva	11/MARZO/2013
Presentación de solicitudes	9/MAYO/2013
Informe final de Participantes Habilitados	18/JUNIO/2013
Simulación	20/JUNIO/2013
Subasta	26/JUNIO/2013

Fuente; Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Retomado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

Después de más de un año de espera, el Gobierno concesionó finalmente los 225 MegaHertz (MHz) de espectro radioeléctrico con los que espera masificar en el país la tecnología 4G.

El gran ganador de la subasta según los resultados fue la firma estadounidense DirecTV, que se hizo a dos segmentos de espectro en la frecuencia de 2.500 MHz, por los que pagará alrededor de \$150.000 millones.

También se fortalecerá la participación en el mercado de Avantel, que se quedó con un segmento en la banda AWS (entre 1.700 y 2.100 MHz); en contraste, la firma mexicana Azteca Comunicaciones sufrió un duro revés al no ser adjudicataria de porción alguna.

En total, la subasta le dejó al Estado ingresos totales por más de \$770.000 millones que serán invertidos en programas sociales dirigidos por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC).

Así las cosas queda por fuera la propuesta de la compañía Promesa de Sociedad Futura Azteca 4G, que solo aguantó hasta la segunda puja y con el incremento sustancial de los recursos que recibirá el Gobierno, se cumplió la subasta que busca implementar en el país la telefonía, voz y datos de cuarta generación.

Ante el retiro de Azteca, las cinco empresas que prestarán el servicio de 4G, posiblemente desde diciembre, serán Avantel, Claro, Directv, ETB-Tigo y Movistar.

Movistar se hizo a una frecuencia y tendrá que desembolsar 197.899 millones de pesos; Claro deberá pagar 119.995 millones de pesos por el bloque asignado, la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá (ETB) se comprometió a pagar 195.749 millones por una frecuencia y Avantel pagará 107.464 millones de pesos.

La firma Directv que se hizo a dos frecuencias se comprometió a pagar 148.000 millones de pesos.

Se pasa de tres operadores de tercera generación (3G) a seis, en el servicio de cuarta generación, explicó el ministro de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, Diego Molano Vega, que se mostró satisfecho con el resultado de la subasta. Al grupo de los cinco proponentes ganadores de la subasta se agrega la firma paisa UNE. (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2015). (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2014)

Resultados subasta de 4G					
Empresa	Bloque adjudicado	Valor TOTAL COP \$ 770.530.882.800	Obligación de tabletas 556.374	Cobertura en Cabeceras Municipales	Migración
	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30MHz	COP \$ 119.995.866.000	309.630	660	Armada Nacional
	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30MHz y reservado de 40MHz	COP \$ 71.856.366.000 COP \$ 77.565.288.000	30.000	57	Policía Nacional
	Banda AWS Bloque Reservado	COP \$ 107.464.140.000	30.000	57	
	Banda AWS Bloque abierto	COP \$ 195.749.940.000	67.426	144	
	Banda AWS Bloque abierto	COP \$ 197.899.222.800	119.317	255	
	Sin asignación				
La migración de la red del Comando General de las Fuerzas Militares la realizan entre todos los asignatarios					

Figura 7. Resultados de la subasta 4G en Colombia.

Recuperado de <http://www.enter.co/cultura-digital/colombia-digital/cifras-y-reacciones-de-la-subasta-de-4g/>

3.3. Cifras en Colombia

El Ministerio de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones en su afán de proporcionar las herramientas más factibles para el desarrollo tecnológico de Colombia se ha constituido en un pieza clave para el envión que tiene la economía Colombiana en la región.

Dichas factibilidades han mejorado no solo el advenimiento de la industria si no también la calidad de vida de las personas manifestándose en la apertura a nuevas tecnologías de la información.

Este abanico de posibilidades están reflejadas en las cifras que trimestre tras trimestre el MinTIC publica en su página oficial. Para empezar a hablar de 4G en Colombia es necesaria una contextualización de los datos y cifras que se maneja hoy en día en Colombia como el índice de penetración de la telefonía móvil.

En la siguiente tabla se observa un versus entre las líneas activas de Telefonía pública Básica conmutada (TPBC) y las líneas activas de telefonía móvil. Año tras año se evidencia un crecimiento de las líneas de telefonía móvil gracias a su penetración aceptada por la sociedad. Mientras por parte de la TPBC existe una estabilidad a pesar de que ha existido un decrecimiento.

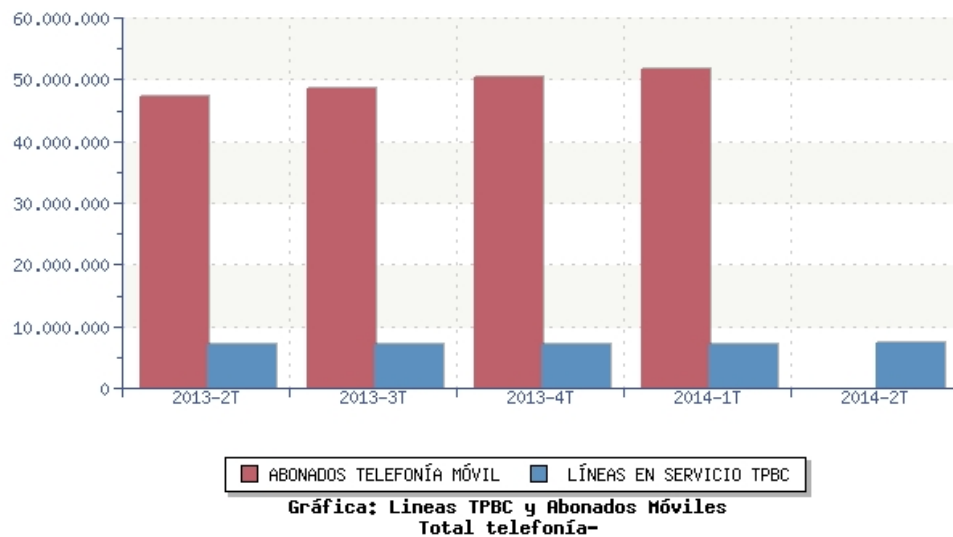


Figura 8. Líneas TPBC y Abonados Móviles.

Recuperado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

Es increíble que desde el año 2010 existas más líneas activas de telefonía móvil que personas en Colombia, lo que demuestra una vez más que el crecimiento y aceptación por parte de los colombianos ha sido exponencial.

Tabla 6. *Abonados y variación telefonía móvil.*

TRIMESTRE	TOTAL	VARIACION
2010-1T	41954588	0,00%
2010-2T	42682645	1,70%
2010-3T	43405330	3,50%
2010-4T	44477653	6,00%
2011-1T	45342049	8,10%
2011-2T	46314709	10,40%
2011-3T	47747912	13,80%
2011-4T	46200421	10,10%
2012-1T	46842257	11,60%
2012-2T	47885376	14,10%
2012-3T	48699217	16,10%
2012-4T	49066359	17,00%
2013-1T	46375923	10,50%
2013-2T	47313686	12,80%
2013-3T	48638009	15,90%
2013-4T	50295114	19,90%
2014-1T	51594619	23,00%

Recuperado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

Hoy en día según los datos entregados por el Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones MinTIC existen más de 51 millones de líneas activas de telefonía móvil con una variación del 23%.

Como desde sus inicios los planes Prepago son más utilizados que los Pospago ya que es económicamente más factible y más cómodo para los usuarios la adquisición de un plan prepago.

Tabla 8. Participación en total de abonados por categoría, Datos reportados por los proveedores de redes y servicios al MINTIC

CATEGORIA	2010-1T	2010-2T	2010-3T	2010-4T	2011-1T	2011-2T	2011-3T	2011-4T	2012-1T	2012-2T	2012-3T	2012-4T	2013-1T	2013-2T	2013-3T	2013-4T	2014-1T
POSPAGO	15,76%	16,08%	16,22%	16,49%	16,79%	16,93%	17,08%	18,34%	18,66%	18,73%	18,86%	19,23%	20,69%	20,79%	21,60%	21,38%	13,82%
PREPAGO	84,24%	83,92%	83,78%	83,51%	83,21%	83,07%	82,92%	81,66%	81,34%	81,27%	81,14%	80,77%	79,31%	79,21%	78,40%	78,62%	61,82%
TOTAL	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	24,36%

Sin embargo en el primer trimestre del año 2014 se vio un decrecimiento sustancial de los planes Prepago y Postpago.

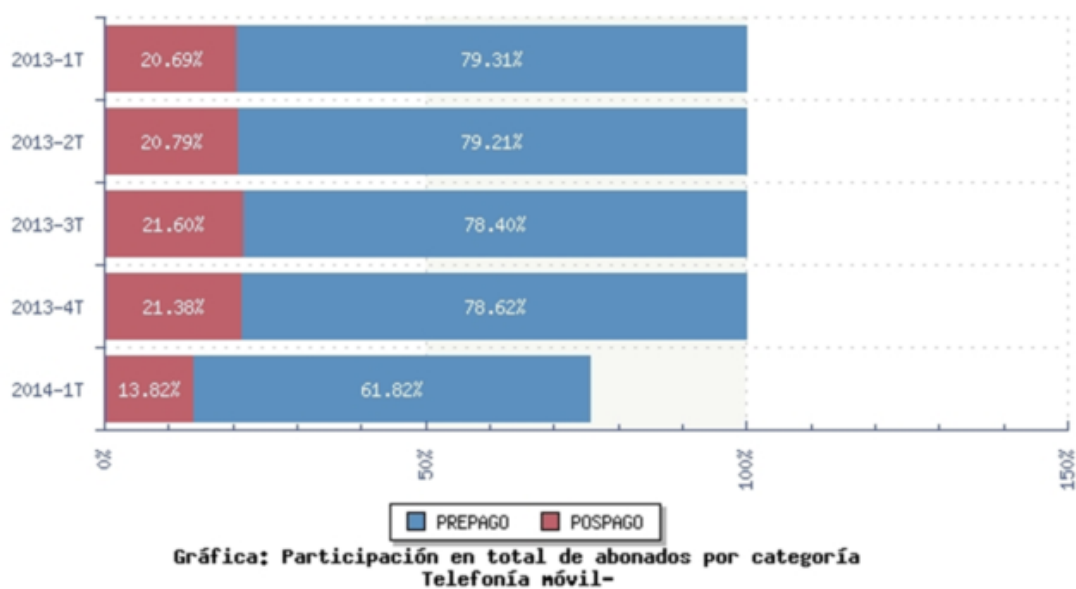


Figura 10. Participación total de abonados por categoría Telefonía Móvil.

Recuperado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

El índice de penetración de las tecnologías móviles cada año va aumentando a razón de la necesidad de la obtención de nuevos servicios que satisfagan las necesidades de los usuarios, dejando atrás tecnología que se resisten a desaparecer con el tiempo como la TPBC. (Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2015)

Tabla 9. Abonados e índice de penetración de telefonía móvil.

TRIMESTRE	ABONADOS	PENETRACION
2010-1T	41954588	92,20%
2010-2T	42682645	93,80%
2010-3T	43405330	95,40%
2010-4T	44477653	97,70%
2011-1T	45342049	98,50%
2011-2T	46314709	100,60%
2011-3T	47747912	103,70%
2011-4T	46200421	100,30%
2012-1T	46842257	100,60%
2012-2T	47885376	102,80%
2012-3T	48699217	104,50%
2012-4T	49066359	105,30%
2013-1T	46375923	98,40%
2013-2T	47313686	100,40%
2013-3T	48638009	103,20%
2013-4T	50295114	106,70%

Recuperado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

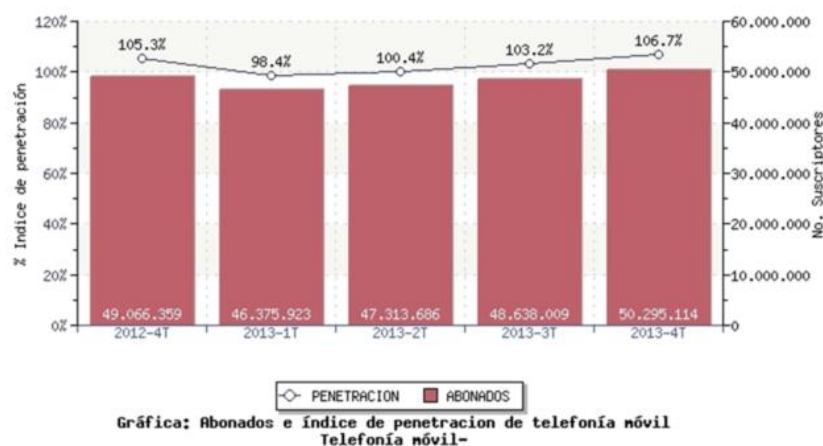


Figura 11. Abonados e Índice de penetración de Telefonía Móvil.

Recuperado de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

3.4. Demografía de Bucaramanga y Floridablanca

Bucaramanga presenta una demografía proyectada de 526-056 habitantes, equivalente al 1,1% del total de la población nacional, de los cuales 519.384 (98,7%) habitan en el casco urbano y 6,672 (1,3%) viven en la zona rural, según el censo nacional del DANE en 2005. La desagregación por género y zona es similar a nivel nacional y departamental, al observarse mayor concentración de la población en la zona urbana y representación de las mujeres. (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

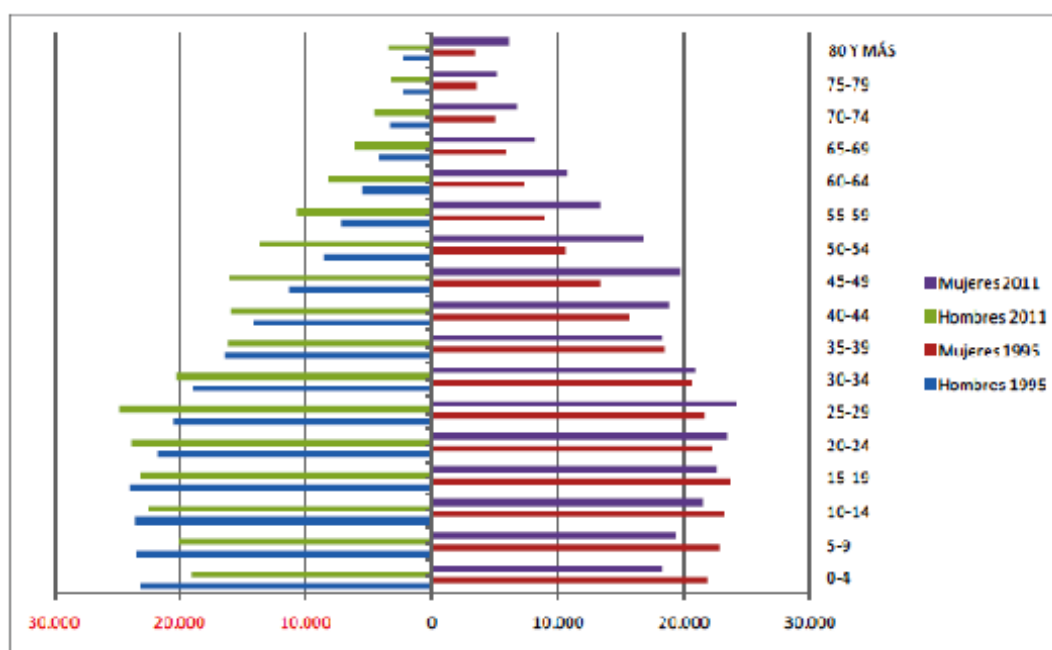


Figura 12. Pirámide Poblacional de Bucaramanga. Censo DANE 2005.

Recuperado de <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?param=277>

El promedio de personas por hogar es de 3,6 habitantes. El 9,2% de la población mayor de 4 años que reside en la actualidad procede de otro municipio y el 0,3% de otro país. El 6,1% de la población presenta alguna limitación permanente, que corresponde al 6,3% en los hombres y al

6,0% en las mujeres. El 52,4% de las viviendas de Bucaramanga son casas, mientras que el 40,4% son apartamentos y el 7.2% restante corresponde a habitaciones u otros. (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

Con respecto a la población del Área Metropolitana cuenta con una población de 1.122.945 habitantes, adicionalmente cuenta con una densidad poblacional de 1041,3 habitantes por Km cuadrado. La distribución con respecto a los municipios que pertenecen al área metropolitana es la siguiente:

- Bucaramanga: 527.913 habitantes.
- Floridablanca: 265.407 habitantes.
- San Juan de Girón: 180.377 habitantes.
- Piedecuesta: 149.248 habitantes.

3.5. Geografía de Bucaramanga y Floridablanca

En el siguiente ITEM se describe un análisis de la geografía del terreno en los municipios de Bucaramanga y Floridablanca, y sus repercusiones en la implementación de una red 4G LTE.

Está ubicada al nordeste del país sobre la cordillera Oriental, rama de la cordillera de los Andes, a orillas del río de Oro. Limita al Norte con Rionegro;³⁶ por el Oriente con los municipios de Matanza,³⁷ Chara³⁸ y Tona.³⁹ por el Sur con Floridablanca y; por el Occidente con Girón. (Wikipedia, 2015)

Bucaramanga posee un área de 162 km². La altura es variada en el área y las diferentes altitudes de algunos puntos del suelo permiten que la ciudad se encuentre en varios pisos térmicos que se distribuyen en cálido 55 km², medio 100 km² y frío 10 km².

La meseta de Bucaramanga comienza por el este al pie del Macizo de Bucaramanga, y queda delimitada por el oeste por una escarpa vertical, en cuya base comienza una topografía disectada por corrientes de agua intermitentes que dan al territorio una morfología dendrítica. Cerca de la banda occidental del río aparecen también restos de materiales que forman la meseta, de rocas formadas en los periodos jurásico y triásico. El suelo agrupa una sucesión de mantos casi horizontales que varían litológicamente entre conglomerados, limonitas, arcillas, areniscas y gravas.

El casco urbano por encontrarse sobre una meseta facilita la cimentación de edificios, viviendas, centros comerciales, parques, y demás construcciones que enriquecen diferentes sectores que moldean el relieve de la ciudad. Por no tener sistemas montañosos que atraviesan la ciudad, la instalación de estaciones bases celulares no poseen inconvenientes con las líneas de vista que estructuran la red celular. (Areá Metropolitana de bucaramanga, 2015)

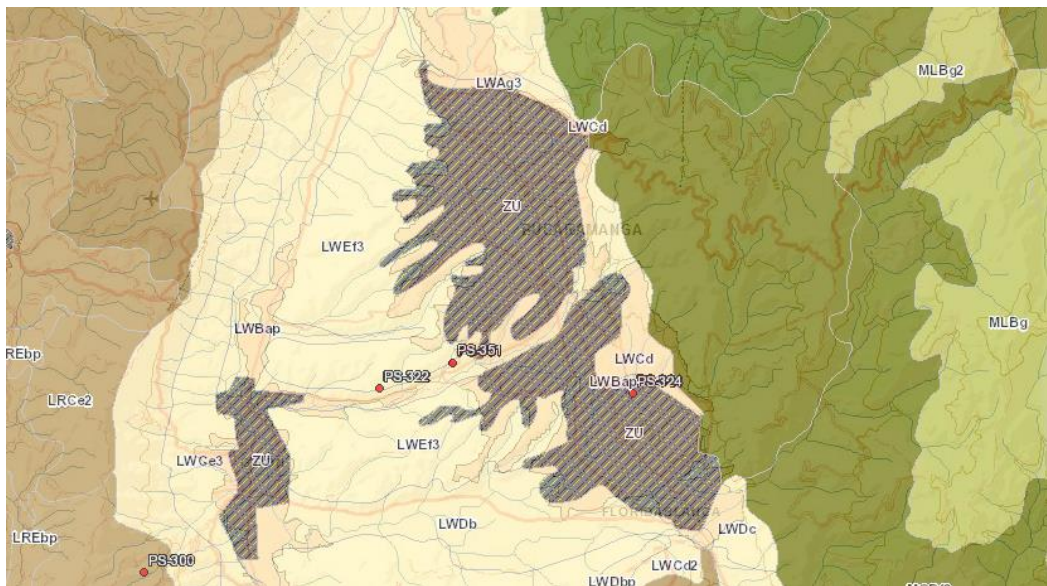


Figura 13. Relieve de la meseta de Bucaramanga.

Recuperado de http://geoportal.igac.gov.co:8888/siga_sig/Agrologia.seam

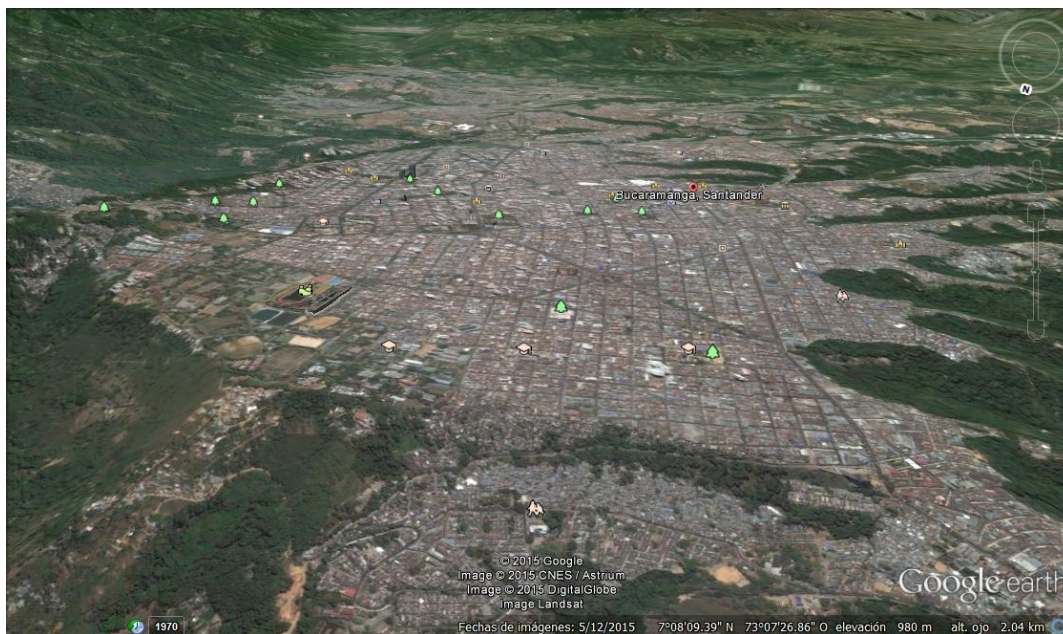


Figura 14. Vista panorámica de la Ciudad de Bucaramanga.

Recuperado de Google Earth

4. Diseño de Ingeniería

4.1. Diseño de Red

4.1.1. Estaciones Base

Es muy importante para el diseño Ingenieril de la Red celular 4G LTE tener bien concebidos algunos parámetros que repercuten importantemente en la concepción del funcionamiento integral de todos los servicios ofrecidos. Uno de los parámetros más importantes es la ubicación de las estaciones bases, ya que de esto dependerá factores como línea de vista y la cobertura. Estas estaciones Base de escogieron teniendo en cuenta la ubicación de las estaciones de los operadores existentes

A continuación se relaciona la ubicación, altura y coordenadas de cada una de las estaciones bases de la red celular.

ESTACION BASE	UBICACION	ALTURA	COORDENADAS
BS 1	13 de junio	Edificio(30m)+torre(5m) = 35m	7°09'00.90''N 73°08'00.64''O
BS 2	Carr 22 cll 12 comuneros	Edificio(20m)+torre(5m) = 25m	7°08'06.73''N 73°07'30.04''O
BS 3	Carr 32 cll 30 Hospital Universitario	Torre= 25m	7°07'41.24''N 73°06'53.45''O
BS 5	Carr 8 cll 44 cerca a la gobernación	Edificio(30m)+torre(5m) = 35m	7°06'45.71''N 73°07'50.97''O
BS 6	Carr 5 cll 26 Granada	Torre= 40m	7°07'48.82''N 73°08'00.76''O

ESTACION BASE	UBICACION	ALTURA	COORDENADAS
BS 7	Carr 90cc cll 45 Santander	Edificio(20m)+torre(5m) = 25m	7°07'20.50''N 73°07'24.24''O
BS 8	Bavaria	Torre= 45m	7°09'39.72''N 73°08'16.75''O
BS 9	Carr 30 cll 51 Avenida Gonzales Valencia	Torre= 30m	7°06'50.66'' N 73°06'54.49''O
BS 10	Ciudadela Real de minas	Torre= 45m	7°06'16.23''N 73°07'41.76''O
BS 11	Antonia Santos	Torre= 40m	7°06'03.57''N 73°06'44.81''O
BS 12	Carr 40 cll 47 UNAB	Torre= 25m	7°07'03.67''N 73°06'19.43''O
BS 13	Carr 54 cll 72 Lagos del Cacique	Torre= 25m	7°06'04.39''N 73°05'54.82''O
BS 14	Carr 148 cll Belén	Torre= 28m	7°05'41.15''N 73°05'37.93''O
BS 15	Zapamanga	Torre= 35m	7°05'15.08''N 73°05'53.71''O
BS 16	Campo Hermoso	Edificio(30m)+torre(5m) = 35m	7°06'18.28''N 73°08'21.81''O
BS 17	Carr 23 cll 104 Provenza	Torre= 35m	7°05'09.14''N 73°06'48.92''O
BS 18	Carr 15 cll 105 Toledo plata	Torre= 43m	7°04'42.47''N 73°07'20.19''O
BS 20	Carr 19 cll 38 la cumbre	Torre= 28m	7°04'39.88''N 73°05'17.69''O
BS 21	Carr 13 cll 5 Altamira	Torre= 35m	7°03'49.81''N 73°04'54.93''O
BS 22	Ciudad Valencia	Torre= 30m	7°04'42.93''N 73°05'59.75''O
BS 23	Carr 22 cll 31 Cañaveral	Torre= 43m	7°03'52.28''N 73°06'29.98''O
BS 24	Jardín Botánico	Torre= 45m	7°04'02.86''N 73°05'40.26''O
LTE1	Hospital universitario	Torre= 30m	7°07'36.54''N 73°06'54.02''O

ESTACION BASE	UBICACION	ALTURA	COORDENADAS
LTE2	Carr 8 cll 44 cerca a la gobernación	Edificio(30m)+torre(5m) = 35m	7°06'45.71''N 73°07'50.97''O
LTE 3	Carr 30 cll 51 Avenida Gonzales Valencia	Torre= 30m	7°06'50.66'' N 73°06'54.49''O
LTE 4	Carr 40 cll 47 UNAB	Torre= 25m	7°07'03.67''N 73°06'19.43''O
LTE 5	Ciudadela Real de minas	Torre= 45m	7°06'16.23''N 73°07'41.76''O
LTE 6	Antonia Santos	Torre= 40m	7°06'03.57''N 73°06'44.81''O
LTE 7	Carr 54 cll 72 Lagos del Cacique	Torre= 25m	7°06'04.39''N 73°05'54.82''O
LTE 8	Carr 23 cll 104 Provenza	Torre= 35m	7°05'09.14''N 73°06'48.92''O
LTE 9	Carr 22 cll 31 Cañaveral	Torre= 43m	7°03'52.28''N 73°06'29.98''O
LTE 10	Jardín Botánico	Torre= 45m	7°04'02.86''N 73°05'40.26''O
LTE 11	Carr 13 cll 5 Altamira	Torre= 35m	7°03'49.81''N 73°04'54.93''O
BS25	Morro rico	Torre= 25m	7°08'06.48''N 73°05'51.47''O
BS26	aeropuerto	Torre= 25m	7°07'33.18''N 73°09'42.19''O
MSC	Hospital universitario	Torre= 30m	7°07'36.54''N 73°06'54.02''O
COMCEL	Calle 11 cra 16	Torre=40m	7°08'06.64"N 73°07'48.97"O
MOVISTAR	Calle 48 18 2-100	Torre=40m	7°05'26.84''N 73°06'38.75''O
TIGO	Cra 35a No. 48-15	Torre=35m	7°06''37.22''N 73°06'29.29''O
RTPC	Cra 15 calle 36	Torre=40m	7°07'0504.87N 73°06'35.60''O

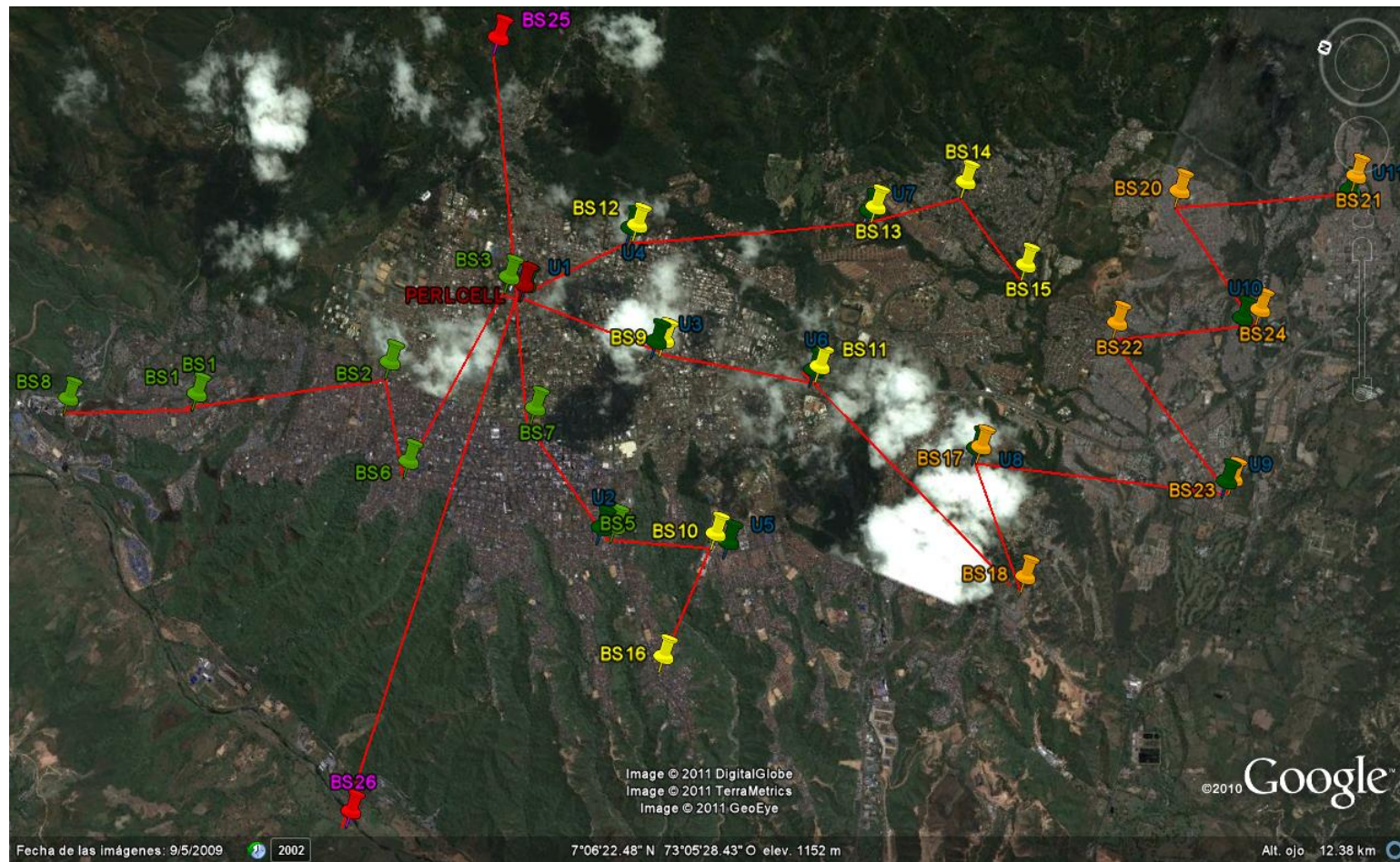


Figura 15. Enlace entre las Centrales de los Operadores de Telefonía Móvil.

Recuperada de Google Earth

Se realiza un anillo de fibra que enlace a las otras centrales de la siguiente manera.



Figura 16. Anillo de Fibra óptica para enlace con otros operadores.

4.1.2. Diseño de Celdas

Según los estudios realizados sobre el aérea metropolitana de Bucaramanga, se escogió utilizar para áreas densamente pobladas las microceldas y para áreas rurales las macroceldas.

- **Área de las Microceldas.**

El área de cada microcelda es:

$$A = 2.6 (0.5km)^2 = 0.65 km^2$$

- **Cantidad de Móviles por Microcelda**

El área en kilómetros de Bucaramanga y Floridablanca es de $262km^2$, por lo tanto para hallar el número de móviles por km^2 , hallamos la relación entre la cantidad de usuarios de telefonía móvil (50000) y el área total, por lo tanto tenemos:

$$\frac{50000}{262km^2} = 190 ms * km^2$$

Para las celdas que están agrupadas la cantidad de móviles por microcelda es:

$$1 km^2 - - - \rightarrow 190 moviles$$

$$0.65 km^2 - - - \rightarrow x$$

$$X = 124 \text{ móviles/microcelda}$$

$$124 moviles x microcelda * 0.035erl = 4.34 erl x microcelda$$

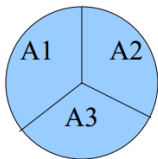
$$4.34 erl \rightarrow 1\% \rightarrow 10ch + 1 + 1 = 12 ch$$

$$\frac{12ch}{8} = 2ch \text{ fisicos}$$

$$2 * 12 = 24fcias$$

Modelo de las Microceldas

Microceldas = $3/12 = A1-A2-A3, B1-B2-B3, C1-C2-C3, D1-D2-D3$.



- Se supuso que un 80% de los usuarios hacen uso de internet
- Por lo que concluimos que aproximadamente 99 usuarios de una celda utilizaran internet constantemente

Banda de Frecuencia para la Tecnología 4g

Se escogió la banda LTE Band 4 ó LTE AWS (1700 y 2100 Mhz), Basándonos en la distribución de frecuencias para 4G en Colombia. (Movista, 2016)

Subida	Bajada
1710 Mhz	2110 Mhz
1755 Mhz	2155 Mhz

- **Macrocelas:**

Escogimos dos macrocelas para los lugares donde no existirá gran tráfico en la red, y se ubicaran en las siguientes estaciones base

Macrocela

BS25**BS26**

4.2. Equipos

Se decidió escoger equipos Huawei debido a que cumplen con los requerimientos del proyecto, Se ajustan a las necesidades económicas y son los más utilizados por los operadores existentes en Colombia como Claro Soluciones Móviles

A continuación se muestran los equipos necesarios para la implementación.

4.2.1. Nodo

Para el diseño de la red se ha determinado utilizar un Nodo DBS3900 eNodeB De Huawei, ya que ha sido desarrollado para las tecnologías LTE más avanzadas admite un ancho de Banda hasta de 100 Mbits/s, con un precio muy asequible al publico

DBS3900 es un Nodo Distribuido de 4ta Generación eNodeB, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

- BBU3900, instalada en gabinete TP48200E o APM 30H.
- RRU3832.
- Antena y sistema feeder o jumper.

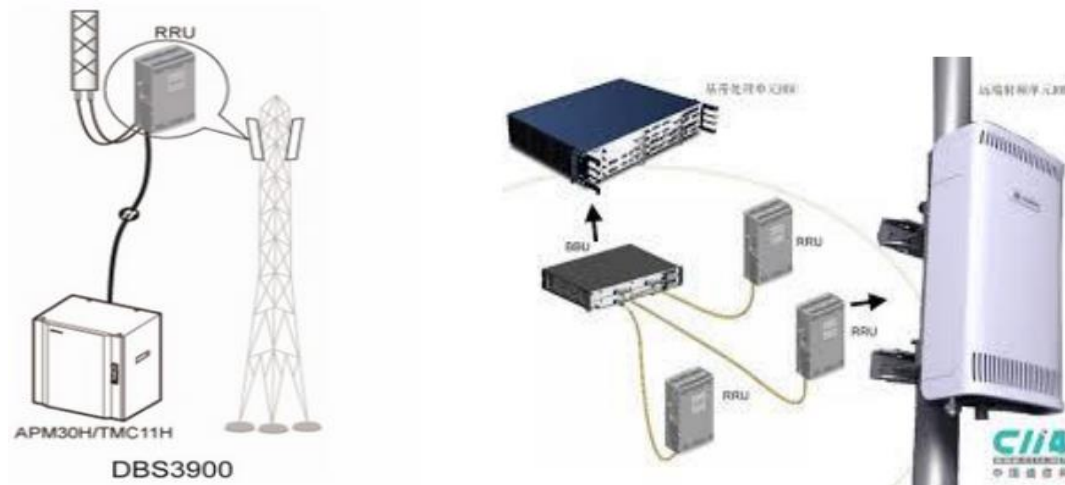


Figura 17. Estación base distribuida DBS3900.

Recuperado de <http://e.huawei.com/es/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900>.

(Se incluye ficha técnica en Datasheep)

4.3. Gabinete

APM 30H: Es un gabinete Outdoor de poder que transforma corriente alterna a corriente directa (AC-DC).

Dimensiones (mm)	600*700*1600
Peso (Kg)	161 (Full config.)
Rango Voltaje de Entrada	90 VAC a 290 VAC
Voltaje de entrada Típica	220 VAC a 240 VAC
Freq.Voltaje de entrada	40 Hz a 64 Hz
Consumo total para -48V	1500 W
Max. Corriente de entrada	32 A
Rango Voltaje de Salida	-58 VDC a -44 VDC
Temperatura Operación	-40°C + 45°C
Humedad Relativa	5% A 100%

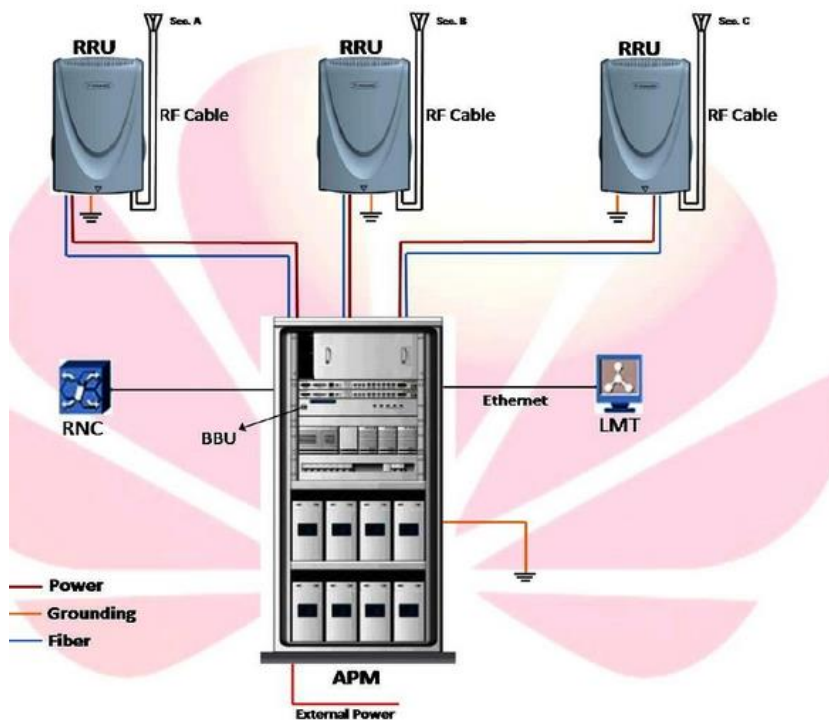


Figura 18. Gabinete APM 30H .

Recuperado de <http://e.huawei.com/es/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900>

Gabinete APM30. (Se incluye ficha técnica en Datasheep)

4.3.1. Unidad de Procesamiento

La **BBU3900** de Huawei está basada en un diseño modular mediante el cual se puede configurar una estación base según nuestras necesidades de manera fácil, añadiendo simplemente nuevas tarjetas ya sea para ampliar la capacidad de transmisión, la de proceso o para implementar una nueva tecnología en un nodo ya existente.

- La transferencia de señales entre el DBS3900 y el EPC.

- Procesamiento de las señales banda base de enlace descendente y ascendente.
- Proporcionar el reloj de referencia.
- Proporcionar el canal de OM para la conexión a el LMT o M2000.

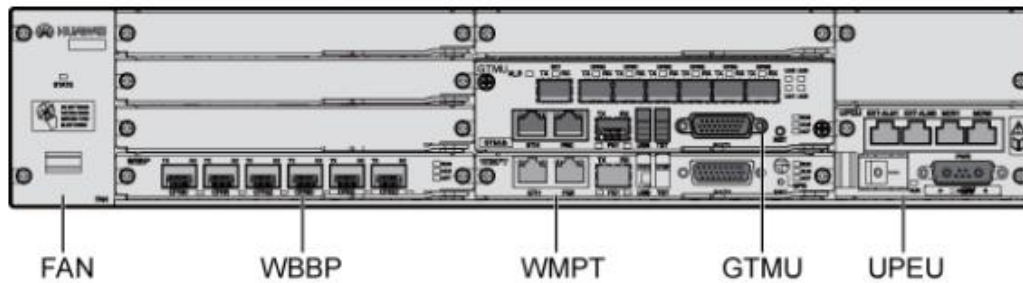


Figura 19. Unidad de Procesamiento BBU3900.

Recuperado de <http://e.huawei.com/es/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900>.

(Se incluye ficha técnica en Datasheep)

4.3.2. Unidad Remota de Radio

La RRU es la unidad remota outdoor de radio, encargada de procesar la señal en banda base y la señal RF en GSM y la señal RF en UMTS. Además, integra duplexores y unidades transceptoras (TRX).

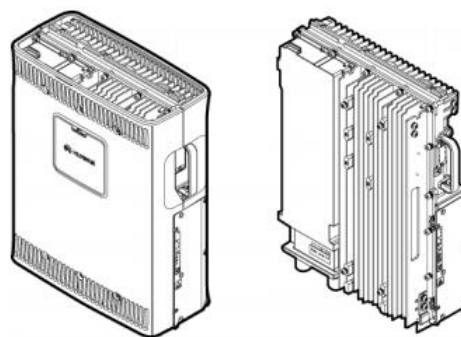


Figura 20. Unidad Remota de Procesamiento.

Recuperado de <http://e.huawei.com/es/products/wireless/elte-access/network-element/dbs3900>.

(Se incluye ficha técnica en Datasheep)

4.3.3. Antena

Luego de realizar las validaciones correspondientes se determinó que la antena **ADU451819** se acomoda a todas las especificaciones de la red móvil.

Model	Frequency	Horizontal beamwidth(°)	Tilt method	Length (mm)
ADU451819	1710-2200/1710-2200MHz	65°/65°	MET	1311mm

Model: ADU451819

Frequency: 1710-2200/1710-2200MHz

Horizontal beamwidth (°): 65°/65°

Vertical beamwidth (°): 7.5°

Gain(dBi): 18/18

Electrical downtilt: 0-10/0-10

Tilt method: MET

Connector: 4*7/16 DIN Female

Dimension(mm): 1311*323*89



4.4. Tipos de Usuarios

Los tipos de usuarios corresponden a los pertenecientes a plan postpago y prepago.

4.4.1. Prepago:

- Usuarios Prepago: Son aquellos usuarios que comúnmente compran un equipo móvil y los cuales se les suministran minutos o tiempo al aire mediante recargas efectuadas por el usuario. El sistema prepago trabaja en tiempo real.

Características

- La información de la cuenta del usuario puede ser obtenida a través de los sistemas interactivos de voz o mensajes.

- Mensaje Cortos (SMS) en tiempo real.
- Roaming Internacional.

Pospago:

- Usuarios Pospago: Son los usuarios que cuentan con un plan de voz, datos ó voz y datos con una cuenta controlada o abierta.

- El usuario pospago a diferencia del prepago un pago como dijimos cuenta control o abierta, esos pagos se realizan mensualmente y dependen del plan elegido por el usuario.

Características

- La información de la cuenta del usuario puede ser obtenida a través de los sistemas interactivos de voz o mensajes.
- Permite ofrecer planes con descuentos por escala de consumo, de manera que mientras más sea su consumo en minutos o bytes recibirá beneficios en los precios a pagar.

Siguiendo los resultados obtenidos en el análisis demográfico, económico y de factibilidad en la sociedad Bumanguesa, se piensa ofrecer 3 planes de servicio para los clientes interesados en contar con los servicios de 4G LTE.

La finalidad de éste diseño es que los planes ofrecidos puedan llegar a los usuarios que están interesados en adquirir planes de internet móvil en todos los estratos de la ciudad y así garantizar una buena cobertura y calidad en la población. Por tal motivo se han diseñado los siguientes planes que incluyen minutos y navegación.

4.5. Servicios Ofrecidos

Entre los servicios básicos a los cuales todos los usuarios tendrán acceso están:

LINEA	SERVICIO	COBRO
*123	Buzón de Voz	Según el Plan
*500	Servicio al Cliente	Gratis
112	Policía	Gratis
119	Bomberos	Gratis
132	Cruz Roja	Gratis
127	Policía de Carreteras	Gratis

4.5.1. Plan Básico

Es un plan enfocado a clientes que buscan la facilidad y no requieren en sus necesidades mayores servicios. A continuación se ilustran los tipos de planes básicos que hacen parte de ésta categoría.

Tabla 10. *Pablo y Gafaro (2016)*

PLAN BÁSICO			
TIPO DE PLAN	VELOCIDAD DE CARGA (Mbps)	VELOCIDAD DE DESCARGA (Mbps)	MINUTOS
PLAN 1 GB	1	2	25
PLAN 3 GB	2	4	50

4.5.2. Plan Intermedio

El plan intermedio está pensado para los usuarios que son de uso frecuente en algunos servicios como redes sociales (FaceBook, Twitter, Instagram, etc) y que necesitan una mayor velocidad de descarga. A continuación se muestra la tabla con los servicios intermedios ofrecidos.

Tabla 11. *Pablo y Gafaro (2016)*

PLAN INTERMEDIO			
TIPO DE PLAN	VELOCIDAD DE CARGA (Mbps)	VELOCIDAD DE DESCARGA (Mbps)	MINUTOS
PLAN 5 GB	3	5	250
PLAN 10 GB	5	10	500

4.5.3. Plan Empresarial

Éste plan va enfocado a promover la comunicación de las pequeñas, medianas y grandes empresas para que sean utilizados estos recursos tecnológicos en pro del desarrollo comercial y económico de la industria. Los planes empresariales tienen 3 opciones las cuales se diferencian en la cantidad de minutos y capacidad de descarga.

Tabla 12. *Plan Empresarial*)

PLAN EMPRESARIAL			
TIPO DE PLAN	VELOCIDAD DE CARGA (Mbps)	VELOCIDAD DE DESCARGA (Mbps)	MINUTOS
PLAN 3 GB	3	5	500
PLAN 5 GB	5	10	1000
PLAN 10 GB	10	14	2000

Fuente: *Pablo y Gafaro (2016)*

4.6. Planeación de la Red

La tecnología celular ha evolucionado de una manera considerable a un punto en el que las redes de acceso permiten conexiones de alta velocidad sin la necesidad de un punto al cual estar conectado permanentemente. Ésta evolución no sólo ha sido hacia los dispositivos móviles si no que ahora permite conectar computadores a la red.

Pensando en la construcción y la infraestructura de la red, y siguiendo el estudio de viabilidad con el número de usuarios vista con anterioridad, se necesita ahora una planeación de la red que permita llegar con profundidad a un servicio de calidad para los clientes. A continuación se puede observar el funcionamiento de una red móvil.

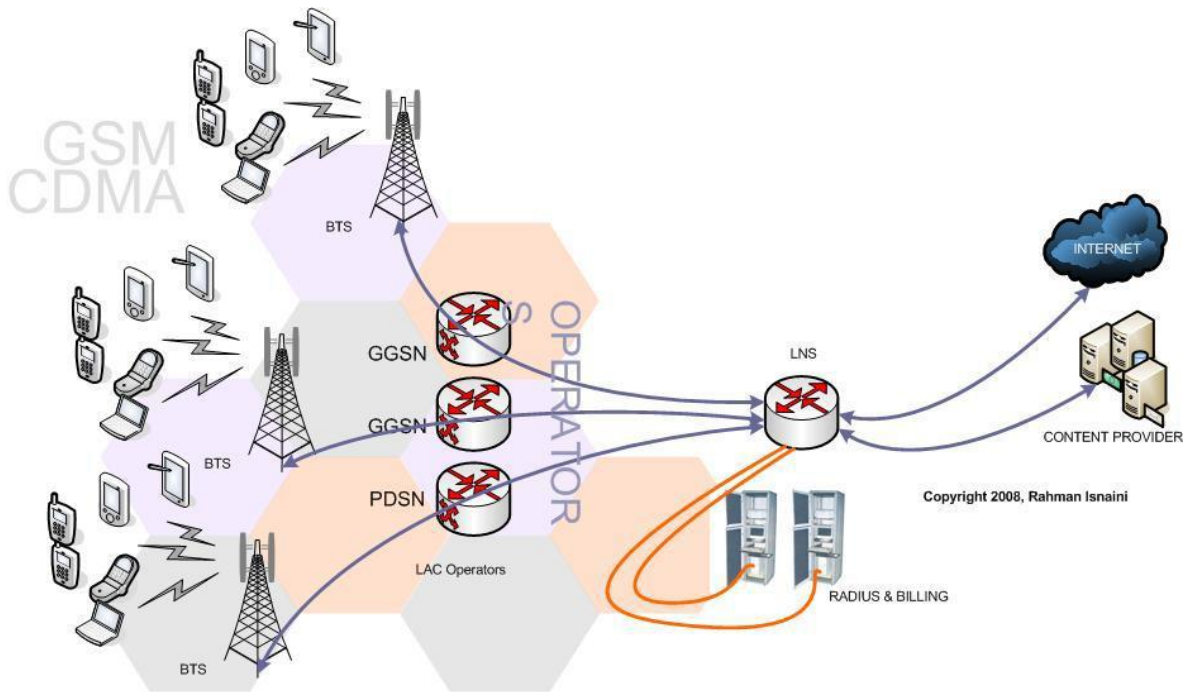


Figura 21. Diagrama de Red Móvil. Autor: Mobile Configure.

Recuperado de <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>

Para la planeación del diseño de Red es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Área de cobertura en Km a los usuarios que queremos llegar con el servicio.
- Consumo de Usuarios en Mbps
- Capacidad de BS (Estaciones Bases)

En este orden de ideas y siguiendo con el punto anterior acerca del consumo de Mbps por usuario se establece lo siguiente:

Los municipios de Bucaramanga y Floridablanca tienen un área de cobertura de 262km^2 , es por esto que se ha determinado la siguiente información de acuerdo al porcentaje que se tiene debido a la cantidad de usuarios concebidos en la red que van a recibir los servicios, el cual se

nombró como un escenario moderado en donde queremos que el servicio lo adquiriera el 6,30% de la población, lo cual es 50.000 personas.

Siguiendo con esta premisa se ha determinado un porcentaje aproximado de los planes, los cuales se han sugerido anteriormente.

El plan básico tiene una proyección de que el 50% de usuarios lo adquieran, el plan intermedio un 35% de usuarios de la red y el plan empresarial un 15%. La siguiente tabla ilustra lo anteriormente nombrado.

Tabla 13. *Planes*

TOTAL CLIENTES	PLANES	PORCENTAJE	CLIENTES
50.000	BÁSICO	50%	25000
	INTERMEDIO	35%	17500
	EMPRESARIAL	15%	7500
TOTAL			50000

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

De acuerdo a la tabla anterior que relaciona el número de usuarios que serán clientes de la nueva red celular, se logran sacar conclusiones con respecto a los diferentes planes ofrecidos los cuales están comprendidos por plan básico, intermedio y empresarial.

Tabla 14. *Plan Básicos*

TOTAL CLIENTES	PLAN BASICO	PORCENTAJE	CLIENTES
25000	PLAN 1 Gb	60%	15000
	PLAN 3 Gb	40%	10000

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

Otro plan que se ofrece es el plan intermedio el cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15. *Plan Intermedio*

TOTAL CLIENTES	PLAN INTERMEDIO	PORCENTAJE	CLIENTES
17500	PLAN 5 Gb	60%	10500
	PLAN 10 Gb	40%	7000

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

Por último está el plan empresarial el cual muestra los siguientes requerimientos de clientes:

Tabla 16. *Plan Empresarial*

TOTAL CLIENTES	PLAN EMPRESARIAL	PORCENTAJE	CLIENTES
7500	PLAN 3 Gb	50%	3750
	PLAN 5 Gb	30%	2250
	PLAN 10 Gb	20%	1500

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

4.6.1. Consumo en Megas de los Planes

En la siguiente tabla se puede percibir el consumo en Mbps del plan básico:

Tabla 17. *Consumo en Mbps del plan básico*

PLAN BÁSICO	CLIENTES	FACTOR SIMULTANEIDAD	SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD Mbps	FACTOR OVERBOOKING	CONSUMO Mbps
PLAN 1 Gb	15000	50%	7500	2	10	1500
PLAN 3 Gb	10000	50%	5000	4	10	2000
TOTAL Mbps						3500

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

En la siguiente tabla se muestra el consumo en Mbps para el plan intermedio ofrecido:

Tabla 18. Consumo en Mbps para el plan intermedio

PLAN INTERMEDIO	CLIENTES	FACTOR SIMULTANEIDAD	SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD Mbps	FACTOR OVERBOOKING	CONSUMO Mbps
PLAN 5 Gb	10500	50%	5250	5	10	2625
PLAN 10 Gb	7000	50%	3500	10	10	3500
TOTAL Mbps						6125

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

Por último se aprecia el consumo en Mbps para el plan empresarial en la siguiente tabla:

Tabla 19. Consumo en Mbps para el plan empresarial

PLAN EMPRESARIAL	CLIENTES	FACTOR SIMULTANEIDAD	SIMULTANEIDAD	VELOCIDAD Mbps	FACTOR OVERBOOKING	CONSUMO Mbps
PLAN 3 Gb	3750	50%	1875	5	10	937,5
PLAN 5 Gb	2250	50%	1125	10	10	1125
PLAN 10 Gb	1500	50%	750	14	10	1050
TOTAL Mbps						2062,5

Fuente: Pablo y Gafaro. (2016)

5. Simulación

5.1. Simulación En Radio Mobile

Existen muchos programas con los cuales se puede simular radioenlaces y cobertura de las estaciones base.

Tomando como referencia especificaciones técnicas del fabricante y realizando una investigación previa de las necesidades de Bucaramanga y Floridablanca como topografía, economía y demografía se escogió el software de radio mobile para simular nuestra Red.

Radio Mobile es un programa desarrollado para radioaficionados por Roger Coudè, basado en el conocido modelo de terreno irregular de Longley-Rice que predice las condiciones de propagación desde 20 MHz a 20 GHz, mediante el uso de varios tipos de mapas digitales de elevación.

A continuación se describe el paso a paso de la ejecución de la simulación de radio mobile donde se integra el diseño de red y los equipos previamente escogidos.

5.1.1. Paso A Paso

1.) Teniendo en cuenta factores como relieve del área, densidad demográfica y comercio de la zona, se realizó un estudio previo para determinar dónde ubicar las estaciones base en el área metropolitana de acuerdo a la densidad, utilizando un total de 22 eNodeB

2.) Se escogieron los equipos a utilizar para cada uno de nuestros eNodeB, los cuales se describen previamente en el trabajo.

3.) Se utilizó una topología de cluster de 3/12, y una Antena sectorizada para hacer más real nuestra simulación, quedando un total de 3 sectores por estación base.

4.) Se ubican las Estaciones Base en Radio Mobile, utilizando parámetros como: Coordenadas: Altitud, Longitud y Altura.

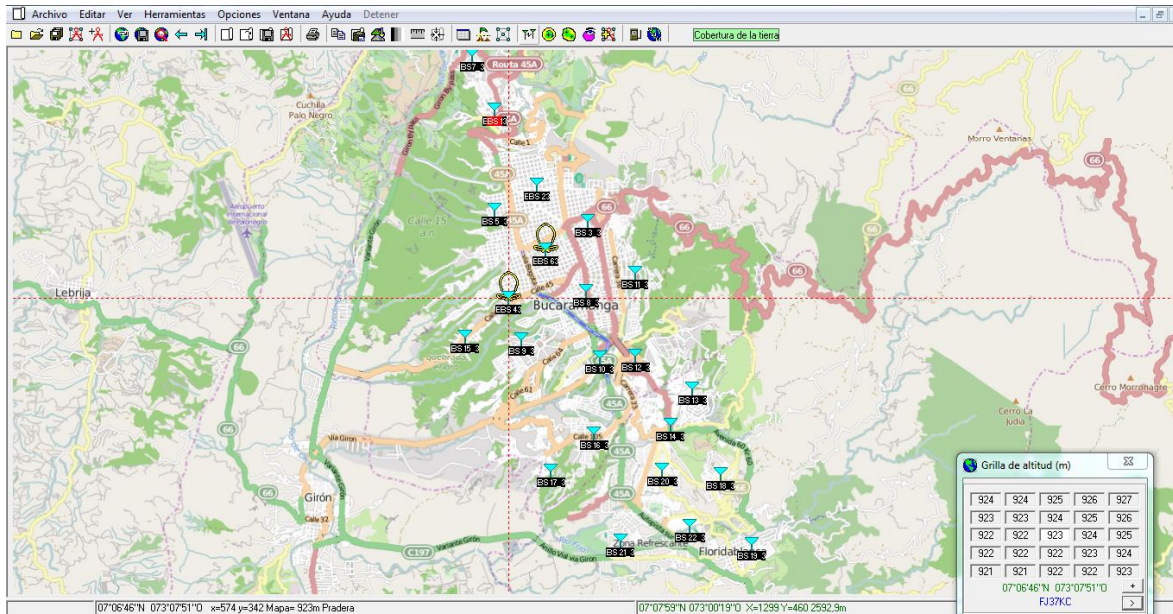


Figura 22. Simulación Estaciones Base En Radio Mobile

Fuente: Cárdenas y Gafaro.(2015).

5.) Seguidamente de esto se realizaron los enlaces punto a punto de acuerdo al diseño que se tenía previamente de la red, Estableciendo los siguientes parámetros

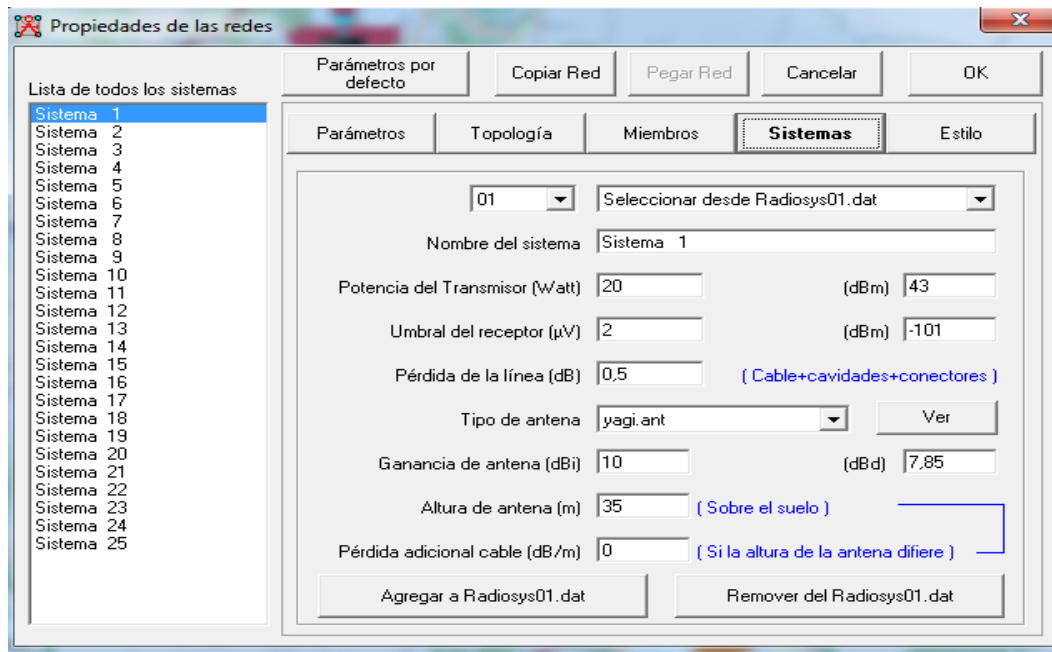


Figura 25. Sistemas y Parámetros de la Antena

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

Parámetros de la Antena, Frecuencias de trabajo, Umbral del receptor, pérdidas, patrón de radiación y ganancias.

6.) Una vez simulada las estaciones Base y el Enlace Punto a Punto, se procede a crear la Red celular, donde se simula una estación base por cada sistema, que se compone de 3 Cluster (Sectores), cada uno con una antena y apuntando a un Azimut específico, se tomaron los AZ estándar, teniendo en cuenta que habría que optimizar la red después para cubrir nulls, se tomó como referencia una UNIDAD móvil en la simulación.

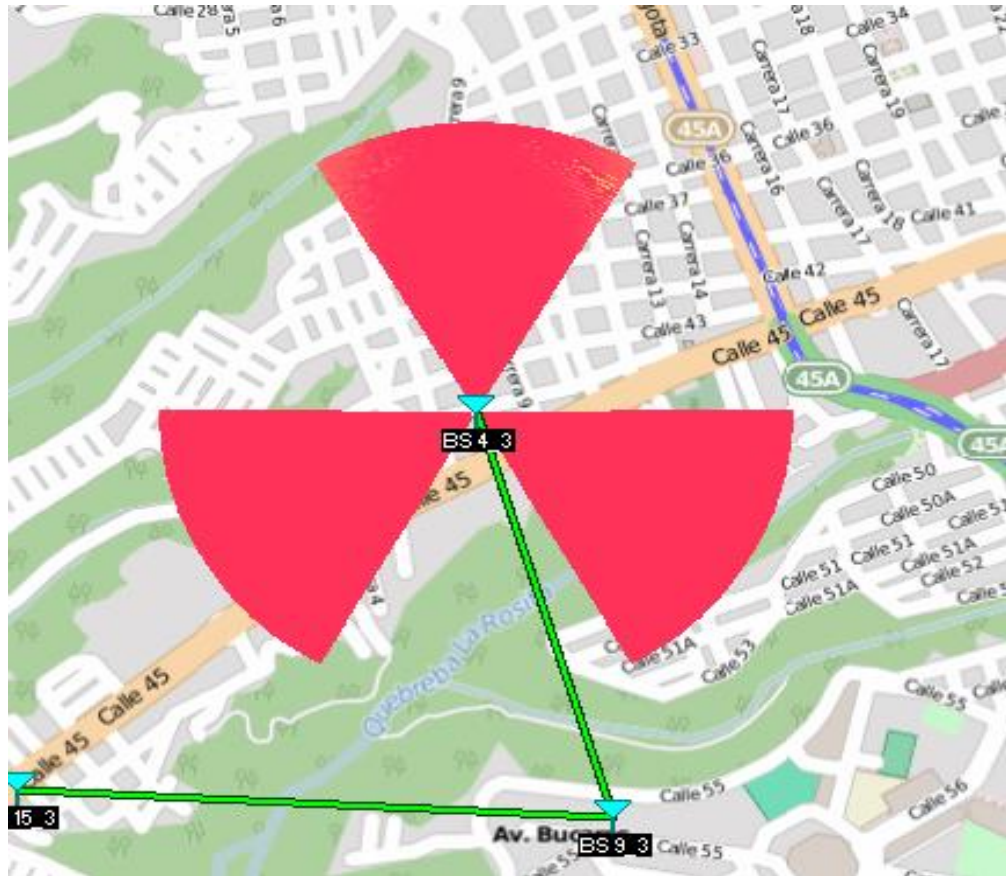


Figura 26. Patrón de Radiación de una Estación Base

Fuente: Cárdenas y Gafaro.(2015).

Para la simulación de estos cluster se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros

- Se simuló cada sector con una antena radiando a : 0 , 120 y 240 Grados , variando el ángulo de azimut para poder cubrir toda el área.
- Se utilizó TE (Tilt Eléctrico) de 7, el cual viene en los parámetros de la antena

Y la altura de los eNODOb, Para hacer más real la simulación y cubrir una zona en óptimas condiciones sin sobrecargar la celda.

7.) Por último se tuvo la simulación total de la red, gracias a radio mobile se pueden obtener los siguientes resultado de los enlaces punto a punto.

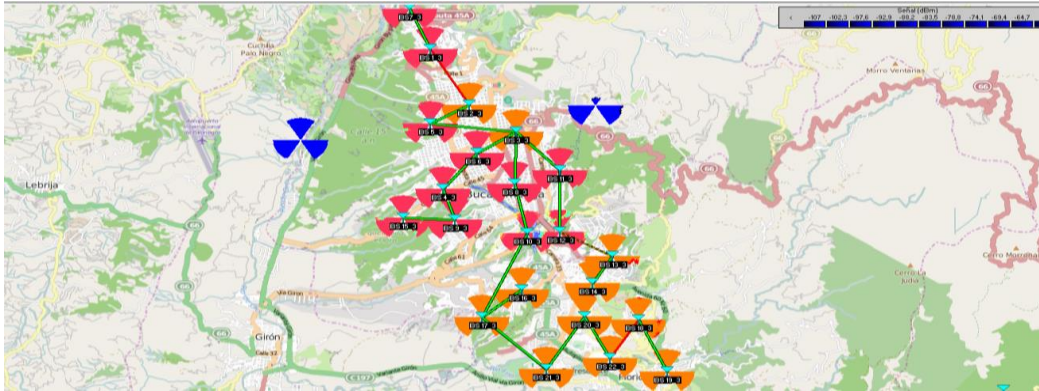


Figura 27. Resultado Final de la Simulación

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

Casos de Estudio:

Ejemplo 1 de enlace Punto a Punto de la estación Base 17 Y 21

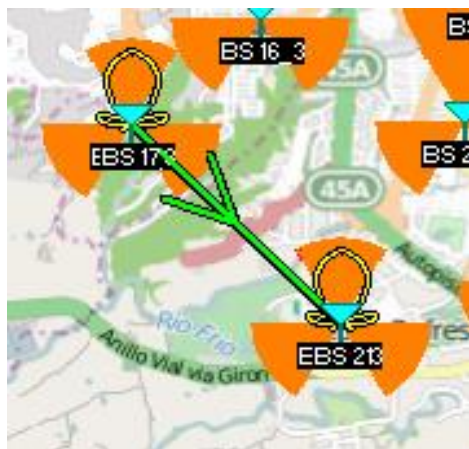


Figura 28. Ejemplo 1 Enlace Punto a Punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

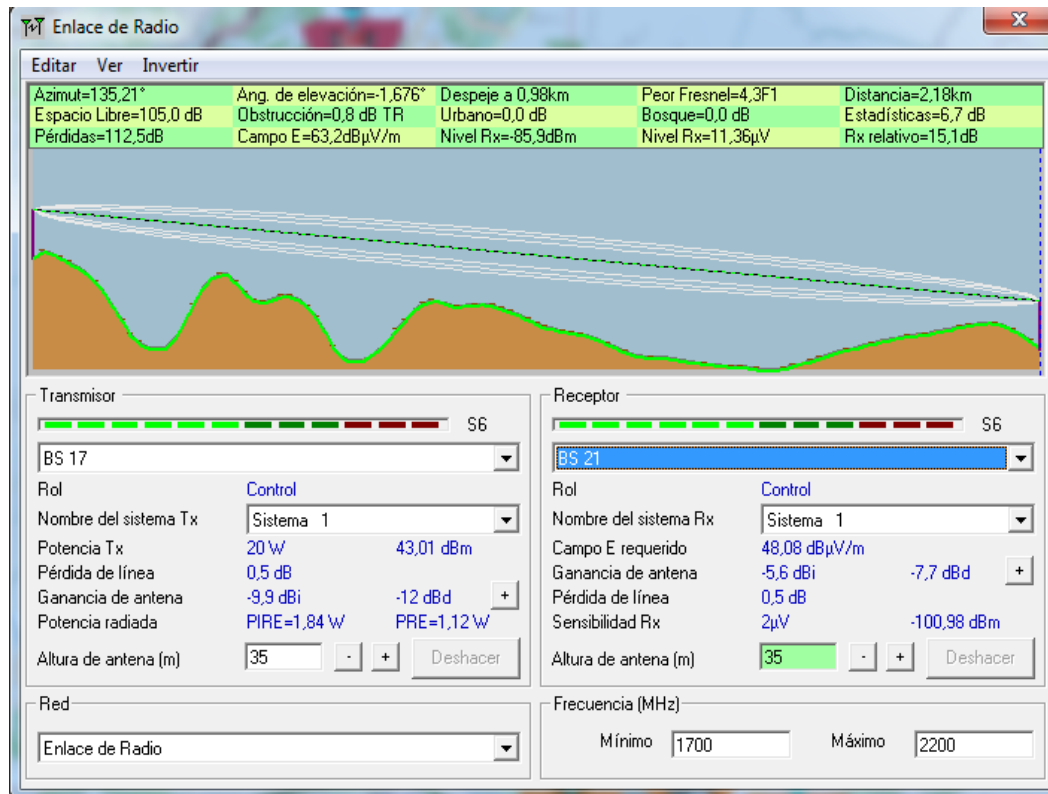


Figura 29. Parámetros de enlace punto a punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro.(2015).

Análisis:

- Podemos observar que se tiene un enlace totalmente limpio y una excelente línea de vista.
- La simulación nos muestra parámetros importantes como: Distancia, Obstáculos, Pérdidas, PIRE etc, los cuales nos ayudan a tener una simulación muy cercana a la realidad.

Ejemplo 2: Enlace Punto a Punto de la estación Base 1 Y 2



Figura 30. Ejemplo2 Enlace Punto a Punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

La imagen muestra la interfaz de usuario de un software de diseño de enlaces de radio, con el título "Enlace de Radio". La interfaz está dividida en varias secciones:

- Barra de menú:** Editar, Ver, Invertir.
- Tabla de parámetros:**

Azmut=150,71°	Ang. de elevación=6,124°	Obstrucción a 1,23km	Peor Fresnel=-1,8F1	Distancia=1,92km
Espacio Libre=103,9 dB	Obstrucción=39,7 dB ITM	Urbano=0,0 dB	Bosque=1,3 dB	Estadísticas=6,7 dB
Pérdidas=151,5dB (3)	Campo E=24,5dBμV/m	Nivel Rx=-116,0dBm	Nivel Rx=0,36μV	Rx relativo=-15,0dB
- Gráfico:** Una representación gráfica del terreno y la línea de visión entre las antenas, con una línea roja que indica la trayectoria del enlace.
- Transmisor:**
 - BS 1
 - Rol: Control
 - Nombre del sistema Tx: Sistema 1
 - Potencia Tx: 20 W / 43,01 dBm
 - Pérdida de línea: 0,5 dB
 - Ganancia de antena: -9,5 dBi / -11,7 dBd
 - Potencia radiada: PIRE=2 W / PRE=1,22 W
 - Altura de antena (m): 35
- Receptor:**
 - BS 2
 - Rol: Control
 - Nombre del sistema Rx: Sistema 1
 - Campo E requerido: 39,47 dBμV/m
 - Ganancia de antena: 3,1 dBi / 0,9 dBd
 - Pérdida de línea: 0,5 dB
 - Sensibilidad Rx: 2μV / -100,98 dBm
 - Altura de antena (m): 35
- Red:**
 - Enlace de Radio
- Frecuencia (MHz):**
 - Mínimo: 1700
 - Máximo: 2200

Figura 31. Parámetros de enlace punto a punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

Análisis

- A diferencia del ejemplo 1 la línea roja nos muestra un enlace con muchas pérdidas y obstáculos.

Solución:

- Podemos corregir esto aumentando la altura de la antena y así obteniendo una mejor línea de vista.

- Realizando optimización: lo que significa buscar los mejores ángulos de azimut para que cubran el área indicada. Esto realiza siempre en los operadores móviles antes de tomar cualquier otra decisión.

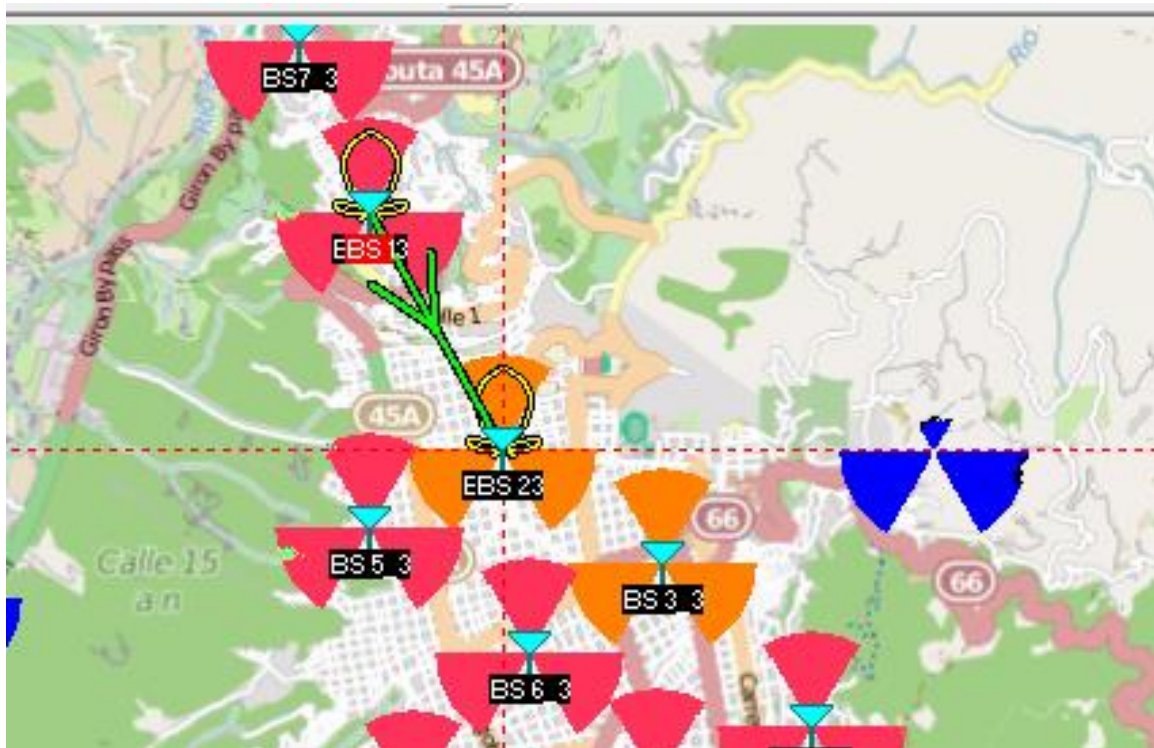


Figura 32. Alternativa de solución enlace punto a punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2015).

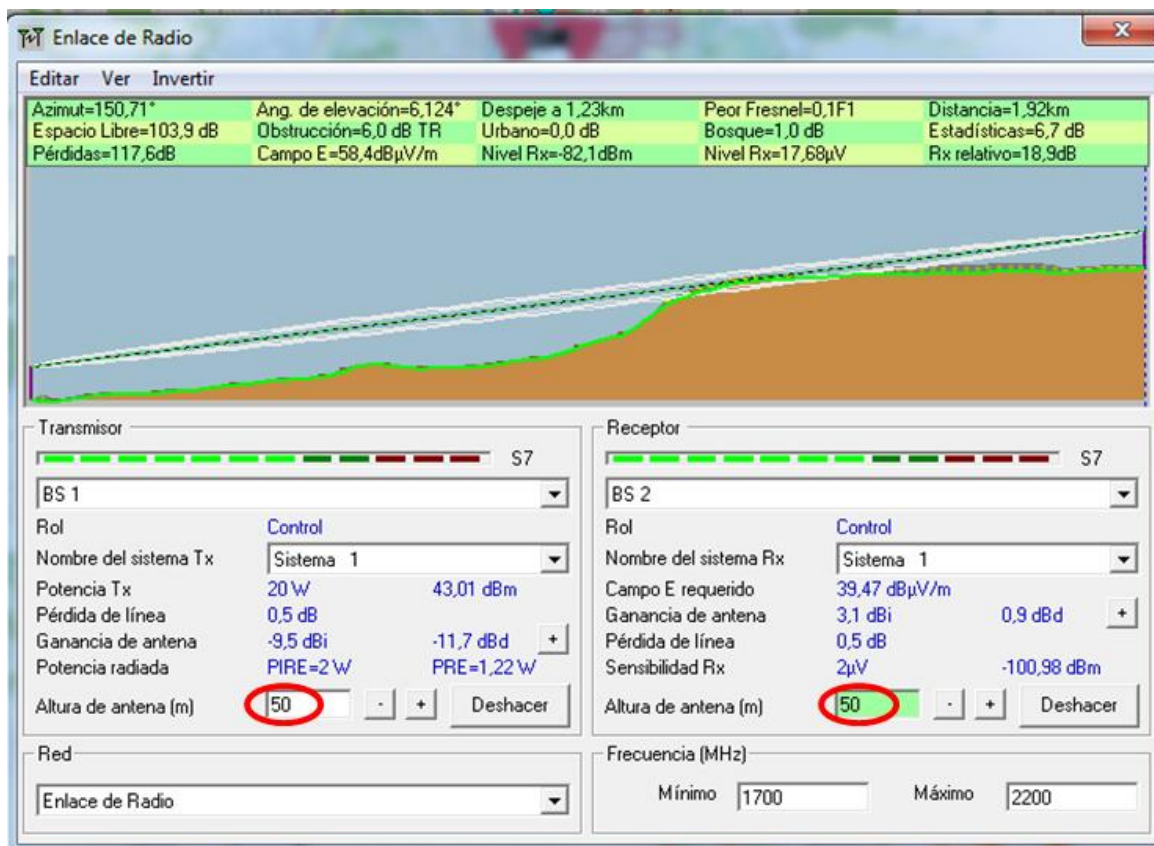


Figura 33. Parámetros de la Solución Punto a Punto

Fuente: Cárdenas y Gafaro.(2015).

6. Costos y Presupuesto

6.1 Análisis Financiero

Para analizar la viabilidad del proyecto y las repercusiones pertinentes al tema de gastos en la instalación y puesta en funcionamiento de infraestructura, es necesario realizar la oferta técnica de equipos que se van a utilizar en el desarrollo del proyecto planteado, así como los gastos de operación y mantenimiento.

6.1.1 Costos de Instalación

Para determinar los costos de instalación se deben tomar en cuenta la inversión de los equipos de instalación, así como la infraestructura, los equipos terminales y los gastos generados en la instalación de equipos.

6.2 Elementos de la Red de Acceso

En referencia con la compra de equipos se muestra viable la adopción de equipos HUAWEI puesto que son equipos económicos y tiene la factibilidad de una convergencia con otras marcas de equipos. Adicionalmente a esto, los otros operadores existentes en el mercado utilizan muy a menudo los equipos HUAWEI.

Es de gran importancia aclarar que los precios que se muestran en las siguientes tablas son precios estimados debido a que cada fabricante plantea y elabora su propia propuesta económica

dependiendo de la implementación, cantidades y cliente al que se le cotiza. Sin embargo, los precios estimados en éste proyecto guardan una proporción cercana con los precios que se manejan en la actualidad.

Tabla 20. *Elementos de la Red de Acceso*

EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
HUAWEI HSS9860	Servidor para Abonado	1.100.000.000	1	\$ 1.100.000.000
HUAWEI USN9810	El USN9810 integra el nodo de soporte GPRS de servicio (SGSN) y mobility management entity (MME) funciones en una sola plataforma	900.000.000	1	\$ 900.000.000
HUAWEI PCRF	Implementa una solución de control de política de banda ancha para ofrecer paquetes de control de la política y de tarifas diferenciadas para los suscriptores.	190.000.000	1	\$ 190.000.000
HUAWEI UGW9811	El UGW9811 es nuestro gateway unificado de paquetes. Ha sido diseñado para utilizarse en las redes 3G mejoradas (E3G) a LTE	180.000.000	1	\$ 180.000.000
HUAWEI SGW	Es el punto de la interfaz de paquetes de datos hacia la E-UTRAN	180.000.000	1	\$ 180.000.000
ESTACIÓN BASE		90.000.000	26	\$ 2.340.000.000
PRECIO TOTAL				\$4.890.000.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.2.1 Sistema Radiante

Para poder cumplir con el alcance propuesto en la interconexión de la infraestructura es necesario para el sistema radiante diferentes equipos los cuales facilitarán llegar a los diferentes usuarios localizados en los municipios de Bucaramanga y Floridablanca. En la tabla a continuación se relacionan los gastos comprendidos en el sistema radiante.

Tabla 21. *Sistema Radiante*

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CONECTORES	EL EMPALME INDIVIDUAL DE FIBRA ÓPTICA	400	25.000	\$ 10.000.000,00
ANTENAS MIMO	ANTENAS UTILIZADAS EN LA RED 4G LTE	78	2.500.000	\$ 195.000.000,00
FEEDERS	CABLES DE ALIMENTACIÓN	650	95.000	\$ 61.750.000
MATCH HEARD AMPLIFIER	AMPLIFICADOR DE LA SEÑAL	39	1.600.000	\$ 62.400.000
PATCH CORDS	PARA INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS DE INFRAESTRUCTURA DE RED	546	20.000	\$ 10.920.000
PRECIO TOTAL				\$ 340.070.000,00

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.2.2 Infraestructura

Es necesario tener en cuenta para los costos relacionados con la infraestructura del proyecto que las torres de las estaciones bases cuentan con secciones de 6 metros, dando así un promedio de altura de 60 metros. Es necesario inferir que todo dispositivo electrónico se debe aterrizar a tierra y tener una unidad que permita una potencia interrumpida.

Tabla 22. *Costos Infraestructura*

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TORRE	26	25.000.000	\$ 780.000.000,00
UPS	26	5.000.000	\$ 130.000.000
POZO TIERRA	26	2.000.000	\$ 52.000.000,00
BANCO DE BATERIAS	26	2.000.000	\$ 52.000.000
REFRIGERACIÓN	26	1.500.000	\$ 39.000.000,00
ILUMINACIÓN	26	200.000	\$ 5.200.000,00
PRECIO TOTAL			\$1.058.200.000,00

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.2.3 Instalación de Equipos

El precio de la instalación de equipos dependerá de la cantidad de adecuaciones necesarias para llevar a cabo las estaciones bases. El valor de la mano de obra dependerá del tiempo de cada labor, y el personal a disposición de la misma. Por consiguiente, en la tabla a continuación se relacionan los precios estimados y presupuestados para llevar a cabo la instalación de la infraestructura propuesta.

Tabla 23. *Costos Instalación de equipos*

LABOR PROPUESTA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
INSTALACIÓN DEL eNODO	26	2.500.000	\$ 65.000.000,00
RADIO DE TRANSMISIÓN	26	2.200.000	\$ 57.200.000,00
INSTALACIÓN DE TIERRA	26	2.000.000	\$ 52.000.000,00
PRECIO TOTAL			\$174.200.000,00

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.2.4 Recurso Humano

Es primordial tener en cuenta los gastos concernientes al personal para el sostenimiento de los equipos que van a ser instalados. Por tal motivo en la tabla a continuación se relacionan los precios del personal necesario para llevar a cabo la instalación de la infraestructura. Estos precios son mensuales por lo tanto debe tenerse en cuenta que el valor total debe multiplicarse por los 12 meses que comprenden un año.

Tabla 24. *Costos Recurso Humano*

PERSONAL DE OPERACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DIRECTOR DE PROYECTO	1	12.000.000	12.000.000
DIRECTOR DE OPERACIONES	1	8.000.000	8.000.000
INGENIERO DE PROYECTO	3	4.000.000	12.000.000
INGENIERO RF	3	2.600.000	\$ 7.800.000,00
TÉCNICOS DE INSTALACIÓN	5	1.600.000	\$ 8.000.000,00
PRECIO TOTAL POR MES			47.800.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

El precio TOTAL del recurso humano contemplado cada año para desarrollar los roles propuestos en el proyecto es de: 573.600.000 pesos.

6.2.4 Mantenimiento

Es primordial para el funcionamiento y las buenas prácticas el realizar mantenimiento de los equipos de manera preventiva, esto para evitar fallas producidas por efectos externos a la instalación como el clima, el tiempo, errores eléctricos. Es por esto que se analizan los costos de mantenimiento en la tabla siguiente:

Tabla 25. *Costos de Mantenimiento*

MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ANTENAS	26	1.000.000	26.000.000
TORRE	26	2.000.000	52.000.000
EQUIPOS DE NODO	26	4.000.000	\$ 104.000.000,00
CENTRO DE CONTROL	1	3.500.000	3.500.000
TÉCNICOS	3	1.600.000	\$ 57.600.000,00
PRECIO TOTAL CADA 6 MESES			\$ 243.100.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016)

El mantenimiento preventivo se llevará a cabo cada 6 meses, por consiguiente el precio total por año de los mantenimiento preventivos es de 486.200.000 pesos.

6.2.5 Gastos Administrativos

Estos gastos hacen referencia a los costos de inversión que normalmente necesita la implementación de un sistema el uso de diferentes servicios como publicidad, alquiler de locales, servicios públicos, etc.

Tabla 26. *Gastos Administrativos*

ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ALQUILER DE OFICINAS	10	\$10.000.000	\$100.000.000
ALQUILER DE ESPECTRO	12	\$60.000.000	\$720.000.000
SERVICIOS PUBLICOS ADMINISTRATIVOS	10	\$6.960.000	\$69.600.000
	1	\$50.000.000	\$50.000.000
PUBLICIDAD Y MARKETING	1	\$50.000.000	\$50.000.000
TOTAL GASTOS ADMINISTRATIVOS			\$989.600.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.3 Total De Gastos

6.3.1 Precio Total de Inversión de Bienes

Para hacer referencia a la inversión de los bienes se necesita relacionar la siguiente tabla:

Tabla 27. *Precio Total inversión de Bienes*

IMPLEMENTACIÓN DE INFRAESTRUCTURA		COSTO DE INVERSIÓN
ELEMENTOS DE RED DE ACCESO		\$4.890.000.000
INVERSIÓN	DE	\$1.058.200.000,00
INFRAESTRUCTURA		
INSTALACIÓN DE EQUIPOS		\$174.200.000,00
SISTEMA RADIANTE		\$ 340.070.000,00
PRECIO	TOTAL	\$ 6.462.470.000
INFRAESTRUCTURA		

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.3.2 Operación

A continuación se enumeran los gastos correspondientes a los mantenimientos preventivos y sostenimiento del servicio ofrecido.

Tabla 28. *Costos de la operación*

GASTOS DE OPERACIÓN AL AÑO	COSTOS
MANTENIMIENTO	\$486.200.000
RECURSO HUMANO	\$573.600.000
GASTOS ADMINISTRATIVOS	\$989.600.000
PRECIO TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN	\$2.049.400.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016)

6.3.3 Gastos Totales

En la tabla a continuación se evidencia los gastos para poder llevar a cabo la implementación del servicio y el costo de operación en el primer año de servicio. A partir de que se haya realizado toda la instalación de la infraestructura de la solución de red móvil, el valor será igual al costo de operación.

Tabla 29. *Gastos Totales*

GASTOS TOTALES	COSTO
GASTOS DE INVERSIÓN	\$6.462.470.000
GASTOS DE OPERACIÓN	\$2.049.400.000
PRECIO GASTOS TOTALES	\$8.511.870.000

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.4 Ingresos de Planes

Después de hacer una estimación de mercados en los planes celulares que nuestros clientes van a adoptar, se realiza un análisis del total de los ingresos producidos por parte de los planes básicos, intermedios y empresariales.

Se tiene estimado que en el primer año en el que empiece a funcionar el sistema tenga una acogida de 10.000 usuarios, los cuales van a acceder a los diferentes planes de servicios ofrecidos. Cada año ésta cifra va a aumentar un 20% lo que permitirá aumentar el número de usuarios finales en el diseño de red. La red está diseñada para una capacidad de 50.000 usuarios, lo que significa que si aumenta éste número, se deberá hacer una nueva inversión en infraestructura.

Los ingresos mensuales de los planes con 10.000 usuarios se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 30. *Ingresos de Planes*

PLANES	CLIENTES	COSTO DE PLANES	INGRESO DE PLANES	INGRESOS POR PLAN TOTAL	TOTAL CLIENTES
PLAN BÁSICO					10000
PLAN 1 GB	3000	\$33.000,00	\$99.000.000,00	\$195.000.000,00	
PLAN 3 GB	2000	\$48.000,00	\$96.000.000,00		
PLAN INTERMEDIO					
PLAN 5 GB	2100	\$60.000,00	\$126.000.000,00	\$273.000.000,00	
PLAN 10 GB	1400	\$105.000,00	\$147.000.000,00		
PLAN EMPRESARIAL					
PLAN 3 GB	750	\$46.000,00	\$34.500.000,00	\$91.500.000,00	
PLAN 5 GB	450	\$58.000,00	\$26.100.000,00		
PLAN 10 GB	300	\$103.000,00	\$30.900.000,00		
TOTAL INGRESOS PLANES MENSUAL				\$559.500.000,00	
TOTAL INGRESOS PLANES ANUAL				\$6.714.000.000	

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

Los ingresos anuales de los planes ofrecidos en el primer año con un total de 10.000 usuarios es de \$ 6.714.000 pesos.

Si se llegara a tener una acogida del 100% de la capacidad de la red la cual está diseñada para 50.000 se podría tener unos ingresos mensuales de \$ 2.797.500 pesos.

Tabla 31. *Ingresos de Planes*

PLANES	CLIENTES	COSTO DE PLANES	INGRESO DE PLANES	INGRESOS POR PLAN TOTAL	TOTAL CLIENTES
PLAN BÁSICO					50000
PLAN 1 GB	15000	\$ 33.000,00	\$ 495.000.000,00	\$ 975.000.000,00	
PLAN 3 GB	10000	\$ 48.000,00	\$ 480.000.000,00		
PLAN INTERMEDIO					
PLAN 5 GB	10500	\$ 60.000,00	\$ 630.000.000,00	\$ 1.365.000.000,00	
PLAN 10 GB	7000	\$ 105.000,00	\$ 735.000.000,00		
PLAN EMPRESARIAL					
PLAN 3 GB	3750	\$ 46.000,00	\$ 172.500.000,00	\$457.500.000,00	
PLAN 5 GB	2250	\$ 58.000,00	\$ 130.500.000,00		
PLAN 10 GB	1500	\$ 103.000,00	\$ 154.500.000,00		
			TOTAL INGRESOS PLANES	\$ 2.797.500.000,00	

Fuente: Cárdenas y Gafaro. (2016).

6.5 Evaluación Financiera

Se considera para el análisis financiero que anualmente va a existir una inflación del 5%, por lo que el precio de los costos de operación van a incrementar progresivamente. Los planes ofrecidos a los clientes también sufrirán un reajuste en el precio gracias a una inflación estimada del 5% anual.

Tabla 32. *Evaluación Financiera*

ITEM / AÑO	0	1	2	3	4
INGRESOS		\$6.714.000.000	\$7.049.700.000	\$7.402.185.000	\$7.772.294.250
GASTOS DE OPERACIÓN		\$2.049.400.000	\$2.151.870.000	\$2.259.463.500	\$2.372.436.675
GASTOS DE INFRAESTRUCTURA	\$6.462.470.000				
GANANCIAS	\$6.462.470.000	\$4.664.600.000	\$4.897.830.000	\$5.142.721.500	\$5.399.857.575

Según la relación de la evaluación financiera se puede inferir que va a existir un retorno a la inversión en sólo dos años, siempre y cuando se respeten los datos más relevantes como los números de usuarios que adquirieron planes de datos y los costos de operación.

7. Conclusiones

- La viabilidad de 4G LTE en los municipios de Bucaramanga y Floridablanca no tiene mayores problemas, debido a que su geografía permite un buen acceso a las redes de servicio. Es una gran ventaja que en medio del casco urbano no existan sistemas montañosos que puedan afectar el acceso a la red celular.
- Siguiendo las conclusiones en el análisis de costos de la implementación, se concluye que el proyecto es viable. Tomando en cuenta que está diseñado para una empresa operadora nueva, significa que para un operador existente es menor el costo debido a la menor inversión de infraestructura en donde la productividad será mayor.
- El tamaño de las celdas depende de diferentes factores como el tipo de antenas utilizado, el terreno, la ubicación de la instalación y la densidad de población el alcance del dispositivo móvil.
- Los costos de la implementación puede variar de acuerdo a la cantidad de equipos necesarios, y del fabricante. Así como también de la compra de predios e instalación de torres de las estaciones base.
- El tráfico puede variar debido al tamaño de población donde se vaya a hacer la implantación, debido a su cultura, a la zona geográfica, costumbres y necesidades.

8. Recomendaciones

- Se da la recomendación de generar diferentes planes de usuarios para tener una mayor variedad de clientes. De ésta manera podremos tener una mayor penetración en la población teniendo en cuenta las necesidades de los clientes y las operaciones de mercado generadas por éste servicio.
- Es necesario realizar diferentes estudios de tráfico de red debido al aumento constante de la población Bumanguesa lo cual puede generar saturación de la red.
- Debido al incremento exponencial de la construcción en Bucaramanga y Floridablanca, es necesario realizar los estudios pertinentes de factibilidad para evitar fallas en la cobertura de los clientes urbanos.
- Es necesario realizar un estudio de mercadeo que permita establecer las zonas donde es más rentable ofrecer los servicios con valores asequibles al usuario final con tecnología LTE, permitiendo así la penetración y aprobación de la nueva tecnología.
- Una de las recomendaciones más importantes es ir actualizando los equipos debido mejoras del fabricante que permitan manejar mayor velocidad y menor cantidad para los diseños planteados.

Referencia Bibliografía

- Antecedente Red Movil Celular. (2000 - 2016). Obtenido de <http://ohmyphone.orange.es/universo-orange/historia-de-la-red-movil-como-hemos-llegado-al-4g.html>
- 4 Generacion. (2015). Obtenido de https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjV-rzUstrTJAhWD5iYKHRgxBsIQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2Ffluis_fer_monty%2Festudio-sobre-la-implementacin-de-la-tecnologa-lte-avanzada&usg=AFQjCNHGmZ
- Red De Acceso. (2015). Obtenido de http://www.academia.edu/5935099/Tecnolog%C3%ADas_UMTS_y_LTE
- 4 G americas. (s.f.). 4 G Americas. Recuperado el 2014 de 11 de 5, de <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=412>
- Academia. (2015). *Red de acceso, Tecnologías UMTS y LTE*. Recuperado el diciembre de 2015, de http://www.academia.edu/5935099/Tecnolog%C3%ADas_UMTS_y_LTE
- Alcaldia de Bucaramanga. (2015). *Demografia de Bucaramanga, Indicadores*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?param=277>
- Americas, 4. (s.f.). 4G Americas. Recuperado el 30 de 10 de 2014, de <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=406>
- Areá Metropolitana de bucaramanga. (2015). *Geografia de Bucaramanga*. Recuperado el diciembre de 2015, de http://www.amb.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=484
- Cancela, J. (2015). *Redes de telefonía móvil: 2.5G*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://javiercancela.com/2007/11/10/redes-de-telefonía-movil-25g/>
- Carbajosa, C. (26 de octubre de 2014). *Que es el teléfono móvil?* Recuperado el diciembre de 2015, de <http://carlaacarbajosaa.blogspot.com.co/>
- Cardenas, P., & Gafaro, D. (2015). Colombia. celulares about. (4 de noviembre de 2014). *Beneficios al usuario de redes LTE 4G en la telefonía celular*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://celulares.about.com/od/Smartphones/a/Telefonia-Celular-Beneficios-Al-Usuario-De-Redes-LTE-4g.htm>

- Demografía Bucaramanga. (s.f.). Obtenido de <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?param=277>
- Diario de un Teleco. (2014). *Martin Cooper y la primera llamada desde un móvil*. Recuperado el 29 de 10 de 2015, de <http://diariodeunteleco.wordpress.com/2007/05/22/martin-cooper-y-la-primer-llamada-desde-un-movil/>
- Ecured. (2016). *Tecnología 4G*. Recuperado el enero de 2016, de http://www.ecured.cu/Tecnolog%C3%ADa_4G
- Google. (2014). *Transmision LTE*. Recuperado el diciembre de 2015, de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjC4aqDsLTJAhWDRyYKHU3YAcMQFggoMAI&url=http%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F1845%2F10%2FUPS-ST000846.pdf&usg=AFQjCNHuZ-puMfbnvycu6oHt7O6ADbd7UQ>
- Google. (2015). *4 Generacion*. Recuperado el 2015, de https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjV-rzUsrTJAhWD5iYKHRgxBSIQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2Ffluis_fer_monty%2Festudio-sobre-la-implementacin-de-la-tecnologa-lte-avanzada&usg=AFQjCNHGmZ
- Maldonado, F. (215). *Redes Celulares*. Recuperado el enero de 2016, de [academi:
http://www.academia.edu/6375377/Redes_Celulares](http://www.academia.edu/6375377/Redes_Celulares)
- Huamani. M.(s.f.). http://miguel-huamani-20121923.blogspot.com.co/2014_09_01_archive.html.
- Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2012). *Proceso de Subasta 4G*. Recuperado el 30 de 10 de 2014, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-1082.html>
- Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2012). *Proceso de Subasta 4G*. Recuperado el 30 de 10 de 2014, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-1085.html>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2014). *Subasta 4G en Colombia*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2015). *Cifras telefonía Movil*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-596.html>

- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (30 de junio de 2015). *Gobierno adjudica licencias de 4G*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-2029.html>
- Movista. (2016). *Frecuencias LTE. Movistar 4G LTE*. Recuperado el enero de 2016, de <http://www.movistar.co/descubre/4glte>
- Ohmyphone.orange. (2009). *Historia de la red móvil: ¿cómo hemos llegado al 4G?* Recuperado el diciembre de 2015, de *Historia de la red móvil: ¿cómo hemos llegado al 4G?:* <http://ohmyphone.orange.es/universo-orange/historia-de-la-red-movil-como-hemos-llegado-al-4g.html>
- Ohmyphone.orange. (2009). *Historia de la red móvil: ¿cómo hemos llegado al 4G?* Recuperado el 29 de 10 de 2015, de <http://ohmyphone.orange.es/universo-orange/historia-de-la-red-movil-como-hemos-llegado-al-4g.html>
- Pedia. (24 de 03 de 2014). *www.pedia.com*. Recuperado el 5, de www.pedia.com
- Peña, S. (19 de Febrero de 2015). *Evolución de los teléfonos celulares*. Recuperado el diciembre de 2015, de <https://prezi.com/edm5w61cy6jm/evolucion-de-los-telefonos-celulares/>
- PMI. (s.f.). <http://www.pmi.org/>. <http://www.pmi.org/>.
- Psafe. (2014). *2G, 3G y 4G: Las diferencias de las conexiones de Internet móvil*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.psafe.com/es/blog/2g-3g-4g-diferencias-entre-conexiones-de-internet-movil/>
- Redes Móviles de Cuarta Generación. (s.f.). *Análisis del Área del Sector de las Telecomunicaciones, ¿Qué es 2G?* Recuperado el diciembre de 2015, de <http://renedelorean.blogspot.com.co/p/desarrollo-semana-1.html>
- Ruiz, V. R. (15 de Octubre de 2013). *mobile world capital*. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, de <http://mobileworldcapital.com/es/article/212>
- Sites.google. (s.f.). *telefono movil*. Recuperado el diciembre de 2015, de <https://sites.google.com/site/telefonofijo26/telefono-movil>
- Telecomsharing. (2013). *Características de la arquitectura LTE/SAE*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.telecomsharing.com/es/biblioteca/lte-4g/item/33-caracteristicas-de-la-arquitectura-lte-sae>
- Tot4blog. (11 de mayo de 2013). *LTE para principiantes, Día 2: Breve descripción de la arquitectura de red de LTE*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>

- Uacmmobile. (2015). *Tecnologia LTE, 4G LTE*. Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://uacmmobile.blogspot.com.co/p/4g-lte.html>
- Vidas, Biografías y. (2014). *Guglielmo Marconi*. Recuperado el 29 de Octubre de 2015, de <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/marconi.htm>
- Wikipedia. (2015). *Bucaramanga*. Recuperado el diciembre de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Bucaramanga>
- Wikipedia. (2015). *Sistema global para las comunicaciones móviles*. Recuperado el 29 de 10 de 2015, de http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles
- Xatakamovil. (2015). *LTE-Advanced, todo lo que necesitas saber sobre la auténtica Cuarta Generación de la Internet móvil*. Recuperado el diciembre de 2015, de <http://www.xatakamovil.com/conectividad/lte-advanced-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-autentica-cuarta-generacion-de-la-internet-movil>