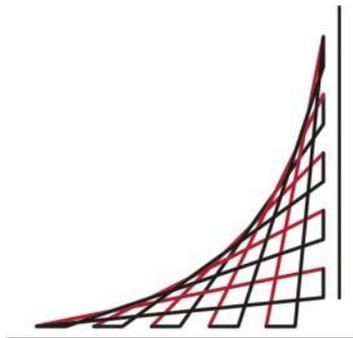


**GUÍA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO
INALÁMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA
NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA
GENERACIÓN.**



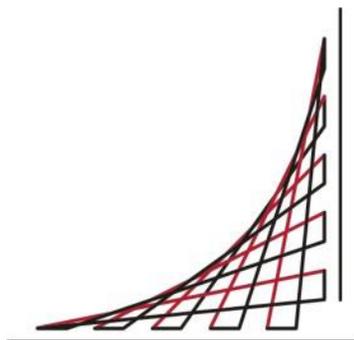
CARLOS EMEL RUIZ HIGUERA

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

BOGOTÁ 2016

**GUÍA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO
INALÁMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA
NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA
GENERACIÓN.**



CARLOS EMEL RUIZ HIGUERA

Trabajo de grado para optar el título de
Magister en Ingeniería Electrónica.

Director: Ing. Carlos Arturo Lezama

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ 2016**

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, septiembre de 2016.

*A mi querida esposa Nelly, mi preciosa hija Laura Catalina,
mi padre Emilio Libardo, a la memoria de mi difunta madre
y a todos a los quienes les he negado un tiempo para compartir.*

Carlos Emel Ruiz Higuera.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo a Dios por la vida y la sabiduría que nos permite cada día avanzar por la senda del éxito y a todos aquellos quienes colaboraron en la realización y terminación de este proyecto de grado, en especial a:

Al ingeniero Carlos Arturo Lezama, director de mi proyecto y que gracias a su conocimiento, colaboración y asesoría, hizo realidad la finalización del trabajo de grado, corroborando de esta manera al crecimiento profesional.

A los profesores designados por la Escuela Colombiana de Ingeniería para direccionar, asesorar y compartir su sabiduría y experiencias durante el desarrollo de los diferentes cursos de la maestría, porque gracias a su apoyo y enseñanzas se ha logrado la finalización del trabajo de grado.

A los compañeros de clase, de los cuales he aprendido a compartir los retos y objetivos, y a tener presente el valor para seguir adelante hasta lograr las metas propuestas.

Y a mi familia, porque a ellos les he negado días para compartir, tiempo que he dedicado a mis estudios de maestría y finalización del proyecto de grado.

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
CONTENIDO	6
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABLAS	11
GLOSARIO	12
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
CAPITULO 1	
1. PRELIMINARES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
1.1. INTRODUCCIÓN	18
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
1.2.1. Título del proyecto.	20
1.2.2. Antecedentes	20
1.2.3. Descripción del problema	25
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	27
1.3.1. Objetivo general	27
1.3.2. Objetivos específicos	27
1.4. METODOLOGÍA	28
CAPITULO 2	
2. MARCO REFERENCIAL	29
2.1. ARQUITECTURA DE LA RED DE NUEVA GENERACIÓN	30
2.2. ESTRUCTURA DEL PLANO DE SERVICIO BASADA EN IMS	32
2.2.1. Capa de transporte	33
2.2.2. Capa de control	34
2.2.3. Capa de aplicación	36
2.3. SERVICIOS EN LAS REDES IMS	37
2.4. PROTOCLOS ADOPTADOS POR EL IMS	38

2.4.1. Protocolo SIP	38
2.4.2. Protocolo SDP	41
2.4.3. Protocolo CPOS	43
2.4.4. Protocolo Diameter	44
2.4.5. Protocolo RTP	46
2.4.6. Protocolo RSVP	48
2.4.7. Protocolo IPv6	50
2.4.8. Protocolo Megaco	52
2.5. ESTRUCTURA DEL PLANO DE RED	54
2.5.1. Capa de transporte	55
2.5.1.1 Tecnología ATM	55
2.5.1.2 Tecnología SDH	58
2.5.1.3 Tecnología WDM	61
2.5.1.4 Tecnología MPLS	64
2.5.2. Capa de acceso	67
2.5.2.1 Tecnología de acceso guiado	68
2.5.2.1.1 El par telefónico	68
2.5.2.1.2 El cableado estructurado	69
2.5.2.1.3 El cable coaxial	70
2.5.2.1.4 La fibra óptica	70
2.5.2.2 Tecnologías de Acceso no guiado	75
2.5.2.2.1 Tecnología de lazo local inalámbrico (WLL)	75
2.5.2.2.2 Sistema de distribución local multipunto (LMDS)	76
2.5.2.2.3 Sistema multicanales de distribución por microondas (MMDS)	77
2.5.2.2.4 Tecnología Wireless Fidelity (Wi-Fi)	77
2.5.2.2.5 Tecnología worldwide interoperability for microwave Access (WiMax)	79
2.5.2.2.6 Tecnología de acceso vía satélite	80
2.5.2.2.7 Tecnología de acceso vía sistemas celulares	81
2.6. ESTRUCTURA DEL PLANO DE GESTIÓN	83
2.6.1. Arquitectura de la gestión de red TMN	85
2.6.1.1 Arquitectura del área funcional	85
2.6.1.2 Arquitectura del área física	86
2.6.1.3 Arquitectura del área lógica	87
CAPITULO 3	
3. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN CELULAR	88
3.1. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN CELULAR	89
3.1.1. La estación base	90

3.1.2. El equipo o terminal de usuario	90
3.1.3. La interfaz de radio	90
3.1.4. Los centros de conmutación móviles	90
3.2. TOPOLOGÍA DE LA RED CELULAR	91
3.2.1. Reuso de frecuencias	92
3.2.2. Antenas	93
3.2.3. Paginación	93
3.2.4. Traspaso o Handover	93
3.3. TECNICAS DE ACCESO EN LA TELEFONÍA CELULAR	94
3.3.1. Acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA)	94
3.3.2. Acceso múltiple por división en tiempo (TDMA)	95
3.3.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)	96
3.3.4. Acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal (OFDMA)	97
3.3.5. Acceso múltiple por división en frecuencia de única portadora (SCFDMA)	100
3.4. EVOLUCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN LA TELEFONÍA CELULAR	100
3.4.1. Tecnología de tercera generación	101
3.4.1.1 Tecnología sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS)	101
3.4.1.2 Tecnología CDMA-2000	104
3.4.1.3 Tecnología LTE	105
3.4.2. Tecnología de cuarta generación 4G	107
3.4.2.1 Tecnología LTE-Advanced	108
3.4.2.1.1 Plano de servicio LTE-Advanced	109
3.4.2.1.2 Plano de núcleo de red LTE-Advanced	109
3.4.2.1.3 Plano de red de acceso LTE-Advanced	110
3.4.2.1.4 Plano de equipo de usuario LTE-Advanced	110

CAPITULO 4

4. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO INALÁMBRICA 4G	112
4.1. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO INALÁMBRICO CON TECNOLOGÍA 4G	113
4.1.1. Normatividad y estándares de las redes de nueva generación	114
4.1.2. Especificaciones técnicas de los equipos de la red de acceso 4G	117
4.1.3. Proveedores de equipos para redes de acceso 4G	119
4.1.4. Integración de equipos y tecnologías	123
4.1.4.1 Técnicas de acceso al medio OFDMA	123
4.1.4.2 Técnicas de acceso SC-FDMA	124
4.1.4.3 Tecnologías de antenas MIMO	125

4.1.4.4 Duplexación por división en tiempo (TDD)	125
4.1.4.5 Duplexación por división en frecuencia (FDD)	127
4.2. INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA 4G	129
4.3. ESTUDIO DE CASOS	132
4.3.1. Modelo para el diseño de la red de acceso con equipos Alcatel-Lucent	136
4.3.2. Modelo para el diseño de la red de acceso con equipos Huawei	139
4.3.3. Modelo para el diseño de la red de acceso con equipos Ericsson	141
4.4. VALIDACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA 4G	143
CAPITULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
5.1. CONCLUSIONES	
5.2. RECOMENDACIONES	148
BIBLIOGRAFÍA	149
ANEXOS	156

INDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Modelo de red de nueva generación	30
Figura 2. Arquitectura IMS para una red de nueva generación	32
Figura 3. Cabecera del mensaje del protocolo COPS	44
Figura 4. Cabecera del mensaje del protocolo Diameter	45
Figura 5. Formato de la cabecera del paquete RTP	47
Figura 6. Estructura del mensaje del protocolo RSVP	49
Figura 7. Formato de cabecera del mensaje del protocolo IPv6	51
Figura 8. Modelo de capas en la tecnología ATM	56
Figura 9. Comparación de la tecnología WDM según su aplicación	63
Figura 10. Estructura de la cabecera MPLS	65
Figura 11. Modos de propagación en la fibra óptica	72
Figura 12. Arquitectura de gestión en la red de nueva generación	84
Figura 13. Bloques funcionales del TMN	85
Figura 14. Relación entre elementos de red y bloques funcionales del TMN	86
Figura 15. Arquitectura lógica de los niveles de red TMN	87
Figura 16. Estructura básica de un sistema de comunicación celular	89
Figura 17. Tipología de la red celular	91
Figura 18. Estructura de la trama GSM en TDMA	96
Figura 19. Asignación de recursos en OFDMA	98
Figura 20. Estructura de la trama OFDMA en el modo TDD	99
Figura 21. Arquitectura de la red UMTS	102
Figura 22. Arquitectura de la tecnología LTE	105
Figura 23. Arquitectura de la red LTE-Advanced	109
Figura 24. Diagrama de flujo para el diseño por integración de una red de Acceso NGN	112
Figura 25. Duplexación por división en tiempo, TDD	126
Figura 26. Duplexación por división en frecuencia, FDD	127
Figura 27. Arquitectura de la BBU Alcatel y su entorno	137
Figura 28. Arquitectura de la BBU 3900 de Huawei y su entorno	139
Figura 29. Componentes del nodo RBS 6601 de Ericsson	141
Figura 30. Dominios de seguridad 3GPP TS.401	142
Figura 31. Componentes de seguridad de acceso a la red	143

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos o peticiones del protocolo SIP	39
Tabla 2. Clases de respuestas del protocolo SIP	41
Tabla 3. Campos del mensaje en el protocolo SDP	42
Tabla 4. Tipos de operaciones en el protocolo COPS	44
Tabla 5. Niveles jerárquicos y velocidad de operaciones SONET y SDH	58
Tabla 6. Características del estándar IEEE – 802-16	80
Tabla 7. Normas y estándares en la gestión de red TMN	88
Tabla 8. Normatividad Colombiana para el diseño de redes de cuarta generación	114
Tabla 9. Recomendaciones para la implementación de una red de nueva generación	115
Tabla 10. Estándares para la implementación de una red de nueva generación	115
Tabla 11. Especificaciones técnicas que deben cumplir las redes de nueva generación	117
Tabla 12. Proveedores de equipos para la red de acceso 4G	120
Tabla 13. Resumen de especificaciones técnicas para proveedores de equipos para la red de acceso 4g	122
Tabla 14. Relación de bandas de frecuencias y número de canales con TDD	126
Tabla 15. Relación de bandas de frecuencias y número de canales con FDD	128
Tabla 16. Relación de códecs de fuente para equipos 4G	135

GLOSARIO

4G: (Cuarta Generation) Siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es una tecnología basada en el protocolo IP, posee la capacidad para ofrecer velocidades de acceso mayores a 100 Mbps en movimiento y hasta 1 Gbps en conexión estática.

16-QAM: (16-Quadrature Amplitude Modulation) Modulación por amplitud de cuadratura de 16 símbolos.

64 QAM: (64-Quadrature Amplitude Modulation) Modulación por amplitud de cuadratura de 64 símbolos.

ARQ: (Automatic Repeat reQuest) Solicitud de repetición automática, es un protocolo para el control de errores en la transmisión de datos.

AWGN: (Additive White Gaussian Noise) Ruido blanco aditivo Gaussiano, es una perturbación aleatoria presente en los sistemas de comunicación electrónica con una densidad de potencia constante en el ancho de banda del sistema.

AWS: (Advanced Wireless Services) Banda del espectro de telecomunicaciones que se utiliza en los sistemas móviles de voz, datos, video y mensajería.

BACKHAUL: Red de retorno que lleva el tráfico desde el borde interior de la red de acceso hasta la estación base de la red.

BER: (Bit Error Rate) Tasa de error de bit, porcentaje de bits con errores con relación al número total de bits recibidos en una transmisión y que generalmente se expresan como diez a una potencia negativa.

BROADBAND: Banda Ancha, es la capacidad del canal de comunicación para la transmisión de información a velocidad mayor a 1 Mbps.

BTS: (Base Transceiver Station) la estación base es una instalación fija de radio para la comunicación celular entre el terminal del usuario y el núcleo de la red.

BANDWIDTH: Ancho de Banda, es la medida de capacidad de un canal de comunicación o velocidad de transmisión de datos de un sistema de telecomunicaciones.

CCCH: (Common Control Channel) Canal de control común, es un canal lógico para el control de flujo multicast de datos de uso común para todos los dispositivos móviles.

CÉLULA: Área geográfica a la que le proporciona cobertura una estación base.

CLÚSTER: Cantidad total de los canales en la banda de frecuencia que se encuentran disponibles para la red celular, está formado por un conjunto de células.

eNodeB: (Evolved Node B) es el acrónimo usado para identificación del nodo o estación base en la tecnología inalámbrica LTE y LTE-Advanced.

EPC: (Evolved Packet Core) Red central del Sistema LTE y LTE-Advanced que ofrece funciones avanzadas de paquetes, donde se unifica la voz y datos en un protocolo de internet.

E-UTRAN: (Evolved Utran) Red de acceso de una red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con los diferentes proveedores de servicios, es complementaria al núcleo de red.

FDD: (Frequency Division Duplexing) Duplexación por división en frecuencia, proceso en el cual el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras.

FDM: (Frequency División Multiplexing) Multiplexación por división en frecuencia, sistema en el que se divide el margen de frecuencias de transmisión disponible en bandas, utilizándose cada una de ellas para canales diferentes.

FDMA: (Frequency Division Multiple Access) Acceso múltiple por división en frecuencia, proceso en dividir un canal de ancho de banda en varias frecuencias individuales para que cada usuario utilice una ranura de estas.

FEMTOCELDA: Punto de acceso inalámbrico con baja potencia de transmisión para un grupo de usuarios que se integra con la red de banda ancha para mejorar la cobertura dentro de un edificio, oficina o casa.

HANDOVER: Es un sistema utilizado en las comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación a otra cuando la calidad es insuficiente.

LATENCIA: Es el tiempo que tarda (suma de retardos) un paquete de datos en llegar desde el punto de origen hasta el punto destino y ser almacenados o recuperados.

LINK BUDGET: Es el presupuesto del enlace donde se analizan todas las ganancias y pérdidas entre la emisión y recepción de una señal en un sistema de telecomunicaciones.

LOS: (Line of Sight) Línea de vista, es un enlace de radio con visibilidad directa entre las antenas de transmisión y recepción.

LTE: (Long Term Evolution) Tecnología de banda ancha inalámbrica 4G desarrollada por el proyecto de asociación de tercera generación 3GPP. Tecnología

de acceso que permite velocidades hasta 326 Mbps para el canal descendente y 86 Mbps para el canal ascendente.

LTE-Advanced: (Long Term Evolution Advanced) Estándar de red celular que ofrece un mayor rendimiento que sus predecesoras y puede entregar datos con velocidades hasta 1 Gbps.

MIMO: (Multiple Input / Multiple Output) Múltiples entradas / Múltiples salidas, esquema de antenas usado en las nuevas tecnologías inalámbricas de la telefonía celular que son utilizadas tanto en el transmisor como en el receptor para mejorar la capacidad, cobertura y transferencia de la información en el sistema aumentando la eficiencia espectral.

MAC: (Message Authentication Code) Código de autenticación de mensaje, es una suma de comprobación criptográfica de los datos que utiliza una clave de sesión para detectar modificaciones accidentales o intencionales de los datos.

MME: (Mobility Management Entity) Entidad de administración del móvil, es la encargada de gestionar la información en cada uno de los nodos de la red de comunicaciones.

NAS: (Non Access Stratum) Es el más alto estrato del plano de control entre el usuario y la entidad de gestión del móvil en la interfaz de radio, es responsable de establecer y mantener la conectividad IP entre el UE y la red central.

NGN: (Next Generation Network) Red de nueva generación, Red basada en paquetes que utiliza múltiples tecnologías de banda ancha para el acceso a las redes de telecomunicaciones.

OFDMA: (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) Acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal, método de multiplexación que divide un canal en múltiples ranuras estrechas ortogonalmente y que están espaciadas de modo que no interfieran unas con otras.

PAGING: Mecanismo para encontrar al terminal del usuario cuando hay información desde la red hacia él, es utilizado por la red para establecer una conexión de señalización NAS para el usuario.

PCRF: (Policy Control and Charging Rules Functions) Función de Reglas para la carga y políticas de control, es el encargado de establecer que tanto flujo de tráfico se puede manejar.

PDCCP: (Packet Data Convergence Protocol) Protocolo de convergencia de paquete de datos, subcapa por la cual el usuario tiene acceso a los servicios de la red.

QPSK: (Quadrature Phase Shift Keying) Modulación de fase en cuadratura, esquema de modulación en el cual la información es transmitida a través de variaciones de fase, mientras se mantiene una amplitud y frecuencia constante.

RADIUS: (Remote Authentication Dial-In User Service) Protocolo cliente – servidor que permite a los servidores de acceso para comunicarse con el servidor central para la autenticación y autorización de usuarios en las aplicaciones como acceso a redes o movilidad IP.

RRC: (Radio Resource Control) Control de recursos de radio, identifica y verifica cada uno de los recursos de red disponibles para el enlace de radio.

RRM: (Radio Resource Management) Administrador de Recursos de Radio, encargado de gestionar el mecanismo de reacción rápida para la interfaz de radio.

SC-FDMA: (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) Acceso múltiple por división en frecuencia con una sola portadora, donde se divide el ancho de banda en múltiples portadoras en paralelo manteniendo el canal selectivo en frecuencia por el uso del prefijo cíclico.

TDD: (Time Division Duplex) Duplexación por división en tiempo, método de comunicación bidireccional en la misma frecuencia de la portadora pero en diferentes ranuras de tiempo.

TDM: (Time Division Multiplexing) Multiplexación por división en tiempo, método de multiplexación de señales con diferentes datos, donde el canal se divide en intervalos de tiempo múltiple y las diversas señales se asignan a las ranuras adecuadas.

TDMA: (Time Division Multiple Access) Es una tecnología utilizada en la comunicación celular que divide cada canal hasta en ocho ranuras de tiempo con el fin de aumentar la cantidad de llamadas de modo que varios usuarios puedan usar el canal al mismo tiempo sin tener interferencia entre ellos.

TROUGHPUT: Es la capacidad efectiva de transferencia de datos sobre un enlace.

HSPA: (High Speed Packet Access) Acceso de paquetes de alta velocidad en el enlace descendente, es una evolución de la red UMTS.

UMTS: (Universal Mobile Telecommunication System) Estándar Europeo de telefonía de tercera generación con una velocidad máxima de transferencia de datos hasta 14,4 Mbps.

UTRAN: (Universal Terrestrial Radio Access Network) Red de acceso universal de radio terrestre, permite a los equipos de los usuarios conectarse al núcleo de la red.

RESUMEN

La evolución tecnológica en la red de acceso inalámbrico 4G de las redes de nueva generación (NGN), ha permitido mejorar la implementación de infraestructura tecnológica que simplifica el despliegue, optimiza la capacidad y cobertura de las redes de telecomunicaciones, garantizando recursos de red, contenidos y aplicaciones a los usuarios con los más altos niveles de calidad. El uso de nodos LTE-A (eNodeB) en la red de acceso, permite trabajar altas velocidades de acceso, mejorar la eficiencia espectral, reducir la relación del retardo, optimizar el ancho de banda, mejorar la conectividad a través de redes heterogéneas y ofrecer una buena calidad de servicio.

Por lo anterior, el propósito de este proyecto se centra en entregar una guía para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico de telefonía celular 4G conforme a la normatividad y especificaciones de las redes de nueva generación. Para ello, en este trabajo se identifican las características y especificaciones técnicas de la tecnología inalámbrica 4G de acuerdo con los estándares internacionales, algunos de los proveedores de equipos y los parámetros a seguir para el diseño e implementación de una red de acceso de cuarta generación. Finalmente, se provee una metodología de evaluación para determinar en qué grado el diseño de la red de acceso se completó, basado en cada uno de los entornos de red como cobertura, capacidad y aplicaciones, como insumos fundamentales para el diseño e implementación de la red de acceso con tecnología inalámbrica 4G.

Palabras clave: red de acceso, tecnología inalámbrica, red de nueva generación, LTE-Advanced, eNodeB, eficiencia espectral, OFDMA, CS-DMA, Diameter, Latencia, ancho de banda, redes móviles 4G, clase de servicio.

ABSTRACT

The technological development in the network of wireless access 4G of the next generation networks (NGN) has allowed to improve the implementation of technological infrastructure that simplifies the deployment, it optimizes and to coverage the capacity of telecommunication networks; thus, it guarantees resources of network, contents and applications to the users at the highest levels of quality. The use of nodes LTE-Advanced (eNodeB) in the access network, it allows to work high speed of access, in order to improve the spectral efficiency, to reduce the relation of the delay, to optimize the bandwidth, to improve the connectivity across from heterogeneous networks and to offer a good quality of service.

Consequently, the objective of this project is focus on giving a guide for the design for integration of the network of wireless access of cellular telephony 4G according to the regulations and specifications of the next generation networks. For that matter, this project identifies characteristics and technical specifications of the wireless technology 4G based on international standards, some of the providers of equipment and the parameters for the design and implementation of an access network of the fourth generation. Finally, the project provides a methodology of evaluation in order to determine in what grade the design of the access network was completed, it was based on each one of the environments of network such as coverage, capacity and applications as fundamental inputs for the design and the implementation of the access network of the wireless technology 4G.

Key Words: *access network, wireless technology, next generation network, LTE-Advanced, eNodeB, spectral efficiency, OFDMA, SC-FDMA, Diameter, Latency, Bandwidth, mobile networks 4G, class of service.*

INTRODUCCIÓN

La evolución tecnológica en el campo de las telecomunicaciones, ha permitido pasar rápidamente por cada una de las plataformas de telefonía celular hasta llegar al 4G. A través del tiempo se ha mejorado y optimizado en la fabricación de tecnologías y equipos, donde se refleja el avance y calidad de los servicios, su facilidad en la implementación y bajos costos, tanto para usuarios como para proveedores; estos últimos, son los responsables de integrar tecnologías, alcanzar a la convergencia, generar nuevas aplicaciones y tendencias tecnológicas que faciliten el acceso a las redes de nueva generación desde cualquier terminal de usuario, cualquier lugar y en cualquier instante de tiempo.

La convergencia e integridad de las redes de comunicaciones celulares, ha evolucionado a tal punto que la cuarta generación, define características esenciales para que puedan denominarse 4G como el acceso de banda ancha y la eficiencia de red, la alta capacidad de transmisión y recepción, la heterogeneidad en las redes y la alta calidad del servicio. Requisitos indispensables que están descritos en los diversos estándares y normas de los organismos encargados de la regulación de las telecomunicaciones a nivel mundial y que se deben tener en cuenta cuando se proyecte el despliegue de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G.

La implementación de redes de telecomunicaciones es un reto muy importante para el diseño y desarrollo con nuevas tecnologías, razón por la cual se debe trabajar en la integración de marcas, servicios, redes y plataformas para garantizar la conectividad con un alto nivel de aceptación por parte de los usuarios, y que la calidad del servicio sea siempre la mejor. De allí, el diseño por integración de las redes de acceso inalámbrico con tecnología 4G para redes de nueva generación (NGN), donde la calidad de servicio, la confiabilidad, la disponibilidad, la resiliencia y la seguridad son parámetros fundamentales para su despliegue y puesta en funcionamiento.

El diseño por integración tiene como propósito analizar las especificaciones de los diferentes proveedores de equipos y tecnologías aceptadas por las normas y estándares para realizar cálculos, diseñar esquemas, costear y presentar propuestas donde se incluyan las mejores alternativas en cuanto a marcas, especificaciones técnicas y tecnologías más viables en la realización de un proyecto. El diseño por integración no se trata de construir un equipo o herramienta, sino de integrarlo en una solución que contenga las mejores características técnicas y estándares de calidad, donde cumpla objetivamente con las condiciones iniciales.

El desarrollo de las redes de nueva generación ha traído simplificación de procesos, optimización de recursos, eficiencia en el aprovechamiento del espectro y equipos más eficientes. Por ello, la tecnología 4G permite implementar nodos o celdas celulares con las mejores especificaciones técnicas y equipos más robustos que hacen más simple la conectividad e interacción entre el equipo de usuario, las aplicaciones y la red.

Con la tecnología inalámbrica 4G la implementación de la red de acceso, dispone de una diversidad de hardware y software, aspectos que permiten mejorar el rendimiento, la capacidad y el throughput de la red. Además, el conocimiento de las normas legales, los estándares internacionales y las especificaciones técnicas de los equipos, incrementa de manera significativa el diseño por integración de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G para la telefonía celular con los más altos estándares de calidad, servicio, cobertura y eficiencia.

El documento posee cinco capítulos, en el capítulo uno se describe todo lo referente a generalidades del proyecto, sus antecedentes, descripción del problema, objetivos y metodología para su estructura, búsqueda y organización de la información. En el capítulo dos se define el marco referencial sobre la arquitectura de las redes de nueva generación, sus servicios y protocolos. En el capítulo tres se presenta la estructura de un sistema de comunicación celular, sus topologías, las técnicas de acceso y la evolución de cada una de las generaciones de telefonía celular.

Finalmente, en el capítulo cuatro se expone la guía para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico para la telefonía celular con tecnología 4G, donde se describe los parámetros fundamentales para la puesta en funcionamiento del eNodeB e incluye un instrumento de verificación de dichos parámetros, con la finalidad de cumplir con los requerimientos que impone el pertenecer a las redes de nueva generación (NGN) y el control de los organismos que rigen las telecomunicaciones a nivel local y mundial. En el capítulo cinco se describe lo relacionado con las conclusiones, recomendaciones del proceso de búsqueda, organización, análisis y diseño de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G basados en la arquitectura de una red de nueva generación.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

1.2.1. TÍTULO DEL PROYECTO:

GUÍA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO INALÁMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA GENERACIÓN.

1.2.2. ANTEDECENTES

El desarrollo de la tecnología inalámbrica para las redes de telefonía celular ha pasado por diferentes generaciones hasta llegar a la arquitectura de cuarta generación (4G), donde se destaca la optimización de servicios y aplicaciones, incluyendo la integración y migración de las antiguas tecnologías, con base en la arquitectura de las redes de nueva generación (NGN) aplicadas al modelo Y-2100 emitido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) y el uso de redes heterogéneas (*HetNets*). La evolución de las telecomunicaciones ha facilitado la fabricación de equipos cada vez más pequeños y versátiles, el desarrollo de diversas aplicaciones y nuevas herramientas para la comunicación, ofreciendo múltiples alternativas para acceder fácil y oportunamente a la información.

Las redes de acceso han avanzado de manera significativa y se han implementado de acuerdo con las exigencias del mercado y las tecnologías disponibles, el incremento exponencial de clientes y aplicaciones, por supuesto requieren un mejor ancho de banda y disponibilidad de la red. El acceso a las aplicaciones, servicios y utilidades disponibles en las redes de telecomunicaciones y sobre todo en la red de redes (Internet), se espera que se haga de manera eficiente y eficaz a través de la plataforma tecnológica de las redes de acceso inalámbrico con tecnología 4G.

El desarrollo y mejoramiento en las redes de teléfonos fijos que en un principio fueron análogos y luego digitales, se da a partir de las necesidades de los usuarios y el avance de la tecnología a través del tiempo, aspectos fundamentales para la aparición de nuevos sistemas de comunicaciones como lo fue el invento del teléfono móvil a finales de los años 40, pero fueron equipos costosos, muy pesados y

grandes que funcionaban en los vehículos y que eran de uso público pero restringido. Realmente, el primer teléfono móvil fue el creado en los laboratorios Bell en Estados Unidos por los años 1982 y que perteneció a la primera generación de teléfonos móviles.

El teléfono móvil es un dispositivo inalámbrico electrónico que permite tener acceso a la red de telefonía celular o móvil. Se denomina celular debido a las antenas repetidoras que conforman la red, cada una de las cuales es una célula, si bien existen redes telefónicas móviles satelitales, su principal característica es su portabilidad, que permite comunicarse desde casi cualquier lugar y se regula de acuerdo con las políticas generales del sector de las comunicaciones dadas por el Ministerio de Comunicaciones [1]. Aunque su principal función es la comunicación de voz, como el teléfono convencional, su rápido desarrollo ha incorporado otras funciones como son cámara fotográfica, agenda, acceso a Internet, reproducción de vídeo, acceso a internet e incluso GPS y reproductor mp3, entre otros.

En Colombia hasta la década de 1990 la telefonía estaba a cargo completamente del Estado a través de diversas empresas municipales y de la Empresa Nacional de Telecomunicaciones (Telecom). La desregulación de las telecomunicaciones permitió que empresas locales como la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá (ETB) y Empresas Públicas de Medellín (EE.PP.M.) pudieran prestar servicios de larga distancia nacional e internacional a través de sus marcas 007 Mundo y Orbitel, fue así como Telecom y EE.PP.M ingresaron al mercado para ofrecer servicios de telefonía local en la ciudad de Bogotá (bajo las empresas Capitel y EPM Bogotá).

En el territorio colombiano hacia el año de 1994 empiezan a operar las redes de telefonía celular a través de seis empresas (Celumóvil, Comcel, Ocel, Cotelco, CelCaribe y Celumóvil de la Costa) divididas en tres zonas de cobertura. La zona de la región Oriental, la región Occidental y región de la Costa Atlántica. En cada zona de cobertura funcionaba una empresa privada y una empresa mixta (capital privado y público), con la participación de las empresas de telefonía fija, dando origen a la implementación de la tecnología de comunicaciones móviles en el país, aunque con limitaciones en cuanto a cobertura y un alto costo del servicio y equipos para los usuarios.

Para el año 2002 en Colombia el número de abonados celulares sobrepasó el número de líneas de telefonía fija instalada. Actualmente las facilidades de comunicación a través de internet y telefonía celular han disminuido la participación

de las empresas de telefonía fija. En 2003, los problemas financieros de la Empresa Colombiana de Telecomunicaciones (Telecom), agravados por la competencia de la Empresa de Telecomunicaciones de Bogotá (ETB) y Orbitel, la telefonía celular e internet, además de su carga pensional, llevaron al Gobierno Nacional a liquidar la empresa y crear una nueva. En 2006 Colombia Telecomunicaciones es adquirida por Telefónica, quien ha empezado a usar la marca (Telefónica Telecom).

El avance tecnológico hizo que la telefonía celular creciera de manera considerable, y cada uno de estos cambios se vio reflejado en la aparición de una tecnología que aplicaba para cada época y para cada uno de los servicios que se generaban en el ese momento, por eso, es importante dar un vistazo global sobre algunas de las características relevantes de cada una de ellas a partir de la tecnología 3G y el avance en las redes de acceso inalámbrico.

La tecnología móvil 3G es un estándar de tercera generación de comunicación inalámbrica para la transmisión de voz y datos a través de telefonía móvil mediante el Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles, *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS, por sus siglas en inglés). Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir tanto voz y datos (una llamada telefónica o una video-llamada) y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de correos electrónicos, y mensajería instantánea). Aunque esta tecnología estaba orientada a la telefonía móvil, desde hace unos años los operadores ofrecen servicios exclusivos de conexión a Internet mediante módem USB, sin necesidad de adquirir un teléfono móvil, por lo que cualquier computador puede disponer de acceso a Internet [2]. Existen otros dispositivos como algunos ultraportátiles (*notebooks*) que incorporan el módem integrado en el propio equipo, pero requieren de una tarjeta SIM (que llevan los teléfonos móviles internamente) para su uso, por lo que en este caso sí es necesario estar activo con un número telefónico.

La telefonía móvil 3.5G es una evolución del sistema 3G, que revolucionó la manera en que los teléfonos móviles podían ser usados, alcanzando una gran funcionalidad en sus aplicaciones, así como también en el envío y recepción de datos, primero, entre teléfonos celulares, y luego desde redes de datos, Internet, terminales electrónicas hacia los teléfonos celulares o viceversa. [3]. Dentro del desarrollo del sistema celular 3G, ahora se empieza a consolidar la generación 3.5G como el más efectivo patrón de funcionamiento en la mayoría de teléfonos móviles, teniendo en cuenta su gran funcionalidad, así como la facilidad con la que las centrales pueden

identificarlo y gestionarlo, sin necesidad de aplicar técnicas que difícilmente se pueden encontrar en el país donde se presta el servicio¹.

El sistema 3.5G, también llamado Acceso de Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad, *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA, por sus siglas en inglés), ofrece tanto a las centrales como a los usuarios facilidades tales como una mayor velocidad de transmisión pico hasta 1,8 Mbps con modulación QPSK, hasta 4 veces más rápida que el “antiguo” formato 3G (de todas maneras continúa siendo muy utilizado, sobre todo por cuestión de costos); a mayor velocidad de transmisión, también las imágenes y los sonidos pueden ser descargados y disfrutados con una mayor calidad, claro, si los equipos se adaptan al sistema, por lo que en la actualidad los nuevos teléfonos móviles se han diseñado con este objetivo.

Además de la velocidad de transmisión, el estándar 3.5G permite la visualización de producciones audiovisuales en tiempo real (*videostreaming*), lo que se puede apreciar con mayor claridad, por ejemplo en la transmisión de programas televisivos para móviles. En Colombia, primero Tigo y luego Movistar, han podido satisfacer a sus clientes con esta propuesta innovadora, que apenas está viendo sus primeras luces dentro de la oferta de mercado. Es muy probable que, si las condiciones son favorables, casi el 45% de la cobertura en telefonía móvil en Colombia sea 3.5G para inicios de la década de los años 2010² y que en la actualidad está alrededor del 100%.

La tecnología LTE, es compatible con las tecnologías de redes móviles anteriores como GSM/ EDGE y UMTS/HSPA. La red *Long Term Evolution* (LTE, por sus siglas en inglés), se desarrolla bajo el estándar 3GPP basada totalmente sobre IP y cuyo objetivo es proporcionar Internet de banda ancha a velocidades de transmisión similares a las redes fijas. Tiene una arquitectura de red muy sencilla, con una alta tasa de transmisión hasta 300 Mbps de bajada y hasta 76 Mbps de subida [4].

Las redes con tecnología *Long Term Evolution* (LTE) permiten anchos de banda escalables hasta 20 MHz (1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15 y 20 MHz), para el caso de los 5 MHz se encuentra el sistema de comunicación móvil UMTS. La arquitectura LTE facilita la interacción entre las redes de tercera generación tipo UMTS y las redes de tercera generación tipo WI-FI/WiMax con una latencia inferior a los 10 ms, donde se puede tener aplicaciones en tiempo real, sin que el usuario llegue a notar los retrasos que se tenían en los estándares anteriores. Los proveedores de servicio

¹ <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=405>

² Boletín SISMEG, julio de 2013. <http://colombiatic.mintic.gov.co/602/articles-611>

con este tipo de tecnología, pueden ofrecer servicios como *streaming*, compartir multimedia, televisión de alta definición y videoconferencias de muy alta calidad a unos mejores costos.

Las redes de telefonía celular con tecnología 4G, son la cuarta generación de las redes inalámbricas y, están llamadas a sustituir por completo a la actual tecnología 3G, 3.5 G y parte de la tecnología *Long Term Evolution* (LTE). Es una tecnología basada por completo en IP (*Internet Protocol*) y está siendo implementada para mejorar el sistema de comunicaciones inalámbricas que se tiene en la actualidad. La tecnología de redes 4G, fue creada con base en los objetivos de la UIT-T y desarrollada por el grupo de trabajo 3GPP con el principal objetivo de proporcionar soluciones integrales a los usuarios de redes inalámbricas, para ofrecer un alto nivel de seguridad del protocolo de Internet (*Internet Protocol*, IP), optimización de recursos y servicios.

Las redes 4G, tienen como característica principal una velocidad de transmisión de datos muy superior a las velocidades de las generaciones de redes inalámbricas anteriores, ofreciendo una mayor calidad de servicio y una recepción de datos superior a las actuales tecnologías 3G, 3.5G y *Long Term Evolution* (LTE) [5]. El principal uso que se da a este sistema de la arquitectura de red de nueva generación, es mejorar la comunicación entre los teléfonos celulares de todo el mundo, optimizando considerablemente la recepción y manteniendo una velocidad de transmisión de datos muy alta (100 Mbps), aún si el usuario se encuentra en movimiento. Otro uso que se da con mucha frecuencia a las redes de telefonía celular con tecnología 4G, es la ejecución de aplicaciones multimedia, que permite ofrecer el mejor soporte para las prestaciones de multimedia existentes en el mercado. Además, mejorará las conexiones con redes de Fidelidad Inalámbrica (Wi-Fi³, por sus silgas en inglés) y las conexiones inalámbricas⁴ entre computadores, usuarios y aplicaciones.

Las redes de acceso inalámbrico se vinculan a la red de telecomunicaciones a través de enlaces de señales de radio, las cuales van desde redes de voz hasta redes de datos que permite a los usuarios su interconexión a largas distancias. Algunos de los dispositivos que disponen de elementos para la interconexión inalámbrica con las redes de acceso son los computadores portátiles, los teléfonos celulares, los asistentes digitales personales (PDA), Tablets, Smartphones, etc., equipos móviles que facilitan la conexión a Internet a través de estaciones base

³ Wi-Fi: Wireless Fidelity.

⁴ Conexiones inalámbricas: Conexiones entre dispositivos sin el uso de cables.

ubicadas en aeropuertos, universidades, oficinas estatales o privadas, centros comerciales y otros sitios públicos, para acceder de manera oportuna a sus aplicaciones y mantenerse conectado en cualquier momento y lugar.

Las redes de acceso inalámbrico tienen como gran ventaja la facilidad en movilidad, accesibilidad, escalabilidad, seguridad y la eliminación de cables para permitir su conectividad a otras redes de telecomunicaciones. Las más comunes son las redes satelitales, redes de acceso móviles celulares y las redes de acceso inalámbricas fijas. Por ello, es importante conocer las diversas técnicas de acceso que se usan para cada una de las redes o terminales al momento de su conectividad con estaciones base y así facilitar un enlace con las características, estándares y especificaciones de las redes de nueva generación.

1.2.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La evolución tecnológica para la optimización de procesos y el mejoramiento de la calidad de vida de una comunidad, está en constante cambio. Por ello, la convergencia y actualización tecnológica es muy importante para facilitar el acceso a la sociedad de la información y del conocimiento. Desde la implementación de las redes de comunicaciones móviles a nivel comercial en las décadas de los años 1980 hasta nuestros días, ha tenido un constante crecimiento e incorporación de nuevos servicios como el transporte de datos, video, audio y localización, al igual que la integración con el servicio de acceso a la red para incluir la multimedia interactiva entre usuarios y aplicaciones.

Es importante ver la evolución de las redes de comunicaciones 3G y 4G a partir de los estándares (*Release*), que facilitan la integración de nuevas tendencias tecnológicas con las anteriores tecnologías. Como parte del estudio en el proyecto 3GPP⁵, desde el *Release 99* hasta el *Release 10* y siguientes, donde se plantea las bases fundamentales para el despliegue de redes 3G y 4G, y la recomendación de la UIT-T Y-2011 de 2004, donde se establecen los principios generales y modelos de referencia para las redes IMS basadas en la tecnología con protocolos de inicio de sesión (SIP, *Session Initiation Protocol*, por sus siglas en Inglés). La implementación de estas nuevas aplicaciones e infraestructura ha permitido el avance significativo en las redes de nueva generación que facilitan el acceso a la red en cualquier momento y desde cualquier parte del mundo sin tener limitaciones en cuanto a marca de equipos o proveedor de servicios.

⁵ 3rd Generation Partnership Project, Group Release 99.

La implementación y funcionamiento de sistemas de telecomunicaciones basados en las redes de nueva generación, es de gran importancia para operadores o prestadores de sistemas de comunicaciones porque pueden ofrecer nuevas aplicaciones disponibles en el mercado, mejorar su servicio y acceso a plataformas de telecomunicaciones y por supuesto, seguir operando en el mercado. Por tanto, para ofrecer una buena disponibilidad de acceso a la red en cualquier momento y lugar, se debe resaltar el diseño por integración de las redes de acceso inalámbrico con tecnologías 4G, dando respuesta al interrogante: cómo evitar problemas de cobertura, calidad de servicio, disponibilidad de red y equipos, seguridad y confiabilidad de la información de los usuarios en la red de acceso inalámbrico?.

Además, la no conformidad de usuarios por la prestación de servicios de buena calidad en el momento justo y la baja cobertura de red para un óptimo acceso a la red de manera eficiente, hacen que no todos los usuarios tengan la misma oportunidad de accesibilidad a estos servicios con la misma calidad, integridad y disponibilidad de los sistemas de telecomunicaciones en cualquier lugar y momento, debido a que no se dispone de una red de acceso inalámbrico de acuerdo con la normatividad y especificaciones de las redes de nueva generación. Por ello es necesario disponer de una guía para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G.

Otros aspectos como el incremento de usuarios, aplicaciones y servicios en las redes de telecomunicaciones de nueva generación, ha despertado el interés por desarrollar nuevas propuestas de plataformas tecnológicas y servicios, creando la necesidad de mejorar las ya existentes. Por eso, es importante incentivar la convergencia de la infraestructura actual, tanto para los proveedores de equipos, servicios y aplicaciones, como para los usuarios. De igual manera, los proveedores de los servicios que no tengan una infraestructura tecnológica adecuada y actualizada con equipos de tecnología de punta, no podrán ofrecer nuevas aplicaciones y quedarán relegados del mercado frente a la competencia.

El proyecto está orientado al desarrollo de una guía para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G basado en las redes de nueva generación, donde se describen los requisitos mínimos y eficaces, tanto en hardware como en software que debe tener una infraestructura de red de acceso para telefonía celular con tecnología 4G, y así cumplir con los estándares internacionales y la normatividad legal vigente, de acuerdo con las especificaciones técnicas derivadas de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) como soporte para la convergencia, heterogeneidad y actualización de las redes de nueva generación en el corto y mediano plazo.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una guía para el diseño por integración basado en redes de nueva generación con tecnología 4G para la red de acceso inalámbrica en los sistemas de telecomunicaciones de telefonía celular de acuerdo con la normatividad y estándares vigentes.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Documentar el estado del arte de las redes de acceso inalámbrico de la telefonía celular de las tecnologías 3G, 3.5G y LTE como base para el diseño e implementación de nodos 4G de acuerdo con las especificaciones y estándares de las redes de nueva generación.

Especificar la infraestructura tecnológica fundamental de un sistema de comunicación celular de acuerdo con los estándares internacionales para las redes de acceso inalámbrico con tecnología 4G.

Presentar los estándares y la normatividad vigentes que se debe cumplir para el diseño por integración de las redes de nueva generación para la red de acceso inalámbrico en los sistemas de telefonía celular con tecnología 4G.

Determinar las especificaciones técnicas que deben cumplir los proveedores de equipos y servicios de las redes de nueva generación para la implementación y funcionamiento de la red de acceso de la telefonía celular con tecnología 4G.

Consolidar la guía de diseño por integración y el instrumento de seguimiento y verificación para el correcto diseño de las redes de nueva generación para la red de acceso inalámbrico en los sistemas de telefonía celular con tecnología 4G.

1.4. METODOLOGÍA

El proyecto se basa en una investigación exploratoria y descriptiva, es exploratoria en cuanto se hace una recopilación teórica a cerca de las redes de nueva generación (NGN), sus características, servicios, su estructura e importancia en el avance de las tecnologías de acceso inalámbrico vía celular y su aplicabilidad en el diseño por integración de las redes de acceso con tecnología 4G. Se estudió con más detalle la estructura de la capa de red en cuanto a la capa de acceso y sus diversas tecnologías como se observa en el marco referencial.

Es descriptiva porque se profundiza en la temática de la tecnología celular LTE-Advanced, sus características y diferencias con sus antecesoras, el diseño de una red de acceso inalámbrico celular 4G, sus parámetros legales y especificaciones técnicas para ofrecer una red de acceso con los mejores estándares de calidad hacia el lado de los usuarios y eficiencia hacia el lado de los operadores de las redes y servicios. Donde se comprueba que los nodos de acceso LTE-Advanced funcionan muy bien en las redes de nueva generación basadas en IMS y soportan múltiples servicios en cualquier momento y lugar.

Dentro de la investigación teórica se profundizó con más detalle la arquitectura de la telefonía celular 4G en los planos de servicio, el núcleo de la red, el plano de red de acceso y las características del equipo de usuario. Se enfatizó sobre los parámetros para el diseño por integración de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G en las redes de nueva generación (NGN) y se diseñó un instrumento de control o evaluación para verificar el cumplimiento de cada uno de los parámetros inmersos en el diseño por integración del nodo de la red de acceso inalámbrico.

Finalmente se diseñó una encuesta dirigida a los diseñadores de redes celulares, para determinar la utilidad de la guía en el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico con tecnología celular 4G, donde se evidencia la importancia de conocer la estructura de las redes de nueva generación (NGN) y en especial sus especificaciones técnicas, la normatividad legal vigente y el instrumento de verificación en el cumplimiento de los parámetros necesarios para ofrecer una red de acceso inalámbrico con los más altos niveles de calidad.

2. MARCO REFERENCIAL

El avance y desarrollo de la telefonía celular ha demostrado un gran dinamismo en las últimas décadas, al igual que los servicios que se prestan a través de este tipo de redes de acceso metropolitanas, que permiten definir más alternativas en sus aplicaciones con una mejor calidad de servicio a medida que va pasando el tiempo. Por eso, es importante evolucionar y migrar a tecnologías de última generación, cumpliendo con los parámetros y estándares internacionales, con el objetivo de optimizar servicios, no solo de telefonía celular, sino de acceso a aplicaciones de multimedia en cualquier lugar y momento que el usuario lo requiera.

La concepción de las redes de nueva generación de acuerdo con la recomendación Y.2001⁶, tiene como objetivo primordial facilitar la convergencia de las redes y servicios, asegurando el buen funcionamiento de todos los elementos de una red de telecomunicaciones, esto permite la interoperabilidad y capacidad de las redes para que soporten aplicaciones a nivel global y faciliten la conectividad en cualquier momento y lugar a través de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G facilitando la heterogeneidad de la red.

Las redes de acceso inalámbrico son un punto fundamental para el diseño e implementación de redes de telecomunicaciones de nueva generación, de acuerdo con los estándares y normatividad legal vigente, como base fundamental con los parámetros dados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T). La evolución de las redes de telefonía ha optimizado los sistemas de comunicación desde la aparición del servicio telefónico análogo hasta el servicio digital fijo y luego la telefonía móvil, llegando a la convergencia tecnológica y la heterogeneidad de las redes de comunicaciones.

A continuación se exponen varios temas para el diseño e implementación de las redes de nueva generación basados en la recomendación Y.2011 de 2004⁷, donde se describe el modelo de arquitectura de las redes de nueva generación (NGN *Next Generation Network*, por sus siglas en inglés). La evolución, su estructura y las especificaciones de un sistema de comunicación celular. La red de acceso inalámbrico con tecnología 4G. La normatividad y estándares, las especificaciones técnicas y los proveedores de redes de nueva generación para la telefonía celular

⁶ Recomendación UIT-T Y.2001 Visión general de las redes de próxima generación, Diciembre de 2004.

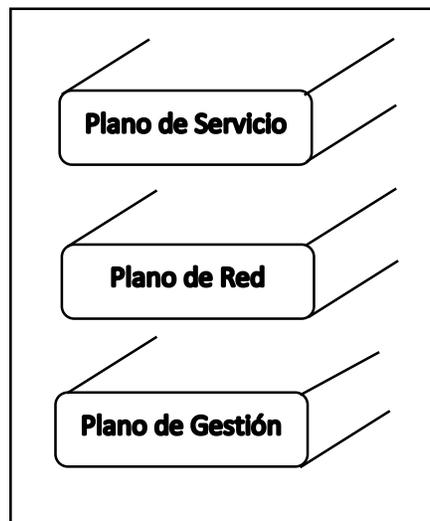
⁷ Recomendación UIT-T Y.2011 Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación, Octubre de 2004.

4G como herramientas base y la guía para asesores y jefes de departamentos técnicos de las empresas dedicadas al diseño, implementación, mantenimiento y actualización de las redes de telecomunicaciones.

2.1 ARQUITECTURA DE LA RED DE NUEVA GENERACIÓN.

Las Redes de Nueva Generación (NGN) son definidas como: “Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS (Quality of Service), y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección” [6]. La estructura de la red de nueva generación se observa en la figura 1, donde se aprecian tres grandes planos funcionales: Servicios, Red y Gestión, con base al modelo y recomendación UIT-T, Y-2100 de 2004.

Figura 1. Modelo de red de nueva generación.



En cada una de los planos funcionales se integran acciones de los diversos niveles que se tienen en los modelos de redes anteriores, como se especifica en la recomendación UIT-T X.200 donde se estipula la referencia básica de interconexión de sistemas abiertos de siete capas (OSI BRM, *Open Systems Interconnection Basic Reference Model*) y que este modelo no es aplicable en su totalidad en las redes de la nueva generación (NGN), sino que se debe ajustar solo a su arquitectura general de tres planos funcionales e integración de servicios convergentes, redes

heterogéneas y sus especificaciones en cuanto a disponibilidad, confiabilidad, seguridad, resiliencia y clase de servicio.

La plataforma de las redes de nueva generación, en su plano de servicio se basa en el IMS (*International Protocol Multimedia System*), la cual permite la convergencia de servicios de texto, datos, video y multimedia. Entre los beneficios para el usuario, se pueden destacar: una red básica de acceso independiente, una red para voz y datos que permite servicios multimedia integrados. Donde se puede combinar de manera óptima la calidad, la interoperabilidad y la convergencia a nuevos servicios e infraestructuras tecnológicas, al igual que la combinación entre las redes fijas y móviles alcanzando la heterogeneidad para soportar múltiples aplicaciones [7].

En el plano de Redes, se especifica la red de transporte y la red de acceso, cuyo objetivo se centra en el transporte de la información digital entre dos puntos de la red y cuyas funciones son la conectividad entre usuarios, la comunicación entre el usuario y la capa de servicios y, la conectividad entre los componentes del plano de servicios [8]. En este plano funcional para las redes de nueva generación (NGN), se hace un estudio más profundo sobre la red acceso inalámbrico para la tecnología 4G, tema central de este documento.

En el plano de Gestión de la red de nueva generación (NGN), tiene funciones de conectividad entre las diferentes redes que permiten el intercambio y procesamiento de información de gestión, para facilitar a los operadores públicos de telecomunicaciones para que presten sus servicios con eficacia y eficiencia. En el plano funcional de gestión de redes, se tiene una arquitectura muy organizada con el objetivo de mantener una interconexión entre los diferentes tipos de sistemas de operaciones y los equipos de telecomunicaciones, gestionando las interfaces normalizadas incluidos protocolos y mensajes [9]. En las redes de nueva generación (NGN), esta capa funcional está orientada al diseño e implementación de la red de transporte.

Según los estándares y especificaciones de la UIT-T las características principales de las redes de nueva generación (NGN), se enfocan en la necesidad de ver al usuario como un cliente potencial y dinámico, cuya demanda debe ser atendida a través de nuevas herramientas tecnológicas, que le aporten beneficios en términos de costos, calidad y diversidad de servicios. Así como la interoperabilidad, la convergencia, la escalabilidad, la disponibilidad, la fiabilidad y la seguridad de la información y de la red, entre sus características más relevantes están:

- La transferencia de la información estará basada en paquetes.

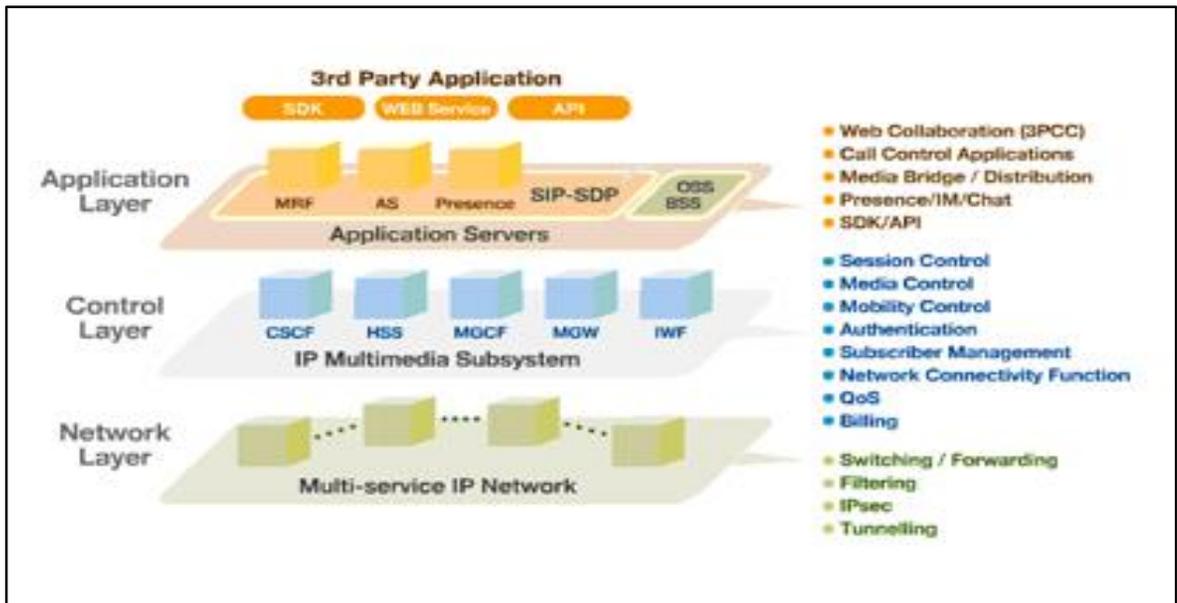
- Las funciones de control están separadas de las capacidades de portador, llamada/sesión, y aplicación/servicio.
- Desacoplamiento de la provisión del servicio del transporte y se proveen interfaces abiertas.
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en construcción de servicios por bloques (incluidos servicios en tiempo real, de flujo continuo en tiempo no real y multimedia).
- Tendrá capacidades de banda ancha con calidad de servicio (QoS) extremo a extremo.
- Tendrá interfuncionamiento con redes tradicionales a través de interfaces abiertas.
- Movilidad generalizada.
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- Diferentes esquemas de identificación.
- Características unificadas para el mismo servicio, como es percibida por el usuario.
- Convergencia entre servicios fijos y móviles.
- Independencia de las funciones relativas al servicio con respecto a las tecnologías subyacentes de transporte.
- Soporte de las múltiples tecnologías de última milla.
- Cumplimiento de todos los requisitos reglamentarios, por ejemplo en cuanto a comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.

A continuación, se hace una breve explicación de cada uno de los planos funcionales de la red de nueva generación.

2.2. ESTRUCTURA DEL PLANO DE SERVICIO BASADO EN IMS.

Las redes de nueva generación en su plano de servicio, se basa en una arquitectura IMS (*Internet Protocol Multimedia Subsystem*), y se encuentra definida por tres capas: Transporte, Control y Aplicación. Cada una de las capas realiza funciones específicas e independientes de las demás, vinculándose mediante interfaces perfectamente definidas, como se observa en la figura 2 y que permite ofrecer servicios de multimedia y servicios convergentes sin importar la red de acceso y que puede ser interconectada sobre una red IP ya existente, habilitando la interoperabilidad entre las diversas redes de telecomunicaciones [10].

Figura 2. Arquitectura IMS para una red de nueva generación.



Fuente: Redes de datos y convergencia IP. José Manuel Huidobro.

La estructura de la red IMS como red IP de multi-servicios, multi-acceso e interoperabilidad y convergencia, introduce nuevos elementos, protocolos y puntos de referencia para la conmutación de paquetes, que permite la conectividad entre los equipos terminales, la provisión de servicios controlados por operadoras y la interconexión entre redes externas que no son de arquitectura IMS. Esta arquitectura ofrece servicios de telecomunicaciones en tiempo real, la movilidad de servicios y de usuarios, la facilidad para prestar de manera simultánea servicios y sesiones a través de una misma conexión de red [11].

2.2.1 CAPA DE TRANSPORTE.

La capa de Transporte en la arquitectura IMS representa una red IP, que facilita la conectividad a todos los componentes y equipos de los usuarios de las redes NGN y cualquier otro tipo de redes, proporcionando una buena calidad de servicio (QoS) de extremo a extremo de la red. Esta capa está dividida en dos subcapas, una red de acceso y otra como núcleo de red. Las funciones principales de la capa de transporte son:

- Funciones de acceso. (*Access functions*).
- Funciones de transporte de acceso. (*Access transport functions*).
- Funciones de borde. (*Edge functions*).
- Funciones de transporte en el núcleo. (*Core transport functions*).

- Funciones de control de acceso a la red. (*Network attachment control functions*).
- Funciones de control de acceso a recursos y de admisión. (*Resource and admission control functions*).
- Funciones de transporte de perfil de usuario. (*Transport user profiles functions*).
- Funciones de entrada. (*Gateway functions*).
- Funciones de manejo al medio. (*Media handling functions*).

La capa de transporte de red en las redes de nueva generación (NGN), está formada por enrutadores o routers conectados a una red de comunicación para transportar una carga útil de voz, de datos o multimedia desde el origen hasta el destino [12]. Está compuesta por los siguientes bloques:

- *IMS – Media Gateway (IM-MGW)*, se encuentra bajo el control directo de la sesión SIP asociada, es el responsable de la conversión de la señalización ISUP a SIP y viceversa.
- *Media Gateway Control Function, (MGCF)*, controla el IM-MGW. Es el encargado de realizar la interconexión entre redes IMS y CS, además de la conversión de protocolos.
- *Media Resource Function, (MRF)*, realiza la interacción con el usuario para conectar los abonados IMS a los recursos; puede ser a través del MRFP, Procesador de Funciones de Recursos de Multimedia, quien se encarga de asignar la dirección IP y el *Media Resource Function Control (MRFC)*, Controlador de funciones de Recursos de Multimedia, quien se encarga de establecer la sesión de SIP en respuesta a una petición. El MRFP y el MRFC están integrados en el SIP- AS y con el nombre del servidor.
- *Interconnect Border Control Function, (IBCF)*, es el primer bloque que recibe la petición SIP desde un dominio externo, actúa como un separador entre redes IMS con dominios diferentes que tengan diferentes versiones de IP.

2.2.2 CAPA DE CONTROL.

La capa de Control constituye el núcleo central de la Arquitectura IMS, es donde se realizan todos los procesos necesarios para el intercambio de información y registro de los usuarios en la red IMS, así como los procesos de mantenimiento y terminación de la sesiones de comunicación [13]. Entre sus funciones más relevantes, tenemos las siguientes:

- Control de registro y autenticación de usuarios.
- Inicio, gestión y terminación de sesiones.
- Señalización y seguridad entre los usuarios.

- Control de recursos del sistema de transporte.
- Facilitar información para la facturación.

La capa de control en las redes de nueva generación (NGN), se diseña e implementa a partir de controladores de sesión responsables del encaminamiento de la señalización entre usuarios y la invocación de los servicios. Los componentes de esta capa son: *Call Session Control Function (CSCF)*, el *Home Subscriber Server (HSS)*, el *Breakout Gateway Control Function (BGCF)*, y el *Serving Gateway (SGW)*, entre otros, es en esta capa donde se introduce el control de las sesiones de los paquetes con el fin de ejecutar el registro y autenticación de los usuarios en la red, sus funciones y bloques funcionales se describen a continuación:

- El *Proxy Call Session Control Function (P-CSCF)*, es considerado el centro neurálgico de las redes IMS, controlan el tráfico de la red; además, se encarga de llevar el control de registro de usuarios, inicio y gestión de las sesiones y enlazarlas con las aplicaciones y es encargado de suministrar la información necesaria para la facturación, así como el establecimiento, el mantenimiento y terminación de las sesiones de la comunicación. El *Proxy Call Session Control Function (P-CSCF)*, es el primer punto de contacto para los usuarios de la red IMS, es decir que todo el tráfico de señalización SIP desde el UE es enviado a este nodo, una vez se asigna el terminal IMS durante el registro, este no cambia durante el tiempo que dure la comunicación.
- El *Interrogating Call Session Control Function (I-CSCF)*, es el punto de contacto dentro de la red del operador para todas las conexiones destinadas a un abonado de ese operador de red; es un proxy de *Session Initiation Protocol (SIP)* y está contenido en el *Domain Name System (DNS)*.
- El *Serving Call Session Control Function (S-CSCF)*, es el punto central de la IMS, es el responsable del manejo de los procesos de registro, toma de decisiones de enrutamiento, se encarga del mantenimiento de los estados de sesión y de almacenar el perfil de servicios de cada usuario.
- El *Home Subscriber Server (HSS)*, es una base de datos que almacena el perfil de todos los usuarios de un dominio, el perfil del usuario incluye información de seguridad y servicios asignados. El *Home Subscriber Server (HSS)* implementa el protocolo Diameter con aplicaciones ISP específicas.
- El *Subscriber Location Function (SLF)*, es una base de datos similar al *Home Subscriber Server (HSS)* incluyendo la dirección IP, otras bases de datos particulares como servidores regionales y la jerarquía de los servidores. Cuando hay un solo HSS no es necesario implementar el *Subscriber Location Function (SLF)*, este nodo puede ser accesado desde el *Call Session Control Function (CSCF)* durante el registro y establecimiento de las sesiones y desde el

Application Server (AS) para obtener información específica de los usuarios y también desde el 3GPP/AAA server para el acceso desde redes W-LAN.

- El *Breakout Gateway Control Function* (BGCF), es el encargado de manejar la interconexión entre el dominio IMS y la Conmutación de Circuitos y determina la ruta de acceso, si el punto de acceso está en otra red, el *Breakout Gateway Control Function* (BGCF) enviará una señalización de esta sesión a un BGCF o a un *Media Gateway Control Function* (MGCF) en la otra red, cuyo objetivo es minimizar el recorrido de la sesión de llamada. El *Breakout Gateway Control Function* (BGCF) ejecuta las funciones de *Gateway* entre redes.
- El *Serving Gateway* (SGW), es el encargado de proveer la señalización en los dos sentidos entre SS7 y la señalización basada en IP; convierte la señalización ISUP/MTP a ISUP/IP y viceversa.

2.2.3 CAPA DE APLICACIÓN.

La capa de Aplicación en las redes de nueva generación (NGN), proporciona los servicios de valor agregado propuestos a los usuarios como multimedia, videoconferencia, telemedicina, comercio electrónico, juegos interactivos, etc., esta capa se compone de servidores de aplicaciones, *Application Server* (AS) y Funciones de Recursos de Multimedia, *Multimedia Resource Functions* (MRF), en esta capa no se estandarizan los servicios, pero se dispone de programas que permiten la interacción entre las aplicaciones y el terminal del usuario [14]. Entre algunas de las funciones de esta capa de aplicación, se destacan las siguientes:

- Definen las interfaces de señalización y administración API (OSA/Parlay)⁸.
- Disminución de costos.
- Supervisión y recuperación de la red en caso de fallos.
- Análisis de desempeño de extremo a extremo de la red.
- Almacenan y ejecutan los servicios IMS basados en SIP.

La capa de aplicación en las redes de nueva generación (NGN), está organizada por los siguientes nodos o componentes con funciones específicas:

- Los servidores de aplicación, *Application Server* (AS), es una entidad que aloja y ejecuta servicios básicos y avanzados de VPN, dependiendo del servicio el *Application Server* (AS) puede funcionar como un proxy de inicio de sesión, *Session Initiation Protocol* (SIP), como un proxy de usuario para el inicio de sesión,

⁸ Application Programming Interface, programa que permite la interacción entre el operador y el equipo del usuario.

Session Initiation Protocol User Agent (SIP UA) o SIP B2BUA (Back to Back User Agent), el servidor de aplicación se comunica con el S-CSCF usando SIP, en la red IMS no se estandariza, ni se describe el servidor ni las aplicaciones, sino que se definen las interfaces entre el servidor de aplicaciones (AS), la *Call Session Control Function (CSCF)* y el *Home Subscriber Server (HSS)*. Existen tres tipos de Servidores de aplicaciones: SIP- AS (*SIP-Applicattion Server*), OSA SCS (*Open Service Access – Service Capability Server*) y el IM-SSF (*IM Multimedia Service Switching Function*).

- El servidor de aplicación SIP- AS (*SIP-Applicattion Server*), es el servidor que almacena y ejecuta servicios de multimedia IP basado en SIP.
- El servidor OSA SCS (*Open Service Access – Service Capability Server*), es el encargado de proporcionar las aplicaciones del *framework* de OSA, accede de forma segura a otros IMS de redes externas, actúa como servidor y como interfaz a las demás capas de la red IMS.
- El servidor de función IM-SSF (*IM Multimedia Service Switching Function*), es un servidor de aplicaciones especializadas que permite reutilizar servicios que fueron desarrollados para GSM, también puede actuar como conmutador de servicio mediante el protocolo basado en CAP.
- El servidor de Función de Recursos de Multimedia, *Multimedia Resource Function (MRF)*, en algunos casos los proveedores lo llaman Servidores de Media IP, *IP Media Server (IP-MS)*, este servidor proporciona una fuente de medios de comunicación en la red, tiene la capacidad de reproducir anuncios, permite la mezcla de flujos de medios, hace la transcodificación entre codecs, obtención de estadísticas, tarificación y hacer cualquier tipo de análisis de medios.

2.3. SERVICIOS EN LAS REDES IMS.

La implementación de una red de nueva generación (NGN), permite el acceso a un mayor número de recursos y servicios disponibles a nivel global y que de acuerdo con los lineamientos y recomendaciones emitidas por el organismo internacional que rige las telecomunicaciones (UIT-T) y de acuerdo con la recomendación Y.2001 y Y.2011 de 2004. Algunos de los servicios que ofrece esta clase de redes de nueva generación, se describen a continuación.

- Integración de servicios multimedia. Hoy en día la voz es el único servicio que puede considerarse convergente. Las llamadas entre fijo y móvil pueden realizarse indistintamente en cualquier dirección. Con arquitectura IMS los proveedores de servicios pueden integrar mejor los servicios de voz, vídeo y

datos sobre una infraestructura única y uniforme, formada por las capas de Transporte y de Control.

- Movilidad. La arquitectura de red IMS provee acceso a los mismos servicios independientemente de la localización y la hora que el usuario desee conectarse, gracias al *Home Subscriber Server* (HSS) y a las *Call Session Control Function* (CSCF).
- Compatibilidad con redes tradicionales. La arquitectura de red IMS provee compatibilidad con redes de conmutación de circuitos gracias a los *Media Gateway Control Function* (MGCF), los *Breakout Gateway Control Function* (BGCF) y los *Media Gateway* (MGW). Además, al haber sido definido en el Release 5 de UMTS, existe una total integración con arquitectura de red 3G.
- Independencia de dispositivo, fabricantes y proveedores de servicio. La arquitectura modular de IMS permite la integración de distintos módulos en el mismo sistema. El mismo servicio puede ser accedido desde cualquier dispositivo y con cualquier tecnología de acceso.
- Seguridad, Calidad de Servicio e Ingeniería de tráfico. Permite una integración completa a través de los protocolos IPv6, IPSec, DiffServ, MPLS, RSVP-TE etc.
- Facilidades de tarificación. La arquitectura de red IMS provee un entorno uniforme de tarificación en el que los proveedores pueden facturar en función de múltiples criterios, tales como QoS contratada, localización o tipo de acceso, paquetes de datos y servicios, dando la posibilidad de desarrollar fácilmente nuevos modelos de negocio. Los usuarios por su parte perciben los servicios de forma transparente e independiente de la tecnología subyacente.
- Reducción de costes. Las redes basadas en arquitectura IMS han sido pensadas para optimizar el time-to-market, el OPEX y el CAPEX. La separación en tres niveles funcionales y su independencia la hacen una red con una alta capacidad de evolución al menor coste. Además, al abrir las interfaces en forma de APIs públicas para el desarrollo de nuevos servicios aumenta este factor.
- Variedad de Servicios. La arquitectura IMS puede proporcionar servicios tales como Mensajería instantánea, Push-to-talk, video sharing, servicios de Presencia, VoIP, juegos multimedia, videoconferencia, Telemedicina, juego online etc., todo ello independientemente del operador y el medio de acceso.

2.4. PROTOCOLOS ADOPTADOS POR EL IMS.

La arquitectura IMS como referencia para ofrecer servicios de multimedia sobre la infraestructura *Internet Protocol* (IP), se originó en un principio bajo el *Release 5* y 6 del 3GGP (*Third Generation Partnership Project*) y que ha sido adoptado por otros

organismos como 3GPP2 y ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), funciona bajo los protocolos estandarizados por el *Internet Engineering Task Force* (IETF), como el protocolo inicio de sesión, *Session Initiation Protocol* (SIP), el protocolo de descripción de la sesión, *Session Description Protocol* (SDP), el protocolo *Common Open Policy Service* (COPS), el protocolo *Diameter*, el *Real Time Protocol* (RTP), el *Resource Reservation Protocol* (RSVP), el *Internet Protocol versión 6* (IPv6) y el *Megaco*.

Cada uno de estos protocolos aplicables en las diversas capas de la estructura de la arquitectura IMS, facilitan la interacción entre los equipos de los usuarios y el IMS y entre cada uno de los componentes de la red, de igual manera permite el inicio y finalización de una sesión de voz o de multimedia o cualquier otra aplicación que se adquiera por parte del usuario [15]. A continuación se hace una breve explicación de cada uno de los protocolos que se emplean en las redes de nueva generación (NGN) con arquitectura IMS.

2.4.1 PROTOCOLO SIP.

El núcleo de la arquitectura IMS lo conforma un grupo de bloques de red basados en el protocolo SIP. Este protocolo *Session Initiation Protocol* (SIP) es un protocolo para el establecimiento y gestión de las sesiones de multimedia en las redes IP de extremo a extremo sin llegar a importar si es usuario o es red, el SIP se basa en dos protocolos de Internet: el protocolo para el envío de correos electrónicos, *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP) y el protocolo *web* para la transferencia de Hipertexto, *HyperText Transfer Protocol* (HTTP).

El protocolo de inicio de sesión, *Session Initiation Protocol* (SIP), es el protocolo más usado para el inicio de las comunicaciones IP *peer to peer*, es uno de los protocolos de señalización para voz sobre IP, se asocia con otros protocolos para desarrollar muy bien su tarea, sus funciones básicas de ubicación de usuarios aportando movilidad y establecimiento, gestión y terminación de sesión, fueron definidas por el grupo IETF en las recomendaciones RFC 2543 y RFC 3261. El SIP toma el modelo de cliente-servidor y para el establecimiento de la sesión utiliza los métodos o peticiones descritos en la tabla 1 con su respectivo propósito.

Tabla 1. Métodos o peticiones básicos del protocolo SIP.

Método	Propósito
INVITE	Invitar a los usuarios a participar en una sesión.
ACK	Se utiliza para reconocer la recepción de una respuesta definitiva a un INVITE.
OPTIONS	Se utiliza para consultar a un servidor acerca de sus capacidades incluyendo qué métodos y que SDP soporta.
BYE	Se utiliza para abandonar las sesiones.
CANCEL	Cancela transacciones pendientes.
REGISTER	Los usuarios envían peticiones REGISTER para informar del registro y su ubicación actual.
INFO	Utilizado por un <i>User Agent</i> (UA) para enviar información de señalización de llamada a otro UA con el que tiene una sesión de comunicación establecida.
PUBLISH	Utilizado por UA para enviar eventos de información de estado a un servidor.

Fuente: http://ngin.wikia.com/wiki/Arquitectura_de_una_Red_IMS

En una sesión de comunicación sin errores con el protocolo SIP, los mensajes que se intercambian entre dos usuarios tienen la siguiente secuencia: a). Los dos terminales deben hacer previamente su registro como usuarios en el proxy, cuando el proxy haga el registro con éxito, éste le devolverá un 200 OK y a partir de ese momento el usuario puede recibir o realizar llamadas. b). El usuario hace una petición de establecimiento de sesión al servidor y este a través del mensaje 100 *Trying* informa que va a establecer la conexión. c). Cuando el usuario recibe el mensaje 183 significa que la conexión ha sido establecida y que el otro usuario final está listo para contestar el llamado. d). Cuando el usuario final descuelga su terminal, se genera un mensaje 200 OK indicándole al usuario que la sesión está por iniciar. e). Con llega el mensaje ACK al usuario que hizo la solicitud de sesión se confirma que la comunicación entre los dos usuarios empieza, esto se hace a través de la sesión RPT. f). Para finalizar la sesión se envía un mensaje BYE desde uno de los terminales y el otro usuario confirma con el mensaje 200 OK y cuando se recibe este mensaje se da por terminada la sesión de la llamada [10].

El protocolo *Session Initiation Protocol* SIP como base en el método cliente – servidor, con mensajes de petición y respuesta donde hay un rango de respuestas para las sesiones SIP, como se observa en la tabla 2 que dependiendo el rango de respuesta, se establece o no la sesión de comunicación entre dos terminales, cada uno de estos mensajes son transparentes para el usuario.

Tabla 2. Clases de respuesta del protocolo SIP.

Rango	Respuesta	Comentario
1xx	Informativo.	El requerimiento se ha recibido pero la petición está en curso.
2xx	Éxito.	Requerimiento recibido, entendido y aceptado.
3xx	Redirección.	La petición requiere de más procesos para determinar si se realizará o no.
4xx	Error de cliente.	El requerimiento no es aceptado por el UA destino o el servidor.
5xx	Error de servidor.	El servidor no es capaz de resolver una petición que parece correcta.
6xx	Fallo general.	El requerimiento no lo puede realizar ningún servidor.

Fuente: http://oa.upm.es/14111/1/pfc_Barbara_Morata_González.pdf

Los mensajes en el formato SIP se forman a partir de tres bloques, línea de inicio, cabecera y cuerpo del mensaje. La línea de inicio dependiendo del tipo de mensajes, si es una petición o es una respuesta se conoce con el nombre de *request line* o *status line*. La cabecera se utiliza para transportar la información necesaria a cada una de las entidades SIP, sus campos son los siguientes⁹: *vía*, *From*, *To*, *Call ID*, *Cseq*, *Contact* y *User Agent* (UA). El cuerpo del mensaje contiene la información que intercambian los dos extremos de la comunicación. Además, la información relativa al tipo de formato y a la longitud del cuerpo del mensaje (en octetos) va inmersa en la cabecera a través de los campos *Content Type* y *Content Length*.

2.4.2 PROTOCOLO SDP.

El protocolo *Session Description Protocol* (SDP) se utiliza para la descripción de los parámetros necesarios para la notificación, inicio y establecimiento de una sesión de multimedia, donde los extremos pueden indicar sus capacidades y definir la clase de sesión que desean mantener, adicionalmente los usuarios pueden definir qué flujo de multimedia compone la sesión, que *Codecs* soportan, los puertos, direcciones IP y cuál es su configuración. El protocolo SDP está orientado como propósito general y puede ser usado por los entornos de red y sus aplicaciones.

El grupo de estandarización *Internet Engineering Task Force* (IETF) a través de la recomendación RFC 2327 estableció este protocolo, éste al igual que el SIP es

⁹ <http://elastixtech.com/protocolo-sip/>

transparente y no ejerce ningún mecanismo de seguridad o autenticación; sin embargo, las sesiones donde más se puede utilizar este tipo de protocolo son: Inicio de sesiones, *Streaming Media*, *E- Mail*, *Word Wide Web* y anuncios de sesiones *Multicast*. Cuando existe una sesión *Multicast* el protocolo *Session Description Protocol* (SDP), comunica la existencia de una sesión y suministra la información necesaria para que un nuevo usuario se una a la sesión sin ningún inconveniente [16].

Una sesión de comunicación a través del protocolo *Session Description Protocol* (SDP) incluye los siguientes descriptores: nombre de la sesión y propósito de la misma, tiempo en los que la sesión estará activa, los tipos de contenidos que comprende la sesión, y la información necesaria para recibir esos contenidos (direcciones, puertos, formatos, etc.). A veces cuando los recursos son limitados para participar en una sesión, es importante adicionar los siguientes descriptores: Información acerca del ancho de banda que se va a usar durante la sesión y la información de contacto de la persona responsable de la sesión. En general el SDP debe aportar la información suficiente para permitir a las aplicaciones unirse a la sesión y anunciar los recursos necesarios a los usuarios no participantes.

Los mensajes a través del protocolo SDP contienen una serie de descriptores de sesión inmersos en la cabecera del mensaje que se resumen en la tabla 3 y cuyo orden se debe respetar. Cada descripción de sesión SDP consiste en un número de líneas de texto de la forma < el tipo > = < el valor >, el <el tipo> es siempre un carácter y el <el valor> es una línea de texto estructurada [17].

Tabla 3. Campos del Mensaje en el protocolo SDP.

Campo	Descripción
V	Versión del protocolo
O	Creador e Identificador de sesión
S	Nombre de la sesión
I	Información de la sesión
U	URI de la descripción
E	Dirección de e-mail
P	Número de teléfono
C	Información de conexión, no se requiere si se incluye en todos los contenidos
B	Ninguna o más líneas de información de ancho de banda
T	Tiempo en que la sesión está activa
M	Nombre del medio y dirección de transporte

Fuente: Recomendación RFC 2327.

El protocolo SDP puede ser usado en una amplia gama de entornos de red y aplicaciones, pero tiene sus restricciones en la negociación de contenidos de sesión o codificaciones de medios de comunicación, si está fuera del alcance de la descripción de la red.

2.4.3 PROTOCOLO COPS.

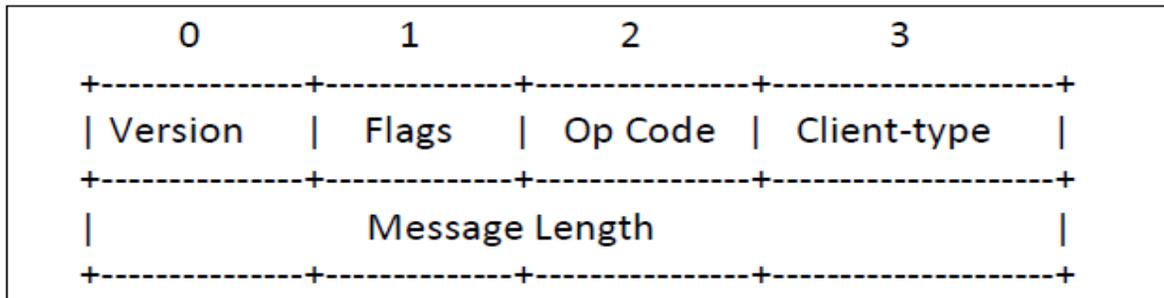
El protocolo de Servicios comunes de políticas de uso abiertas, *Common Open Policy Service* (COPS) es el encargado de la administración, configuración y políticas de uso de la red y proporciona un control sobre las políticas para los protocolos con señalización de calidad de servicio. Este protocolo fue especificado en la recomendación RFC 2748, con este protocolo se permite que el usuario tenga cierta autonomía en la toma de decisiones. La unidad local de toma de decisiones se conoce con el nombre de Punto de decisión local de la política de uso, *Local Policy Decision Point* (LPDP).

El protocolo COPS es un protocolo cliente-servidor que tiene los siguientes bloques: el punto de aplicación de políticas de uso, *Policy Enforcement Point* (PEP) que trata sobre los dispositivos que aplican las reglas para definir distintos tipos de clientes y el Punto de decisión de la política de uso, *Policy Decision Point* (PDP) que es el servidor donde están configuradas las políticas de uso para todos los tipos de tráfico y servicios. Cuando un PEP necesita aplicar cualquier regla le solicita al PDP para que este tome la decisión acertada y oportuna, mientras que el PEP se comporta como un policía el PDP se comporta como un juez al tomar la decisión.

Algunas de las características principales del protocolo COPS son: emplea un modelo cliente-servidor en el que el PEP envía peticiones y actualizaciones y el PDP responde con las decisiones tomadas, el protocolo COPS utiliza como protocolo de transporte el protocolo TCP asegurando la fiabilidad en el intercambio de mensajes entre los clientes y el servidor, proporciona seguridad a nivel de mensajes mediante la autenticación [18].

La estructura del mensaje para el protocolo COPS está estructurado por una cabecera y cierto número de campos, como se observa en la figura 3, cada una de las secciones tiene un determinado número de bits que permiten insertar cierta cantidad de información.

Figura 3. Cabecera del mensaje del protocolo COPS.



Fuente: Recomendación RFC 2749.

La versión, es el número de la versión del protocolo. Banderas (*Flags*) define los valores de las banderas y si no se usa por defecto debe colocarse cero. *OP Code* el código de operación indica la operación que se está realizando en ese instante de tiempo, los códigos de operación se describen en la tabla 4. *Client Type*, identifica la política del cliente. *Message Length*, es el tamaño del mensaje en octetos.

Tabla 4. Tipos de operaciones en el protocolo COPS.

Tipo	Simbología	Descripción
1	REQ	<i>Request</i> – Solicitud
2	DEC	<i>Decision</i> – Decisión
3	RPT	<i>Report State</i> - Informe de Estado
4	DRQ	<i>Delete Request State</i> – Eliminar Solicitud
5	SSQ	<i>Synchronize State Request</i> – Estado de sincronización
6	OPN	<i>Client Open</i> – Cliente Abierto
7	CAT	<i>Client Accept</i> – Cliente Aceptado
8	CC	<i>Client Close</i> – Cliente Cerrado
9	KA	<i>Keep Alive</i> – Seguir Activo
10	SSC	<i>Synchronize Complete</i> – Sincronización Completa

Fuente: Recomendación RFC 2748

2.4.4 PROTOCOLO DIAMETER.

El protocolo *Diameter* es el encargado de la seguridad usada en Internet y fue desarrollado para suministrar los servicios triple A (*AAA, Authentication, Authorization y Accounting*) para las aplicaciones que incluyen acceso a redes o aplicaciones IP móvil. *Diameter* se establece a través de la recomendación RFC 3588 y se definen

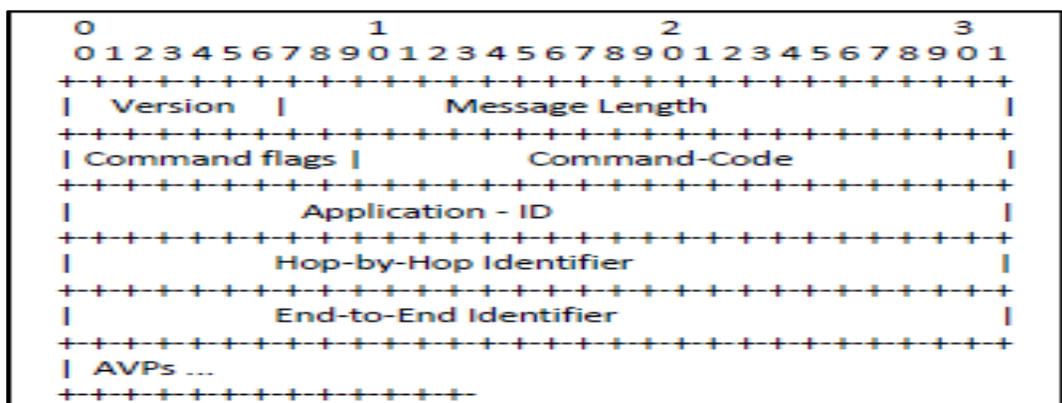
las aplicaciones como servicios, protocolos y procedimientos que se usan en los servidores, los proxis y por los protocolos entre sí. El protocolo *Diameter* es *peer to peer* puesto que cada nodo puede iniciar una solicitud o *request*, al mismo tiempo cada nodo puede ser clientes, servidores o agentes *Diameter* [19].

Algunas de las características más relevantes del protocolo *Diameter*: detección automática de fallas, seguridad a nivel de transmisión, transporte confiable usando protocolos TCP y SCTP y compatibilidad con *Radiux*, capacidad en la negociación para el manejo de errores, permite configurar y buscar sus pares de manera dinámica y facilita el *Roaming* entre operadores, entrega de AVPs (*Attribute Value Pair*), facilita la definición de nuevos comandos y valores para los AVPs, servicios básicos para las aplicaciones como manejo de sesiones de usuarios y la contabilidad.

Diameter es una mejora del protocolo *RADIUX* en cuanto a los siguientes aspectos: la gestión de las comunicaciones mediante el *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP), optimizando el *timeout* en el envío de los mensajes y en la búsqueda de rutas alternativas hacia los servidores. Se apoya en un módulo de criptografía *Cryptographic Message Syntax* (CMS) que se encarga del cifrado de todos los mensajes que impide la duplicidad en la recepción de respuestas simultáneas, a través del cifrado basado en certificados y la firma digital.

El paquete de acuerdo con el protocolo *Diameter* tiene una longitud fija de 20 octetos seguida de una cantidad de variables *Attribute Value Pair* (AVP). La cabecera del mensaje contiene dos identificadores de 32 bits, como se observa en la figura 4, el identificador *Hop by Hop* colabora con la petición y su respuesta y, el identificador *End to End* se utiliza para identificar los mensajes de petición de duplicados.

Figura 4. Cabecera del mensaje del protocolo *Diameter*.



Fuente: Recomendación RFC 3588

El protocolo *Diameter* con relación a su antecesor el protocolo *RADIUS* tiene las siguientes ventajas: el transporte lo hace con protocolos orientados a la conexión como el TCP y SCTP en lugar de UDP, la seguridad está relacionada con el *Hop by Hop* y el *End to End* donde se puede usar IP SEC o TLS, es *peer to peer* en vez de cliente – servidor, permite negociar capacidades, tiene notificación de errores y es otro protocolo utilizado por la arquitectura IMS en el plano de control como en el plano de servicio y es un protocolo usado en una gran cantidad de interfaces del nuevo sistema LTE.

2.4.5 PROTOCOLO RTP.

El protocolo de Transporte en Tiempo Real, *Real Time Transport Protocol* (RTP) define un formato para el envío de paquetes de audio y video sobre internet. Este protocolo fue definido por el grupo de estandarización *Internet Engineering Task Force* (IETF) mediante la recomendación RFC 1889, es complementario a otros protocolos de tiempo real como como el SIP y el H323. Provee servicios de envío de datos de extremo a extremo con características de tiempo real, se utiliza ampliamente en sistemas de comunicación que involucren medios de transmisión como telefonía, aplicaciones de videoconferencias, servicios de televisión y servicios web [20].

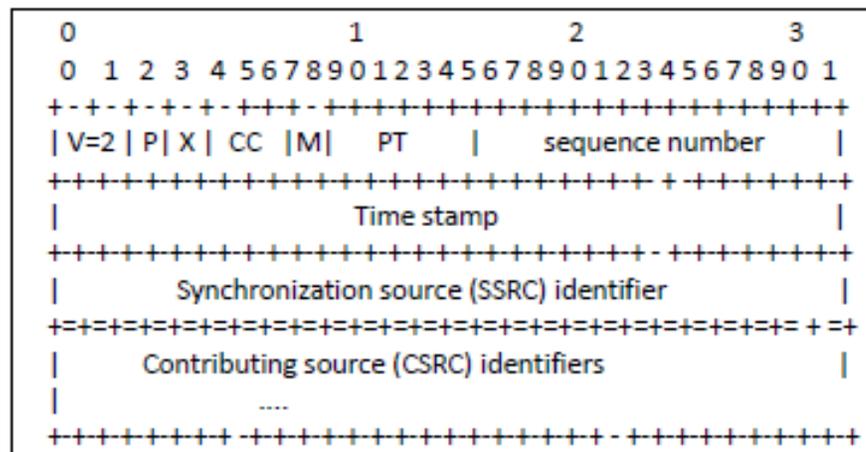
Una de las falencias que tiene en la transmisión de paquetes en tiempo real es la alta sensibilidad al efecto *jitter*¹⁰, el principal objetivo del protocolo RTP está en compensar ese *jitter* gracias a un marcador de tiempos o *time stamp* que se incluye en la cabecera de cada paquete y que permite reproducir los paquetes en orden secuencial. Además los aspectos más relevantes del protocolo *Real Time Transport Protocol* (RTP) es la identificación del tipo de aplicación y su fuente, ordenar los contenidos transmitidos y asignación de un tiempo temporal a la transmisión que permita controlar el *jitter*.

Un paquete RTP está compuesto por una cabecera (*header*) de 128 bits y una carga útil (*payload*) que debe ser múltiplo de 32 bits, la cabecera contiene la información necesaria para prestar los servicios que proporciona el protocolo y contiene la información del que facilita la sincronización de los datos originales, la carga útil contiene los datos de voz, audio o video real codificados e indica que tipo de *codec* se utiliza para transportar la información [21]. La cabecera del paquete RTP tiene

¹⁰ Cuando los paquetes experimentan distintos retardos en su transmisión y llegando de manera desordenada, se dice que se presenta jitter.

un formato determinado como se ve en la figura 5 y facilita las funcionalidades para transportar los *media streams* en tiempo real.

Figura 5. Formato de la cabecera del paquete RTP.



Fuente: Recomendación RFC 1889.

Las divisiones de la cabecera del paquete RTP poseen la siguiente información [22]:

Versión (V): Formado por dos bits que indican la versión del protocolo utilizado.

Relleno (Padding, P): Es un bit que indica que la carga útil incluye octetos de relleno al final, se pone en 1 para indicar que existe el relleno.

Extensión (X): Es un bit que indica que la cabecera utiliza el formato extendido.

Cuenta CSRC (CC): Utiliza 4 bits para mostrar el número de identificadores y se añaden al final de la cabecera fija, identifica el número de participantes en la comunicación.

Marcador (Market, M): Es un bit que según la RFC 1889 deja libre para que la carga útil lo utilice libremente y de acuerdo con la RFC 1890 las aplicaciones lo pongan en 1 después de un periodo de silencio.

Tipo de carga útil (Payload Type, PT): Es un campo de 7 bits que tiene el número que identifica el *códec* utilizado en la carga útil.

Número de Secuencia (Sequence Number, SN): Campo de 16 bits que utiliza el remitente para identificar el orden secuencial de envío de paquetes.

Contador de Tiempo (Timestamp): Campo de 32 bits que identifica el instante en el que se generó la primera muestra de la carga útil.

Identificador del origen (*Synchronization Source*, **SSRC):** Campo de 32 bits que identifica al remitente o a la aplicación intermedia utilizada.

Lista de Contribuyente (*Contributing Source*, **CSRC):** Campo de 32 bits para identificar cada una de las fuentes de sonido, el máximo de fuentes que acepta el RTP es de 15.

El protocolo RTP trabaja en unión con el protocolo de control de tiempo real, *Real Time Control Protocol* (RTCP). Este protocolo RTCP facilita el intercambio periódico de información entre los participantes de la sesión y monitorea la calidad del servicio (*QoS*), lleva la estadística de transmisión facilitando el control de la congestión y flujo de datos. Es importante para diagnosticar problemas e inclusive cuando hay cambio de *códec* y colabora con la sincronización de múltiples *streams*.

2.4.6 PROTOCOLO RSVP.

El protocolo de Reserva de Recursos, *Resource Reservation Protocol* (RSVP), es un protocolo para aplicaciones que necesitan un ancho de banda preestablecido y asegurado como en las comunicaciones de voz y teleconferencias, es usado especialmente para aplicaciones de multimedia [21]. Fue descrito por la IETF para la arquitectura de servicios integrados a través de la recomendación RFC 2205. El RSVP permite que los *hosts* receptores hagan su reserva de red para sesiones *unicast* como *multicast*, funciona con el protocolo IPv4 y el IPv6, este protocolo no enruta datos ni hace enrutamiento de datagramas, solo reserva los recursos de la red y se hace en una sola dirección.

El protocolo RSVP en su funcionamiento y ejecución permite que varios emisores transmitan a muchos receptores, que cuando haya un solo receptor éste cambie libremente de canal para optimizar el uso del ancho de banda y eliminar la congestión. En la sesión de intercambio de información los routers utilizan el RSVP para enviar los requerimientos de calidad de servicio (QoS) a todos los nodos de la trayectoria del flujo de datos para establecer y mantener el servicio requerido.

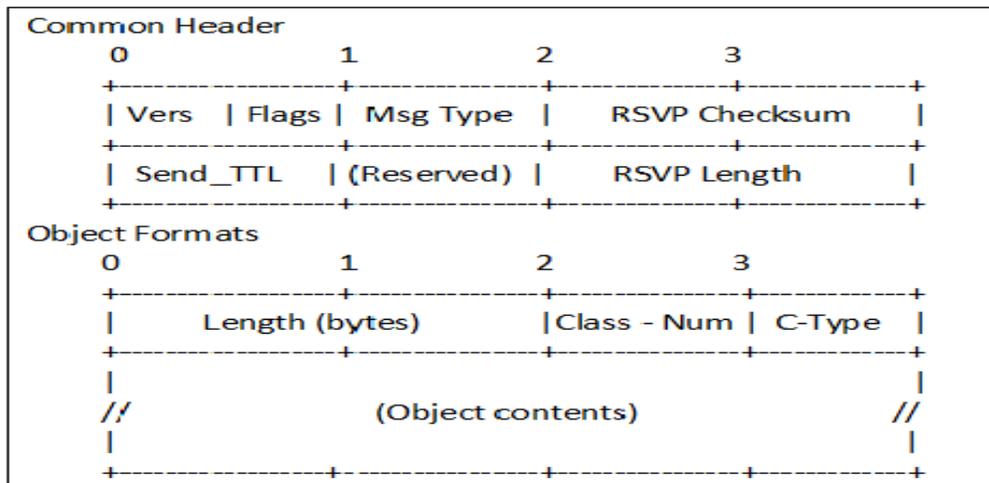
La recomendación RFC 2205 especifica algunas de las características del protocolo RSVP [23]:

- **Monodifusión y Multidifusión:** se hace reserva para los dos tipos de transmisión, adaptándose dinámicamente a los cambios de grupo, de ruta y reservando los recursos basado en las necesidades individuales de los miembros de la multidifusión.

- **Simplex:** Se hacen reservas para flujo de datos unidireccionales, es necesario hacer las reservas separadas para las dos direcciones.
- **Reserva iniciada por el receptor:** El receptor es quien se encarga de iniciar y mantener la reserva de los recursos de red.
- **Mantenimiento de estado flexible en el conjunto de redes:** mantiene un estado flexible en los dispositivos de encaminamiento intermedios y responsabiliza a los usuarios finales para mantener dicho estado.
- **Suministro de diferentes estilos de reserva:** facilita el uso eficiente de los recursos de las redes, se utiliza la técnica del transporte del mejor esfuerzo.
- **Soporte IPv4 e IPv6:** puede hacer uso del campo <<Tipo de servicio>> en la cabecera IPv4 y del campo <<Etiqueta de Flujo>> de la cabecera IPv6.

El mensaje según el protocolo RSVP tiene una cabecera común, seguida de un cuerpo del mensaje con una variable numérica de longitud variable, tipo objeto. Las siguientes secciones definen los formatos de la cabecera común, la cabecera estándar objeto y cada uno de los tipos de mensajes RSVP. Para cada tipo de mensaje RSVP, existe un conjunto de reglas para admitir los tipos de objetos. La estructura de la cabecera del mensaje RSVP y el formato de los objetos se observa en la figura 6 [24].

Figura 6. Estructura del mensaje del protocolo RSVP



Fuente: Recomendación RFC 2205.

Los campos de la cabecera común se describen a continuación:

Versión (Vers): Campo de 4 bits para identificar la versión del protocolo que se está usando.

Banderas (Flags): 4 bits que son reservados y aún no están definidos.

Tipo de mensaje (Msg Type): 8 bits distribuidos de la siguiente manera: 1 = *Path*, 2 = *Resv*, 3 = *Path Err*, 4 = *Resv Err*, 5 = *Path Tear*, 6 = *Resv Tear*, 7 = *Resv Conf*.

Suma de comprobación RSVP (Checksum RSVP): 16 bits se pone en 1 para la suma de comprobación del mensaje y se pone en 0 para la comprobación de la suma y si el valor es todo ceros indica que no hay suma de comprobación.

Envío TTL (Send TTL): campo de 8 bits para detectar cuando hay un salto por la comparación de la IP TTL con la que envía un mensaje o cuando se recibe.

Longitud RSVP (Length RSVP): campo de 16 bits, la longitud total del mensaje RSVP en bytes, incluyendo la cabecera común y los objetos de longitud variable que les siguen.

Los campos de los formatos de los objetos, se describen a continuación:

Longitud (Length): Campo de 16 bits, contiene la totalidad de la longitud del objeto en bytes. Debe ser siempre múltiplo de 4 o mínimo 4.

Class- Num: identifica la clase de objeto, cada objeto tiene un nombre y se escribe en letras mayúsculas.

Tipo – C (Type -C): tipo de objeto, único de la clase numérica. La longitud máxima del contenido del objeto es de 65,528 bytes, los campos de tipo C-Num se pueden usar como campos de 16 bits para definir un único tipo para cada objeto.

2.4.7 PROTOCOLO IPv6.

La evolución del protocolo IP pasando por la v4 y hasta llegar a la versión v6, recibe el nombre de protocolo IPv6 y es conocido como el Protocolo de Nueva Generación, (*IPng, Internet Protocol Next Generation*), esta versión se ha diseñado para facilitar el soporte para las nuevas redes de alto rendimiento y su característica más relevante está en el nuevo sistema de direcciones el cual pasa de los 32 a los 128 bits, es decir 2^{128} posibles direcciones, además de la optimización en el caso de seguridad [25]. El despliegue del IPv6 se va implementando de manera gradual a medida que se vaya actualizando en los equipos de los clientes, en equipos de red, en aplicaciones, en contenidos y en servicios que ofrecen las nuevas redes de telecomunicaciones.

Etiqueta de flujo (*Flow Label*): Campo de 24 bits que se utiliza para indicar que el paquete requiere un tratamiento especial por parte de los routers.

Longitud de la carga útil (*Payload Length*): campo de 16 bits, es la longitud en bytes de los datos que se encuentran después de la cabecera.

Siguiente cabecera (*Next Header*): campo de 8 bits, se utiliza para indicar el protocolo al que pertenece la cabecera y va a continuación de la actual.

Límite de existencia (*Hop Limit*): campo de 8 bits y es un valor que disminuye en cantidad cada vez que el paquete pasa por un nodo.

Dirección de origen (*Source Address*): Campo de 128 bits, es el número de dirección del host que envía el paquete.

Dirección de destino (*Destination Address*): campo de 128 bits, es el número de dirección de destino, aunque en algunos casos no puede coincidir con el número del host de destino.

Las extensiones que añade el protocolo IPv6 se sitúan inmediatamente después de la cabecera normal y antes de la cabecera que incluye el protocolo del nivel de transporte. Los datos que se adicionan en las cabeceras opcionales, solo se procesan cuando el mensaje llega a su destino final. Las cabeceras siempre van a tener un tamaño múltiplo de 8 bytes, las extensiones definidas hasta ahora son las extensiones para routing extendido, fragmentación y ensamblaje, seguridad, confidencialidad e integridad de los datos [25].

2.4.8 PROTOCOLO MEGACO

El protocolo de control de entrada de medios, *Media Gateway Control Protocol (MEGACO)* fue el resultado de un trabajo conjunto entre la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT-T) en su grupo de estudio número16 y la *Internet Engineering Task Force (IETF)*, definido como la Recomendación H.248.1 UIT-T¹¹. Es un protocolo de señalización utilizado entre los elementos de una puerta de enlace físico de multimedia que permite la separación entre el control de llamadas de los medios de comunicación [28]. Facilita la comunicación entre los componentes de la pasarela multimedia distribuida, es decir entre los agentes de llamadas y las pasarelas de medios.

¹¹ <http://www.itu.int/rec/T-REC-H.248.1-200203-S/en>

El protocolo *Megaco* proporciona un control centralizado de las comunicaciones y servicios de multimedia a través de las redes basadas en IP, tiene una mayor escalabilidad, permite la conmutación de llamadas de voz, fax y multimedia entre las redes PSTN y las redes de nueva generación. El modelo de conexión del protocolo *Megaco* describe las entidades lógicas u objetos dentro de la pasarela de medios que son controlados por el *Media Gateway Controller* (MGC), las abstracciones más relevantes usadas por este modelo de conexión son las terminaciones y contextos [29].

Las terminaciones o receptores de medios son conjuntos de descriptores incluidos en las instrucciones o comandos, tienen una única identidad dada por el *Media Gateway* (MGW) al momento de su creación. Las terminales pueden ser de dos clases: terminales persistentes que corresponden a las líneas procedentes de teléfonos análogos, los canales digitales en modo circuito, etc., y terminales efímeras que corresponden a las asociadas a sesiones RTP/UDP que son creadas y eliminadas en el transcurso de la llamada. Para la estructura de una trama con múltiples flujos de medios de comunicación multiplexada, la transmisión se hace a través de un canal portador físico y por un canal efímero que representa una sesión de marco orientado, las terminaciones de multiplexación del protocolo pueden ser en cascada [30].

Un contexto es la asociación de varias terminaciones, puede modelarse como un puente al cual se conectan todas las terminaciones asociadas a él, el número de terminaciones de un contexto es una facultad del *Media Gateway* (MGW), los *Gateway* de medios que ofrecen la conectividad de punto a punto, solo permiten un máximo de dos terminaciones por contexto, los *Gateway* de medios de apoyo en conferencias multipunto, permiten tres o más terminaciones por contexto. Existe un contexto especial, el contexto nulo que contiene todas las terminaciones que no están asociadas a ninguna otra terminación, por ejemplo en un *Trunking Gateway*, todas las líneas en reposo están representadas por las terminaciones del contexto nulo, (*null context*) [31].

El protocolo *Megaco* dispone de ocho instrucciones que facilitan el control de las entidades lógicas en el modelo de conexión, como son las terminaciones y los contextos. Las instrucciones son emitidas por el *Media Gateway Controller* (MGC) hacia el *Media Gateway* (MGW) en un solo sentido, sin embargo la instrucción *servicie change* se puede hacer en las dos direcciones. A continuación se describe la funcionalidad de cada una de las ocho instrucciones [22].

Añadir (*Add*): adiciona una terminación al contexto y si no se especifica se crea un nuevo contexto, si en la terminación se agrega el signo \$, la terminación será efímera.

Modificar (*Modify*): se usa para modificar los valores de una terminación y para indicar la existencia de un evento.

Quitar (*Subtract*): elimina la terminación de un contexto, se puede incluir información estadística de la participación de la terminación dentro del contexto, si la terminación es RTP puede incluir información como el número de paquetes enviados, recibidos, errores, flujos de información y retardos.

Mover (*Move*): es utilizada para pasar una terminación de un contexto a otro, permitiendo el servicio de llamada en espera.

Valor de Auditoría (*Audit Value*): instrucción que envía el *Media Gateway Controller* (MGC) para conocer los valores actuales del evento o señal asociada con una o más terminaciones.

Capacidades de Auditoría (*Audit Capabilities*): la envía el *Media Gateway Controller* (MGC) para conocer todos los posibles estados o valores del evento o señal asociada con una o más terminaciones.

Notificar (*Notify*): esta orden la envía el *Media Gateway* (MGW) hacia el *Media Gateway Controller* (MGC) para avisar sobre los eventos que ha detectado y que previamente le fueron solicitados. Incluye el parámetro *RequestID* de la orden en la que solicitó la notificación.

Cambio de Servicio (*Service Change*): es usada por el *Media Gateway* (MGW) para indicarle al *Media Gateway Controller* (MGC) que una terminación o grupo de terminaciones está a punto de ponerse fuera de servicio o acaban de entrar en servicio. Cuando el *Media Gateway Controller* (MGC) es quien envía la instrucción hacia el *Media Gateway* (MGW) es para indicarle que pasa el control a otro MGC.

2.5. ESTRUCTURA DEL PLANO DE RED.

El plano de red de las redes de nueva generación (NGN) se caracteriza por tener la capa de transporte y la capa de acceso por separado, en la capa de transporte se incluye la red troncal y las tecnologías de transporte que permiten la interconexión e interoperabilidad entre las redes de acceso, y en la capa de acceso se ubican todas las tecnologías de acceso alámbricas o inalámbricas para conectar a los clientes [6]. En el plano de red el enlace entre la capa de transporte y la capa de

servicios se hace a través de la función de control de recursos y admisión, y para la interacción entre la capa de red y la capa de servicios se hace por medio de las funciones de acoplamiento y perfiles del usuario.

En las redes de nueva generación (NGN) hay dos aspectos fundamentales para la interoperabilidad de redes y el transporte de la información, estos son: el transporte en modo datagramas utilizando direccionamiento unicast y multicast, y la capacidad de la red para mejorar la conmutación, la calidad de servicio (QoS), la seguridad, la fiabilidad y la flexibilidad en el ancho de banda de la red, permitiendo el acceso a servicios de multimedia de alta calidad e interactiva. Para una mejor comprensión del plano de red en su capa de transporte y capa de acceso, a continuación se hace una breve descripción.

2.5.1 CAPA DE TRANSPORTE.

En las nuevas tendencias tecnológicas la capa de red incluye funcionalidades de conmutación, transmisión y encaminamiento de paquetes, con una gran capacidad de procesamiento por su alto flujo de información a través de las diversas metodologías, que conllevan a desarrollar técnicas de transmisión óptica, mecanismos para garantizar la calidad de servicio, equipos de conmutación avanzada y técnicas de distribución de contenidos [32].

La capa de transporte dentro de la red se encarga de la interconexión de la capa de acceso con las otras capas de la red de nueva generación (NGN), permitiendo la comunicación y el transporte de información con todos los elementos de red. Como la capa de transporte posee diferentes tecnologías de transporte, tiene la capacidad de adaptarse al tráfico de la red y los requerimientos que se deben tener en cuenta al momento de su implementación: la red IP de transporte debe ser una convergencia de tecnologías, discriminar y priorizar el tráfico de la información con los más altos estándares de calidad de servicio, fortalecer el tráfico IP/MPLS y soportar la movilidad generalizada para permitir los servicios permanentes y ubicuos a los usuarios [33].

A continuación se describen diferentes tecnologías de transporte para las redes de nueva generación (NGN), como ATM, SDH/JDH, WDM y MPLS con sus principales funciones y características.

2.5.1.1 TECNOLOGÍA ATM.

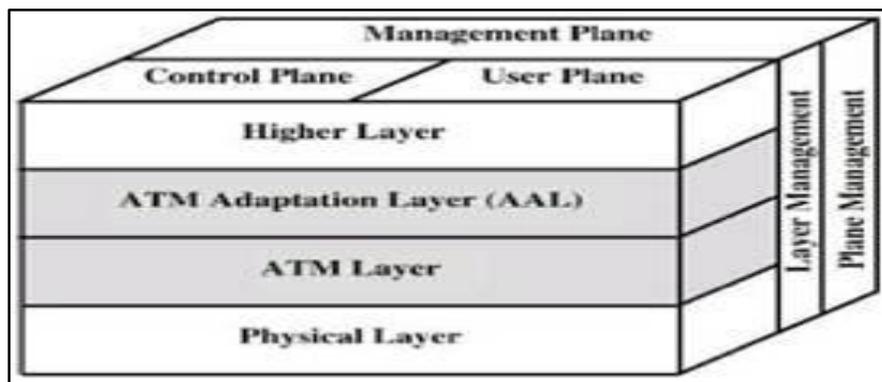
Es una tecnología utilizada por todo tipo de redes que sean orientadas a la conexión, ligada a la transferencia de información en pequeños paquetes con velocidades

constantes. Una red de clase Modo de transferencia Asíncrona, *Asynchronous Transfer Mode (ATM)* garantiza una buena calidad de servicio entre el origen y el destino, permite transportar información relacionada con audio, voz, datos, imágenes y video. Las transmisiones de la información están entre 155 Mbps hasta los 2.5 Gbps, esta velocidad puede ser para un usuario, un grupo de trabajo o para toda la red [34].

La red con tecnología Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) es considerada como una tecnología de conmutación de paquetes de alta velocidad y algunas de sus características más relevantes son: permite la multiplexación de varias conexiones lógicas sobre una única interfaz física, los paquetes son de tamaño fijo (53 bytes), tecnología orientada a la conexión, los canales ATM son multiplexados en forma determinística para el acceso síncrono o estadístico para el acceso asíncrono, soporte para redes LAN y WAN, usa el concepto de red virtual, permite transmisiones punto a punto y punto a multipunto, los nodos que componen la red no tienen control de errores o control de flujo y la cabecera de la trama tiene una funcionalidad limitada.

El modelo ATM se estructura en tres capas: la capa física, la capa ATM y la capa de adaptación ATM, como se observa en la figura 8. La primera capa es la capa física (*Physical Layer*) es la encargada de definir los enlaces físicos con los medios de transmisión y el protocolo de la trama para la red ATM, posee dos subcapas que separan el medio físico de los datos, la subcapa PMD (*Physical Medium Dependent*) que especifica las velocidades de transmisión y tipos de conectores físicos, y la subcapa TC (*Transmission Convergence*) que hace la extracción de los datos que hay en la capa física.

Figura 8. Modelo de capas en la tecnología ATM.



Fuente: Redes de Banda Ancha, José Manuel Caballero.

La segunda capa es la capa ATM, es la capa común para todos los servicios de conmutación de paquetes, es independiente al tipo de servicio, es la encargada de la transmisión de celdas y el uso de conexiones lógicas. La tercera capa es la capa de adaptación ATM (AAL) facilita múltiples tipos de tráfico en una red ATM, es dependiente del servicio y su función es adaptar los servicios que son requeridos por las capas superiores, convertir la información en tramas de 48 bytes y realizar el mapeado entre las PDUs y las celdas, a través de sus dos subcapas la de convergencia CS y la de segmentación y re-ensamblado SAR.

Los servicios que se ofrecen en la capa de adaptación ATM dependen de la tasa de generación de datos, la tasa de bits constante, *Constant Bit Rate* (CBR) sensible al retardo y a la latencia, y la tasa variable, *Variable Bit Rate* (VBR) insensible a los pequeños retardos. De acuerdo con la velocidad, sincronización y conexión, esta capa ofrece cuatro clases de servicios principales y dos complementarias [34].

Clase A, orientado a la conexión para un acceso con velocidad constante y una relación sincronizada entre usuarios. **Clase B**, servicio con conexión con velocidades de tráfico variable, adecuado para aplicaciones en tiempo real. **Clase C**, proporciona un acceso de velocidad variable pero no basada en el tiempo, servicios que admiten retardos producidos por la red. **Clase D**, no soporta la función de multiplexación por ello solo se aplica para datos de señalización y operación sobre ATM. Además, existen dos clases adicionales, **Clase Y**, que permite solicitar a la red por parte de los usuarios finales cuánto ancho de banda y qué clase de servicio son necesarios para cierta transmisión de datos. **Clase X**, llamada servicio UBR que no garantiza ni el caudal de tráfico ni el retardo [35].

Una red ATM está formada por los siguientes componentes: clientes, switches, multiplexores e interconectores. Los clientes son aquellos equipos conectados a la red y que pueden transmitir a través de la línea ATM. Los switches son los encargados de quitar la virtualidad de la conexión, clasificarla y gestionarla. Los multiplexores son los encargados de realizar los enlaces virtuales sobre una única conexión física. Los interconectores son los encargados de quitar los enlaces virtuales y convertirlos a canales individuales virtuales.

Finalmente la red ATM se desarrolló para dar soporte a las redes multiservicios, que permite integrar el tráfico de diferentes aplicaciones de manera flexible, ofreciendo las siguientes características: Calidad de servicio para establecer diversos controles de tráfico, administrar prioridades y garantizar una determinada calidad de servicio en cuanto a pérdida de información, retardos y variaciones de los retardos. Redes privadas virtuales que facilitan la configuración de subredes lógicas virtuales dentro de una misma red física de manera sencilla y económica. Gestión que permite

disponer de grandes capacidades para el manejo del tráfico, determinando rutas para ciertos flujos de información.

2.5.1.2 TECNOLOGÍA SDH.

La tecnología de Jerarquía Digital Síncrona, *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) es un estándar a nivel mundial para la red óptica de telecomunicaciones de alta velocidad, es un sistema de transporte digital síncrono capaz de suministrar una infraestructura de red de telecomunicaciones más flexible, simple y económica, permitiendo el crecimiento de banda ancha y la disponibilidad de nuevos servicios, mayor capacidad de monitorización de la calidad y gestión centralizada [36]. La estructura SDH es más tolerante a fallos y puede reencaminar automáticamente el tráfico en cuestión de milisegundos de forma transparente y sin perjudicar las aplicaciones de los usuarios.

El estándar SDH es una adaptación del sistema de red óptica síncrona, *Synchronous Optical Network* (SONET) y trabaja con una trama básica llamada Módulo de transporte síncrono Nivel 1, *Synchronous Transport Module* (STM-1) con una duración de 125 microsegundos y una velocidad binaria de 155 Mbps y que puede llegar hasta los 40 Gbps, es similar a la tecnología SONET en cuanto a sus niveles jerárquicos y velocidades de operación como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Niveles jerárquicos y velocidad de operación SONET y SDH.

Señal SONET	Interfaz Óptica	Señal SDH	Velocidad (Mbps)
STS-1			51,84
STS-3	OC-3	SMT-1	155,52
STS-12	OC-12	SMT-4	622,08
STS-24			1244,16
STS-48	OC-48	SMT-16	2588,32
STS-192	OC-192	SMT-64	9953,28
STS-768	OC-768	SMT-256	39814,32
STS-3072	OC-3072	SMT-1024	159252,48

Fuente: Redes Ópticas, José Capmany.

La trama básica SMT-1 está formada por una matriz de 9 filas y 270 columnas, la transmisión se hace fila por fila comenzando por la del byte de la esquina superior izquierda y terminando en el byte de la fila inferior derecha. La trama se divide en tres partes: la cabecera, los punteros y la carga útil. La cabecera está formada por

las nueve primeras columnas y transporta información necesaria para administrar la red, corregir errores, sincronizar y acceder al contenido de la información real que es transportada. La cabecera tiene dos secciones, una sección de regeneración RSOH (*Regenerator Section OverHead*) y otra sección de multiplexación MSOH (*Multiplex Section OverHead*). Los punteros son los encargados de reconocer la posición de inicio del contenedor virtual dentro de la trama. La carga útil es la información que previamente va empaquetada dentro de cada uno de los contenedores virtuales [37].

Las ventajas y características que presenta la jerarquía síncrona SDH en la implementación de redes de banda ancha de alta calidad y fiabilidad [36], incluyen los siguientes aspectos:

- Reducción de costos en los equipos de transmisión y mantenimiento de la red, debido a la integración de funciones de transmisión, multiplexación e interconexión en un solo equipo.
- Incremento en la eficiencia y gestión de la red de manera flexible, mediante la provisión de bytes de la cabecera y de la carga útil para facilitar la seccionalización de fallos centralizados.
- Posee funciones de inserción y extracción facilitando el acceso directo a las señales desde cualquier nivel sin la necesidad de demultiplexar en todos los niveles.
- La disponibilidad de una gran cantidad de estándares que permiten la interoperabilidad de diversos proveedores de equipos a nivel de interfaces de transporte, garantizando la integración de los distintos operadores.
- Fiabilidad en la red debido a los mecanismos automáticos de protección y recuperación ante la presencia de fallos en el sistema y la monitorización permanente de la calidad del enlace.
- Incluye la definición de un formato de multiplexación sincrónico para trabajar con señales de bajo nivel que simplifica en gran medida la interface a los *switches* digitales, a los *cross-connects* y a los multiplexores *add/drops* que es la base para la integración flexible y económica de las redes de telecomunicaciones.
- Presenta una alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación que permite a los operadores reaccionar de manera eficiente ante las nuevas demandas de servicios por parte de los usuarios.

La red de Jerarquía Digital Síncrona (SDH) en su estructura general está implementada básicamente por los siguientes elementos o equipos de red: Regeneradores, Multiplexores terminales de línea, Multiplexores de inserción y extracción y Distribuidores - Multiplexores. Cada uno de estos elementos de red se

puede configurar de diversas maneras, de acuerdo con los requerimientos y funcionalidad del nodo donde se ubique [33].

Los regeneradores (REG) son los encargados de regenerar la señal de reloj y la relación de amplitud de la señal de entrada que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión u otros factores, obtienen sus señales de reloj a partir del flujo de datos entrantes y se encargan de mantener las características físicas de la señal a lo largo de la red supervisando la calidad de la señal recibida.

Los multiplexores terminales de línea (LTMUX o PTE) tienen como tarea principal combinar las funciones de interfaz, ensamblado y desensamblado de paquetes, además permiten insertar señales plesiócronas o síncronas en señales STM-N de mayor velocidad.

Los multiplexores de inserción y extracción (ADM) permiten insertar o extraer señales plesiócronas o síncronas de menor velocidad en el flujo de datos SDH de mayor velocidad, son los elementos básicos de las redes con topología en anillo, recomendados para configuraciones redundantes y tolerantes a fallos.

Los distribuidores multiplexores (DXC) son los encargados de realizar el encaminamiento del tráfico entre los nodos de la red, permite la interconexión sin bloqueo de señales a un nivel igual o inferior entre cualquiera de sus puertos de entrada o salida, es el punto de mayor flexibilidad de la red SDH permitiendo la inserción o extracción de señales plesiócronas o síncronas en varios niveles sin la necesidad de multiplexar o demultiplexar en niveles intermedios y permite mapear la señales tributarias PDH en los contenedores virtuales así como la conmutación entre estos, desde el conmutador virtual de menor nivel hasta el de nivel superior, incluyendo el contenedor VC-4.

Las topologías que se pueden implementar en la red SDH están basadas en la recomendación de la UIT-T G.803 de acuerdo con su flexibilidad, interoperabilidad y fiabilidad de la red. En este tipo de red se tienen las siguientes clases de topologías: Punto a Punto, Bus, Malla y Anillo. La topología Punto a Punto permite el transporte de señales entre dos puntos de la red donde los terminales están conectados por un medio físico único. La topología Punto a Multipunto o Bus incorpora los multiplexores ADM facilitando la inserción y extracción de señales afluentes queden incorporadas en los puntos intermedios entre las ubicaciones extremas. La topología Malla facilita la concentración de tráfico, optimizando el uso de las señales SDH y se realiza a través de los elementos DXC. La topología en Anillo es la más utilizada en este tipo de red, permite extraer e insertar señales

afluentes en cada nodo de la red y proporciona circuitos de reserva para las eventuales caídas de la línea o fallas en los equipos.

La red SDH fue una de las primeras tecnologías que incluyó en sus normas el parámetro de gestión, bajo las directrices de la Red de Gestión de Telecomunicaciones, *Telecommunications Management Network* (TMN) y que se establece bajo la recomendación de la UIT-T G. 784. La gestión se concibe como una red superpuesta sobre la misma red de telecomunicaciones que interactúa a través de interfaces normalizadas en ciertos puntos para obtener información que le permite monitorear y controlar su operación.

Para realizar la gestión de la red en la tecnología SDH, en su arquitectura e implementación se debe considerar los siguientes componentes [33]: Unidad de control, que mantiene actualizada la base de datos del equipo y permite la comunicación con el terminal local. Terminal local, se hace a través de la interfaz F que permite comunicarse con el exterior para realizar funciones de programación y conexión remota. Unidad de gestión, que procesa los protocolos necesarios para la comunicación. Elementos de adaptación para los equipos de la red no adaptados por el TMN para ser administrados mediante un canal de datos normalizado. Comunicación entre estaciones a través de un canal de comunicaciones dedicado en la trama STM-1. Direccionamiento que involucra la programación de los parámetros de comunicación. Centros de gestión que se hace en cada uno de los elementos de red y en los dispositivos de mediación para la seguridad, la configuración y el control de fallas, calidad y contabilidad.

2.5.1.3 TECNOLOGÍA WDM.

La tecnología basada en la Multiplexación por División de Longitud de Onda, *Wavelength Division Multiplexing* (WDM), permite que varias señales sean transmitidas sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferentes longitudes de onda usando luz procedente de un led o de un láser. Cada longitud de onda es capaz de llevar grandes cantidades de información ya sea analógica o digital y esta información puede estar multiplexada por división de tiempo o división de frecuencia [38]. Este tipo de tecnología se ha desarrollado para redes de telecomunicaciones con gran capacidad de transmisión de datos.

El uso de la tecnología (WDM) explora al máximo las redes de fibra óptica, debido a la optimización en el uso del ancho de banda y la flexibilidad en cuanto a señalización, monitorización y restablecimiento de la red. La tecnología WDM permite mecanismos de protección ópticos en equipos o directamente en la red en la capa de aplicación, ofreciendo servicios de alta disponibilidad y seguridad en el transporte de la información. En esta tecnología existen dos técnicas de multiplexado, la multiplexación por división de onda densa, *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) y la multiplexación por división de onda ligera, *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM).

La multiplexación por división de onda ligera, *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM), es una técnica muy sencilla para el diseño, implementación y operación de la red, pero se limita en cuanto a distancia y a capacidad. Se basa en una separación de longitudes de onda de 20 nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1670 nm a 1610 nm, transportando hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo [RFC G.694.2]. Esta clase de tecnología tiene dos características fundamentales: Mayor espaciado de longitud de onda, que permite usar láseres de mayor ancho de banda espectral, filtros ópticos, multiplexores y demultiplexores basados en tecnología de película delgada. Mayor espectro óptico, porque no utiliza amplificadores de fibra dopada con Erblio o *Erbium Doped Filter Amplifier* (EDFA) permitiendo que el número de canales utilizados no se vea disminuido.

La multiplexación por división de onda ligera, *Coarse Wavelength Division Multiplexing* (CWDM), es un método similar a la multiplexación por división de frecuencia, utiliza la banda C de 1550 nm, se usa para transmisiones de larga distancia, busca un mayor número de canales ópticos reduciendo la dispersión cromática de cada canal mediante el uso de láseres de mayor calidad, fibras de baja dispersión y el uso de módulos de compensación de dispersión alcanzando hasta 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí por 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz [RFC G.694.1]. Esta técnica requiere de dispositivos ópticos especializados por eso la hace más costosa que la CWDM. En la figura 9 se presenta una comparación de las dos técnicas de multiplexado usado por la tecnología WDM.

Figura 9. Comparación de la tecnología WDM según su aplicación.

Aplicación – Parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Coste	Bajo	Medio	Alto
Amplificación óptica	Ninguna	EDFA	EDFA, Raman

Fuente: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>.

Los componentes que hacen parte de la tecnología WDM son muy similares a los que usan en los sistemas convencionales de transmisión por ondas de radio y por redes cableadas, entre estos elementos tenemos los siguientes: Multiplexores y Demultiplexores ópticos “*Add/Drop*” (OADM) que permiten retirar o adicionar uno o varios canales dentro del enlace de fibra óptica. Multiplexores y Demultiplexores por longitud de onda se usan para separar las distintas longitudes de onda. Enrutadores OXC por división de longitud de onda que conectan el conjunto de enlaces de fibra óptica y permiten el enrutamiento y la conmutación de la comunicación. Acopladores por división de longitud de onda que permiten el enfrentamiento de conectores para el correcto alineamiento de las fibras. Conversores de longitud de onda que permiten conmutar datos desde el puerto de entrada en una longitud de onda hasta el puerto de salida reduciendo la probabilidad de bloqueo de la red. Amplificadores ópticos que permiten amplificar la señal óptica sin convertir la señal al dominio eléctrico evitando la atenuación de la señal [38].

Las ventajas que conlleva la implementación de la tecnología WDM en las redes de telecomunicaciones con respecto a otras tecnologías, se describen a continuación:

- Mayor capacidad en ancho de banda y transmisión full dúplex con una sola fibra, donde la capacidad de información se puede aumentar n veces, donde n representa cuántas longitudes de onda se propagan por la fibra al mismo tiempo.
- Cada longitud de onda está modulada por señales de información de distintas fuentes, por ello un solo cable de fibra puede transmitir n longitudes de onda, dando solución a problemas de cuello de botella.
- La tecnología WDM es más fácil de reconfigurar, permitiendo quitar o adicionar canales, mejorando la flexibilidad para ajustarse a las demás tecnologías y a las demandas del flujo de información.
- El uso de componentes ópticos cada vez más sencillos, económicos y confiables, permite la reducción de costos en la implementación de amplificadores y demás componentes para cubrir grandes distancias.
- Bajas pérdidas de inserción y alto rendimiento entre los canales adyacentes eliminando la interferencia óptica entre los canales.
- Permite cualquier tecnología de tráfico independiente del fabricante o proveedor de equipos, mediante el uso de transpondedores de señal, permitiendo usar equipos de aplicación para la transmisión de la información.

2.5.1.4 TECNOLOGÍA MPLS.

La tecnología de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo, *Multiprotocol Label Switching* (MPLS), es un mecanismo que utiliza etiquetas para el enrutamiento de tráfico, creado por el grupo de estudio de la *Internet Engineering Task Force* (IETF) y definido en la Recomendación RFC 3031, se desarrolla con el objeto de dar solución a la problemática sobre envío de paquetes, permite ofrecer calidad de servicio, *Quality of Service* (QoS) independiente de la red donde se implemente basado en la clase de servicio, *Class of Service* (CoS). Su característica principal está en mejorar el rendimiento de los Routers IP facilitando el enrutamiento de alto desempeño directamente en los enrutadores de hardware. La tecnología MPLS permite al usuario una mayor velocidad de acceso y una mayor oferta de servicios IP capaz de soportar redes virtuales privadas [39].

La base de la tecnología MPLS está en asignar una etiqueta a cada uno de los elementos de la tabla y darla a conocer en los nodos vecinos, la estructura de la etiqueta MPLS que se adiciona en la cabecera IP se observa en la figura 10, la etiqueta es de tamaño fijo y valor corto para identificar el conjunto de paquetes que son reenviados por la misma ruta a través de la red, así sus destinos sean diferentes. La etiqueta solo es un identificador de conexión local que establece una relación entre el tráfico y las clases de equivalencias de reenvío, *Forwarding*

requieren el mismo servicio y que se enrutan en una misma etiqueta y que seguirán el mismo LDP para llegar a su destino.

Con la implementación de la tecnología MPLS se obtiene beneficios adicionales o nuevas aplicaciones que son transparentes para los usuarios finales, como la ingeniería de tráfico, las redes virtuales privadas, la calidad de servicio y la clase de servicio, cada uno de estas aplicaciones se describen a continuación [31].

Ingeniería de tráfico: es el proceso mediante el cual se organiza los flujos de tráfico de información en la red para evitar la congestión de acuerdo con los recursos físicos de la red. El flujo de datos sigue el camino más corto calculado por el algoritmo IGP¹² correspondiente, teniendo en cuenta el flujo de información buscando el camino alternativo. La ingeniería de tráfico permite optimizar el ancho de banda, la escalabilidad en la red, disponibilidad y valor agregado para los usuarios.

Las ventajas de la ingeniería de tráfico en la red MPLS proporcionan una herramienta efectiva que permite al administrador de la red, el establecimiento de rutas explícitas describiendo el camino físico exacto de un LSP, llevar estadísticas del uso de los LSP, planificar la red para el análisis de cuellos de botella y determinar los enlaces, facilita la expansión y crecimiento de la red y permite hacer enrutamiento restringido de manera que el administrador pueda seleccionar rutas especiales para servicios especiales. La ingeniería de tráfico se puede hacer directamente sobre la red IP.

Las Redes Virtuales Privadas, (VPNs) en MPLS facilitan el soporte de aplicaciones intranet y extranet, integrando multimedia de voz, datos y video sobre la infraestructura de red eficaz y rentable. Proporciona un circuito orientado a la conexión, lo que permite un transporte VPN en la infraestructura de red IP tradicional. Una VPN simula una red privada sobre internet pública, como MPLS facilita la creación de circuitos virtuales a través de toda la red IP, es necesario que los ISP utilicen MPLS para aislar el tráfico pero deben tener un mecanismo externo para garantizar la seguridad en la comunicación, esto lo puede hacer mediante el uso de Cortafuegos o de un protocolo de encriptación tipo IPSec.

La red MPLS ofrece algunas ventajas para las redes virtuales privadas (VPNs) IP, como: Proporcionar un modelo acoplado o inteligente para adaptarse a la red del proveedor. La provisión de servicios en sencilla puesto que la nueva conexión solo afecta un router, tiene mayores opciones de crecimiento de la red. Permite utilizar

¹² IGP, Interior Gateway Protocol, Protocolo de Pasarela Interior, es un protocolo de enrutamiento para el intercambio de información de enrutamiento dentro de un sistema autónomo de una red.

la ingeniería de tráfico para garantizar la optimización en el uso de los recursos de red. Evita la complejidad de los túneles y de los circuitos virtuales permanentes. Permite garantizar calidad de servicio (QoS) de extremo a extremo, separando los flujos de tráfico por aplicaciones y de acuerdo con las diferentes clases.

La Calidad de Servicio (QoS) en la arquitectura MPLS da herramientas al administrador de la red para el control y uso eficiente de los recursos de la red, lo que significa menores costos y mayor satisfacción del usuario final. La calidad de servicio es aplicable a lo largo de toda la red y se encarga de distribuir los recursos de red de acuerdo al flujo de información y aplicaciones o servicios contratados. La asignación de recursos se basa en prioridades, pero se garantiza que todas y cada una de las aplicaciones y servicios tengan los recursos necesarios para completar la transmisión de la información en un tiempo razonable.

La Clase de Servicio (CoS) es un aspecto importante en las redes MPLS para ofrecer servicios diferenciados y se refleja en dos niveles. En la cabecera MPLS en el campo denominado CoS que permite seleccionar la clase de servicio para los paquetes que llevan la misma etiqueta y el uso de etiquetas diferentes para cada clase de servicio. La clase de servicio se estructura de acuerdo con el modelo *DiffServ*¹³ del *Internet Engineering Task Force* (IETF) bajo la recomendación RFC 3270, este modelo *DiffServ* define varios mecanismos para clasificar el tráfico con diferentes prioridades y lo hace a través del campo (*ToS*) y renombrado por el *DiffServ* en el octeto DS que hace referencia al tipo de servicio y que MPLS lo adapta en su etiqueta a través de su cabecera en el campo *EXP* para propagar la clase de servicio en el LSP correspondiente.

La red MPLS puede transportar diferentes clases de tráfico, puesto que el tráfico que hay en un determinado LSP puede tomar diferentes rutas en los diferentes LSR de acuerdo con la información existente en el campo *EXP*. Por cada par de LSR se puede aprovisionar múltiples LSPs cada uno de ellos con diferentes prestaciones y garantías de ancho de banda para estratificar la clase de servicio y optimizar los recursos de red de acuerdo con los servicios y aplicaciones de los usuarios.

2.5.2. CAPA DE ACCESO.

La capa de acceso a la red está relacionada con el intercambio de información entre el usuario final y la red a la que está conectado, ya sea desde el punto de vista geográfico o desde el punto de vista técnico. Esta capa está comprometida con el

¹³ El modelo DiffServ permite diferenciar servicios como www, correo electrónico o transferencia de ficheros de otras aplicaciones más dependientes del retardo y de la variación del mismo, como voz interactiva y video.

acceso y el encaminamiento de los datos a través de diferentes tipos de red, facilitando el desarrollo de nuevas redes y servicios [23]. La red de acceso incluye diversos elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones que a veces se conoce como la última milla o último kilómetro, como son los medios de comunicación y los elementos que hacen la adecuación de la señal en la red.

En las redes de nueva generación (NGN) el aprovechamiento de la banda ancha, el incremento de tráfico, los nuevos servicios y el mejoramiento de la velocidad de transmisión, han incidido en la evolución de las diferentes tecnologías de acceso a la red y su objetivo primordial es el de facilitar los servicios a los usuarios finales de forma transparente y donde cada uno de ellos puede disponer de su propia línea de acceso. La multiplicidad de redes de acceso y servicios conllevan a retos importantes en cuanto a seguridad, movilidad, adaptación de contenidos, la heterogeneidad de las mismas redes, la calidad y clase de servicio para ofrecer alternativas de accesibilidad a los usuarios en cualquier lugar y tiempo, siendo éstas las metas de las nuevas tendencias tecnológicas en las redes y servicios de las telecomunicaciones [40]. De acuerdo con el tipo de acceso las tecnologías de acceso en la capa de red pueden ser: guiados y no guiados ya sean conmutadas o dedicadas.

2.5.2.1 Tecnologías de acceso guiado.

En los medios de transmisión guiados la capacidad de transmisión en cuanto a velocidad de transmisión o ancho de banda, dependen de la distancia y el tipo de enlace. Las tecnologías de acceso guiado más relevantes son: el par de cobre como el par telefónico y el cableado estructurado, el cable coaxial, la fibra óptica monomodo o multimodo, por red eléctrica y guías de onda.

2.5.2.1.1 El par telefónico.

Es el medio más usado en las redes de telecomunicaciones, inicialmente empleado solo para el servicio telefónico, pero sus características de propagación permiten transportar cierta cantidad de información de voz, datos y video de manera simultánea. La tecnología de acceso conmutada basada en la red pública conmutada y la red digital de servicios integrados que se apoyan en protocolos punto a punto y que puede alcanzar velocidades hasta los 2 Mbps. La tecnología de acceso dedicada con el objetivo de mejorar el ancho de banda y el acceso por banda ancha evoluciona en la implementación de tecnologías XDSL asimétricas o simétricas.

La tecnología ADSL es una clasificación de XDSL y una de las más usadas a nivel mundial, permite trabajar a mayor velocidad sobre el par de cable telefónico, ofrece un ancho de banda que depende de la longitud y el diámetro de los conductores. Las técnicas de modulación utilizadas en la ADSL son la modulación en amplitud y fase sin portadora, *Carrierless Amplitud Phase* (CAP) y la modulación multiportadora, *Discrete MultiTone* (DMT). CAP envía solo una portadora y se basa a la Modulación por Amplitud de Cuadratura, *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) donde los datos de entrada modulan a una única portadora y que se transmite a través de una línea telefónica y una vez finalizada la transmisión se elimina la portadora [38].

Otras soluciones en la transmisión por cable telefónico o red digital de servicio del abonado parten de la evolución en las características técnicas del material con que es construido el cable y el manejo de altas frecuencias para mejorar la velocidad y alcanzar mayores distancias [41]. Estas nuevas tecnologías como el *High Data Rate Digital Subscriber Line* (HDSL) que permite alcanzar velocidades hasta los 2,048 Mbps de forma simétrica y dúplex con distancias hasta los 3600 metros, *Symetric Digital Subscriber Line* (SDSL) con velocidades hasta 1,54 Mbps con distancias hasta 3000 metros, *Single Pair High Speed Symetric Digital Subscriber Line* (SHSDL) primera técnica simétrica normalizada mediante la recomendación de la UIT G.991.2 con velocidades hasta 2,312 Mbps para un solo par de cobre y hasta 4,624 Mbps para dos pares de cobre, con distancias de 4000 metros alcanzando coberturas hasta 35 kilómetros con el uso de solo 8 repetidores y el *Very Data Rate Digital Subscriber Line* (VSDL) con velocidades hasta los 52 Mbps para descarga y 13 Mbps para subir con distancias máximas de 1500 metros.

2.5.2.1.2 El cableado estructurado.

Es el medio más usado y económico, cada par trenzado de cables conforma un enlace, tiende a reducir la interferencia electromagnética (diafonía) entre cables, se utiliza para conexiones con velocidades de 64 Kbps en servicios de voz, en aplicaciones de redes locales su velocidad típica está en los 10 Mbps, claro que su evolución ha implementado soluciones que alcanzan velocidades de 100 Mbps hasta 1 Gbps dependiendo del número de equipos conectados y la distancia o zona de cobertura. En el par trenzado se puede usar para la transmisión de señales análogas con una cobertura entre 5 y 6 kilómetros y señales digitales con una cobertura entre 2 y 3 kilómetros.

Existen dos clases de cableado estructurado el par trenzado no apantallado, *Unshielded Twisted Pair* (UTP) se usa especialmente para telefonía, se puede ver afectado por la interferencia electromagnética externa y el par trenzado apantallado, *Shielded Twisted Pair* (STP) proporciona mejores rendimientos por tener menor

atenuación y es menos sensible al ruido por tanto es usado para grandes distancias y a mayores velocidades [23]. En el estándar de la *Electronic Industries Association* (EIA) se establecieron las categorías 3, 4, 5 y 7 de los cables trenzados para los cables UTP y STP, en cuanto a frecuencias, rendimiento, diámetro de los cables, impedancia y clase de red en las cuales se pueden implementar y los parámetros para la fabricación de elementos de red con este tipo de tecnología.

2.5.2.1.3 El Cable Coaxial.

El cable coaxial es un medio ampliamente utilizado para transmitir señales análogas y digitales, con un ancho de banda hasta los 500 MHz para aplicaciones de distribución de televisión, telefonía de larga distancia, conexiones de corta distancia para periféricos y redes de área local, el cable coaxial se puede usar como medio de transmisión en canales de entrada/salida (E/S) de alta velocidad entre computadores.

En el cable coaxial permite dos modos de transmisiones: transmisión banda base (*Baseband*) donde se entrega al medio de transmisión la señal de los datos directamente sin que haya intervención entre el proceso de generación de la señal y su entrega a la línea, este tipo de cable tiene una impedancia característica de 50 ohmios, donde se emplean cables coaxial grueso o delgado y una transmisión de banda ancha (*Broadband*) donde se divide el ancho de banda en canales de ancho adecuado y a través de técnicas de modulación se inserta en cada uno de ellos una señal distinta con una impedancia característica de 75 ohmios. Los cables coaxiales más utilizados son cables RG 58 para redes locales, RG 59 para televisión y banda ancha, RG 60 para frecuencias más altas y RG 62 para las redes ARCnet [42].

2.5.2.1.4 La fibra óptica.

La red de acceso con fibra óptica está formada por una serie de equipos e instalaciones que conectan los terminales de los usuarios con los terminales de la red de transporte. La red de fibra óptica está integrada por un terminador de línea óptica (TLO), una red de distribución de fibra óptica, un terminador de red óptica (TRO) y una acometida construida por pares de cables o coaxiales. En el cable de fibra óptica las señales que se transportan son señales digitales de datos en forma de pulsos modulados de luz.

El terminador de línea óptica es un equipo de transmisión que adapta la interfaz de los servidores al medio portador de la red de acceso. La red de distribución es un conjunto de cables que salen desde la central hasta llegar a cada uno de los equipos terminales de red, pero no siempre constituyen el final de la red de fibra. El terminador de red óptica es un dispositivo que se coloca en la acometida para dejar

pasar las celdas entrantes que están direccionadas hacia el usuario. La acometida es el espacio existente entre los terminales de red y los usuarios, está constituida por pares de cables o cables coaxiales.

Los cables de fibra óptica son apropiados para el transporte de grandes cantidades de información a velocidades muy altas, debido a su baja atenuación de la señal, algunas de las características más relevantes del cable de fibra ópticas son: permite un mayor ancho de banda, menor tamaño y peso, gran flexibilidad, alta inmunidad a interferencias de origen electromagnético, menor atenuación, gran seguridad, alta resistencia mecánica, al calor, frío y a la corrosión y mayor separación entre repetidores mejorando zonas de cobertura. Las aplicaciones fundamentales de la fibra óptica son: transmisiones a largas distancias con promedios de 1.500 kilómetros y una gran capacidad hasta 60.000 canales de voz, transmisiones metropolitanas con longitud media de 12 kilómetros y capacidad hasta 100.000 canales de voz por cada troncal, acceso en áreas rurales con longitudes hasta 160 kilómetros y 5.000 canales de voz, bucles de abonados para los grandes clientes corporativos y redes de área local con capacidades que van desde los 100 Mbps hasta 1 Gbps [23].

El sistema de transmisión óptico está formado por los siguientes elementos: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. La fuente de luz se encarga de convertir la señal eléctrica en señal luminosa emitiendo un haz de luz que permite la transmisión de la información, puede ser de tipo Led o Láser. El medio de transmisión es la fibra que consta de tres secciones concéntricas: el núcleo, el revestimiento y la cubierta. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento de recibir el haz de luz [38].

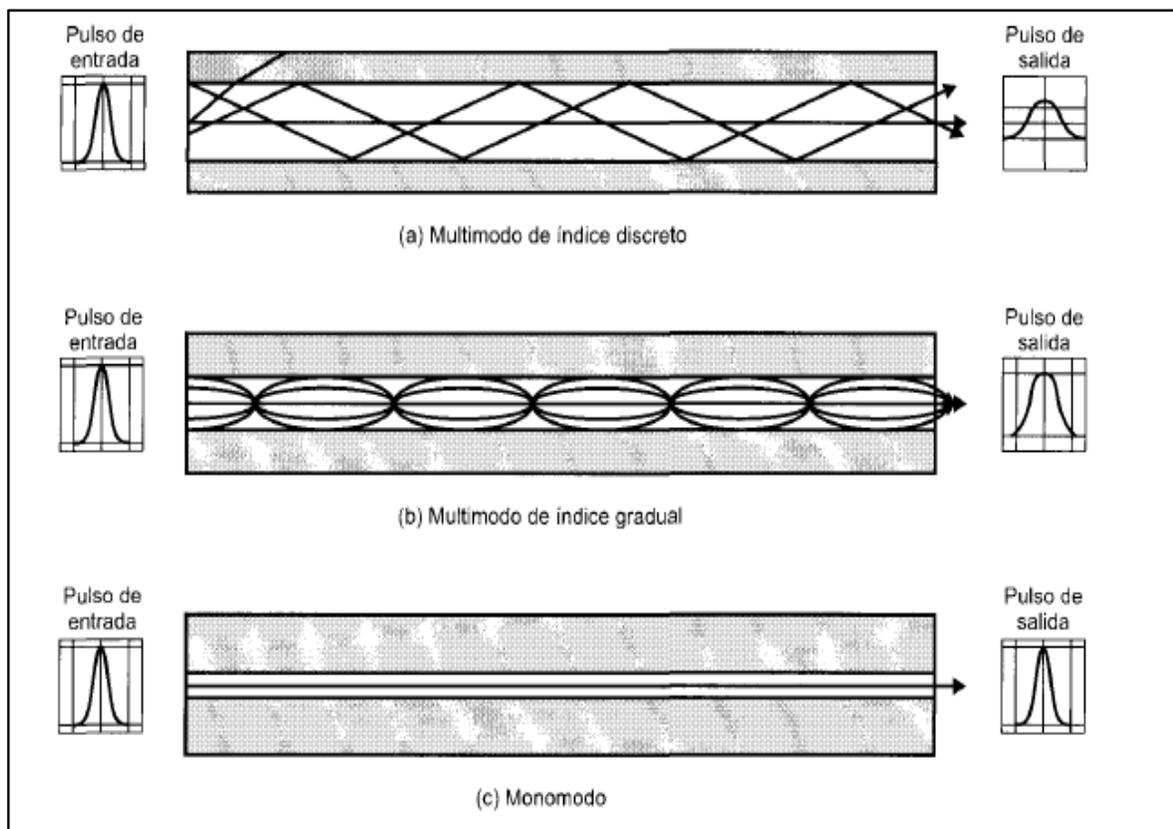
De acuerdo a los modos de propagación¹⁴ de la señal hay dos tipos de fibra óptica: la fibra óptica Monomodo y Multimodo. La fibra óptica Monomodo es aquella por donde solo existe un modo de propagación, el diámetro de su núcleo está entre 8,3 y 10 micras, su transmisión es paralela al eje de la fibra, permite alcanzar grandes distancias hasta 400 kilómetros y transmitir grandes cantidades de información, las fibras Monomodo operan en la 2ª y 3ª ventanas (1300 nm y 1550 nm) y su atenuación típica varía ente 0,5 y 1 dB/Km. La fibra óptica Multimodo es aquella por donde el haz de luz puede seguir uno o más modos de propagación, el diámetro de su núcleo está entre 50 y 62,5 micras, se usa para distancias cortas, zonas urbanas,

¹⁴ Modos de propagación: diferentes trayectorias o caminos que puede tomar un haz de luz en el interior de una fibra óptica.

opera en la 1ª y 2ª ventanas (850 nm y 1300 nm), son muy económicas y fáciles en su implementación y operación [43].

El modo de propagación Multimodo de la fibra óptica, presenta dos tipos de propagación: de índice gradual y de índice discreto o de salto. El Multimodo de Índice Gradual se presenta cuando se varía el índice de refracción tanto del núcleo como del revestimiento, reduciendo la distorsión multimodal, presenta una atenuación menor a 5 dB/Km y se emplea para grandes distancias. El multimodo de índice Discreto o de salto los rayos incidentes con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros rayos con diferentes ángulos son absorbidos por el revestimiento, al haber multiplicidad de ángulos genera un reflexión total, cada uno con diferente longitud y tiempo de propagación. Los diferentes modos de propagación en la fibra óptica, se observan en la figura 11.

Figura 11. Modos de propagación en la fibra óptica.



Fuente: Comunicaciones y Redes de Computadores, William Stallings.

Las redes de acceso de fibra óptica de acuerdo con el sitio donde se ubique el terminador de red y el tipo de servicios que pueden soportar, se clasifican en: Redes

para servicios de banda estrecha, Redes para servicios interactivos de banda ancha y Redes para servicios de distribución. **Las redes de fibra para servicios de banda estrecha:** son redes cuyo servicio no supera un ancho de banda de 2 Mbps, por ejemplo la red de fibra pasiva, *Passive Optical Network* (PON) con topología en árbol, con una velocidad de transmisión ascendente de 155 Mbps.

Las redes de fibra para los servicios interactivos de banda ancha posee una velocidad de transmisión ascendente mayor a 2 Mbps, el servicio interactivo no requiere ser permanente en su conexión, solo disponer de un acceso a una red IP de alta velocidad. Este tipo de red se puede implementarse de acuerdo con las siguientes configuraciones: Acceso ATM punto a punto, cuya transmisión puede alcanzar una velocidad de 140 Mbps. Redes ATM-PON, con velocidades de transmisión ascendente hasta 155 Mbps y descendente hasta 622 Mbps. Redes Gigabit Ethernet, que permite una velocidad de transmisión de 100 Mbps.

Las redes de fibra para los servicios de distribución, son redes Híbridas Fibra Coaxial (HFC) donde su transmisión es unidireccional y la distribución de las señales es transparente para el usuario. Este tipo de redes define tres parámetros importantes a tener en cuenta: la relación portadora a ruido (CNR - *Carrier To Noise*), la relación señal a sumatoria de productos de intermodulación de orden dos (CSO - *Composite Second Order*), y la relación señal a sumatoria de productos de intermodulación de orden tres (CTB - *Composite Triple Beat*).

En las redes de fibra óptica se utiliza la modulación por división de frecuencias (FDM), sin embargo el método predominante es el de Multiplexación por División de Longitudes de Onda (WDM), proporcionando velocidades de transmisión hasta un terabit por segundo, 1 Tbps.

Las redes de fibra óptica presentan algunas desventajas en la transmisión de la señal, como en todos los otros medios de transmisión, pero con menores rangos, estas pérdidas de potencia de la señal comúnmente se llama Atenuación y que presenta algunos efectos adversos sobre su funcionamiento del canal de comunicación, estos efectos incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la reducción de la velocidad de transmisión, la eficiencia y la capacidad general del medio de transmisión [38]. La pérdida de potencia o atenuación en un cable de fibra se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$A (dB) = 10 \text{ Log } \frac{P_{sal}}{P_{ent}}$$

Donde: $A (dB) =$ Atenuación en decibelios
 $P_{sal} =$ Potencia de Salida (Watts)
 $P_{ent=P} =$ Potencia de Entrada (Watts)

Las principales pérdidas en los cables de fibra son: pérdidas por absorción, pérdidas de Rayleigh o pérdida por material, dispersión cromática o de longitudes de onda, pérdidas por radiación, dispersión modal y pérdidas por acoplamiento [23].

Las pérdidas por Absorción se deben a las impurezas en la fibra, éstas absorben la luz y la convierten en energía calórica, las pérdidas por absorción en sus rangos normales están entre 1 y 1000 dB/Km. Se puede presentar por la absorción ultravioleta (la luz ioniza los electrones de valencia y los pasa a la capa de conducción), infrarroja (los electrones absorbidos se convierten en vibraciones mecánicas produciendo el calentamiento) o resonancia de iones (absorción de iones OH en la fabricación de la fibra).

Las pérdidas de Rayleigh o pérdidas por material se presentan al momento de la fabricación de la fibra, cuando se producen irregularidades microscópicas y quedan de forma permanente, éstas deformaciones hacen que la luz se difracte y tome múltiples direcciones facilitando que el rayo de luz pase a la capa de revestimiento de la fibra y haya pérdida de señal.

Las pérdidas por dispersión cromática o de longitud de onda solo se presentan en las fibras con transmisión unimodal, se da cuando los rayos de luz son emitidos por la fuente, se propagan por el medio y no llegan al otro extremo al mismo tiempo recibiendo una señal distorsionada, se puede solucionar cambiando el emisor de fuente.

Las pérdidas por radiación se deben a pequeños cambios de dirección y dobleces de la fibra, se presenta en la instalación del cable de fibra y la variación en la trayectoria. Los dobleces pueden ser microdobleces (imperfección geométrica del eje de la fibra) y dobleces constantes (demasiada presión y tensión en la instalación del cable de fibra).

Las pérdidas por dispersión modal o ensanchamiento de pulso son la diferencia en los tiempos de propagación de rayos de luz que van por diferentes trayectorias en una fibra, se puede reducir utilizando fibras de índole gradual y casi se pueden eliminar usando fibras de índice escalonado. Esta clase de dispersión solo se presenta en las fibras multimodales.

Las pérdidas por acoplamiento se presentan cuando hay problemas de alineamiento de las fibras en las uniones o empalmes, como es el caso de las conexiones de fuente luminosa a la fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a fotodetector, el desalineamiento lateral, entrehierro o separación entre extremos y angular, acabado superficial imperfecto.

2.5.2.2 Tecnologías de acceso no guiado.

Los medios de transmisión de acceso no guiado usan como medio de transmisión el aire a través de antenas de manera direccional u omnidireccional, esta tecnología de acceso trae ventajas como la baja inversión, crecimiento de acuerdo con las necesidades, su rápida implementación y su gran cobertura. En esta tecnología se presenta dos formas de enlaces: punto a punto con el uso de microondas para las frecuencias altas para distancias largas y punto a multipunto con ondas de radio para frecuencias bajas y medias para coberturas de corta distancia.

En la red de acceso de las redes de nueva generación (NGN) las tecnologías para el acceso no guiado son: soluciones *Wireless Local Loop* (WLL), soluciones *Broadband Wireless* como LMDS, MMDS, WiFi, WiMax y FOS, el acceso por satélite y los sistemas celulares.

2.5.2.2.1 Tecnología de Lazo Local Inalámbrico (WLL).

El lazo local inalámbrico, *Wireless Local Loop* (WLL) es un enlace inalámbrico vía radio para la última milla, que se usa para conectar a los usuarios de servicios de telecomunicaciones a una red de acceso. Son sistemas inalámbricos de media y baja capacidad, que requieren un sistema de vista para su transmisión y recepción de la señal, permite una fácil implementación y escalabilidad, creciendo a medida que se requiera y una gran cobertura.

Los sistemas de lazo local inalámbrico (WLL) desde el punto de vista de movilidad del terminal, su acceso puede ser sin movilidad cuando el terminal del usuario es fijo y con movilidad cuando el terminal del usuario no posee cables para su conectividad. Además, puede ser de banda estrecha con frecuencias de trabajo entre 900 MHz y 6 GHz y, de banda ancha que trabaja en rangos de frecuencias de baja frecuencia entre 2,5 y 3,5 GHz y en alta frecuencia entre 26 y 28 GHz.

El sistema WLL se puede configurar con TDMA para aquellas zonas de alta densidad poblacional incluyendo un centro de operación y mantenimiento para la administración de las conexiones directas. Para un sistema basado en CDMA que incluye un administrador de acceso inalámbrico. Y un sistema con un controlador de sistema inalámbrico WSC para el control de función de radio centralizando el

monitoreo de rendimiento del acceso a red incluyendo el administrador de acceso de suscriptores (SAM) [41].

La tecnología WLL tiene algunas ventajas como la facilidad y rapidez en su implementación, menores gastos de mantenimiento y operativos, mejora la cobertura en zonas de alta densidad poblacional, mayor flexibilidad y puede ser ampliado a través de enlaces punto a multipunto vía microondas, soporta redes de servicios digitales integrados y otras redes, la transmisión es segura dando confidencialidad y fiabilidad de los datos de los usuarios.

2.5.2.2 Sistema de Distribution Local Multipunto (LMDS).

El sistema de distribución local multipunto, *Local Multipoint Distribution System* (LMDS), es una tecnología de comunicaciones de banda ancha que trabaja en la banda de frecuencias entre los 28 – 31 GHz en un radio limitado aproximadamente de 4 Km, transmite información a altas velocidades en enlaces punto a multipunto, es decir desde una estación base hasta los diferentes usuarios y viceversa, se utilizan para centros de alta densidad y concentración de usuarios.

El sistema LMDS es un conjunto de estaciones base interconectadas entre sí, que prestan un servicio full dúplex a los usuarios que tienen visión directa, usa un sistema de modulación de amplitud por cuadratura (QAM) o modulación de fase en cuadratura (QPSK) que permite reducir la interferencia y aumentar el reutilización del espectro alcanzando anchos de banda hasta 1 GHz, con tecnologías de acceso por división en frecuencia (FDD), acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA), acceso por división en tiempo (TDD), acceso múltiple por división en tiempo (TDMA) y por salto en frecuencia (FH).

El esquema de la arquitectura LMDS posee **los emplazamientos de los usuarios** donde hace parte una serie de antenas de baja potencia que reciben señales en la banda de 28 GHz las convierten a señales compatibles con los equipos de los usuarios. **Las estaciones base** que dan cobertura a los usuarios y pueden ser sectorizadas u omnidireccionales, permite reutilizar frecuencias incrementando la capacidad del sistema. **Los concentradores** son los encargados de agregar el tráfico de las estaciones base y llevarlos hacia una red backbone de datos y desde allí dirigirlos hacia su destino final.

La optimización en el reuso de frecuencias en los sistemas LMDS permite la minimización de múltiples rutas y cruce de polarización mediante antenas direccionales a grandes alturas y la maximización del aislamiento entre sectores adyacentes a través de la polarización horizontal y vertical alternada a lo largo de todo el sistema. Entre las ventajas que tiene el sistema LMS están: la rápida

instalación, la posibilidad de integrar diversos tipos de tráfico como voz digital, video y datos, alta velocidad de acceso a internet y es una tecnología de bajo costo, flexible, modular y fiable y con redistribución del ancho de banda en tiempo real.

2.5.2.2.3 Sistema Multicanales de Distribución por Microondas (MMDS).

La tecnología multicanales de distribución por microondas, *Multichannel Multipoint Distribution System* (MMDS), es una tecnología de telecomunicaciones inalámbrica usada en redes de banda ancha que trabaja en frecuencias de 2 – 4 GHz, con acceso punto a multipunto y con velocidades hasta 10 Mbps que permite una cobertura entre 15 y 20 Km y cuya recepción se hace a través de pequeñas antenas ubicadas en los domicilios de los usuarios que por medio de un decodificador se accede a los servicios contratados.

En el sistema MMDS la banda de frecuencias se divide en canales de 34 MHz, cada canal tiene la capacidad de transmitir información con velocidades hasta de 30 Mbps con la modulación 64-QAM y velocidades hasta 42 Mbps usando modulación 256-QAM, pero cuando se adiciona el control de errores la velocidad baja a 27 y 38 Mbps respectivamente. La seguridad de la información en MMDS se hace por medio del cifrado de los datos usando códigos de cifrado triple DES, el sistema es muy similar que la tecnología LMDS.

La tecnología implementada con un sistema MMDS presenta algunas ventajas como la rapidez en su implementación y despliegue, es una arquitectura abierta y escalable, puede combinar señales análogas y digitales, permite un acceso bidireccional, puede integrarse a servicios de internet inalámbrico para facilitar servicios interactivos por demanda, el ancho de banda es compartido para ofrecer los servicios a más usuarios, es menos sensible a efectos de la lluvia por trabajar a frecuencias más bajas que el sistema LMDS, pero necesita línea de vista directa sin obstáculos para optimizar la señal y cobertura.

2.5.2.2.4 Tecnología *Wireless Fidelity* (Wi-Fi).

Es una tecnología de fidelidad inalámbrica que es utilizada para el acceso a la red de transporte, con una excelente calidad de transmisión en distancias cortas hasta 100 m, facilitando la ampliación de las redes corporativas en diversos entornos con conexiones de banda ancha, presenta mayor flexibilidad, movilidad y soporte para la transferencia de archivos, conversaciones de voz y control de procesos en tiempo real. Trabaja en frecuencias de acceso común en las bandas de 2,4 y 5 GHz, se utiliza en las redes de acceso local (LAN), reglamentado bajo el estándar de la IEEE

802.11 aprobado en el año de 1997. Es una marca del grupo de Wi-Fi Alliance¹⁵ que adopta, prueba y certifica los equipos que cumplen con este estándar.

El desarrollo del estándar IEEE 802.11 ha tenido una evolución significativa debido a la compatibilidad entre las diferentes marcas fabricantes de equipos, en cuanto a la velocidad de transmisión de la información y técnicas de modulación para una mayor robustez en la conectividad, iniciando con velocidades de 1 y 2 Mbps hasta los 1,3 Gbps con el estándar IEEE 802.11ac. Su desarrollo ha permitido normalizar los siguientes estándares: el estándar IEEE 802.11b que trabaja en la frecuencia de 2,4 GHz utilizando el sistema de transmisión por espectro directo por salto de frecuencia y secuencia directa (HR/DSSS) que mediante la modulación CCK alcanza velocidades de 5,5 Mbps y 11 Mbps con una cobertura interior de 45 m y exterior hasta 90 m, compatible con los estándares *g* y *n*.

El estándar IEEE 802.11a que funciona en la frecuencia de los 5 GHz alcanza velocidades hasta 54 Mbps, conecta un mayor número de usuarios con menor interferencia, utiliza una modulación por multiplexación por división en frecuencia ortogonal (OFDM) y Multiportadora, con un alcance interior de 15 m y 30 m para exteriores, no es compatible con los demás estándares [44]. El estándar IEEE 802.11g trabaja en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y alcanza velocidades hasta 54 Mbps usando una modulación por multiplexación por división en frecuencia ortogonal (OFDM), además combina técnicas de codificación de los estándares *a* y *b*, ofrece servicios a un mayor número de usuarios de manera simultánea, con una cobertura interior de 45 m y exterior de 90m.

El estándar IEEE 802.11n opera en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y 5 GHz simultáneamente, utiliza la tecnología *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO¹⁶) para utilizar varios canales simultáneamente con velocidades hasta 600 Mbps, utiliza múltiples antenas transmisoras y receptores para mejorar el rendimiento en el tráfico de los datos, alcanza una cobertura interior de 91 m y 182 m en exteriores, es compatible con los estándares *b* y *g*. el estándar IEEE 802.11ac trabaja sobre la banda de 2,4 GHz y 5 GHz utiliza la tecnología *Multiple Input – Multiple Output* (MIMO) de tres canales, es una mejora del estándar *n* que alcanza velocidades hasta 433 Mbps y 1,3 Gbps usando tres antenas, incluye modulación 256 QAM, es conocida como WiFi 5G o WiFi Gigabit [45].

¹⁵ <http://www.wi-fi.org>

¹⁶ MIMO: Múltiples entradas, Múltiples Salidas, consiste en tener varias antenas en transmisión y recepción, de manera que cada una de ellas pueda transmitir información igual o diferente para ser modulada coherentemente.

Los elementos que hacen parte de una red de acceso Wi-Fi son: las células llamadas conjunto de servicios básicos (BSS), los puntos de acceso inalámbrico, Access Point (AP) que son los encargados de dar acceso a los usuarios a la red de telecomunicaciones y el sistema de distribución que en el estándar es conocido como un conjunto de servicios extendidos (ESS). Las características de las redes Wi-Fi frente a otras topologías radican en la movilidad, la flexibilidad, los bajos costos y la escalabilidad, facilidad de comunicación entre equipos portátiles y comunicación punto a punto vía radio.

2.5.2.2.5 Tecnología *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax)*.

La tecnología para la intercomunicación mundial para acceso por microondas (WiMax) es similar a la tecnología WiFi que permite la comunicación inalámbrica a través de señales electromagnéticas, es conocida como el estándar de la IEEE 802.16 y se usa para dar acceso en redes metropolitanas, con tasas de transferencia de datos muy altas hasta 134 Mbps, una mayor zona de cobertura hasta 50 Kms y un número mayor de usuarios, permite la conexión sin línea de vista usando enlaces punto a multipunto o malla [46].

La tecnología WiMax integra dos estándares como el IEEE 802.16 y el HyperMAN, trabaja en la banda de frecuencias de 2 y 11 GHz, es la base para el acceso a las redes metropolitanas, puede soportar calidad de servicio (QoS) y servicios heterogéneos, escalabilidad, modulación adaptativa, 256 OFDM y OFDMA con un ancho de 20 MHz por canal, hace reutilización de frecuencias y está limitado solo por la disponibilidad en el espectro. Algunos de los avances de la tecnología WiMax se describen en la tabla 6 con sus principales características.

La tecnología WiMax está desarrollada para soportar transporte IP, TDM, T1/E1, ATM, Frame Relay y voz, lo que la hace muy apropiada para trabajar en redes corporativas como alternativa para los diversos operados de servicios de voz y datos. Es un tipo de tecnología que permite entrega de paquetes de datos de forma guiada de acuerdo con la aplicación, el perfil del usuario y los parámetros de red. De acuerdo con la arquitectura de red se puede usar extensiones del protocolo IPv6 integradas con MPLS y DiffServ con el fin de ofrecer calidad de servicio en *handover* vertical y en la redes de nueva generación integra redes heterogéneas para brindar calidad de servicio de extremo a extremo [47].

La tecnología WiMax en su arquitectura funcional es similar a una red celular y está conformada por los siguientes elementos: **Estación base**, con un rango de cobertura de 70 Km, las antenas dependen de la celda que se quiere implementar, para celdas circulares se usan antenas omnidireccionales, para celdas con

coberturas lineales se utilizan antenas direccionales y para celdas con cobertura sectorial se usan antenas sectoriales. **El Receptor**, también llamado equipo local del cliente, son los encargados de conectar nuestros equipos para tener el acceso a la red. **El backhaul**, elemento que conecta el punto de acceso con el proveedor de servicios y con la red.

Tabla 6. Características del estándar IEEE 802.16.

Ítem	IEEE 802-16	IEEE 802-16a	IEEE 802-16e	IEEE 802-16m
Espectro	10 – 66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Solo con visión directa	Sin visión directa	Sin visión directa	Sin línea de vista directa
Tasa de bit	32 – 134 Mbps con canales de 28 MHz	75 Mbps con canales de 20 MHz	15 Mbps con canales de 5 MHz	300 Mbps con canales de 20 MHz
Modulación	QPSK - 16QAM y 64QAM	OFDM con 256 portadoras QPSK	OFDM con 256 portadoras QPSK	OFDMA con 256 portadoras QPSK
Ancho de banda	20, 25 y 28 MHz	1,25 y 20 MHz	1,25 y 20 MHz	5 a 20 MHz
Radio de celda	2 – 5 Km	5 hasta 50 Km	2 – 5 Km	Hasta 70 Kms

Fuente: Redes de Comunicaciones, Administración y gestión.

Las características que ofrece la tecnología WiMax son: Anchos de canal entre 1,5 y 20 MHz, el empleo de modulaciones OFDM, OFDMA con 256 y 2048 portadoras que permiten altas velocidades inclusive en condiciones difíciles, incorpora el uso de antenas *Smart* que mejoran la eficiencia espectral, la reutilización de frecuencias y cobertura, incluye mecanismos de modulación adaptativa mejorando la conectividad entre la estación base y el usuario, soporta cientos de usuarios por canal, soporta múltiples servicios simultáneos ofreciendo calidad de servicio (QoS), la seguridad es robusta y su autenticación se da mediante el uso de encriptación de datos a través de los algoritmos triple DES, RSA y AES [25].

2.5.2.2.6 Tecnologías de Acceso Vía Satélite.

La tecnología de acceso vía satélite es un medio eficaz para dar soluciones globales de comunicaciones y acceso a los usuarios donde la infraestructura es mínima y en lugares muy remotos. Es un sistema que usa un enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres, que recibe la señal en una banda de frecuencia y la amplifica, y luego la retransmite en otra banda de frecuencia. Un satélite de comunicaciones consta de un *transponder* cuya función es similar a un repetidor, con enlaces punto a punto y punto a multipunto, utiliza modulación QPSK y trabaja con anchos de banda de 72 MHz [48].

El acceso en banda ancha vía satélite tiene dos configuraciones: una unidireccional y otra bidireccional. La configuración unidireccional ofrece una conexión de gran velocidad para el acceso a contenidos del proveedor usando el satélite como canal de recepción desde el punto de vista del usuario, alcanzando velocidades hasta de 1 Mbps. Además permite el envío de grandes volúmenes de información a varios sitios en modo de difusión y en tiempo real. La configuración bidireccional permite una conexión de alta velocidad en recepción y transmisión a través de una antena parabólica, en esta configuración el ancho de banda alcanza velocidades hasta los 3 Mbps.

Un sistema de comunicación vía satélite está formado por los siguientes elementos: el satélite, la estación terrena y el centro de control. El satélite es el centro de la red y cuya función es la de establecer la comunicación en una zona de cobertura establecida, pueden ser orbitales o geoestacionarios. La estación terrena es la encargada de hacer el enlace entre el satélite y la red terrestre conectada al sistema, permiten la comunicación entre usuarios o con usuarios de otro tipo de redes. El centro de control hace parte integral del sistema espacial, es el responsable de controlar los satélites en servicio, posee todos los equipos necesarios para realizar la gestión y el mantenimiento de la estación satelital desde la estación terrena [49].

Los sistemas de comunicaciones basados en satélites trabajan en bandas de frecuencias llamadas L, C, Ku y Ka. La banda L se utiliza para las comunicaciones móviles, en rangos de frecuencias entre 1 y 2 GHz. La banda C comprende frecuencia entre 4 y 8 GHz. La banda Ku trabaja en rangos de frecuencias entre 12 y 18 GHz. Y la banda Ka ofrece mejores servicios por disponer un mejor ancho de banda que permite usar antenas más pequeñas con mayor ganancia, trabaja en rangos de frecuencias entre 18 y 31 GHz [50].

La tecnología de acceso vía satélite se caracteriza por centralizar la gestión de red, es un servicio independiente de la distancia, rápida y fácil implementación en lugares de difícil acceso, los enlaces asimétricos se adaptan a la transferencia de datos, utilizan un acceso combinado FDMA + TDM/TDMA que permite optimizar la longitud/duración de la trama en función del ancho de banda, la ubicación privilegiada permite a las estaciones terrestres conectarse de manera simultánea en la zona de cobertura, presenta facilidad en su reconfiguración y ampliación de la red, un gran ancho de banda y se puede cubrir todo el planeta con solo tres satélites.

2.5.2.2.7 Tecnologías de acceso vía Sistemas Celulares.

La tecnología de red de acceso vía celular consta de una serie de estaciones de transmisores-receptores de radio, llamadas estaciones base que permite la

comunicación entre terminales fijos o móviles, para su cobertura se dividen las zonas geográficas en celdas, cada celda está asociada a una estación base para transmitir y recibir la información desde y hacia los terminales, en áreas entre 1,5 y 5 Km [40]. Esta técnica de celdas permite hacer reuso de frecuencias con lo cual miles de usuarios pueden conectarse simultáneamente, entre más pequeña sea la celda mayor es el número de canales que puede soportar.

El estándar abierto para las redes de comunicaciones celular fue llamado Sistema Global de Comunicaciones móviles, *Global System for Mobile Communications* (GSM), que soporta voz, mensajes de texto, datos y roaming, pertenece a la segunda generación (2G) de telefonía celular. Esta tecnología utiliza una técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en la banda de 900 MHz y una separación de 200 KHz entre portadoras, con velocidades de transmisión de 9,6 Kbps, el elemento fundamental de esta generación es un sistema de identificación a través de la tarjeta del abonado, *Módulo de Identidad del Suscriptor* (SIM) donde se almacena la información del usuario, las claves de autenticación e información sobre los servicios.

El incremento de usuarios y tráfico de datos permitió el desarrollo de nuevas versiones con múltiples bandas de frecuencia y canales asociados como: GSM 900 con banda de frecuencia de 900 MHz, una capacidad máxima de 2 x 124 canales y un ancho de banda de 2 x 25 MHz. GSM 1800 con banda de frecuencia de 1800 MHz, una capacidad máxima de 2 x 364 canales y un ancho de banda de 2 x 75 MHz. Y GSM 1900 con banda de frecuencia de 1900 MHz, una capacidad máxima de 2 x 298 canales y un ancho de banda de 2 x 75 MHz.

La evolución de la tecnología celular para la transmisión de datos ha desarrollado nuevas tecnologías llamadas generaciones con mejoras en su ancho de banda y velocidad de transmisión, como: Generación 2.5G, denominada Servicio General de paquetes vía radio, *General Packet Radio Service* (GPRS) con velocidades de transmisión de datos de 56 y 114 Kbps. Generación 3G, denominada Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), que alcanza velocidades de transmisión de datos de 2 Mbps adicionando categorías de calidad de servicio (QoS), con un ancho de banda de 5MHz usando el sistema de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) [48].

La generación 3.5G conocida como acceso de paquetes a alta velocidad, *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA), alcanza una velocidad de transmisión hasta 14 Mbps, utiliza modulación QPSK y multiplica la velocidad de descarga y definida en el Release 5 del 3GPP. La evolución hacia el Release 6 del 3GPP incorpora la

especificación de acceso de paquetes a alta velocidad en el enlace descendente, *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), donde se mejora la velocidad en el canal ascendente e incluye protocolos híbridos de repetición automática (ARQ). La generación 3.5G en su última actualización se plantea en los *Releases* 7, 8 y 9 del 3GPP, define la especificación HSPA+ que alcanza velocidades máximas de 11 Mbps en el enlace ascendente y 28 Mbps en el canal descendente, con una latencia inferior a 50 ms. Utiliza una modulación de 64 QAM e incluye la técnica MIMO.

La generación celular *Long Term Evolution* (LTE), es considerado como la generación 3,9G que trata de un estándar totalmente IP, que conecta los estándares HSPA con la generación 4G. LTE permite anchos de banda hasta 20 MHz con velocidades en el canal ascendente de 50 Mbps y en el descendente 100 Mbps, utiliza la técnica de acceso al medio OFDMA para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente. La evolución de la tecnología LTE da origen a la tecnología 4G conocida como LTE- Advanced, que fue estandarizado de acuerdo con el Release 10 y siguientes del grupo 3GPP que introduce agregación de portadora, coordinación de interferencia entre celdas, mejora la transmisión con el uso de antenas MIMO, permite tasas de transferencia pico de datos hasta 1 Gbps [10].

Las técnicas de acceso en las tecnologías celulares para la transmisión de la información se hace por medio del acceso múltiple, donde varios usuarios pueden acceder a la misma celda en el mismo instante de tiempo, este proceso se realiza mediante el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) donde el espectro se divide en canales con diferentes rangos de frecuencia, el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) donde se divide un canal de frecuencia de radio en varias ranuras de tiempo, el acceso múltiple por división de código (CDMA) donde se divide el espectro en portadoras de 1,25 MHz y todos los usuarios usan la portadora todo el tiempo y el acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) que usa una única portadora de 5 MHz y se basa en la expansión del espectro por medio de secuencias ortogonales.

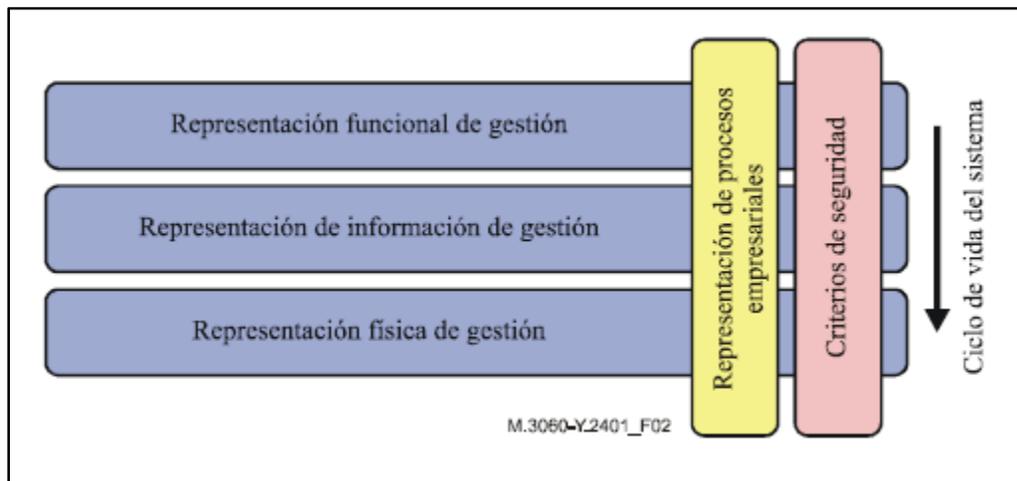
2.6. ESTRUCTURA DEL PLANO DE GESTION.

La funcionalidad del plano de gestión en la arquitectura de las redes de nueva generación (NGN), se extiende sobre todos los otros planos de la arquitectura de la red, integrando todos los equipos de gestión. La IUT-T en la recomendación M-3060 propuso un modelo de gestión para las redes de nueva generación donde se gestiona recursos y servicios, se determina la información necesaria para la

comunicación entre todas las capas del sistema [51]. La gestión en las redes de nueva generación tiene como finalidad facilitar la interconexión efectiva entre los distintos sistemas de operaciones y los recursos NGN para el intercambio de información de gestión con interfaces normalizadas incluyendo protocolos y mensajes.

En la arquitectura de gestión de las redes de nueva generación (NGN), se debe tener presente los siguientes aspectos: las fronteras administrativas entre dominios de los operadores, los procesos de los operadores y los equipos de los proveedores, los puntos de referencia de proveedores y consumidores, las interfaces de proveedores y usuarios y los modelos de información que se utilizan para soportar las funciones lógicas que facilitan la gestión general de los equipos, redes y servicios de acuerdo con los modelos de información genéricos y las interfaces estándar. La figura 12 describe el proceso lógico de las especificaciones de gestión que permite la evolución necesaria en todos los campos de la arquitectura.

Figura 12. Arquitectura de gestión de la red de nueva generación.



Fuente: Recomendación UIT-T M.3060/Y.2401.

La gestión de redes de telecomunicaciones soporta aspectos como planificación, instalación, operaciones, administración, mantenimiento, prestación en redes y servicios de telecomunicaciones. Las áreas funcionales en la gestión de redes de acuerdo con la UIT-T se dividen en gestión de fallos, configuración, contabilidad, calidad y seguridad [52]. En las redes de nueva generación la seguridad es un aspecto muy importante y se basa en la recomendación X.805¹⁷ que permite

¹⁷ La recomendación UIT-T X.805 define la arquitectura de seguridad que garantiza la seguridad de extremo a extremo de una red de telecomunicaciones.

proteger los activos de las empresas de las distintas amenazas, al igual que la recomendación M.3016¹⁸ para garantizar la infraestructura del plano de gestión de las redes NGN.

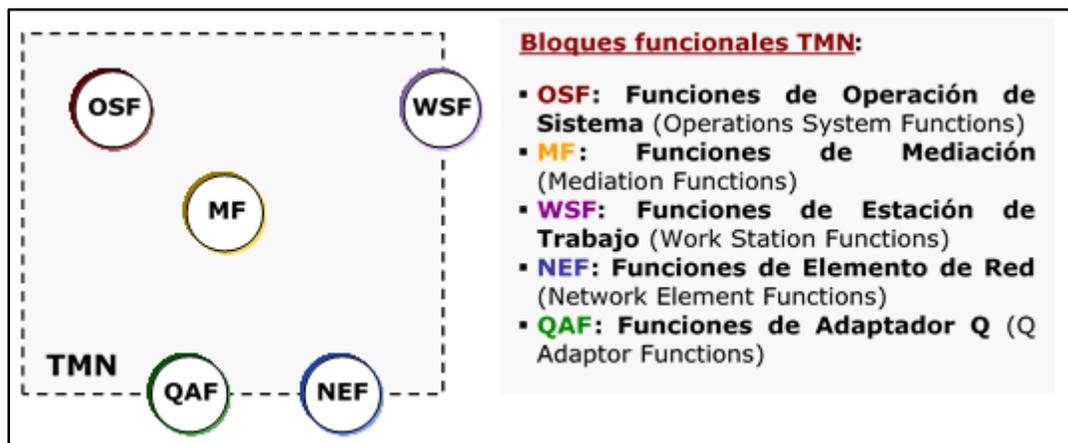
2.6.1. Arquitectura de la gestión de red TMN.

La UIT-T en su arquitectura de gestión de redes, implementa un modelo de gestión en las redes de nueva generación, basado en la recomendación M-3010 que implementó el estándar Red de Gestión de Telecomunicaciones, *Telecommunications Management Network* (TMN) con la siguiente funcionalidad: intercambio de información entre las redes TMN y la red gestionada, conversión de formatos para facilitar el intercambio de información, análisis de la información de gestión, control, manipulación y presentación de información para los usuarios del sistema [53]. La arquitectura del modelo TMN se define en tres áreas especiales: área funcional, área física y área lógica de gestión de la red.

2.6.1.1 Arquitectura del Área Funcional.

El área Funcional está conformada por cinco bloques a partir de los cuales se construye el TMN, su arquitectura se observa en la figura 13. El bloque de función de operación del sistema (OSF) procesa la información referente al monitoreo y control de las funciones de gestión. El bloque de función de estación de trabajo (WSF) es el encargado de facilitar los mecanismos para que el usuario pueda interactuar con la información gestionada en el TMN.

Figura 13. Bloques funcionales del TMN.



Fuente: Recomendación UIT-T M.3016

¹⁸ La recomendación UIT-T M.3016 determina los requisitos, servicios y mecanismos para soportar las medidas de seguridad en el plano de gestión de la red NGN.

El bloque de función de mediación (MF) se encarga de garantizar que la información cumpla con los requisitos demandados por los bloques OSF y NEF cuya función son de almacenamiento, adaptación, filtrado y condensación de la información. El bloque de función de elemento de red (NEF) actúa como agente de red y puede ser monitoreado y controlado. El bloque de función de adaptación Q (QAF) es el encargado de conectar a la TMN las entidades que no soportan los nodos de referencia estandarizados por el TMN.

2.6.1.2 Arquitectura del Área Física.

En el área física es donde se describen las interfaces y el modo en que los bloques funcionales se implementan en los equipos físicos. Los dispositivos que hacen parte de esta área son: los elementos de red (NE), el dispositivo de mediación (MD), el adaptador Q (QA), el sistema de operaciones (OS), la estación de trabajo (WS) y la red de comunicación de datos (DCN).

Las interfaces Q_x , Q_3 , X y F , son implementaciones de los puntos de referencia como los q_x , q_3 , x , f , g y m , y son comparados como las pilas en los protocolos. La relación de las interfaces y elementos de red con los diferentes bloques funcionales se describe en la figura 14.

Figura 14. Relación entre elementos de red y bloques funcionales del TMN.

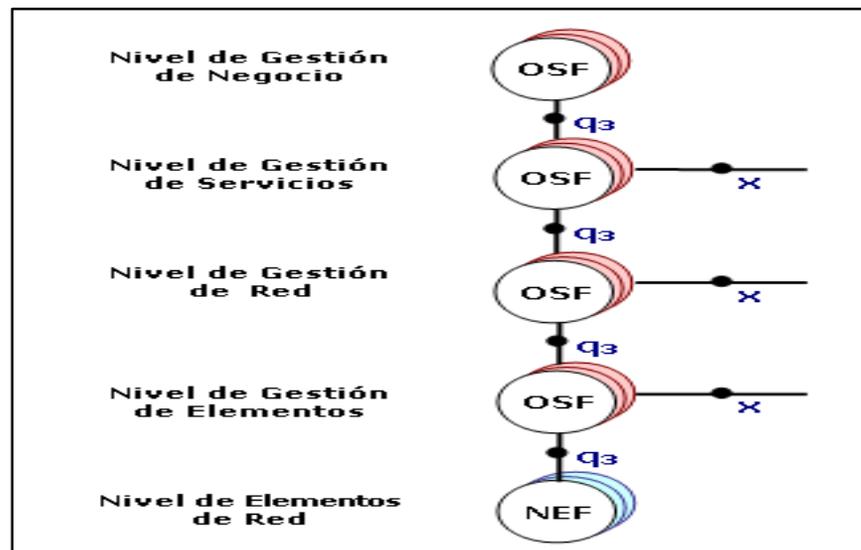
	NEF Funciones de Elemento de Red	MF Funciones de Mediación	QAF Funciones de Adaptador Q	OSF Funciones de Operación de Sistema	WSF Funciones de Estación de Trabajo
NE (elemento de red)	Obligatorio	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional Si OSF o MF están presentes
MD (dispositivo de mediación)		Obligatorio	Opcional	Opcional	Opcional
QA (adaptador Q)			Obligatorio		
OS (sistema de operaciones)		Opcional	Opcional	Obligatorio	Opcional
WS (estación de trabajo)					Obligatorio
DCN (red de comunicación de datos)					

Fuente: Recomendación UIT-T M.3016

2.6.1.3 Arquitectura del Área Lógica.

El estándar TMN define unos niveles lógicos para la gestión de redes de telecomunicaciones, cada uno de los niveles tiene funciones especiales de gestión, como se observa en la figura 15. El nivel de elementos de red incluye funciones de adaptación para facilitar interfaces TMN a elementos de red no TMN y proporcionar información en formato TMN de los equipos de red. El nivel de gestión de elementos incluye la gestión remota e individual de cualquier elemento de red que se usa en la interconexión de la red entre dos puntos extremos, este nivel proporciona funciones de gestión para monitorizar y controlar los elementos de red.

Figura 15. Arquitectura lógica de los niveles de red TMN.



Fuente: Recomendación UIT-T M.3016

El nivel de gestión de red es el encargado de realizar el control, la supervisión, la coordinación y configuración de grupos de elementos de red, construyendo subredes para mejorar la conectividad. El nivel de gestión de servicios es el encargado de proporcionar un manejo eficiente de las conexiones entre los extremos de red. El nivel de gestión de negocio permite la gestión completa de la red, incluye contabilidad, gestión y administración con base en los demás niveles de gestión de la red. En la tabla 7 se hace un listado de las normas aplicables a la gestión de la red del estándar TMN.

Tabla 7. Normas y estándares en la gestión de red TMN.

Gestión del modelo TMN	Recomendación
Visión del conjunto de las recomendaciones a la red de gestión de las telecomunicaciones.	UIT-T M.3000
Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones.	UIT-T M.3010
Metodologías de especificaciones de interfaz de la red de gestión de las telecomunicaciones.	UIT-T M.3020
Modelo genérico de información de red.	UIT-T M.3100
Introducción a los servicios de gestión de las telecomunicaciones.	UIT-T M.3200
Funciones de gestión de red	UIT-T M.3400
Requisitos de la interfaz F de la red de gestión.	UIT-T M.3300
Perfiles de protocolos de capa inferior para las interfaces Q_3 y X .	UIT-T Q.811
Perfiles de protocolos de capa superior para las interfaces Q_3 y X .	UIT-T Q.812
Catálogo de información de gestión de red.	UIT-T M.3180

3. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN CELULAR.

El nombre de telefonía celular se originó debido a la distribución de las antenas repetidoras en la red, donde a cada una se le asigna una célula. El teléfono móvil es el dispositivo que permite tener acceso a la red celular. La comunicación móvil consiste en la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (repetidoras, antenas) y una serie de centrales de conmutación, que facilita la comunicación entre celulares o entre móviles y teléfonos de la red fija que trabaja en rangos de frecuencia entre 750 y 3600 MHz [54].

El fundamento de la telefonía celular consiste en dividir un área de cobertura grande (ciudad), en áreas de cobertura relativamente pequeñas que en su totalidad cubren la ciudad, estas áreas de cobertura se denominan celdas o células, de allí proviene el nombre de telefonía celular, esta idea permite realizar una re-utilización de frecuencias a través de diferentes técnicas de acceso, aumentando el número de usuarios que pueden utilizar sus teléfonos en el mismo instante de tiempo para conectarse a la red. En un sistema celular, las celdas son localizadas en diferentes puntos estratégicos alrededor del área de servicio y cobertura.

Cada celda generalmente tiene un área de cobertura de 26 kilómetros cuadrados, tiene típicamente un radio entre 2 a 10 kilómetros, son diseñadas como hexágonos, cada celda tiene una estación base que se compone de una torre y contiene un equipo de radio y un juego de antenas, cada celda se comunica con la central o switch a través de líneas dedicadas, microondas o una combinación de las dos. A cada celda se le asigna un grupo de canales, estos canales son asignados a otra

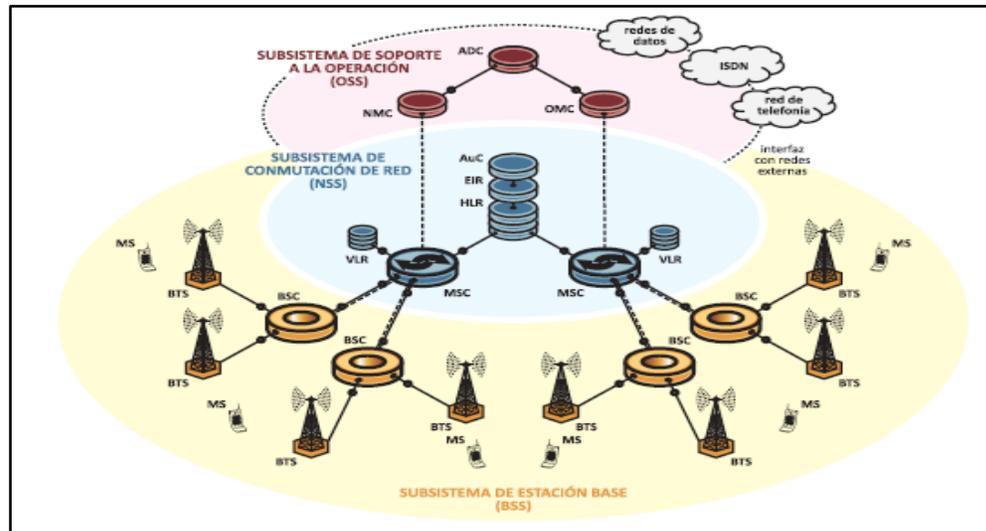
celda distante de manera que la interferencia que pueda existir entre celdas sea mínima o nula [21].

Las principales características de un sistema de comunicación celular son: gran capacidad para la atención simultánea de usuarios, utilización eficiente del espectro y una amplia cobertura. Los componentes de un sistema de comunicación celular, están definidos por cuatro elementos fundamentales: terminales o estaciones móviles (MS), el subsistema de estaciones base (BSS), el subsistema de conmutación de red (NSS) donde se encuentra el centro de conmutación móvil, (MSC¹⁹), también llamado central de conmutación de telefonía celular. (MTSO²⁰) y el subsistema de gestión (OSS) [21].

3.1. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN CELULAR.

La estructura de un sistema de comunicación celular está compuesta por los siguientes elementos, como se muestra en la figura 16. Cada uno de ellos tiene funciones específicas, características diferentes con el fin de establecer una comunicación confiable y segura. La estación base dispone de una antena que se emplea para comunicarse con los usuarios móviles del área, cada estación dispone de un conjunto de *canales descendentes* utilizados para transmitir hacia los usuarios móviles y un número igual de *canales ascendentes* para la recepción desde los usuarios.

Figura 16. Estructura básica de un sistema de comunicación celular.



Fuente: Redes Móviles, Zdenek Becvar, Pavel Mach, Iván Pravda.

¹⁹ MSC: Mobile-Switching Center, Centro de conmutación móvil.

²⁰ MTSO: Mobile Telephone Switching Office.

Los terminales o equipos de los usuarios, los centros de conmutación móvil y los demás componentes de la red de telefonía móvil, tienen funciones específicas que hacen al sistema eficiente y que han venido evolucionando a medida que las tendencias tecnológicas avanzan con el desarrollo tecnológico [36].

3.1.1. La estación base.

Una estación base, *Base Transceiver Station* (BTS) es uno de los elementos más importantes en la comunicación móvil, se compone de un equipamiento físico ubicado geográficamente para cubrir un zona donde se presta el servicio. Es la encargada de controlar la comunicación vía radio entre el terminal de usuario y la red, sirve como punto de acceso a una red de comunicación fija. La estación base está formada por antenas transmisoras y receptoras, los controladores de las estaciones base (BSC) y que en la red 3G se denominan (RNC), los equipos electrónicos para realizar los enlaces ya sea para exteriores (radio-enlaces) como interiores (fibra óptica, cable coaxial) para la conexión de la estación base con la red de conmutación, los sistemas de refrigeración y unidades de respaldo eléctrico.

3.1.2. El equipo o terminal de usuario.

Es el dispositivo móvil que dispone el usuario final, también llamado estación móvil, permite acceder a los servicios y a la red de telecomunicaciones ya sea móvil o fija, la evolución de este dispositivo ha permitido no solo realizar llamadas, sino reproducir música, videos, tomar fotografías, acceder a internet, enviar y recibir correos electrónicos, mensajes de voz, texto y video, etc. La estación móvil está compuesta por un módulo de identificación del abonado (SIM), una unidad de control, un transceptor, un sistema de antena y un sistema de alimentación de energía. Entre sus funciones además de la transmisión de voz, está el control de señal, la señalización y realiza la actualización periódica de la señal recibida.

3.1.3. La interfaz de radio.

Es el nombre que se da a la conexión entre la estación base y el equipo terminal y entre la estación base con el núcleo de la red, el rango de frecuencia en la que trabaja el sistema depende de la tecnología que se implemente y las bandas disponibles y autorizadas. La interfaz de radio se divide en canales de tráfico que transportan los datos del usuario y los canales de señalización que llevan información de control y de señalización.

3.1.4. Los centros de conmutación móviles.

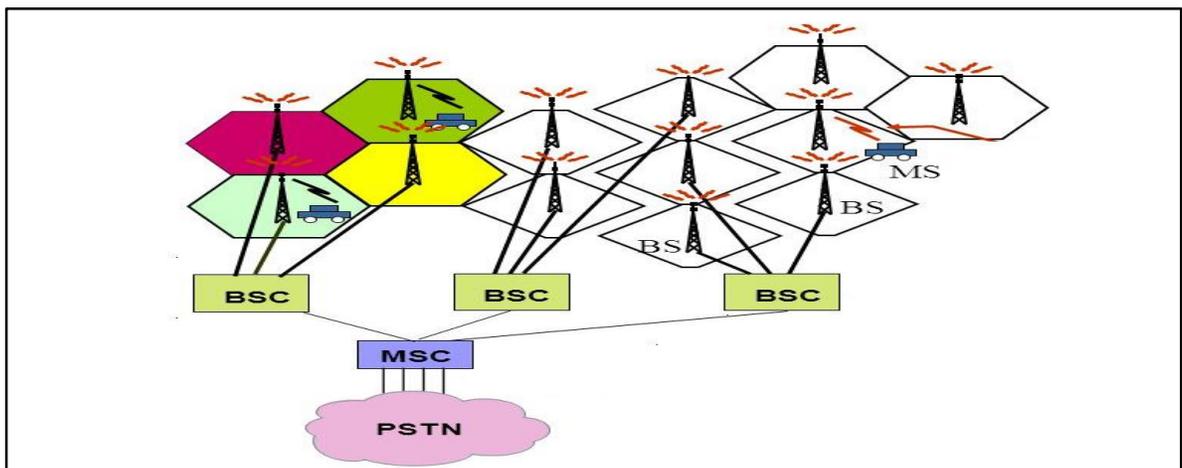
El centro de conmutación de servicios móviles, Mobile Switching Center (MSC) tiene como función interconectar usuarios de la red fija con la red móvil o usuarios móviles

entre sí, es la encargada de controlar el procesamiento y el establecimiento de llamadas que incluye señalización, supervisión, conmutación y administración de las comunicaciones. La interfaz de señalización que utiliza entre el MSC y la red pública es el sistema de señalización N° 7 del CCITT (SS7)²¹. Cada uno de los MSC cuenta con dos bases de datos, una para los abonados locales (HLR) y otra para los abonados visitantes (VLR).

3.2. TOPOLOGÍA DE LA RED CELULAR.

En un sistema de comunicación celular, la topología celular hace referencia a la distribución geográfica en zonas de cobertura por medio de celdas, para los fines de la tecnología inalámbrica, que permite utilizar el reuso de frecuencias aumentando la capacidad del canal telefónico móvil, el tamaño de las celdas varía de acuerdo con el número de usuarios a conectar y la zona a la cual se va a dar cobertura [38]. La topología de red celular se observa en la figura 17. Las macrocélulas suelen tener un radio de 1 a 15 millas, con potencia de salida de 1 a 20 Watts dependiendo de la frecuencia, la tecnología y la morfología del área; las microcélulas cubren radios más pequeños, son utilizadas especialmente en ámbitos urbanos, con salidas de potencia muy pequeña de 0.1 a 1 Watt.

Figura 17. Topología de la red celular.



Fuente: Telecomunicaciones móviles [47].

En la topología de red celular a cada una de las celdas se le asigna una serie de frecuencias ($f_1 - f_6$) que tiene su correspondiente estación base, este grupo de frecuencias puede ser utilizadas por otras celdas siempre y cuando no sean usada

²¹ El sistema de señalización por canal común SS7, es un conjunto de protocolos de señalización telefónica usado a nivel mundial, cuyo propósito es el establecimiento y finalización de llamadas.

por las celdas adyacentes, sin llegar a causar la interferencia entre canales. Algunas de las características de la topología de red celular están la reutilización de frecuencias, antenas, la búsqueda que hace la red en un área (*Paging*) y el traspaso de usuarios en la interconexión entre estaciones base.

3.2.1. Reuso de frecuencias.

El reuso de frecuencias es el proceso mediante el cual se asigna el mismo conjunto de frecuencias o canales a diversas células, siempre y cuando éstas no sean adyacentes. Al diseñar un sistema con celdas hexagonales, las estaciones base se pueden ubicar en el centro del hexágono para cubrir ciudades pequeñas usando antenas omnidireccionales. Cuando la estación base se ubica en uno de los extremos de la celda, es necesario el uso de antenas direccionales con un ancho de lóbulo de 120° que permite cubrir las células adyacentes y se usa para ciudades grandes.

El reuso de frecuencia permite transmitir la potencia emitida por cada estación base en un mínimo y ubicar las antenas de las estaciones base lo suficientemente elevadas para proporcionar la cobertura del área de la celda respectiva. Matemáticamente se puede representar considerando un sistema con cierto número de canales disponibles y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F = GN$$

Donde: F = número de canales *full-dúplex* disponibles en el *clúster*.

G = número de canales de una célula.

N = número de canales en el *clúster* o factor de reuso de frecuencia.

El *clúster* son las células o celdas que colectivamente usan un conjunto de canales disponibles. Los valores posibles de N pueden ser 3, 4, 7, 12, 13, 19 y 27, y los más comunes son el 3 y el 7 para células sectorizadas y omnidireccionales. Cuando el *clúster* es multiplicado m veces dentro de un sistema, el número total de canales *full-dúplex* se puede expresar como: [55].

$$C = mGN$$

Donde: C = capacidad del canal.

m = número de *clúster*.

En las células se usa la forma hexagonal y cada una tiene 6 células equidistantes vecinas y las líneas que unen sus centros forman un ángulo de 60°, de tal manera que el número de células por grupo, debe satisfacer la siguiente ecuación:

$$N = i^2 + ij + j^2$$

Donde: N = cantidad de células por grupo. i y j = son valores enteros no negativos.

En el reuso de frecuencia se presentan dos clases de interferencias: la interferencia por canal compartido, cuando dos o más células de la misma región de cobertura usan el mismo conjunto de frecuencias o canales, no se puede reducir solo aumentando la potencia de transmisión porque aumenta la probabilidad que esa transmisión interfiera en la otra célula, se puede disminuir separando los canales compartidos a una distancia mínima. La interferencia de canal adyacente se presenta cuando la transmisión en canales adyacentes interfiere entre sí y cuando un canal adyacente transmite cerca del receptor, se puede reducir cuando se usa un filtrado preciso en los receptores, haciendo asignaciones óptimas en los canales de comunicación [38].

3.2.2. Antenas.

El tipo de antenas que se implementan en un sistema de comunicación celular son bidireccionales de baja potencia, la emisión radioeléctrica va hacia el frente y en horizontal de forma que el haz cubra un sector entre 60 y 120 grados, el tipo de antena depende de la ubicación en la celda, cuando se ubica en el centro de la celda es necesario usar antenas omnidireccionales para cubrir toda el área de cobertura. Cuando la antena se ubica en una esquina de los hexágonos donde las tres celdas convergen se recomienda usar antenas direccionales, cuando se ubican tres antenas solo la del centro emite y las dos laterales mejoran el proceso de recepción.

3.2.3. Búsqueda o *Paging*.

Todos los sistemas de redes celulares actuales poseen un sistema de radio búsqueda que hace la red de los terminales que se encuentran en un área de cobertura, es utilizado para despertar un móvil que está en estado inactivo a través de un mensaje corto para que este informe sobre su ubicación, se hace a través del canal de radio dedicado a la señalización por medio del protocolo radio de la capa de enlace.

3.2.4. Traspaso o *Handover*.

Es el proceso mediante el cual se mantiene la comunicación activa y funcional de extremo a extremo cuando hay un cambio de enlace entre estaciones base y un terminal, el cambio de enlace de una célula a otra se realiza electrónicamente sin interrupción y sin un operador de la estación base. Por lo general para realizar el traspaso de celda se define por umbral de potencia que está en rangos de -95 dBm, cuando el móvil detecta ese nivel de potencia, busca automáticamente la señal de mayor potencia de la celda cercana, dependiendo de la zona de ubicación ya sea rural o urbana.

3.3. TÉCNICAS DE ACCESO EN LA TELEFONÍA CELULAR.

El acceso múltiple es una técnica mediante el cual muchos usuarios o estaciones comparten el uso de un canal de comunicación en el mismo instante de tiempo. En la actualidad existen diversas tecnologías de acceso para la transmisión de información a través de una red celular, donde se utiliza el acceso múltiple como mejora de los demás sistemas de comunicación, el acceso múltiple significa que más de un usuario puede acceder o hacer uso de la misma celda en el mismo instante de tiempo. A continuación se describen algunos de las técnicas de acceso celular más usados en la actualidad.

3.3.1. Acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA).

En esta técnica de acceso el ancho de banda se divide en subbandas de frecuencias o canales y una vez se asigna el canal se utiliza por el tiempo que requiera la transmisión de la trama. La tasa de transferencia de cada canal depende del ancho de banda asignado, los canales se asignan por demanda mediante un canal de señalización, cuando el número de usuarios es más alto que los canales disponibles, el canal de señalización bloquea el acceso a los usuarios.

La capacidad de un sistema FDMA depende del ancho de banda total asignado al operador (B_0), del ancho de banda de cada canal (B_c) y el ancho de banda del canal de guarda (B_g), se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$N_{FDMA} = \frac{B_0 - 2 * B_g}{B_c}$$

El sistema de acceso FDMA es muy fácil de implementar cuando el número de usuarios es bajo, trabaja con protocolos de comunicaciones análogos y digitales, de acuerdo con el uso o congestión de canales se complementa con el mecanismo de salto de frecuencia, requiere duplexor de antena para transmitir en *dúplex*, normalmente se combina con la multiplexación FDD²². Se utiliza desde la segunda generación y posteriores generaciones de sistemas de celulares. Para reducir la interferencia entre los usuarios asignados a bandas de canal adyacentes, se usan las bandas de seguridad que actúan como zonas de búfer [55].

²² FDD: Duplexado por División de Frecuencia, método de transferencia de dos partes de una comunicación full-dúplex a la misma vez, usando dos diferentes frecuencias, una para cada parte, una para usuario red y la otra para la red usuario.

3.3.2. Acceso múltiple por división en tiempo (TDMA).

Esta técnica de multiplexación divide el canal en ranuras o slots alternas de tiempo, permite transmisiones múltiples sobre una frecuencia de radio. Esta tecnología tiene 3 veces más capacidad que los sistemas análogos, en redes GSM su capacidad se multiplica por 8, esto debido a que el canal se divide por más ranuras de tiempo, soportando un número mayor de usuarios por cada canal de voz. En los sistemas modernos este tipo de acceso implica la compresión de voz, reduciendo el tiempo el tiempo para la transmisión del mensaje, eliminando la redundancia y los periodos de silencio, aumentando la eficiencia del espectro.

El acceso múltiple por división en tiempo (TDMA), es un estándar digital que tiene un ancho de banda de 30 KHz, usa decodificadores digitales de voz y más de 6 canales en el mismo ancho de banda. En un principio el estándar que definió el TDMA fue el IS-54, sin embargo actualmente hay un nuevo estándar el IS-136 que soporta servicio de cobertura geográfica más amplia con alta densidad de usuarios, el nuevo estándar incluye servicios como mensaje en espera, identificador de llamadas, envío y recibo de mensajes y modo de suspensión [56].

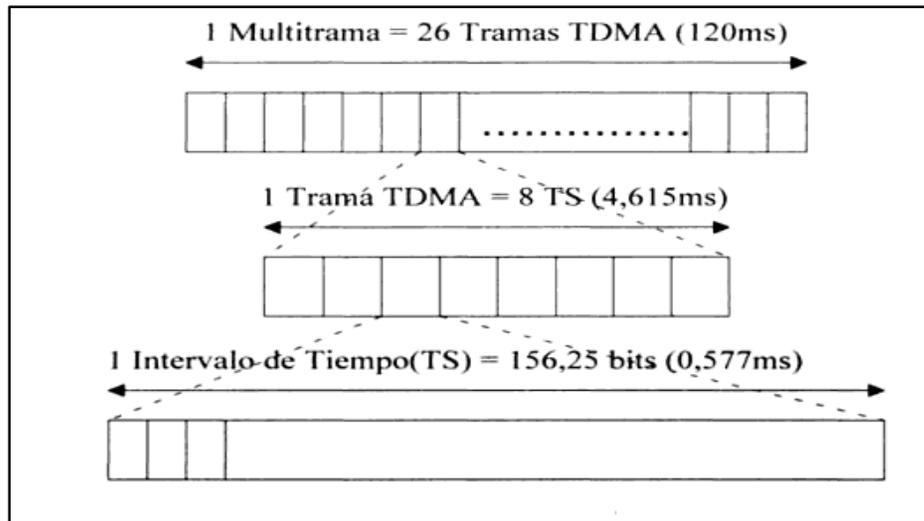
La capacidad de un sistema TDMA se obtiene multiplicando el número de ranuras o *slots* por canal (m) por el número total de canales disponibles mediante la siguiente ecuación:

$$N_{FDMA} = \frac{m (B_o - 2 * B_g)}{B_c}$$

La tecnología de acceso TDMA es adecuada para la conmutación de paquetes porque requiere sincronización tanto en el receptor como en el transmisor y es necesario el avance temporal, *Time Advance (TA)*²³. Este sistema es determinístico, puesto que el número de usuarios por acceso por canal se define por el número de *slot* de tiempo disponible. Su implementación facilita la optimización en cuanto a equipo, costos, energía y mantenimiento, disminuye el nivel de interferencias entre transmisiones simultáneas. En la figura 18 se describe la estructura de una trama GSM con la tecnología de acceso TDMA.

²³ Time Advance (TA), es un avance temporal que se utiliza para sincronizar la estación base con la estación móvil como método de acceso al medio.

Figura 18. Estructura de la trama GSM en TDMA.



Fuente: Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapaca, Chile, Vol. 9, 2001

La tecnología TDMA usa una sola portadora para dar servicio a varios canales mediante compartición temporal, es necesaria la ecualización adaptativa para la transmisión a altas velocidades debido a la multitrayectoria. Se requiere bits de sincronización y bits de guarda para las variaciones de los retardos en la propagación, este sistema trabaja bien porque garantiza la disponibilidad del intervalo de tiempo para aplicaciones en tiempo real, voz, video, datos, etc., pero implica una alta penalización en señalización.

3.3.3. Acceso múltiple por división de código (CDMA).

Esta técnica de acceso CDMA fue normalizada por la Asociación Americana de la Industria de las Comunicaciones en la IS-95, permite que el usuario disponga de todo el ancho de banda por el tiempo que dure la comunicación, asignándole un código único a cada suscriptor lo que facilita que muchos usuarios utilicen el mismo canal de banda ancha al mismo tiempo. En CDMA la comunicación es simultánea e ininterrumpida de varias señales en la misma frecuencia pero con códigos de dirección diferentes, el receptor sólo acepta las señales que traen su propio código y rechaza las demás considerándolas como ruido [40].

El acceso múltiple por división de código divide el espectro en portadoras de 1,25 MHz, se basa en la expansión del espectro de la señal a transmitir por medio de

secuencias ortogonales. El sistema CDMA soporta servicios de datos, conmutación de paquetes, no hay restricciones de tiempo ni de ancho de banda, de acuerdo con la señal en el espectro ensanchado se tiene dos clases de acceso múltiple por división de código: el espectro ensanchado basado en secuencia directa DS-SS y el basado en salto de frecuencia FH-SS [38].

Para el método de secuencia directa DS-SS, se adiciona un código pseudoaleatorio con alta velocidad de bits, a una señal de baja velocidad de bits, para generar una señal parecida al ruido que contiene tanto la información original como el código pseudoaleatorio, cuando el receptor detecta una transmisión con secuencia directa solo resta el código pseudoaleatorio para extraer los datos de información. Este sistema utiliza técnicas de modulación PSK, BPSK, D-BPSK, QPSK y MSK.

Para el método de salto de frecuencia FH-SS, se toma la señal a transmitir y se modula en una portadora que realiza saltos de frecuencias en función del tiempo dentro de un ancho de banda asignado. En los saltos de frecuencia se usa un código pseudoaleatorio para generar una frecuencia única de saltos, que debe ser conocida tanto por el transmisor como el receptor antes de iniciar la transmisión. Este método utiliza la modulación FSK.

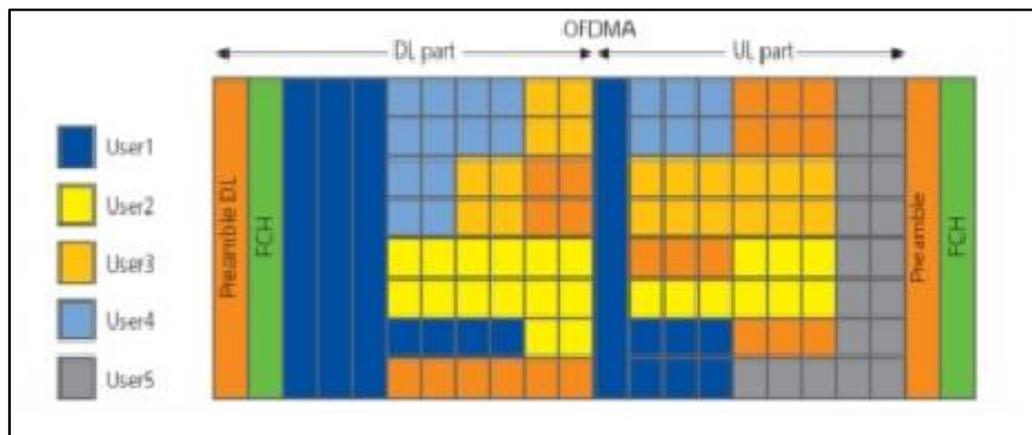
El acceso múltiple por división de código CDMA incluye algunos beneficios como: calidad de voz y comunicación, mejor seguridad y privacidad, mayor capacidad y cobertura, calidad de servicio, menor interrupción en las transmisiones, llamadas de emergencia, no hay degradación de la señal mientras se hace el handover, control de nivel de potencia y control de ruido e interferencias [57].

3.3.4 Acceso múltiple por división en frecuencia ortogonal (OFDMA).

El sistema de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal, divide el canal en conjuntos de subportadoras que se asocian en grupos dependiendo de las necesidades de los usuarios. El acceso OFDMA se desarrolla a partir de la modulación OFDM, mejorando la eficiencia espectral, reduciendo la interferencia intersímbolos y los desvanecimientos rápidos, además puede combinarse con otros sistemas de acceso múltiple como TDMA y CDMA, de modo que cada usuario pueda transmitir un símbolo completo ya sea durante una ranura temporal o por ensanchamiento de código [41].

La tecnología de acceso OFDMA es aceptada como base para la evolución de las técnicas de acceso en la tecnología celular 4G, soportando altas tasas de transferencia de datos y el uso de antenas avanzadas como MIMO y STC, que permiten maximizar la cobertura y un alto número de usuarios. El acceso múltiple OFDMA se refiere al uso de un mismo tiempo de símbolo (T_s) que asignan recursos a diversos usuarios, éste brinda una mayor flexibilidad al poder compartir los recursos de manera dinámica entre todos los usuarios, todas las frecuencias de las subportadoras son generadas por un transmisor para mantener la ortogonalidad, en la figura 19, se observa la asignación dinámica de recursos usado en OFDMA [47].

Figura 19. Asignación de recursos en OFDMA.



Fuente: Foro WiMax

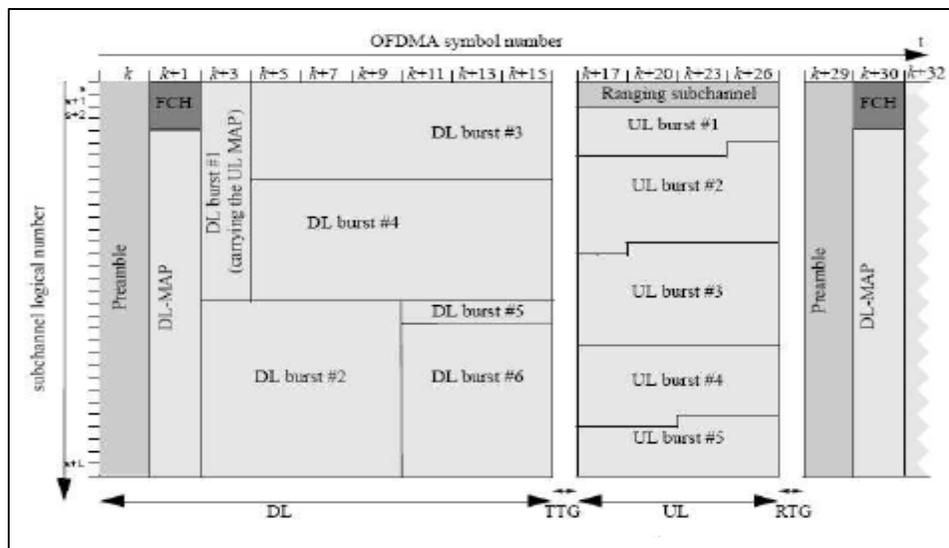
La definición de una ranura o *slot* depende de la estructura del símbolo OFDMA, el cual varía tanto para el canal ascendente o como para el canal descendente y de las permutaciones de las subportadoras distribuidas y adyacentes. Un símbolo OFDMA está compuesto por varias subportadoras, las subportadoras pueden ser de datos, pilotos o nulas, la asignación de estas subportadoras se puede hacer por perturbación distribuida y adyacente. La perturbación distribuida permite agrupar las subportadoras por medio de un algoritmo que garantiza la diversidad en frecuencia, minimiza la probabilidad de asignación en canales adyacentes y *fast fading*²⁴ en móviles, se recomienda para las aplicaciones móviles. La perturbación adyacente permite agrupar las subportadoras en canales adyacentes donde no hay diversidad de frecuencias pero el ancho de banda es mayor, se recomienda para aplicaciones fijas y de baja movilidad.

²⁴ El *fast fading* o desvanecimiento rápido es la reducción de la intensidad de la señal en la entrada de un receptor, cuando se presentan cambios en los ángulos de fase de la señal y la distancia entre longitudes de onda [Recomendación UIT-R P.1407].

El uso e implementación de la tecnología de acceso OFDMA permite incluir algunas ventajas como: Diversidad multiusuario donde la asignación de subportadoras se hace de forma dinámica, a través de estrategias de *scheduling*²⁵ en el dominio de la frecuencia y del tiempo, proporcionando una mejor relación señal a ruido. La diversidad frecuencial es donde se facilita la asignación de subportadoras no contiguas a un usuario ante canales selectivos en frecuencia. Robustez frente a las transmisiones multitraectoria y gracias a la aplicación del prefijo cíclico se reduce la interferencia intersímbolos y se mitiga la distorsión mediante la ecualización en el dominio de la frecuencia. Flexibilidad en la banda asignada en función a los requerimientos de servicios de cada uno de los usuarios y a la calidad del servicio. Facilidad en su implementación en el dominio digital gracias al uso de chips que efectúan los proceso de FFT/IFFT de forma rápida y segura [58].

La estructura de la trama en OFDMA se puede realizar en los modos de duplexación por división en frecuencia (FDD) donde las subtramas de los enlaces de subida (UL) y bajada (DL) son transmitidas simultáneamente en frecuencias portadoras diferentes y duplexación por división en tiempo (TDD), donde las subtramas del enlace de bajada como en el enlace de subida son transmitidas en la misma frecuencia portadora pero en tiempos diferentes. En la figura 20 se observa la estructura de la trama en OFDMA.

Figura 20. Estructura de la trama OFDMA en el modo TDD.



Fuente: Foro WiMax.

²⁵ Scheduling es el mecanismo encargado de asignar al usuario la subportadora que presenta el mejor estado del canal, para alcanzar la mayor velocidad de transmisión y eficiencia espectral.

Cada trama inicia con un preámbulo que se usa para la sincronización de frecuencia y tiempo, la estimación inicial de canal, de interferencia y de ruido. Luego viene el encabezado de control de trama (FCH) que proporciona información de la trama como longitud de mensajes, esquema de codificación, subcanales utilizables e indicadores del código de repetición, se transmite utilizando QPSK de tasa $\frac{1}{2}$ con cuatro repeticiones. Después trae el DL-MAP y el UL-MAP que facilitan la información sobre la asignación del subcanal y el control de transición entre zonas.

3.3.5. Acceso múltiple por división en frecuencia de única portadora (SC-FDMA).

Es una técnica de acceso múltiple utilizada en el enlace ascendente para los sistemas LTE y LTE-A, es un esquema que usa modulación de portadora única, multiplexación frecuencial ortogonal y ecualización en el dominio de la frecuencia. El acceso múltiple por división en frecuencia de única portadora transmite los símbolos en serie en ranuras de tiempo, aumentando en cuatro veces la velocidad y se caracteriza porque tiene una relación baja de potencia pico con potencia media, manteniendo la resistencia al multitrayecto y la flexibilidad para la asignación de frecuencias [10].

Entre las características más importantes del múltiple acceso SC-FDMA, tenemos: transmisiones ortogonales en el canal ascendente por parte de los diferentes usuarios eliminando la interferencia intra-celdas, Buena relación de potencias media y potencia pico para reducir el consumo de batería en el terminal, Compatibilidad con técnicas MIMO, Velocidad de transmisión ajustable con base al número de subportadoras asignadas en cada transmisión y Posible scheduling frecuencial. Para cumplir con estas características es necesario que las señales que se reciban en las estaciones base, estén adecuadamente sincronizadas en frecuencia y en tiempo.

3.4. EVOLUCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN LA TELEFONÍA CELULAR.

El diseño e implementación de tecnologías celulares ha venido evolucionando de manera significativa a través del tiempo, se inicia con la aparición de la primera generación de telecomunicaciones móviles (1G) basada en tecnologías de acceso FDMA, con sistemas AMPS para Estados Unidos, sistemas NMT para Europa y sistemas TACS para el Reino Unido, estos sistemas eran totalmente análogos. Con base en la primera generación y con la necesidad de pasar de los sistemas análogos a digitales, luego se implementó la segunda generación (2G) donde se incorpora el acceso múltiple por división en tiempo (TDMA) permitiendo un mayor número de

llamadas en los mismos espectros de frecuencias cuyas tecnologías predominantes son: GSM, IS-136 y PDC [21].

El avance de la tecnología para llegar hasta la tercera generación (3G) se da a partir de la generación 2G y la evolución de las tecnologías 2,5 G y 2,95G que toleran transmisión de información con una velocidad hasta 236 Kbps y permiten el envío de datos, voz y mensajes, navegación WAP y servicios IPv4 con tecnología de transmisión GPRS y EDGE. A continuación se hace una mayor descripción de las tecnologías de última generación, objeto del presente trabajo.

3.4.1 TECNOLOGÍA DE TERCERA GENERACIÓN.

La tercera generación (3G) de los sistemas celulares se propone para mejorar la eficiencia espectral, mejorar la cobertura, capacidad para el transporte de datos y ofrecer servicios de voz, datos y video a velocidades considerables hasta 2 Mbps. Por ello, la tecnología 3G se caracteriza por la convergencia de datos y voz con acceso a internet. La UIT-T definió la tercera generación bajo el estándar IMT-2000 y se desarrolló bajo la tecnología UMTS que utiliza acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) y la tecnología CDMA-2000 [57].

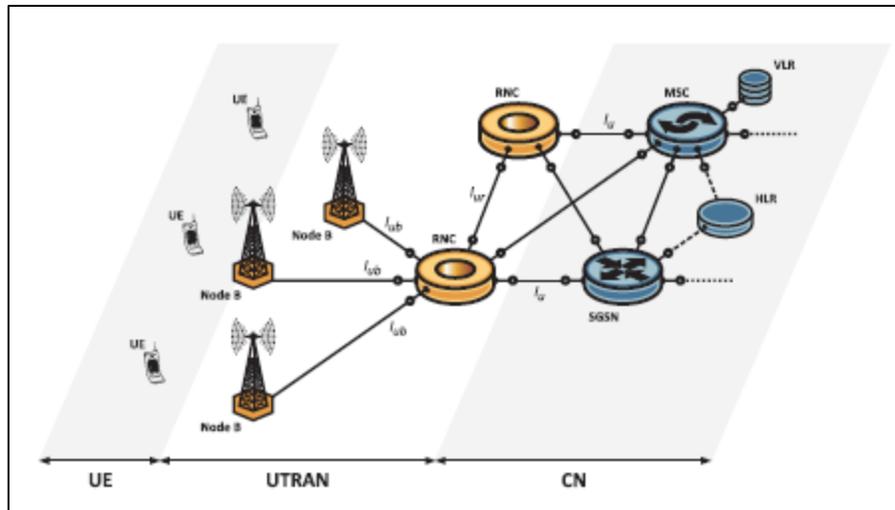
La red de acceso de radio 3G en la arquitectura de la red celular, proporciona las siguientes funciones: mantenimiento de la conexión móvil-red troncal, control de acceso al medio, gestión de recursos de radio, movilidad de radio, sincronización y determinación de la posición del móvil. Algunas de sus tecnologías son:

3.4.1.1 Tecnología Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS).

En el desarrollo e implementación de la tecnología UMTS en la telefonía celular 3G y como recomendaciones, el UMTS-Fórum ha definido el sistema/servicio UMTS como: *“el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) es un sistema de comunicaciones móviles que ofrece significativos beneficios a los usuarios, incluyendo una alta calidad y servicios inalámbricos multimedia sobre una red convergente con componentes fijos, celulares y por satélite. Suministrará información directamente a los usuarios y les proporcionará acceso a los nuevos y novedosos servicios y aplicaciones. Ofrecerá comunicaciones personales multimedia al mercado de masas, con independencia de localización geográfica y del terminal empleado (movilidad del terminal, personal y de servicios)”* [59].

La arquitectura de una red UMTS está formada por tres bloques funcionales, un equipo de usuario (UE), la red UTRAN y el núcleo de la red (CN), estos bloques están relacionados por interfaces definidas por las especificaciones del grupo de trabajo 3GPP. La figura 21 muestra la estructura de la red UMTS y sus componentes principales.

Figura 21. Arquitectura de la red UMTS.



Fuente: Grupo de trabajo del Release 7 y 8 del estándar UMTS-Fórum 3GPP.

En la arquitectura de la red UMTS, el bloque de equipo del usuario (UE) está formado por el terminal móvil (MT, *Mobile Terminal*) y el módulo de identificación del suscriptor (SIM, *Subscriber Identity Module*) donde se incluyen los datos de identificación del abonado. El segundo bloque representado por el bloque de red UTRAN está formado por la estación base (Nodo B) cuya función es similar a la de la estación base de la red 2G, y el controlador de red de radio (RNC, *Radio Network Controller*) cuya función es la gestión de los recursos de radio y la movilidad de los usuarios. El tercer bloque es el núcleo de red (CN, *Core Network*) donde se incorpora el IMS, se definen funciones de señalización, conmutación y el encaminamiento que comprende parte lógica y control de servicios.

La tecnología UMTS utiliza un método de acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) aumentando la capacidad y la velocidad de transmisión, utiliza la velocidad de chip de 3,84 Mcps (Mega Chip por segundo) y un ancho de banda de 5 MHz con un factor de reuso de frecuencias de 1. Además, permite un rápido control de potencia y transferencia suave entre celdas. La organización 3GPP

trabaja continuamente en cambios y mejoras del UMTS para dar las especificaciones a fabricantes y proveedores de servicio, cada una de estas especificaciones o *Releases* con sus características más relevantes se definen a continuación [10]:

Release 99: Se establece una red compatible con GSM que soporta GPRS y EDGE, incluye una nueva clase de red de acceso de radio conocida como red de acceso terrestre universal, *Universal Access Radio Network* (UTRAN), con velocidades de transmisión de 2 Mbps para el canal descendente y 384 Kbps para el canal de subida o ascendente.

Release 4: Introduce cambios importantes en la arquitectura de control independiente de la portadora, separa la portadora para el control del núcleo de red y el control para la portadora de transporte, incluye interfaz en la red CS lo que permite tasas de chip bajas y la introducción de IMS (*IP Multimedia Systems*).

Release 5: La principal mejora de esta especificación es la introducción de la tecnología *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) mejorando las tasa de transferencia de información especialmente en el enlace descendente hasta 144 Mbps, permite usar transporte basado en IP en el *Core*. Se incluye servicios como manejo de la movilidad, autenticación, manejo de perfiles de usuarios y seguridad de los datos de los usuarios.

Release 6: Presenta avances en la transmisión de datos a altas velocidades hasta 5,6 Mbps en el enlace ascendente, por medio de la implementación de la especificación *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) y se concreta el concepto de IMS, se introduce nuevas funcionalidades como el acceso a servicios 3GPP por medio de redes WLAN, radio-acceso con prioridad, el sistema de difusión de multimedia y el perfil del usuario genérico y aplicaciones de voz sobre IP (VoIP).

Release 7: Introduce la evolución de la tecnología HSPA a HSPA+ que incluye modulación de alto orden (64QAM en DL y 16QAM en UL) y MIMO duplicando las tasas de transferencia. Permite el servicio de telefonía multimedia, soporte de llamadas de emergencia y conferencia, se presenta simplificación de acceso a la red de paquetes, y se presenta al IMS como elemento de red que controla todos los tipos de acceso IP.

Release 8: Es la evolución del HSPA+ por medio de la adición de una segunda portadora para mejorar el uso de los recursos y una mejor eficiencia espectral, en el radio-acceso se introduce OFDM en la capa física con prefijo cíclico para el enlace descendente y esquema de acceso múltiple de portadora única para el enlace ascendente. Se desarrolla el concepto de *Long Term Evolution* (LTE) y *Evolved Packet*

System (EPS) y alcanzan velocidades de transmisión de 100/50 Mbps en los canales de bajada y subida respectivamente.

3.4.1.2 Tecnología CDMA-2000.

La evolución de la tercera generación de telefonía celular 3G, ha permitido el desarrollo del estándar CDMA-2000 que utiliza un acceso múltiple por división de código (CDMA), esta tecnología fue trabajada por el grupo 3GPP2 para la migración del sistema IS-95 a CDMA-2000 y sus diversas etapas. Algunas de las características son el ancho de banda de 1,25 KHz, control de potencia a 800 Hz, velocidad de chip de 1,3 Mcps, uso de códigos *Walsh* y *M*, capacidad para múltiples sesiones, mecanismo de control basados en la clasificación de la calidad de servicio (QoS), control de acceso al medio, sincronización y canales de voz y datos.

La tecnología CDMA-2000 ha desarrollado avances en su arquitectura basada en la optimización de servicios y uso de los recursos, mejorando las velocidades de transmisión y la eficiencia espectral, sus fases evolutivas son: CDMA-2000-1x también llamada 1xRTT, la 1xEV-DO y la 1xEV-DV. El CDMA-2000 1X o 1xRTT es la tecnología que sigue al IS-95, es capaz de soportar velocidades de transmisión de datos hasta 307 Kbps y maneja la transmisión simultánea de voz y datos, compatible con dispositivos de las redes móviles, estaciones base con multiportadora, el controlador de la estación base, el centro de conmutación de la red celular y las redes de conmutación de paquetes [57].

La fase 1xEV-DO es una tecnología orientada a la optimización en la transmisión de datos, incrementa la velocidad de transmisión de datos hasta 2,4 Mbps, optimizando la transmisión de datos en modo paquete. Ha tenido dos revisiones, en la revisión A se mejora el rendimiento en el canal DL y UL para paquetes de datos sobre la interfaz inalámbrica, se reduce la intermitencia y se alcanzan velocidades hasta 3,1 Mbps en el canal de bajada y 1,8 Mbps para el canal de subida y se trabaja calidad de servicio (QoS). En la revisión B se provee mayores tasas de transferencia hasta 14,7 Mbps en el canal de bajada y 5,4 Mbps en el canal de subida con un ancho de banda de 5 MHz usando modulación 64-QAM, provee nuevos servicios como el streaming para video de alta definición, se presenta menor interferencia, permite el intercambio de archivos asimétricos, navegación web y multimedia por banda ancha [58].

La fase 1xEV-VD está orientada a datos y voz, soporta la transmisión de datos y voz al mismo tiempo mejorando el nivel de calidad de servicio (QoS), la modulación

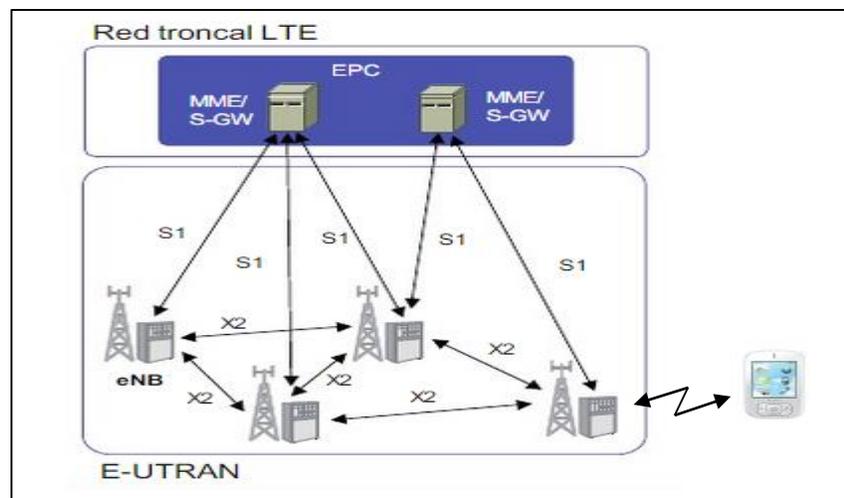
y codificación es dinámica, alcanza velocidades hasta 1,8 Mbps en el canal de subida y 3,1 Mbps en el canal de bajada.

3.4.1.3 Tecnología LTE.

La tecnología Evolución a Largo Plazo, Long Term Evolution (LTE) se presenta como una tecnología de banda ancha inalámbrica desarrollada por el grupo 3GPP definida en los Release 8 y 9, es considerada como una tecnología 3,9G debido a que no cumple con los requisitos dados por el comité de telecomunicaciones móviles internacionales avanzadas (IMT-A) de la IUT-T que emite los parámetros que debe seguir para ser considerada una tecnología 4G, LTE se basa en un esquema de acceso múltiple en la interfaz aire: para el enlace descendente (DL) usa OFDMA y para el enlace ascendente (UL) usa SC-OFDMA, con una red de antenas MIMO que alcanza velocidades de transmisión hasta 100 Mbps en DL y 50 Mbps en el enlace UL [60].

La arquitectura de la tecnología LTE permite alta eficiencia espectral, baja latencia, ancho de banda escalable, modulaciones y codificaciones variables y adaptativas, retransmisiones robustas en caso de errores mediante el ARQ Híbrido (HARQ), calidad de servicio garantizado (QoS), compatibilidad e interoperabilidad con otras redes, la nueva red de acceso es llamada Evolución en la red de acceso terrestre universal, *Evolved Universal Access Radio Network* (E-UTRAN), la red troncal como *Evolved Packet Core* (EPC) y permite usar duplexación por división en frecuencia (FDD) como por división en tiempo (TDD). En la figura 22 se observa la arquitectura simplificada de la tecnología LTE.

Figura 22. Arquitectura de la tecnología LTE.



Fuente: Grupo de trabajo del Release 8 y 9 del fórum 3GPP2.

El diseño de la red troncal EPC permite una conectividad IP aprovechando las capacidades de la red de acceso, esta red EPC está formada por tres entidades: El *Mobility Management Entity* (MME) que se encarga de la señalización del plano de control, el *Serving Gateway* (S-GW) y el *Packet Data Network Gateway* (P-GW), junto con la base de datos principal del sistema *Home Subscriber Server* (HSS) [61].

El nodo eNodeB (eNB) es la estación base cuyas funciones son: gestionar los recursos de radio, controlar la movilidad, asignación dinámica de los recursos, control de interferencias entre estaciones, encaminamiento del tráfico hacia la pasarela de red S-GW correspondiente; en general, integra todas las funciones de la red de acceso y administra la información sobre los usuarios como servicios, estado del equipo, información sobre seguridad y capacidad del terminal.

La interfaz de radio S1 proporciona transferencia de datos, permite la conectividad entre el eNodeB y la red troncal EPC y puede ser: S1/MME para soporte en el plano de control, donde soporta procesos de modificación, liberación y activación de recursos, procedimientos de traspaso, (*handover*), de aviso (*Paging*) y mensajes de señalización. S1/Uu para soporte en el plano de usuario donde se hace la transferencia de datos, pero no soporta mecanismos de control de errores ni control de flujo.

La interfaz de radio X2 es la que permite la conectividad entre los nodos eNodeB, donde se intercambian mensajes de señalización para facilitar la gestión de recursos de radio, no soporta mecanismos de control de errores ni control de flujo.

El equipo de usuario es el dispositivo que permite al usuario del sistema LTE acceder a la red y a los servicios LTE a través de la interfaz de radio. El equipo de usuario está formado por dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM) y el equipo móvil propiamente dicho.

Las principales características de la tecnología LTE que permiten utilizar el canal de radio de forma eficiente y aumentar la capacidad del sistema por medio de la optimización de potencia, son: ancho de banda de 1,25 a 20 MHz, duplexación FDD, TDD y *half-dúplex* FDD, movilidad hasta 350 Km/h, acceso múltiple en canal DL a través de OFDMA y en canal UL por medio de SC-FDMA, sistema de antenas MIMO en el enlace DL 2x2, 4x2 y 4x4, en el enlace UL 1x2 y 1x4, con rango pico de datos en el enlace DL hasta 326 Mbps con antenas MIMO 4x4 y en el enlace UL 86 Mbps, modulación QPSK, 16-QAM y 64-QAM y código de canal, turbo código [62].

En la red LTE existen tres parámetros fundamentales de una red celular, donde se describe la funcionalidad de su arquitectura y se habla de la integración en la gestión de sesiones, movilidad y seguridad. La gestión de sesiones incluye aspectos

relacionados con la conectividad IP con control de calidad de servicio (QoS) a través de políticas de uso (control de tráfico y calidad de servicio) y de tarificación del servicio de conectividad (clave y método de tarificación). La gestión de movilidad en cuanto a traspaso o *handover* y localización, dados por el procedimiento de registro, actualización de áreas de seguimiento y procedimientos de *handover*. La gestión de seguridad en cuanto a los servicios de control de acceso, autenticación, confidencialidad, integridad, el no repudio y la seguridad física de la red.

3.4.2. TECNOLOGÍA DE CUARTA GENERACIÓN (4G).

Las redes de nueva generación para los sistemas metropolitanos, tiene como meta la implementación de una infraestructura óptima para el acceso a la información, aplicaciones y servicios de última tecnología, bajo la demanda de nuevos y novedosos servicios y aplicaciones de multimedia desde su terminal móvil, de esa manera se crea la necesidad de implementar redes de nueva generación con tecnología 4G, ésta denominación es la sigla de la cuarta generación de los sistemas de comunicación móvil y está basada totalmente en protocolos IP, considerada como un sistema de sistemas y una red de redes.

La tecnología 4G se utiliza para definir varios tipos de acceso móvil de banda ancha, no sólo sistemas de telefonía celular sino una adecuada integración de terminales, redes y aplicaciones, tanto *Indoor* como *outdoor*, con una clase de servicio (CoS²⁶) excelente, disponibilidad de red y óptima seguridad de la información [63], permitiendo la oferta de servicios de cualquier clase, en cualquier momento y en cualquier lugar, con el mínimo costo posible.

Los estándares para una infraestructura de red de nueva generación con tecnología 4G deben cumplir los siguientes requisitos [64]:

- ✓ **Acceso de banda ancha móvil y eficiencia de ancho de banda:** La 4G está principalmente centrado en el tráfico de datos. Esto deduce la tendencia e incremento de este tipo de tráfico en comparación al tráfico de voz durante la evolución de las distintas generaciones de las comunicaciones móviles anteriores.
- ✓ **Alta capacidad de red:** El estándar 4G requiere una alta capacidad de red conseguida a través del uso eficiente de múltiples técnicas de acceso,

²⁶ CoS: Class of Service, Clase de Servicio: es una manera de gestionar el tráfico en una red mediante la agrupación de tipos similares de tráfico y su tratamiento depende del nivel de prioridad del servicio, puede ser conversacional, interactivo, streaming y background.

incorporado a sistemas avanzados de antenas conocidas como *Smart* o antenas inteligentes (*Intelligent Antennas*).

- ✓ **Conectividad y Handover a través de redes heterogéneas:** Para poder mantener la ubicuidad, el estándar 4G debe proveer los medios para proporcionar conectividad y *handover* a través de redes heterogéneas, es decir redes de diferentes tamaños y funcionalidades. Los *handover* verticales y horizontales son fundamentales y deben facilitar una adecuada evolución o migración a redes con infraestructura 4G para garantizar su adecuada masificación y viabilidad comercial (Recomendación IEEE 802.11m de 2011).
- ✓ **Alta calidad de servicio:** Permitiendo un adecuado soporte para las aplicaciones multimedia (audio en tiempo real, datos de alta velocidad, HDTV, televisión móvil, etc.) de acuerdo con los parámetros y estándares dados por la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

3.4.2.1 TECNOLOGÍA LTE - ADVANCED.

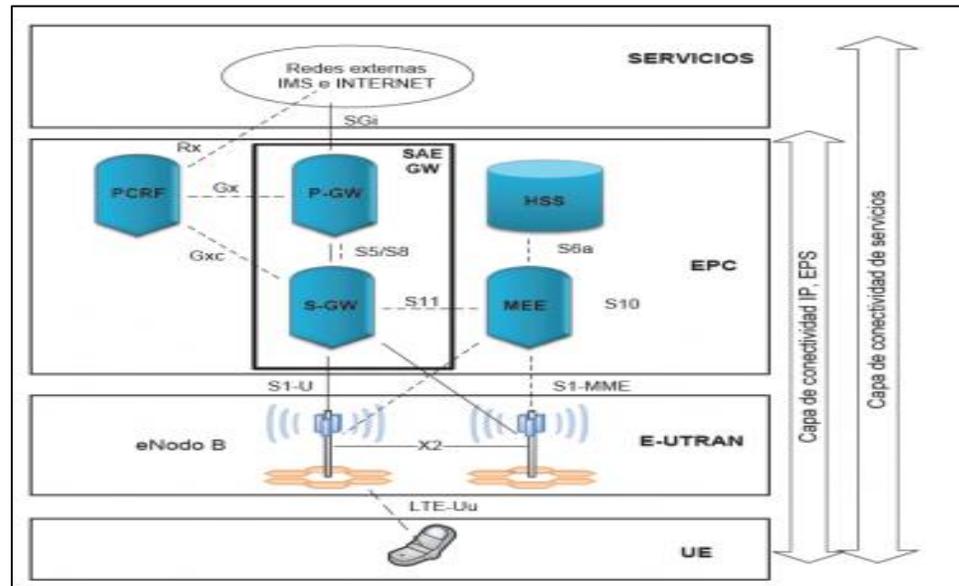
La evolución de la tecnología LTE da origen a LTE- *Advanced* de acuerdo con los requerimientos presentados en el informe técnico TR-36913 de la UIT-T. LTE-Advanced fue definido en el *Release 10* & siguientes, los requerimientos técnicos a que hace referencia el informe y que se debe cumplir para hacer parte de las tecnologías de cuarta generación 4G, son: velocidad pico hasta 3 Gbps en el enlace DL y 1,5 Gbps en el enlace UL, latencia en el plano de control y en el plano de usuario, eficiencia espectral pico hasta 30 bit/s/Hz, transferencia efectiva, capacidad VoIP, movilidad, cobertura, escenarios de coexistencia e interoperabilidad y convergencia [65].

La tecnología LTE-*Advanced* en los *Release 10* & siguientes incluye mejoras en funcionalidades como: mayor soporte de ancho de banda hasta 100 MHz por agregación de portadoras en bloques de 20 MHz, arreglo de antenas MIMO hasta 8x8 en los enlaces DL y en enlaces UL con dos antenas, transmisión multipunto coordinada, soporte para red heterogénea, coordinación de interferencia inter-celdas, que permite alcanzar velocidades de transmisión en el enlace descendente 1,2 Gbps y en el enlace ascendente hasta 568 Mbps, usando modulación 64-QAM.

La arquitectura de la tecnología LTE-*Advanced* contempla cuatro entidades funcionales que permiten una excelente interconectividad en la red LTE- *Advanced* y facilita la heterogeneidad con las demás redes. En la figura 23 se observa las entidades funcionales de la arquitectura de red, como son: el plano de servicios, el núcleo de la red, *Evolved Packet Core* (EPC), la Evolución en la red de acceso

terrestre universal, *Evolved Universal Access Radio Network* (E-UTRAN) y el equipo de usuario, *User Equipment* (UE) [66].

Figura 23. Arquitectura de red LTE- *Advanced*.



Fuente: 3GPP2 Forum.org, <http://www.3gpp2.org/>

3.4.2.1.1 Plano de servicio LTE-Advanced.

El bloque de servicios está orientado a la heterogeneidad de la red LTE-A y a la interoperabilidad de los servicios IMS con servicios equivalentes de otras redes convencionales, conversión de *códecs*, integración de recursos de multimedia, es allí donde se ubican los servidores de aplicaciones SIP, el servidor *Application Server* (AS) que garantiza la interoperabilidad de servicios, el servidor *Open Services Access* (OMA) encargado de fomentar la globalización de datos en redes móviles, el servidor *IP Multimedia Server Switches Function* (IM-SSF) que facilita la interacción de los servicios IMS con los mecanismos de red inteligente [67].

3.4.2.1.2 Plano de núcleo de red LTE-Advanced.

El núcleo de red LTE-A, *Evolved Packet Core* (EPC) representa la evolución de las redes 3GPP y la desaparición de la conmutación de circuitos y se pasa a una conmutación de paquetes, basado en el protocolo TCP/IP, dando origen a la solución "Todo IP", (*All IP*). Entre algunos de los componentes del EPC está la base de datos principal del sistema *Home Subscriber Server* (HSS) que da servicio a todas las entidades de control de la red, incluida la red IMS; tiene funciones de registro,

autorización y autenticación de usuarios. El *Mobility Management Entity* (MME) es el encargado de proporcionar la conectividad SIP e IP y negociar con el módulo *Serving Gateway* (SAE-WG) la asignación de direcciones IP para los equipos de usuario. El módulo *Packet Data Network Gateway* (P-WG) es el responsable de los procesos relacionados con calidad de servicio y la gestión de flujo. El módulo *Serving Gateway* (S-GW) se encarga de la transferencia de paquetes IP en la red, sirve como soporte para el *handover* entre nodos *eNodeB* y monitoriza el transporte entre operadores. El módulo (PCRF) es el encargado de decidir qué política de asignación de recursos, calidad de servicio a seguir y reglas de tarificación del servicio [68].

3.4.2.1.3 Plano de red de acceso LTE-Advanced.

El bloque funcional de la red de acceso E-UTRAN es el nodo *eNodeB*, responsable de actividades relacionadas con el enlace de radio como gestión de los recursos radioeléctricos, compresión de cabeceras, seguridad y conectividad con el EPC. El *eNodeB* es el encargado de proporcionar la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC. El *eNodeB* está formado por la interfaz de radio, la capa física y la pila de protocolos y aplicaciones, está integrado por una unidad de banda base de alta capacidad (BBU) y una unidad de radio remoto (RRU).

En la tecnología 4G el *eNodeB* cumple con las siguientes funciones: control de portadoras de radio, asignación dinámica de recursos, control de potencia y congestión de celdas, compresión de información de la cabecera IP, selección de la entidad de gestión de movilidad y enrutamiento de datos en el plano de usuario hacia el módulo o puerta de enlace del servicio (SGW) en el núcleo de red.

3.4.2.1.4 Plano de equipo de usuario LTE-Advanced.

El bloque de equipo de usuario (EU) es el dispositivo que permite al usuario del sistema LTE-A acceder a la red y a los servicios LTE-A a través de la interfaz de radio. El equipo de usuario está formado por dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (USIM) y el equipo móvil propiamente dicho.

Las características más relevantes de la tecnología LTE-A en su consideración como tecnología celular de cuarta generación, son: agregación de portadora, multiplexado espacial, transmisión coordinada multipunto y soporte heterogéneo de red y los nodos repetidores (*Relays*). La agregación de portadoras es una función clave que permite crear mayores anchos de banda virtuales hasta un ancho de banda de 100 MHz con el uso máximo de 5 portadoras adicionales de 20 MHz cada una. La agregación de portadora se puede realizar para el multiplexado por división en tiempo (TDD) y por división en frecuencia (FDD) [69].

El multiplexado espacial se logra con el uso de múltiples antenas con la técnica MIMO, para mejorar la tasa de bits a través de transmisión de dos o más flujos de datos en dos o más antenas diferentes, la tecnología MIMO proporciona una mayor capacidad del enlace y una eficiencia espectral combinada en el transporte de los datos y ayuda a reducir la tasa de error. Se puede presentar diversidad en tiempo, diversidad en frecuencia y diversidad en espacio. En LTE-A para el enlace descendente (DL) se utiliza una configuración MIMO de 8x8 y para el enlace ascendente (UL) la configuración MIMO es de 4x4 [70].

La transmisión coordinada multipunto (CoMP) es una técnica que permite una transmisión y una recepción dinámica a través de diferentes nodos eNodeB, mejorando la utilización de la red y su cobertura, convierte la interferencia entre celdas en señal útil especialmente en los bordes de las celdas. Los nodos repetidores permiten mejorar la cobertura y la capacidad de la red, en el nodo se recibe la señal, modula y codifica los datos, aplica corrección de errores y vuelve a transmitir la nueva señal; una característica importante en los nodos repetidores es la frecuencia de la portadora en la cual hace la retransmisión, que puede ser en banda si el enlace entre el nodo repetidor y el eNodeB tiene la misma frecuencia de portadora y fuera de banda cuando el enlace se hace en frecuencias de portadoras diferentes [69].

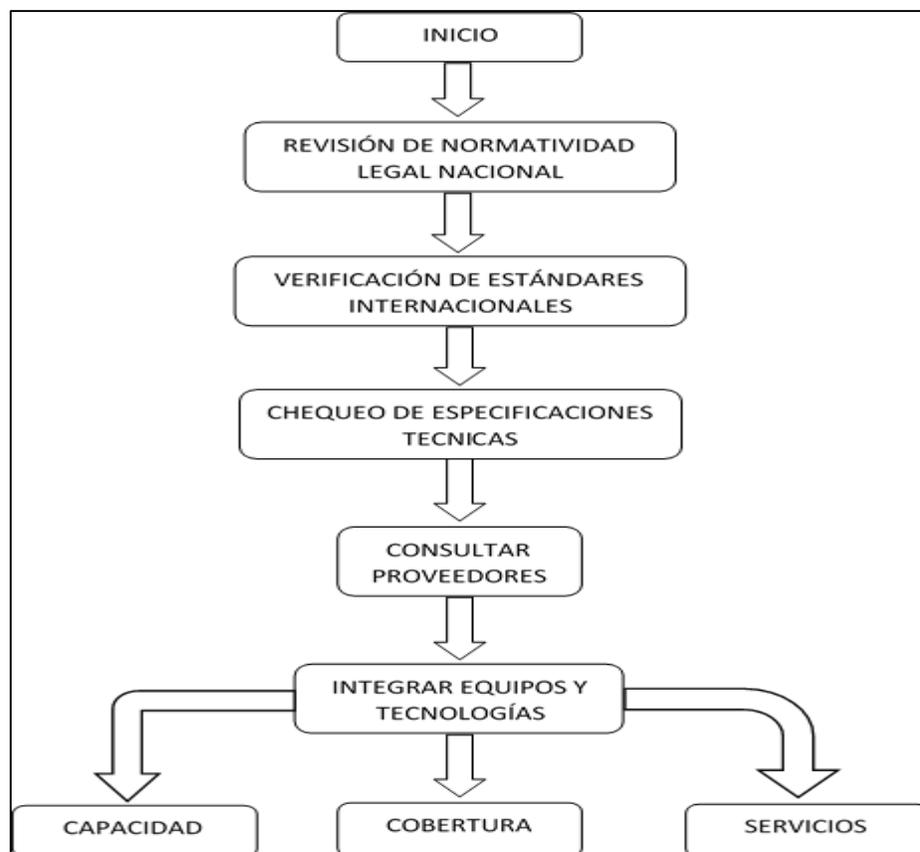
El soporte heterogéneo de red en la tecnología LTE-A es uno de los componentes más relevantes de esta tecnología, porque se necesita integrar el uso e implementación de celdas macro, micro, pico y femto para mejorar la capacidad de la red, la velocidad de transmisión y mejorar la cobertura. La red heterogénea, *HetNets* con grandes macro-celdas en combinación con celdas pequeñas proporciona niveles de mayor capacidad, velocidades de datos más altas y mejor uso del espectro radioeléctrico. La *HetNets* es capaz de utilizar diversidad de redes de acceso de radio como 3G, UMTS, HSPA, WiFi y CDMA-2000, diferentes tipos de celdas con diversas aplicaciones para mejorar la cobertura, aumentar la capacidad de red y mejorar la congestión en la red de acceso [3].

4. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO INALÁMBRICO CON TECNOLOGÍA 4G.

El diseño por integración de una red de nueva generación (NGN) en su nodo de acceso inalámbrico 4G, permite conocer los diversos parámetros de acuerdo con la normatividad y estándares locales y a nivel global, los diferentes proveedores existentes con sus múltiples configuraciones y especificaciones técnicas que deben cumplir los equipos para acatar dichos estándares y normas.

Revisando la información existente sobre el diseño de nodos de acceso 4G, se observa que no hay consenso unificado en cuanto a la planificación, ni las etapas a seguir en su montaje y puesta en funcionamiento. Por tanto, como referencia para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico se recomienda el diagrama de flujo que se describe en la figura 24, cuya proceso y procedimiento, seguimiento y desarrollo es importante para cumplir con las especificaciones técnicas y funcionalidades de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G basado en redes de nueva generación.

Figura 24. Diagrama de flujo para el diseño por integración de red de acceso NGN.



Para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico, es importante tener presente el tipo de red que se desee implementar de acuerdo con la zona de cobertura para lo cual se debe conocer el tipo de celdas y las zonas geográficas en donde se desea implementar, puede ser urbano, semiurbano o rural. La capacidad de la red depende de los usuarios a atender, el flujo de datos o la ingeniería de tráfico, la eficiencia espectral, el ancho de banda y el esquema de modulación.

Los servicios a ofrecer indican la clase de servicio y depende del número de aplicaciones a implementar, la eficiencia de la red en cuanto a latencia, tasa de descarga de datos, la variación de la latencia y la pérdida de paquetes. Para alcanzar los anteriores parámetros, es necesario conocer cada una de las normas, estándares y especificaciones que rigen las redes de cuarta generación (4G), los diversos proveedores de equipos y herramientas que se ajustan a los requerimientos tecnológicos en la actualidad y a la planificación de la red de acceso.

4.1. PARÁMETROS PARA EL DISEÑO POR IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE ACCESO INALÁMBRICO CON TECNOLOGÍA 4G.

La implementación de las redes de nueva generación tiene como objetivo primordial permitir la interoperabilidad entre diferentes redes y equipos de los usuarios finales, la convergencia de las redes fijas y móviles y la integración de servicios. La red de acceso inalámbrico con tecnología 4G en las redes de nueva generación debe servir de acceso terrestre a través de estaciones base de diferentes tecnologías, manteniendo alto grado de independencia de operador de acuerdo con los protocolos y niveles de seguridad estipulados en los estándares emitidos por organismos mundiales como la IEEE, UIT-T, ETSI, ATIS, IETF, entre otros.

Para el diseño de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G en las redes de nueva generación, el personal encargado de la planificación, diseño y puesta en marcha de la red, debe buscar que se cumplan los siguientes parámetros: altas tasas de transferencia de datos entre 100 Mbps y 1Gbps, heterogeneidad entre terminales y redes, roaming vertical y horizontal, servicios IP multimedia, alta escalabilidad, integración con MPLS y protocolos de ingeniería de tráfico, calidad de servicio DiffServ, compatibilidad y uso eficiente del espectro, integración de usuarios con aplicaciones, movilidad, cobertura, seguridad y diversidad de aplicaciones y servicios.

A continuación se hace una descripción de cada uno de las normas, estándares, especificaciones técnicas, proveedores de equipos de nueva generación y aspectos para la implementación del eNodeB al momento de realizar el diseño por integración

de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G basados en las especificaciones técnicas de las redes de nueva generación.

4.1.1. NORMATIVIDAD Y ESTÁNDARES PARA LAS REDES DE NUEVA GENERACIÓN.

Las redes de nueva generación (NGN) definidas en la recomendación Y.2001 de la UIT-T, permite dar inicio a una nueva tendencia tecnológica para el servicio de las telecomunicaciones basadas en conmutación de paquetes, interfaces abiertas, integración de servicios y redes, calidad de servicio de extremo a extremo, convergencia de servicios fijo y móvil, movilidad, técnicas de acceso OFDMA y transmisión mediante el uso de sistemas de antenas MIMO.

La normatividad a nivel nacional que se debe tener presente en el momento de diseñar e implementar una red de acceso inalámbrico de cuarta generación, se relaciona en la tabla 8, de acuerdo con las políticas e instituciones encargadas de hacer cumplir las normas y llevar un seguimiento a los servicios ofrecidos por los proveedores y el buen funcionamiento de las redes, basados en el actual marco jurídico para el sector de las TIC como es la ley 1341 de 2009, los decretos reglamentarios emanados del ministerio de tecnologías de la información y las comunicaciones (MinTIC), la agencia nacional del espectro (ANE) y los demás entes gubernamentales de control y vigilancia y los convenios realizados con otras entidades y organismos.

Tabla 8. Normatividad Colombiana para el diseño de redes de cuarta generación.

Descripción de la norma	Normatividad
<p>Marco general para la formulación de políticas públicas que regirá el sector de la Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.</p> <p>Se modifica el tope de espectro máximo por proveedor de redes y servicios móviles terrestres.</p> <p>Se define el régimen de indicadores de calidad para los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones.</p> <p>Se establecen parámetros de calidad para proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones para la oferta conjunta y la medición de indicadores de acceso a internet.</p>	<p>Ley 1341 de 2009.</p> <p>Decreto 2980 de 2011, Ministerio de tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.</p> <p>Resolución 3067 de mayo de 2011, Comisión de Regulación de las comunicaciones CRC.</p> <p>Resolución 4000 de abril de 2012, Comisión de Regulación de las comunicaciones CRC.</p>

Tabla 8. (Continuación)...

Descripción de la norma	Normatividad
<p>Se establecen requisitos y procedimientos para otorgar permisos para el uso hasta 225 MHz de espectro radioeléctrico en las bandas de 1850 a 1980 MHz, 1710 a 1755 MHz, pareada con 2110 a 2155 MHz y 2500 a 2690 MHz para la operación y prestación del servicio móvil terrestre.</p> <p>Modificación de la resolución 000449 de 2013 cuyo objetivo es impulsar la masificación del uso de Internet a través de acceso de banda ancha.</p> <p>Contraprestación periódica por la provisión de redes y servicios de telecomunicaciones y contraprestación económica con ocasión de la renovación de los permisos para el uso del espectro radioeléctrico.</p>	<p>Resolución 000449 de marzo de 2013, Ministerio de tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.</p> <p>Resolución 00987 de abril de 2013, Ministerio de tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.</p> <p>Decreto 542 de 2014, Ministerio de tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia.</p>

Los estándares y recomendaciones emitidos por los diversos organismos regulatorios de las redes de nueva generación y que se deben cumplir en su diseño e implementación de la red de acceso inalámbrico para las redes de telefonía celular 4G, se enuncian en la tabla 9 y tabla 10.

Tabla 9. Recomendaciones para la implementación de una red de nueva generación.

Descripción	Recomendación
<p>Definición de red de nueva generación NGN. Principios generales y modelo de las redes NGN. Descripción general del IPv6 en las redes NGN. Requisitos funcionales para el acceso a redes de nueva generación basadas en IPv6. Principios para la gestión de redes NGN. Requisitos de seguridad para las redes NGN. Marco de seguridad de la movilidad en las redes NGN. Define los parámetros y metodología para evaluar el servicio en los protocolos de capas superiores. Metodología de prueba para la evaluación de la configuración y rendimiento de una red Ethernet. Marco para las claves públicas y atributos de certificados.</p>	<p>Recomendación UIT-T Y.2001 Recomendación UIT-T Y.2011 Recomendación UIT-T Y.2051 Recomendación UIT-T Y.2059 Recomendación UIT-T Y.2401 Recomendación UIT-T Y.2701 Recomendación UIT-T Y.2760 Recomendación UIT-T Y.1562 Recomendación UIT-T Y.1564 Recomendación UIT-T X.509</p>

Tabla 9. (Continuación)...

Descripción	Recomendación
Marco de gestión para la interconexión de sistemas abiertos para aplicaciones del CCITT.	Recomendación UIT-T X.700
Arquitectura de seguridad para sistemas de comunicaciones de extremo a extremo.	Recomendación UIT-T X.805
Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales avanzadas (IMT-Avanzadas)	Recomendación UIT-R M2012
Seguridad en el plano de gestión. Visión general.	Recomendación UIT-T M.3016
Metodología para la especificación de interfaces de gestión.	Recomendación UIT-T M.3020
Principios para la gestión de redes de nueva generación.	Recomendación UIT-T M.3060
Catálogo de información de gestión de red.	Recomendación UIT-T M.3180
Protocolos de control de pasarelas.	Recomendación UIT-T H.248
Sistemas de comunicaciones multimedia basados en paquetes.	Recomendación UIT-T H.323
Movilidad para sistemas y servicios multimedios H.323	Recomendación UIT-T H.510
Arquitectura funcional unificada de las redes de transporte.	Recomendación UIT-T G.800
Requisitos generales de convergencia de los sistemas fijos y móviles.	Recomendación UIT-T Q.1762
Arquitectura de señalización en el plano de control de servicio de las redes NGN.	Recomendación UIT-T Q.3030
RTP un protocolo de transporte para aplicaciones en tiempo real.	RFC - 3550 / RFC – 3551
Arquitectura del protocolo PMLS.	RFC - 3031/ RFC – 3270
Especificaciones funcionales del protocolo RSVP.	RFC - 2205 /RFC – 2750
Protocolo de control de pasarela.	RFC – 5125
Sistemas de gestión de la seguridad de la información.	NTC ISO / IEC 27001

Tabla 10. Estándares para la implementación de una red de nueva generación.

Descripción	Estándar
Procedimientos de control de acceso inalámbrico al medio y calidad de servicio (QoS).	IEEE 802.11e – 2005
Estándar para la interfaz de aire para sistemas de acceso inalámbrico para redes de banda ancha.	IEEE 802.16n – 2013

Tabla 10. (Continuación)...

Descripción	Estándar
Estándar de interfaz aérea avanzada para sistemas 4G, conocida como <i>Mobile WiMax</i> .	IEEE 802.11m – 2011
Seguridad para protocolos de autenticación y codificación.	IEEE 802.16i
Modulación OFDMA para mayor velocidad y confiabilidad de red.	IEEE 802.16e
Acceso inalámbrico a redes móviles de banda ancha.	IEEE 802.20

Las normas y recomendaciones que se aplican en el diseño e implementación de las redes de nueva generación, deben cumplir con los estándares emitidos por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT-T) y otras entidades de orden global, y que de acuerdo con las políticas de cada uno de los países son ajustadas al medio y a su infraestructura tecnológica disponible.

4.1.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE LA RED DE ACCESO 4G.

El diseño e implementación por integración de redes de nueva generación en su red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, debe incluir soluciones integrales que permita la convergencia de servicios, la heterogeneidad de las redes y equipos, la movilidad de usuarios, la sincronización de red/usuario, el cifrado de datos a transmitir en la red y la seguridad de la información y de la red física de extremo a extremo del enlace. Las condiciones iniciales como el tipo de usuario (residencial o corporativo), el tipo de servicio (voz o datos), el ancho de banda, la zona geográfica y el número de usuarios son elementos indispensables para un buen diseño por integración, debido a que estos son aspectos que determinan las especificaciones técnicas, tecnologías y equipos que debo integrar en la solución.

Cada una de estas especificaciones técnicas descritas en las diversas recomendaciones o estándares de los organismos reguladores, son los requerimientos mínimos que los proveedores de equipos y tecnologías deben tener presentes al momento de la configuración de una red de acceso inalámbrico 4G y que cumpla con los estándares internacionales estipulados en las redes de cuarta generación [71]. En la tabla 11 se relacionan las especificaciones técnicas que se deben tener en cuenta al momento de la integración de equipos y tecnologías para las redes de acceso inalámbrico.

Tabla 11. Especificaciones técnicas que deben cumplir las redes de nueva generación.

Especificación	Norma	Descripción
Clase de servicio (CoS)	IEEE 802.11e Recomendación UIT-T E.800 Recomendación UIT-T Y.1540/Y.1541	Procedimientos de control de acceso inalámbrico al medio y calidad de servicio (QoS). Definición de los términos para definir los parámetros de calidad de servicio. Definición de parámetros de calidad en transmisión de paquetes en redes IP. Definición de las clases de calidad del servicio.
Confiabilidad	Recomendación UIT-T X.1051 Recomendación UIT-T X.509 Recomendación UIT-T X.814	Gestión de la seguridad de la información que garantice la confidencialidad, integridad, y disponibilidad de instalaciones y servicios de telecomunicaciones. Marco para las claves públicas y atributos de certificados. Prestación de servicios de confidencialidad donde la información no debe estar disponible ni sea divulgada a personas o entidades no autorizadas.
Disponibilidad	Recomendación UIT-T X.1051 Recomendación UIT-T X.805	Gestión de la seguridad de la información que garantice la confidencialidad, integridad, y disponibilidad de instalaciones y servicios de telecomunicaciones. Arquitectura de seguridad para sistemas de comunicaciones de extremo a extremo.
Resiliencia	Recomendación UIT-T X.805	Arquitectura de seguridad para sistemas de comunicaciones de extremo a extremo.
Seguridad	Recomendación UIT-T X.800 Recomendación UIT-T X.805	Arquitectura de seguridad para sistemas abiertos para aplicaciones del CCTTI. Arquitectura de seguridad para sistemas de comunicaciones de extremo a extremo.

Para determinar la calidad de servicio (CoS) en una red de acceso de cuarta generación, se debe medir los siguientes parámetros: El tiempo que tarda el paquete en pasar por un componente de red, *IP Packet Transfer Delay* (IPTD). La variación de tiempo en la llegada de cada paquete (*jitter*), *IP Packet Delay Variation* (IPDV). La tasa de pérdida de paquetes, *IP Packet Loss Ratio* (IPLR). Tasa de paquetes con errores, *IP Packet Error Ratio* (IPER). El *códec* de canal que dispone el equipo que se desea implementar y la disponibilidad de la red. Cada uno de estos parámetros dependiendo del tipo de servicio, tiene unos límites que permiten definir la clase de calidad de servicio (QoS) [72].

Para valorar la confiabilidad en una red de acceso inalámbrico de cuarta generación, es importante centrarse en la capacidad de la red y en la capacidad que tiene los códecs en la corrección y detección de errores. Para verificar la disponibilidad en una red de acceso de cuarta generación, se debe tener en cuenta los módems y multiplexores que usa cada uno en los equipos en las diversas soluciones, teniendo en cuenta la fiabilidad del enlace, la capacidad de la red, la capacidad de mantenimiento y de servicio, los tiempos promedios para reparación de fallas, la solución de incidentes y el tiempo medio de reparación.

En la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, para determinar la resiliencia es necesario tener en cuenta la capacidad de seguir prestando el servicio a pesar de posibles fallas en el enlace, detección de fallos, pérdidas de la señal (LOS), el (BER), el degradado de la señal relativamente alto (BAR) que son implementados en el OTN y su capacidad de recuperación de paquetes se debe hacer en menos de 50 ms con el fin de aumentar la eficiencia de la red, el tráfico de la red va asociado a la clase de servicio.

Para ajustar la seguridad en una red de acceso de cuarta generación, se debe hacer énfasis en la encriptación, autenticación y codificación de la información, ya sea en la capa física con el protocolo SIP y en la capa tres con el protocolo IPSec, además los protocolos Diameter, L2LTP, el sistema operativo y las aplicaciones. Las dimensiones de seguridad en las redes de nueva generación comprenden los siguientes parámetros: **Control de acceso:** password, ACL y firewall. **Autenticación:** PKI, PSK y Firma Digital. **No Repudio:** logos del sistema y Firma Digital. **Confidencialidad:** cifrado y criptografía. **Comunicación Segura:** protocolos VPN, L2T, Diameter. **Integridad:** Firma Digital, hash, MD-5, SHA-1. **Disponibilidad:** IDS/IPS, redundancia y balanceo. **Privacidad:** NAT y cifrado.

4.1.3. PROVEEDORES DE EQUIPOS PARA REDES DE ACCESO 4G.

En el diseño e implementación de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, la arquitectura de la red LTE-Advanced está formada por dos bloques funcionales como son los eNodeB y las interfaces X2, S1U y S1MME. Los nodos eNodeB están integrados por la interfaz de radio, la capa física, los protocolos y aplicaciones. La interface X2 está determinada por la pila de protocolos de túnel y de datagramas de usuario (GTP/UDP) y por el protocolo de control de transmisión corriente, *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP).

La interface S1U está integrada por los protocolos de túnel GPRS, *Tunneling Protocol* (GTP), los protocolos de datagramas de usuario, *User Datagram Protocol* (UDP) y La

interface S1MME por el protocolo de control de transmisión corriente, *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP) [5]. Algunos de los proveedores de este tipo de equipos o herramientas se relacionan en la tabla 12.

Tabla 12. Proveedores de equipos para la red de acceso 4G.

Equipo / Módulo	Marca – Referencia	Características
Nodo eNodeB	Alcatel-Lucent 9926	Ofrece mayor capacidad y reduce la congestión, gran ancho de banda, flexibilidad para agregación de portadoras, compatible con antenas inteligentes y esquema MIMO flexible de 4x4 y 8x8, soporte CoMP y compatible con dispositivos heredados de LTE y adaptable para tecnologías 5G, permite alta escalabilidad, optimización de recursos de red.
Nodo eNodeB	Huawei DBS 3900	Gran capacidad y ancho de banda, cobertura hasta 100 Kms, tiempo de establecimiento de llamada con prioridad de 150 ms y de grupo menor a 300 ms, múltiples bandas de frecuencia y flexibilidad para el despliegue de la red, movilidad a ultra velocidad, configuración de red inteligente y seguridad de la red.
Nodo eNodeB	Nokia – Siemens Flexi Multiradio 10 Base	Definida por software, aumenta la capacidad en un 80% y la cobertura en un 40%, velocidades hasta 2,6 Gbps, ampliación de capacidad plug-in, soporta tecnologías de antenas superiores a MIMO 4x4 Tx, compatible con tecnologías anteriores, reutilización de módulos del sistema por software y velocidades alrededor de los Gigabits por segundo.
Nodo eNodeB	Motorola WBR 700	Plataforma de banda ancha OFDM, gran capacidad, permite despliegue con múltiples esquemas de antenas, mejora el throughput en alto porcentaje, espectro de frecuencias múltiples y mayor flexibilidad, control de recursos de red, adaptabilidad con sistemas preinstalados, sistema de antenas MIMO y antenas inteligentes, despliegue multiportadora en varias frecuencias, mejor rendimiento en el borde de la celda.
Nodo eNodeB	Ericsson RBS 6000	Sistema de gestión integrado, apoyo en sistema MIMO 2x2, soporte para la inclinación de antenas a distancia (RET), conectividad IP completa, backhaul encriptado para portadora y control de tráfico, red integrada al sistema de gestión, antena de supervisión VSWR.

De acuerdo con los parámetros y especificaciones técnicas de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, en la tabla 13 se resume las características técnicas que tienen los diferentes proveedores de red y servicios para cumplir con las especificaciones de una red de nueva generación (NGN) de acuerdo con los

estándares emitidos por las entidades encargadas de direccionar y estipular normas que optimicen la calidad de los servicios de telecomunicaciones a nivel mundial, con el objetivo de implementar redes que cumplan con las características y propósitos de las redes de cuarta generación 4G.

Cada una de las especificaciones técnicas de los equipos debe adaptarse a las diversas configuraciones de cobertura y servicio basados en las especificaciones técnicas de las redes de nueva generación y en el entorno de las redes basadas en la configuración del IMS. Por ello, se recomienda a los proveedores de servicios y de redes tengan presente esta información al momento de diseñar los nodos de acceso inalámbrico con tecnología 4G en la red de telefonía celular.

Tabla 13. Resumen de especificaciones técnicas para proveedores de equipos para la red de acceso 4G.

Especificaciones Técnicas	Alcatel-Lucent 9926	Huawei DBS 3900	Nokia-Siemens Flexi-Multiradio 10 Base	Motorola WBR 700	Ericsson RBS 6000
Capacidad del eNodeB	Hasta 8 portadoras 4x4 con FDD o 4 portadoras 8x8 con TDD de 20 MHz	Hasta 8 portadoras 4x4 con FDD o 4 portadoras 2x2 con TDD de 20 MHz	Hasta 8 portadoras 4x4 con FDD o 4 portadoras 4x2 con TDD de 20 MHz	Hasta 8 portadoras 4x4 con FDD o 4 portadoras 2x2 con TDD de 20 MHz	Hasta 8 portadoras 4x4 con FDD o TDD sobre 40 MHz
Eficiencia espectral	DL= 15 b/s/Hz UL= 6.75 b/s/Hz	DL= 30 b/s/Hz UL= 15 b/s/Hz			
Velocidad de datos pico	DL= 500 Mbps UL= 1 Gbps	DL= 150 Mbps UL= 450 Mbps	DL= 500 Mbps UL= 1 Gbps	DL= 500 Mbps UL= 1 Gbps	DL= 150 Mbps UL= 300 Mbps
Rango de frecuencias	450 MHz – 2,6 GHz	450 MHz – 2,6 GHz	450 MHz – 2,6 GHz	700 MHz – 2,6 GHz	758 – 862 MHz
Ancho de banda	1.4,3, 5, 10 y 20 MHz	3, 5, 10 y 20 MHz	3, 5, 10 y 20 MHz	3, 5, 10 y 20 MHz	5, 10, 15 o 20 MHz
Multiplexación espacial	DL= MIMO 8x8 UL= MIMO 4X4	DL= MIMO 8x8 UL= MIMO 4X4	DL= MIMO 4x4 UL= MIMO 2X2	DL= MIMO 4x8 UL= MIMO 2X2	DL= MIMO 2x2 UL= MIMO 1X2
Modo Dúplex	TDD para DL FDD para UL	TDD para DL FDD para UL			
Ancho de banda de canal	Up 20 MHz	Up 20 MHz	Up 20 MHz	Up 20 MHz	Hasta 20 MHz
Modulación	QPSK, 64 QAM	QPSK, 64 QAM	QPSK, 64 QAM	16QAM, 64 QAM	16QAM UL 64 QAM DL
Pico del Throughput	315 Mbps DL 156 Mbps UL	450 Mbps DL 300 Mbps UL	315 Mbps DL 156 Mbps UL	100 Mbps DL 75 Mbps UL	100 Mbps DL 75 Mbps UL
Modo de Acceso	DL= OFDMA UL= SC-FDMA	DL= OFDMA UL= SC-FDMA	DL= OFDMA UL= SC-FDMA	DL= OFDMA UL= SC-FDMA	DL= OFDMA UL= SC-FDMA

4.1.4. INTEGRACIÓN DE EQUIPOS Y TECNOLOGÍAS.

Al momento de integrar equipos y tecnologías disponibles para la red de acceso inalámbrico 4G de diferentes proveedores y fabricantes, se debe tener presente aspectos como la zona de cobertura del eNodeB, el número de usuarios a atender, la tecnología de acceso a la red, la calidad del servicio y la capacidad de la celda entre otros, aspectos que son incluidos en la ingeniería de detalle en el diseño de una red de telecomunicaciones.

Los equipos LTE-Advanced con tecnología 4G que se integren al sistema deben satisfacer las especificaciones de las redes de nueva generación (NGN), como clase de servicio (CoS), confiabilidad, disponibilidad, seguridad y resiliencia, incluyendo las mejores técnicas de acceso como OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales) para el enlace descendente (DL) y SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de frecuencia con portadora Única) para el enlace ascendente (UL), la modulación a través de la tecnología de antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output, Múltiples Entradas Múltiples Salidas) y los métodos de Duplexado de la trama como TDD (Time Division Duplexing, Duplexado por División en Tiempo) y FDD (Frequency Division Duplexing, Duplexado por División en frecuencia).

4.1.4.1 Técnica de acceso al medio OFDMA.

La técnica de acceso al medio que se emplea en los equipos de 4G para el canal descendente (DL) como se describe en el apartado (3.3.4) del proyecto, forma un mecanismo de transmisión multiportadora, en el cual se multiplexa un conjunto de símbolos de una determinada modulación sobre un conjunto de subportadoras. Los múltiples usuarios pueden transmitir simultáneamente sobre las subportadoras y se hace de forma ortogonal siempre y cuando el retardo esté dentro de la longitud del prefijo cíclico (cp) teniendo en cuenta el retardo por propagación multitrayectoria.

Con la técnica de acceso OFDMA es posible seleccionar uno de los tres sistemas de modulación, QPSK de 2 bits por símbolos, 16QAM de 4 bits por símbolo o 64QAM de 6 bits por símbolo. Esta técnica de acceso permite tener un ancho de banda escalable, tolerancia a la interferencia por multitrayecto, resistencia al desvanecimiento selectivo en frecuencia y gran compatibilidad con tecnologías de antenas inteligentes, se utiliza para enlaces de corto alcance como en la cobertura de las femtoceldas.

Para el diseño del canal de enlace en tecnología 4G, es necesario conocer el límite de la capacidad del canal descendente con OFDMA que está dado por:

$$C_{OFDMA} = \text{Log}_2 \left(1 + \frac{P}{fP + N_0} \right) = \text{Log}_2 \left(1 + \frac{P}{f \cdot P + 1} \right) [b/s/Hz]$$

Además en OFDMA se debe tener en cuenta la sobrecarga del prefijo cíclico para conocer la capacidad del canal, entonces la capacidad del sistema OFDMA, se da por [73]:

$$C_{OFDMA} = \left(1 - \frac{\Delta}{T_s} \right) \cdot \text{Log}_2 \left(1 + \frac{P}{f \cdot P + 1} \right) [b/s/Hz]$$

Donde T_s es la duración de símbolo OFDMA, Δ es la duración del prefijo cíclico y f es la relación existente entre celdas y una señal propia de cada célula.

4.1.4.2 Técnica de acceso SC-FDMA.

La técnica de acceso al medio que se emplea en los equipos de 4G para el canal ascendente (UL) como se describe en el apartado (3.3.5) del proyecto, SC-FDMA permite un buen rendimiento y evita la interferencia dentro celdas igual que el acceso OFDMA, pero su principal ventaja es la disminución de la relación promedio de la potencia pico (PAPR) de la señal de transmisión para las modulaciones bajas, el mínimo consumo de batería y la eficiencia energética.

Las pérdidas de rendimiento del enlace ascendente con respecto al enlace descendente, está relacionadas con la mínima pérdida de ganancia debido a la diversidad de la baja SINR. Al realizar el diseño o selección del enlace ascendente con SC-FDMA es importante conocer el límite de capacidad, éste se puede calcular a través de la siguiente ecuación [73]:

$$C_{SC-FDMA} = \left(\frac{T_s}{T_s + \Delta} \right) \cdot \text{Log}_2 \left(1 + \frac{KP}{fKP + N_0} \times \frac{1}{10^{(L_{SC-FDMA}/10)}} \right) [b/s/Hz]$$

Donde $L_{SC-FDMA/10}$ representa la pérdida del enlace SC-FDMA en dBs con relación al enlace OFDMA. Hay que tener en cuenta que el canal descendente lleva información en cada subportadora relacionada con un símbolo de modulación específica y en el canal ascendente se lleva información de cada símbolo de modulación, por ello el nivel de potencia del enlace ascendente debe ser aumentado mínimo en 3 dBs para compensar el ruido debido a la diversidad.

4.1.4.3 Tecnología de Antenas MIMO.

Los equipos con tecnología 4G (LTE-Advanced) soportan un sistema de antenas MIMO en sus diferentes configuraciones y que en su máxima adaptación se da para el canal ascendente (UL) de 4x4 y para el canal descendente un sistema de 8x8. Este sistema se puede usar cuando la relación señal a ruido (S/N) es alta en el canal de radio, que permite la ganancia de canal y la información de fase para los enlaces entre las antenas de transmisión y recepción es aceptable.

La capacidad de un canal con tecnología MIMO parte de una matriz $H_{M \times N}$ donde M representa las antenas de Tx y N las antenas de RX, y la capacidad se puede obtener a través de la aplicación de la siguiente fórmula [72].

$$C_{MIMO} = E [\text{Log}_2 \det \left(IN + \frac{\rho}{M} HH^* \right)] [b/s/Hz]$$

Donde $\rho = \frac{P}{N_0}$ representa la relación señal a ruido de cada antena del receptor.

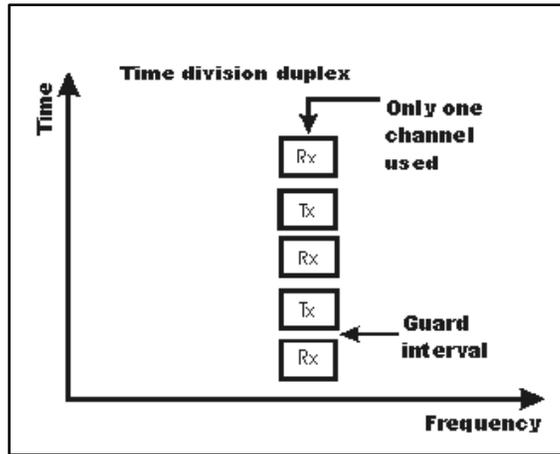
La tecnología MIMO utiliza técnicas de transmisión como diversidad de antenas, multiplexación espacial y *Beamforming*²⁷. Por tanto es necesario que se disponga de agrupaciones de antenas con suficiente separación en el Tx como en el Rx, el entorno de propagación debe tener diversas rutas, el Rx debe tener la capacidad de estimar la capacidad del canal en amplitud y desplazamiento de fase.

4.1.4.4 Duplexación por División en Tiempo (TDD).

La técnica de duplexación por división en tiempo (TDD) es un método en el cual se usa la misma frecuencia de radio para las transmisiones en el enlace descendente como en el enlace ascendente, pero cada una en un intervalo de tiempo, como se observa en la figura 25. Es una técnica que optimiza el uso del espectro, es utilizada en la mayoría de las implementaciones por su flexibilidad para seleccionar la tasa de transferencia de los datos, capacidad para aprovechar el canal y porque su diseño es menos complejo.

²⁷ Beamforming: Técnica de procesamiento de la señal para controlar el direccionamiento de la transmisión y recepción de las señales de radio, donde se forma un haz bien definido como resultado del desfase de la señal en las diversas antenas, que busca incrementar la ganancia y la inmunidad a interferencia en el eNodeB.

Figura 25. Duplexación por División en Tiempo, TDD.



Fuente: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/>.

La duplexación TDD responde instantáneamente a cambios en la simetría que pueda presentar el tráfico de datos o según la demanda, necesita un período de guarda para evitar las colisiones en las transmisiones UL/DL aunque esto limita la capacidad del canal, el retardo de propagación por la asignación del intervalo de guarda es aproximadamente de 3,3 μ s por kilómetro, este método es apropiado para situaciones donde se presenta alta densidad de tráfico y especialmente en zonas urbanas con implementaciones de microceldas y femtoceldas.

Los sistemas basados en TDD donde el terminal está enviando y recibiendo datos con espacios cortos de tiempo, trabaja con la siguiente relación de banda de frecuencias y número de canales, como se observa en la tabla 14 [74].

Tabla 14. Relación de bandas de frecuencia y número de canales con TDD.

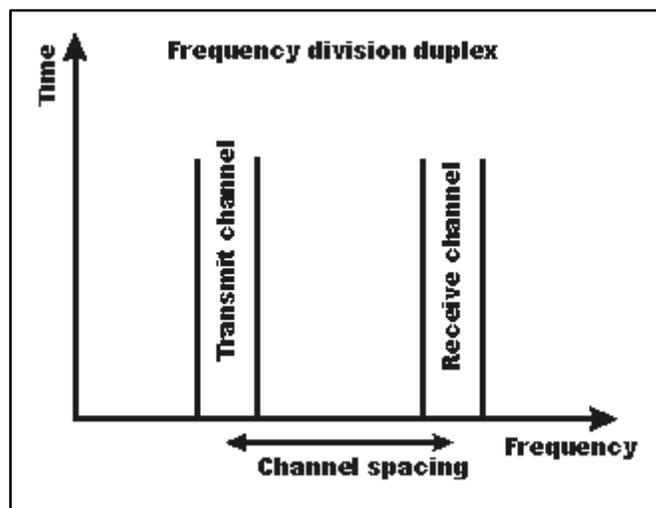
Banda	Downlink (DL)		Canales (N_{DL})	Uplink (UL)		Canales (N_{UL})
	F (DL _{Low}) (MHz)	F(DL _{High}) (MHz)		F(DL _{Low}) (MHz)	F(DL _{High}) (MHz)	
E-UTRAN						
33	1900	1920	26000-26199	1900	1920	26000-26199
34	2010	2025	26200-26349	2010	2025	26200-26349
35	1850	1910	26350-26949	1850	1910	26350-26949
36	1930	1990	26950-27549	1930	1990	26950-27549
37	1910	1930	27550-27749	1910	1930	27550-27749
38	2570	2620	27750-28249	2570	2620	27750-28249
39	1880	1900	28250-28649	1880	1900	28250-28649
40	2300	2400	28650-29649	2300	2400	28650-29649

Fuente: *RF Planning and Optimization for LTE Network* [74].

4.1.4.5 Duplexación por División de frecuencia (FDD).

La técnica de duplexación por división en frecuencia (FDD) permite tener los enlaces descendente y ascendente separados, donde se puede transmitir de manera simultánea utilizando dos frecuencias manteniendo una transmisión continua que no produce retardos o latencia adicional, su estructura se observa en la figura 26, con este método el ancho de banda es variable y adaptable a las condiciones del flujo de información y el ciclo de trabajo del transmisor-receptor es fijo.

Figura 26. Duplexación por División en Frecuencia, FDD.



Fuente: <http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/>.

Con la implementación de la duplexación en frecuencia FDD se utiliza un buen espectro de frecuencia debido al uso del tiempo de guarda que se debe tener entre la transmisión y la recepción. Cada trama de radio tiene una duración de 10 ms y cada trama está dividida en 10 subtramas de igual tamaño, al igual este método soporta los sistemas de transmisión de lazo cerrado y bucle abierto para el control de potencia y la diversidad de antena adaptativa.

Los sistemas basados en FDD donde el terminal está enviando y recibiendo de manera simultánea, se basan en la siguiente relación de banda de frecuencias y número de canales, como se observa en la tabla 15 [74].

Tabla 15. Relación de bandas de frecuencia y número de canales con FDD.

Banda E-UTRAN	Downlink (DL)		Canales (N _{DL})	Uplink (UL)		Canales (N _{UL})
	F (DL _{Low}) (MHz)	F(DL _{High}) (MHz)		F(DL _{Low}) (MHz)	F(DL _{High}) (MHz)	
1	2110	2170	0-599	1920	1980	13000-13599
2	1930	1990	600-1159	1850	1910	13600-14199
3	1805	1880	1200-1949	1710	1785	14200-14949
4	2110	2155	1950-2399	1710	1755	14950-15399
5	869	894	2400-2649	824	849	15400-15649
6	875	885	2650-2749	830	840	15650-15749
7	2620	2690	2750-3449	2500	2570	15750-16449
8	925	960	3450-3799	880	917	16450-16799
9	1844.9	1879.9	3800-4149	1749.9	1784.9	16800-17149
10	2110	2170	4150-4749	1710	1770	17150-17749
11	1475.9	1500.9	4750-4999	1427.9	1452.9	17750-17999
12	728	746	5000-5179	698	716	18000-18179
13	746	756	5180-5279	777	787	18180-18279
14	758	768	5280-5379	788	798	18280-18379

Fuente: *RF Planning and Optimization for LTE Network [74]*.

De acuerdo a la subasta de noviembre de 2014 del MinTIC, los bloques de frecuencias asignadas para la banda 4 AWS fue asignada a Movistar, TIGO, ETB y AVANTEL y el bloque de frecuencias de la banda 7 (2500 MHz) fue asignada a CLARO Y DIRECTV.

4.2 INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA 4G EN REDES NGN.

Como herramienta funcional en el diseño por integración de una red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, es importante evaluar de manera objetiva cada uno de los procedimientos y recursos tecnológicos en su diseño y desarrollo, de manera que cumpla con los requerimientos legales y normativos de una red de nueva generación con parámetros de cuarta generación, las características fundamentales son: clase de servicio, confiabilidad, disponibilidad, resiliencia y seguridad.

DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO INALAMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA GENERACIÓN		
Identificación de red:		
Responsable:	Fecha:	
Descripción de la especificación técnica y/o actividad a realizar en la evaluación del diseño de la red de acceso.	CUMPLE	
	SI	NO
A. Revisión de la normatividad y estándares.		
1. Verifique los parámetros y principios de la ley 1341 de 2009.		
2. Hay planeación y administración del espectro electromagnético.		
3. Establece los rangos de frecuencia permitidos y autorizados.		
4. Define los principios y modelo de las redes de NGN.		
5. Satisface los requerimientos de seguridad de redes NGN.		
6. Posee el marco de gestión para la interconexión de sistemas abiertos.		
7. Estructura la arquitectura de seguridad de extremo a extremo.		
8. Dispone de comunicación multimedia basada en paquetes.		
9. Existe movilidad para sistemas y servicios multimedios.		
10. Tiene arquitectura funcional unificada con redes de transporte.		
11. Facilita la convergencia de sistemas fijos y móviles.		
12. Existe señalización en el plano de control de servicios de redes NGN.		
13. Define la metodología de ensayo para la evaluación de la configuración y rendimiento de la red.		
14. Establece la metodología para evaluar el servicio de los protocolos en las capas superiores de la red.		
15. Posee sistemas de gestión de la seguridad de la información.		
Observaciones:		
FIRMA: _____		

DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO INALAMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA GENERACIÓN		
Identificación de red:		
Responsable:	Fecha:	
Descripción de la especificación técnica y/o actividad a realizar en la evaluación del diseño de la red de acceso.	CUMPLE	
	SI	NO
B. Revisión de las especificaciones técnicas de las redes NGN.		
1. Define la clase de servicio de acuerdo con el tráfico, aplicaciones y servicios.		
2. Plantea un método para detección de pasarelas de seguridad para preservar la señalización e integridad de la información.		
3. Establece parámetros para definir clases de calidad de servicio.		
4. Existen procedimientos de control de acceso al medio.		
5. Define parámetros de calidad en la transmisión de paquetes en redes IP.		
6. Posee el marco de gestión de la seguridad de la información.		
7. Existe la arquitectura marco para las claves públicas y atributos de certificados.		
8. Tiene la arquitectura de seguridad para sistemas de comunicaciones de extremo a extremo.		
9. Dispone de una arquitectura de seguridad para sistemas abiertos CCTTI.		
10. Establece requisitos funcionales y protocolos para la autenticación.		
11. Define funciones de control de recursos y de admisión en redes NGN.		
12. Existen procedimientos de seguridad durante el intercambio de claves para el protocolo de transporte en tiempo real seguro.		
13. Describe las características de la gestión de red del eNodeB o de la red.		
14. Establece un plan detallado y consecuente para la ingeniería de tráfico.		
15. Plantea alternativas para la resiliencia de la red.		
Observaciones:		
FIRMA: _____		

DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO INALAMBRICO DE TELEFONÍA CELULAR 4G CONFORME A LA NORMATIVIDAD Y ESPECIFICACIONES DE LAS REDES DE NUEVA GENERACIÓN		
Identificación de red:		
Responsable:	Fecha:	
Descripción de la especificación técnica y/o actividad a realizar en la evaluación del diseño de la red de acceso.	CUMPLE	
	SI	NO
C. Características técnicas que debe chequearse en los equipos a implementar.		
1. Expone el diseño del eNodeB, Macro, micro, pico o femtocelda.		
2. La cobertura y capacidad del eNodeB está acorde con la selección de la celda.		
3. Se describe la arquitectura del nodo de la red.		
4. Maneja una amplia gama de frecuencias disponibles y autorizadas.		
5. Identifican los diversos servicios a implementar en la red.		
6. El acceso para los canales UL y DL disponen de tecnología OFDMA/SCFDMA.		
7. El método dúplex soporta duplexación FDD/TDD.		
8. El ancho de banda del canal es escalable		
9. Dispone de diversidad en la Tx y Rx, antenas inteligentes y esquema MIMO.		
10. Describe las mejores y óptimas técnicas de modulación.		
11. Establece la velocidad de transmisión de datos para los canales DL >1 Gbps y UL > 500 Mbps.		
12. Define el throughput máximo teórico para los enlaces DL y UL.		
13. La eficiencia espectral que dispone es relativamente baja en cuanto a bps/Hz.		
14. Los protocolos definidos para el acceso y la seguridad de la información satisfacen los parámetros de seguridad e integridad de los datos.		
15. Se especifican los estándares de convergencia e integración de tecnologías.		
Observaciones:		
Descripción de la especificación técnica y/o actividad a realizar en la evaluación del diseño de la red de acceso.	CUMPLE	
	SI	NO
D. Parámetros para la puesta en marcha del eNodeB o Red de acceso 4G.		
1. El estudio de propagación define el margen de seguridad, la potencia transmitida y la sensibilidad del receptor.		
2. Describe los equipos del nodo y del núcleo o control de la red.		
3. La arquitectura del nodo y/o red tiene soporte para servicios en tiempo real.		
4. Define los canales lógicos, físicos y de transporte para el enlace o eNodeB.		
5. Se establece el radio y área de cobertura radioeléctrica del eNodeB.		
6. Existen las coordenadas y tabla de frecuencias de operación de los nodos.		
7. Se ha verificado la estructura funcional y componentes del nodo y/o red.		
8. Define y confirma el presupuesto para los enlaces DL y UL.		
9. Se configuraron los equipos de acuerdo con los diseños y ajustes de red.		
10. Se planificó el soporte para el eNodeB o para la red de comunicaciones.		
Observaciones:		
FIRMA: _____		

4.3 ESTUDIO DE CASOS.

El diseño de una celda o nodo de acceso de una red de telefonía celular 4G tiene como objetivo principal establecer los requerimientos básicos de cobertura y capacidad del nodo, calidad de servicios, el costo, uso de frecuencias, rendimiento e implementación de equipos. Luego de identificar las especificaciones técnicas necesarias, es importante crear la base de datos con información geográfica, análisis de la población, crear modelos, realizar simulaciones y análisis con herramientas de propagación adecuadas.

La planificación de la cobertura del eNodeB se basa en los modelos de propagación que incluye la banda de frecuencia, el área de despliegue (urbano, suburbano, rural) y el tipo de aplicación. Los modelos de propagación más relevantes en un sistema celular son *Okumura-Hata* para frecuencias entre 150 y 2200 MHz y distancias entre 1 y 20 Kms. El *COST-231* para frecuencias entre 800 y 2000 MHz y distancias entre 0,02 y 5 Kms [74] y para frecuencias entre 300 y 3000 MHz se pueden utilizar el método de *Walfisch-Bertoni* [75].

Con el modelo de propagación de *Okumura-Hata* se puede medir el comportamiento del canal de enlace en los tres entornos de acuerdo con las siguientes fórmulas.

Para el entorno urbano donde la altura de la estación base está entre 30 y 200 ms, la altura promedio del equipo del usuario está entre de 1 y 10 m y, la distancia entre la estación base (BS) y el usuario (UE) oscila entre 1 y 20 Kms.

$$L_{P(URB)} = 69,55 + 26,16\text{Log}(f_C) + [44,9 - 6,55\text{Log}(h_{BS})]\text{Log}(d) \\ - 13,82\text{Log}(h_{BS}) - a(h_{UE}) \quad \text{dB}$$

Donde $a(h_{UE})$ es el factor de corrección de la antena y está dada por:

$$a(h_{UE}) = \begin{cases} 3,2 [\text{Log}(11,75h_{UE})^2 - 4,97] & \text{Para una zona muy densa.} \\ [1,1\text{Log}(f_C) - 0,7]h_{UE} - [1,56\text{Log}(f_C) - 0,8] & \text{Para la zona urbana.} \end{cases}$$

Para el entorno suburbano, la ecuación es:

$$L_{P(SUBURB)} = L_{P(URB)} - 2 \left[\text{Log} \left(\frac{f_C}{28} \right)^2 - 5,4 \right] \quad \text{dB}$$

Para el entorno rural, la ecuación es:

$$L_{P(RURAL)} = L_{P(URB)} + 18,33 \text{Log}(f_c) - 4,78 \quad dB$$

Cuando se utiliza el modelo *COST-231* para la estimación del comportamiento del canal de enlace con frecuencias entre 800 y 2000 MHz, se prevé que la altura de la estación base (BS) está entre 4 y 50 m, la altura del equipo de usuario (UE) está entre 1 y 3 m y la distancia entre la estación base y el usuario oscila entre 20 m y 5 Kms [74], la fórmula para estimar el enlace es:

$$L_p = 32,4 + 20 \text{Log}(d) + 20 \text{Log}(f_c) + L_{rts} + L_m \quad dB$$

Donde L_{rts} es el factor de dispersión existente por la difracción entre azoteas de los edificios y la calle, este factor está dado por:

$$L_{rts} = 10 \text{Log}(f_c) + 20 \text{Log}(h_r - h_{UE}) + L_\varphi - 10 \text{Log}(W) - 16,9 \quad dB$$

Además, L_m es el factor de pérdida multipantalla, dado por:

$$L_m = L_{BS2B} + K_a + K_d \text{Log}(d) + K_f \text{Log}(f_c) - 9 \log(b) \quad dB$$

Con h_r como la altura promedio de los edificios, W el ancho de las calles, b la distancia entre edificios, L_φ es la pérdida debido al ángulo incidente con la calle y L_{BS2B} que es el factor de pérdida debido a la diferencia entre la BS y la altura promedio de los edificios.

Cuando se utiliza el modelo *Walfisch-Bertoni* para la estimación del comportamiento del canal de enlace con frecuencias entre 300 y 3000 MHz, se prevé que la altura de la estación base (BS) está entre 4 y 50 m, la altura del equipo de usuario (UE) está entre 1 y 3 m y la distancia entre la estación base y el usuario oscila entre 200 m y 5 Km [75], la fórmula para estimar el enlace es:

$$L_{Total} = L_B + L_{EX} \quad dB$$

Donde L_B es la pérdida en espacio libre, de acuerdo a:

$$L_B = 32,4 + 20 \text{Log}(f) + 20 \text{Log}(d) \quad dB$$

Y L_{ex} es la pérdida de la señal por difracción entre edificios, dada por:

$$L_{TEX} = 57,1 + A + \text{Log}(f) + 18 \left[\text{Log} \left(\frac{d - \frac{b}{2}}{\Delta h_t} \right) - \text{Log} \left(1 - \frac{(d - \frac{b}{2})^2}{\Delta h_t} \right) \right] \quad dB$$

Y donde A está dada por: $A = 5 \text{Log} \left(\frac{b^2}{2} + \Delta h_R^2 \right) - 9 \text{Log}(b) + 20 \text{Log} \left[\text{tag}^{-1} \left(\frac{2\Delta h_R}{b} \right) \right]$

Donde b es el ancho promedio entre edificios, h_R la altura promedio de los edificios, h_t y h_r la altura de las antenas transmisoras y receptoras, $\Delta h_R = h_R - h_r$ y $\Delta h_t = h_t - h_r$.

Para determinar la cantidad máxima de usuarios que soporta, esto depende de la modulación del equipo. Las bandas de frecuencia del enlace DL y UL. El ancho de banda asociado. El presupuesto del enlace (*Link Budget*) [76]. La capacidad del canal y la calidad de servicio (QoS).

El presupuesto de enlace en las comunicaciones inalámbricas de 4G se realiza de manera dinámica, se halla para estar seguros que el nivel del sistema es el más apropiado, o sea que la relación entre la señal recibida y la sensibilidad del receptor está entre los rangos generales de atenuación que comprende valores entre 20 y 30 dBs. Es necesario se tenga en cuenta las ganancias y pérdidas del transmisor hasta el receptor. El radio máximo de la zona de Fresnel, la pérdida en espacio libre (FSL) y el margen de la potencia isotrópica del emisor y del receptor.

El radio máximo de la primera zona de Fresnel se halla por medio de la siguiente ecuación:

$$r = 17.32 * \sqrt{((d_1 * d_2)/(d * f))}$$

Donde r es el radio de la primera zona de Fresnel (m), d_1 es la distancia de la antena 1 al obstáculo (Km), d_2 es la distancia de la antena 2 al obstáculo (Km), d es la distancia entre antenas (Km) y f es la frecuencia de transmisión de las antenas (MHz).

El cálculo de la pérdida en espacio libre se halla a través de la siguiente fórmula:

$$FSL_{dB} = 20 \text{Log} (d) + 20 \text{Log} (f) + k$$

Donde k es una constante que depende de las unidades en las que se da la distancia y la frecuencia, entonces:

Si d está en m y f en Hz , $k = -187.5$; Si d está en Km y f en GHz , $k = 92.4$; Si d está en Km y f en MHz , $k = 32.45$

El margen de la potencia isotrópica del transmisor se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$PIRE_{dBm} = Pt_{dBm} - Acc_{dB} + Gant_{dBi}$$

Donde Pt_{dBm} es la potencia del emisor, Acc_{dB} es la atenuación en cables y conectores y $Gant_{dBi}$ es la ganancia de la antena.

El margen de la potencia del receptor está dada por la ecuación siguiente:

$$M_{dB} = Pt_{dBm} - Acc1_{dB} + Gant1_{dBi} - FSL_{dB} + Gant2_{dBi} - Acc2_{dB} - Pr_{dBm}$$

Donde M_{dB} es el margen de la potencia de recepción y Pr_{dBm} es la sensibilidad del receptor.

En el diseño del eNodeB para la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, es necesario dar cumplimiento a las cinco especificaciones de las redes de nueva generación (NGN), entonces para satisfacer la especificación de la Clase de servicio (CoS) es necesario que los equipos a implementar dispongan de *códecs* de fuente que permitan optimizar el ancho de banda y aumentar el número de conexiones simultáneamente. En la tabla 16 se enumeran los principales *códecs* que debe tener los equipos que se implementan en un nodo de acceso inalámbrico 4G.

Tabla 16. Relación de *códecs* de fuente para equipos 4G.

Códecs	Descripción	Bit Rate (kbps)	Sampling Rate (KHz)	Frame Size (ms)
H.264	Códec Adaptativo Multi-Rate de banda ancha (AMR-WB)	56-350	22	30
G.711	Modulación por codificación de pulsos (PCM)	56-64	8	Muestreada
G.711.1	Modulación por codificación de pulsos (PCM)	80-96	8	Muestreada
G-722	Modulación adaptativa diferencial por codificación de pulsos (ADPCM)	64	16	Muestreada
G.722.1	Modulación adaptativa diferencial por codificación de pulsos (ADPCM)	24-32	16	20
G.722.2	Códec Adaptativo Multi-Rate de banda ancha (AMR-WB)	23.8-6.6	16	20
G.723.1	Codificación de predicción lineal (LPC)	6.3-5.3	8	30
G.726	Modulación adaptativa diferencial por codificación de pulsos (ADPCM)	16-24-32-40	8	Muestreada
G.729	Conjugado de estructura algebraica con excitación por código de predicción lineal (CS-ACELP)	8	8	10
G.729.1	Conjugado de estructura algebraica con excitación por código de predicción lineal (CS-ACELP)	8	13.3	30

Para los *códecs* de fuente el ítem de Bit Rate hace referencia a la cantidad de información que se envía por segundo, el Sampling Rate la frecuencia de muestreo de la señal y el Frame Size indica el intervalo con que se envía un paquete con la información sonora.

Los equipos LTE-Advanced para cumplir la especificación de Confiabilidad deben disponer de los *códecs* de canal para la corrección de errores lineales como los Turbo Códigos Convolutacional (CTC, *Convolutional Turbo Codes*) y los códigos de paridad de baja densidad (LDPC, *Low Density Parity Check*). Para la Disponibilidad se requiere que los equipos dispongan de módems y multiplexores tipo OFDMA para el canal descendente, módems y multiplexores SCFDMA para el canal ascendente.

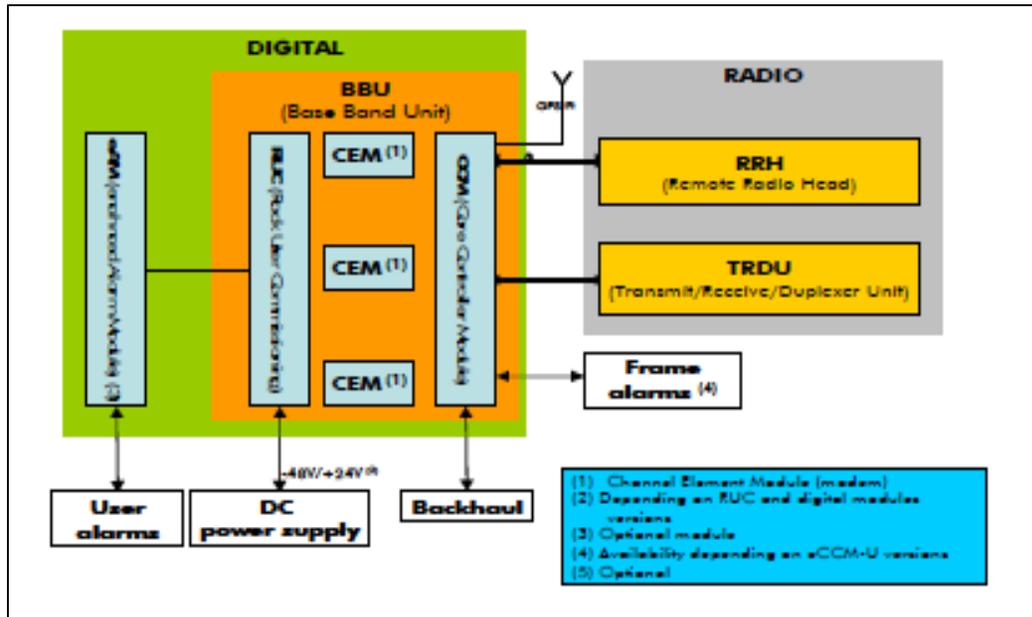
A continuación se plantean tres posibles configuraciones de red de acceso inalámbrico con tecnología 4G para redes de nueva generación, de acuerdo con los diferentes proveedores de equipos y desarrolladores de soluciones para las redes inalámbricas de cuarta generación. Cada uno de estos escenarios tiene parámetros sensibles en cuanto a la cobertura y capacidad de la red y los servicios que se pueden ofrecer cumpliendo con los requerimientos internacionales y basados en la normatividad legal nacional.

4.3.1 MODELO PARA EL DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON EQUIPOS ALCATEL – LUCENT.

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, para el diseño por integración e implementación del eNodeB, se toma como referencia es la unidad de nodo Alcatel – Lucent 9926, es una unidad compacta de alta capacidad y se compone de una unidad de banda base (BBU) que se puede desplegar en arquitecturas con módulos de radio integrado o distribuidas como el caso de las unidades de radio remoto, *Remote Radio Unit* (RRU), proporciona una solución fiable para el uso a través de múltiples tecnologías de acceso inalámbrico, la figura 27 describe los elementos que permiten la conectividad e implementación del eNodeB de Alcatel-Lucent 9926.

El eNodeB 9926 dispone de una capacidad hasta tres veces más que las tecnologías anteriores, está diseñada para reducir la congestión, es compatible con los modos de duplexación TDD y FDD, soporta hasta 24 células por unidad, posee agregación flexible de portadoras e integración de las RRU con esquema MIMO de 4x4 y 8x8, el rango de frecuencias está entre 450 MHz hasta 2,6 GHz, con anchos de banda de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. Rendimiento pico con tasa de 315 Mbps para DL y 156 Mbps para el enlace UL. El número máximo de UE por nodo es de 16.000 en modo conectado y con bajo consumo de potencia.

Figura 27. Arquitectura de la BBU Alcatel y su entorno.



Fuente: Data sheet Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNodeB.

Con el diseño de un sistema de acceso LTE-Advanced la disponibilidad de la red se ve optimizada por el uso de modulaciones complejas como QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM y 256QAM y técnicas de acceso OFDMA que alcanzan mejores anchos de banda y transmisión de la señal bajo múltiples subportadoras ortogonales. La disponibilidad de la red en gran medida se ve condicionada por el procesamiento de la señal y se basa en valores de la tasa de error de bit (BER) y la relación de señal a ruido (SNR) reflejada en su capacidad, *Release* versión 12.

La tasa de error de bit (BER) nos indica el número de bits erróneos recibidos durante una transmisión de una trama de datos causados por el ruido y la interferencia, la medida del BER está dada por:

$$BER = \frac{\text{Número de bits errados}}{\text{Número de bits transmitidos}}$$

De igual manera la relación señal a ruido (SNR) nos permite comparar los niveles de potencia de la señal transmitida con los niveles de ruido, las unidades de medida se dan decibelios (dB) y generalmente está dada por:

$$SNR = 10 \log_{10} * \left(\frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}} \right) dB$$

Los dos parámetros anteriores están relacionados con el tipo de modulación, el tipo de canal, la tasa de codificación, los esquemas de antenas múltiples que optimizan el sistema reduciendo la interferencia intersímbolos, mejorando la corrección de errores y la eficiencia computacional usando técnicas como la transformada de Fourier. En sistemas LTE-Advanced el uso de técnicas MIMO y de códigos espacio temporales aumentan considerablemente la capacidad y fiabilidad del sistema logrando bajos niveles de probabilidad de error de bits, la modulación adaptativa permite la compensación del sistema garantizando su estabilidad y a medida que aumente el valor de la relación señal a ruido del canal se puede transmitir mayor cantidad de bits por símbolo que refleja un aumento en la velocidad de transmisión del sistema.

Para el canal descendente la SNR es muy importante para la modulación adaptativa y la codificación, porque con una mayor SNR se ofrece una mayor velocidad de los datos con modulaciones de orden superior y que se presenta cuando se está más cerca al eNodeB y en los bordes de la celda el nivel de SNR es bajo. El UE calcula el SNR de acuerdo con la ganancia del canal en un momento t y le reporta al eNodeB, se halla a través de la siguiente fórmula:

$$SNR_{i,j}(T) = \frac{P_{Total} * C_{Gain\ i,j}(t)}{N(N_o + 1)}$$

Donde P_{Total} es la potencia total del eNodeB, $C_{Gain\ i,j}(t)$ es la ganancia del canal en un tiempo t , dada por $C_{Gain\ i,j}(t) = 10^{\frac{Path\ Loss}{10}}$, N corresponde al bloque de recursos disponibles asignados y N_o es la medida del ruido térmico.

La confiabilidad se relaciona con la codificación de canal con codificación turbo con velocidades de 1/3 complementada por la solicitud de repetición automática (ARQ) para resolver los problemas de decodificación en el receptor (Recomendación UIT-R M.2012-2). La codificación de canal ayuda a la detección y corrección de errores, de esta manera se obtiene una buena fiabilidad e integridad de la información que llega a su destino, en la redes NGN se deben garantizar esquemas de codificación avanzados [77], como la codificación turbo convolucional (CTC), la codificación con código turbo de bloque (BTC) y la codificación con verificación de paridad de baja densidad (LDPC) [78], ofreciendo enlaces más robustos con altas prestaciones (recomendación UIT-R M1801.2). Cada codificador está representado por matrices de conexiones de la forma:

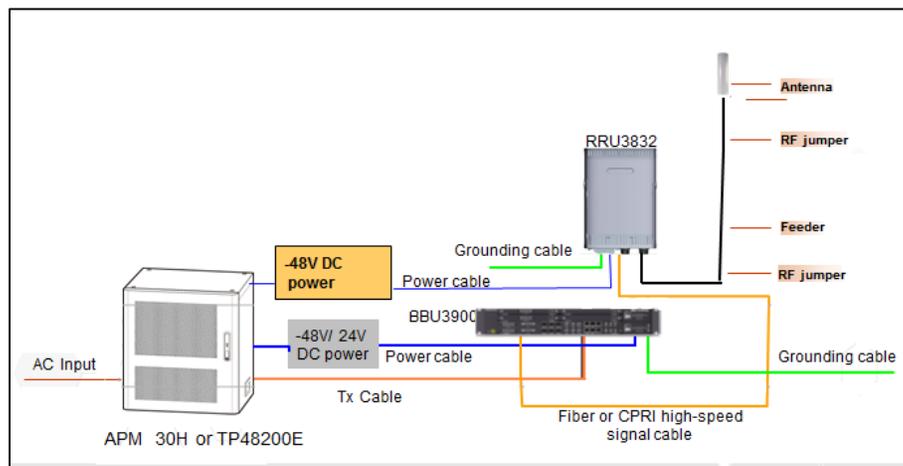
$$G(D) = \left[1 + \frac{g_1(D)}{g_0(D)} \right], \text{ Dónde } g_0(D) = 1 + D^2 + D^3 \text{ y } g_1(D) = 1 + D + D^3$$

La codificación con códigos de paridad de baja densidad se hace por bloques y se representa a través de matrices de chequeo de paridad H ($m \times n$) [77].

4.3.2 MODELO PARA EL DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON EQUIPOS HUAWEI.

Para este caso se ha seleccionado el eNodeB DBS 3900, es un nodo de cuarta generación, está compuesto por la unidad banda base (BBU) y la unidad de radio remoto (RRU 3832), un esquema de antenas y un sistema de alimentación, como se observa en la figura 28. La unidad de procesamiento BBU es la encargada de la transferencia de señales entre el EPC y las unidades de radio, realiza funciones de gestión de recursos de radio (RRM) como gestión de interfaz aérea, control de acceso, movilidad y asignación de recursos de usuario.

Figura 28. Arquitectura de la BBU 3900 de Huawei y su entorno.



Fuente: Data sheet Huawei eNodeB DBS3900.

La DBS 3900 soporta hasta 9 células, con un rendimiento máximo por célula (20 MHz), para el enlace DL máximo 78 Mbps con 64QAM y para el enlace UL máximo 18 Mbps con 16 QAM. El eNodeB tiene un rendimiento pico de 450 Mbps para DL y de 300 Mbps para el enlace UL, el número máximo de UE por nodo es de 5400 en modo conectado.

La unidad de radio remoto (RRU 3832) tiene un esquema de 8x8 que trabaja en la frecuencia de 1.4 GHz con un ancho de banda de 20 MHz, (1.447 a 1.467 MHz), debe ser instalada cerca de la antena para disminuir las pérdidas. La antena con ganancia entre 17 y 18 dBi, que trabaja en un rango de frecuencia de 1710 a 2200 MHz, con polarización + 45° y - 45°, con aislamiento entre puertos ≥ 30 dB.

Las características avanzadas de la DBS 3900 de Huawei se orientan a llamadas en espera, llamada con prioridad, agrupación dinámica y modo de retorno, con un tiempo de establecimiento de llamada de grupo menor a 300 ms y menor a 150 ms para la llamada con prioridad.

En este caso donde la clase de servicio (CoS) que ofrece una red de acceso inalámbrico 4G es muy importante debido a la pérdida frecuente de ráfagas de datos por la radiodifusión y donde el sistema debe informar a sus usuarios a través de la banda o a través de la señalización fuera de banda. Las redes NGN 4G disponen de un conjunto de opciones como velocidad variable en tiempo real, la concesión de servicios no solicitados y la supresión de silencios que permite garantizar excelente calidad de servicio, tolerancia máxima al retardo y prioridad de tráfico de la información (Recomendación UIT- R M 1801-2).

La clase de servicio (CoS) permite gestionar el tráfico y junto con la calidad de servicio (QoS) facilitan crear perfiles de tráfico en la red administrando prioridades. La CoS es la clasificación del tráfico en la capa 2 a través de la clase de bit de servicio, este no ofrece garantías en el ancho de banda. Existen tres tecnologías de CoS: 802.1q capa 2 Tagging, Tipo de servicio (ToS) y servicios diferenciados (DiffServ). La norma IEEE 802.1p define el método para etiquetar paquetes en el nivel de enlace de datos y IEEE 802.1q provee el método para la identificación de tráfico entrante en la capa 2. El DiffServ implica una reserva de recursos para el flujo de información del usuario y otro para el mantenimiento de red, se basa en el protocolo RSVP, (Recomendaciones RFC 1633, RFC 2597 y RFC 259).

En las redes NGN la recuperación de los servicios es muy importante por ello la resiliencia debe ser clara y operar para cada aplicación, en la red se debe disponer de un servicio con capacidad de recuperación de aplicaciones (ASR) especialmente en el plano de transporte de red y en el plano de control, asegurando una disponibilidad y confiabilidad del 99,999% para el servicio de aplicaciones y de acuerdo con las especificaciones de los *códex* que se ofrecen para las diversas clases de servicios (Recomendación UIT-T Y1541).

Una red con alto grado de confiabilidad se caracteriza por tener una excelente resiliencia, una tolerancia a fallos, buena redundancia y diversidad en todos los aspectos de red, aplicaciones y servicios (Recomendaciones UIT-T G.8031/Y1342 y UIT-T G8032/Y1344). La solución de múltiples antenas como en estos casos, se tiene 8 antenas para el canal descendente y 4 para el canal ascendente y la coordinación multipunto para transmisión y recepción (CoMP), permiten mejorar las prestaciones de confiabilidad y disponibilidad del enlace tanto en el extremo de la célula como desde diferentes células [65].

4.3.3 MODELO PARA EL DISEÑO DE LA RED DE ACCESO CON EQUIPOS ERICSSON.

Para este caso, se toma como equipo de referencia la RBS 6601 de Ericsson, consta de una unidad principal y varias unidades de radio remotas (RRU) que se diseñaron para ubicarlas cerca de las unidades de antenas, además se incluye un sistema de baterías de respaldo, como se observa en la figura 29. Es una unidad de banda base con radios externos, optimizada para ofrecer un alto rendimiento en la planeación efectiva de los diferentes nodos o red de acceso. Facilita la conectividad IP completa, tiene una interface Gigabit para la red de transporte y una red backhaul con encriptación para el tráfico de portadoras y para el plano de control.

Figura 29. Componentes del nodo RBS 6601 de Ericsson.



Fuente: Data sheet Ericsson eNodeB series RBS 6000.

La estación base de Ericsson RBS 6601 soporta hasta 12 unidades de radio remoto (RRU), es compatible con tecnologías existentes, se apoyan en diversas tecnologías de radio, la unidad digital contiene la banda base, el control y la conmutación, apoya la mezcla de tráfico variable en el tiempo sobre la interface de alta velocidad. La estación base tiene un pico de rendimiento de 173 Mbps para el enlace DL y 56 Mbps para el canal UL, con una capacidad máxima de usuarios de 1000 y es compatible con otras tecnologías. Trabaja en la banda de los 800 MHz, con ancho de banda de 5, 10 y 20 MHz. Soporte esquema de antenas MIMO 2x2 y apoyo remoto eléctrico Tilt (RET).

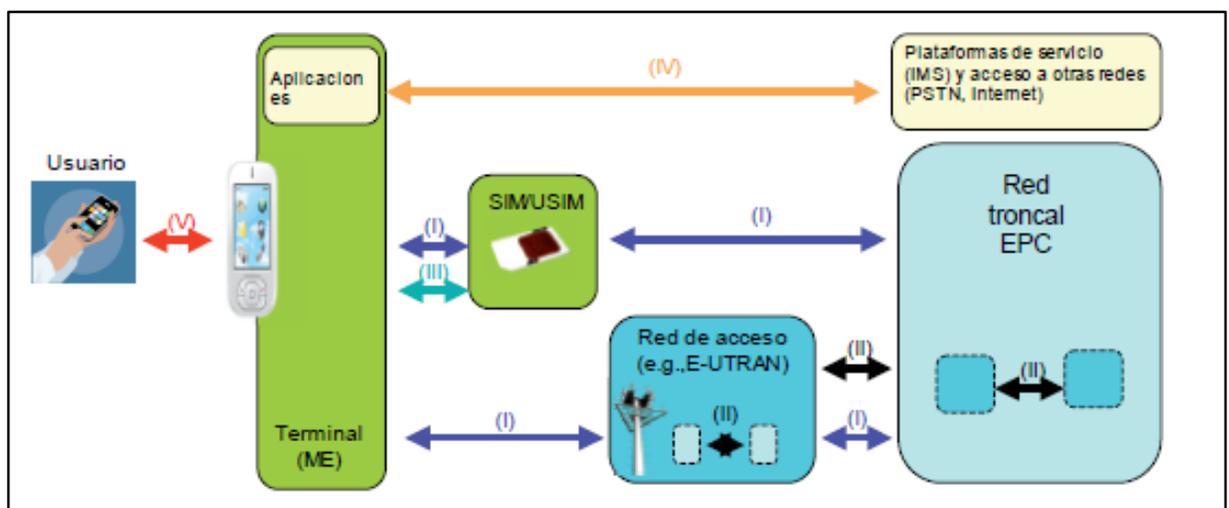
La unidad remota de radio puede trabajar simultáneamente en los dos estándares, la potencia media de salida es constante en los 60 Watts manejando alta capacidad y amplia cobertura. Las configuraciones duales de grupo se apoyan en la unión de

las unidades RRUS y RRUW para trabajar bandas de frecuencia diferente para la misma unidad principal. Las unidades de radio remoto pueden ser conectadas en cascada y son conectadas a la unidad banda base a través de cables de fibra óptica.

En las redes de nueva generación (NGN), la seguridad tiene un rol importante por políticas de seguridad de la información y de la red, la gestión de la privacidad y claves de extremo a extremo dentro del canal de comunicación, representadas en las recomendaciones UIT-T X.800 que referencian el marco de seguridad en la capa de red, las recomendaciones UIT- R X-509 y las normas NTC - ISO 27001, donde se indica el modo de gestionar la seguridad de la información dentro de una organización, las normas para la gestión de servicios informáticos (ITIL) y las normas para el control de la información y tecnologías relacionadas (COBIT) ofreciendo integridad, disponibilidad y confidencialidad de la información.

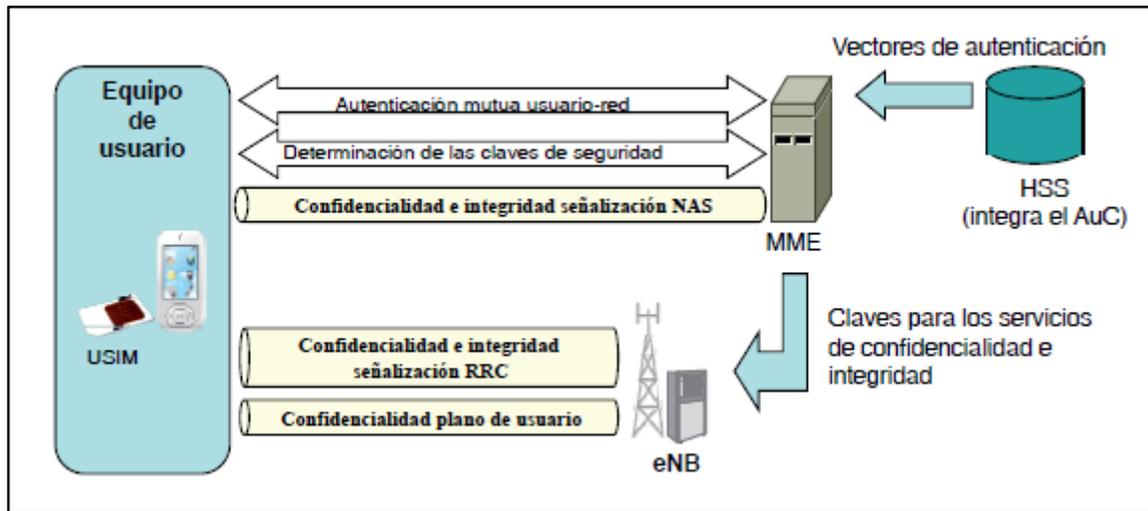
La arquitectura de seguridad en la red *LTE-Advanced* se presenta en cada uno de los entornos como es el caso en el dominio de la red, en el equipo del usuario, en las aplicaciones y servicios y, por ende en el dominio de acceso a la red [67]. En el dominio de la red la pasarela de seguridad del sistema de señalización S7 (SS7) se da de acuerdo con la especificación 3GPP TS 2904 y dentro de las interfaces entre eNodeB, los usuarios y equipos de la red troncal, documento 3GPP TS 33.210 donde se establecen mecanismos para la transferencia de información entre equipos de la misma red o de redes diferentes. En el dominio del usuario es necesario basarse en la especificación 3GPP TS 31.102 donde se dan los parámetros de seguridad entre el equipo, la SIM y el sistema. La figura 30 muestra la arquitectura de seguridad de los sistemas 3GPP para los sistemas de comunicaciones LTE y siguientes.

Figura 30. Dominios de seguridad (3GPP TS 33.401) [67].



Los mecanismos de seguridad en el acceso a la red incluyen mecanismos de autenticación entre el usuario y la red, determinación de claves secretas, servicios de confidencialidad e integridad para la transferencia de la información y señalización en cuanto a protocolos NAS y RRC entre el equipo, el eNodeB y la red troncal EPC. La figura 31 muestra los componentes fundamentales para la seguridad en el dominio de acceso a la red.

Figura 31. Componentes de seguridad de acceso a la red [67].



La arquitectura de seguridad implementa entidades lógicas de gestión, de encriptación e integridad de la información y que facilitan diferentes servicios de seguridad como autenticación, control de acceso, confidencialidad, integridad y el no repudio.

El estándar X-509 define el marco para proveer los servicios de autenticación y directorios que sirve como depósitos de certificados y protocolos de autenticación. El estándar que permite una seguridad de extremo a extremo de la red se basa en el uso de la criptografía de clave pública y firmas digitales para ofrecer la confiabilidad e integridad de la información en las capas 2, 3 y 4 de la red [23].

4.4 VALIDACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA 4G.

Para el diseño por integración de la red de acceso 4G de acuerdo con las especificaciones y normatividad de las redes de nueva generación, se basó teniendo en cuenta el modelo de guía diseñada, el instrumento de verificación del diseño que se desarrolla en este documento y el estudio de varios proveedores, una vez aplicadas las respectivas encuestas a personal encargado del diseño de redes

y proyectos de ampliación de nodos de acceso en la infraestructura de las telecomunicaciones de varios operadores que prestan sus servicios actualmente en el país.

Las respuestas de cada uno de los entrevistados, se mide en la objetividad de la importancia que tiene el modelo de guía junto con su instrumento de validación en el diseño por integración de la red de acceso, cada una de las preguntas se tabulan no tanto para ver la parte cuantitativa sino para recalcar el porqué es importante disponer de un instrumento guía como base en la implementación de nodos de acceso en las redes de nueva generación NGN.

A continuación se detalla cada una de las preguntas de la encuesta con sus respectivos gráficos y respuestas concluyentes en cada uno de sus ítems, la tabulación de cada pregunta se relaciona en el anexo 2.

Para la pregunta 1 el nivel de importancia para implementar las redes de nueva generación, es muy alto permitiendo mejorar el desarrollo tecnológico y social motivado en el compartir tecnológico entre operadores, alcanzar mejores velocidades y certificarnos como proveedores IMS.

En la pregunta 2 la importancia de conocer la normatividad de redes de nueva generación para la prestación de los servicios IP multimedia convergentes sobre redes heterogéneas fijas e inalámbricas como se hace en la actualidad, es necesario para poder incorporar los diferentes servicios en una misma red.

La pregunta 3 en la cual se indica si la prestación de los servicios de telecomunicaciones con el diseño y puesta en funcionamiento de las redes de nueva generación ha mejorado, se concluye que ha sido una mejor experiencia para el usuario, con redes troncales IP más versátiles y mejores alternativas de servicio.

Para la pregunta 4 donde se expresa que es necesario conocer la normatividad NGN y sus especificaciones para el diseño e implementación de redes de telecomunicaciones en un territorio específico, la mayoría afirma que si es importante porque los estándares y normatividad aseguran la calidad en la prestación de los servicios, facilitando la integración y conectividad.

Para la pregunta 5 en la que la estructura y funcionamiento de las redes de acceso NGN son fundamentales para implementar un sistema de telecomunicaciones con tecnología 4G, los encuestados afirman que es necesario porque permite mejores velocidades, es un estándar para este tipo de redes y facilita la convergencia entre redes.

En la pregunta 6 donde la relevancia que se le da a las especificaciones NGN: Class of Service (CoS) y a la Resiliencia para el diseño e implementación de una red de telecomunicaciones con tecnología 4G, la mayoría de respuestas apuntan a que es

fundamental en los servicios convergentes garantizando la disponibilidad del servicio.

En la pregunta 7 que hace referencia a las especificaciones NGN de Confiabilidad y Disponibilidad de la red y de la información son especificaciones fundamentales al momento de implementar un sistema de telecomunicaciones, se determina que son obligatorias en una red NGN y que se requieren para garantizar niveles de satisfacción, eficiencia y confiabilidad del sistema.

Para la pregunta 8 el nivel de seguridad de la especificación NGN de extremo a extremo que debe tener al momento de diseñar una red, es muy alto porque se debe garantizar la confiabilidad y seguridad de la información en todo momento.

En la pregunta 9 donde se recomienda tener una guía estructurada como ayuda para asegurar la integración de la totalidad de las normas, especificaciones y equipos que soportan el buen funcionamiento de una red NGN, la mayoría de los encuestados hace referencia a la importancia de disponer de una guía o proceso para garantizar el correcto y eficiente funcionamiento del sistema que se está implementando.

Para la pregunta 10 en la cual se pone a consideración la funcionalidad del instrumento de verificación propuesto para la validación del diseño por integración, al momento de implementar una red de acceso NGN con tecnología 4G, es deseable tener un listado de chequeo del software y hardware con sus especificaciones para integrar una red de acceso 4G o una red de transporte OTN, lo mismo para integrar todos los componentes HW-SW de un punto de presencia IMS para dar acceso a los usuarios, a las aplicaciones y garantizar que se cumplan con los estándares mínimos y validar cualquier implementación.

Para la pregunta 11 donde la aplicación del Check List del instrumento de validación de la guía para el diseño por integración de la red de acceso 4G, se cumplen los parámetros y especificaciones de las redes de nueva generación, se considera que es muy importante porque se puede verificar el cumplimiento de la normatividad y estándares vigentes.

Para las preguntas 12 y 13 los casos de estudio no fueron analizados por los entrevistados, razón por la cual no hay observaciones ni se tabularon los resultados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El planteamiento, desarrollo y terminación del proyecto ha permitido alcanzar los objetivos propuestos para generar una guía que facilite y verifique el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico para la telefonía celular con tecnología 4G en las redes de nueva generación, lo cual se puede concluir y hacer algunas recomendaciones para trabajos futuros.

5.1. CONCLUSIONES.

La evolución de la telefonía celular en su red de acceso inalámbrico, ha proyectado mejorar la cobertura y disponibilidad de la red, optimizar y conservar una buena calidad del servicio, reducir costos y aumentar aplicaciones y servicios, todo esto basados en el conocimiento e integración de equipos y tecnologías disponibles en el mercado, alcanzando un diseño del nodo de acceso inalámbrico con los más altos estándares de calidad.

En el diseño de la red de acceso inalámbrico con tecnología 4G, las especificaciones NGN que se deben tener en cuenta al momento de su implementación son aquellos que generen seguridad de la información, disponibilidad de canal de comunicación, resiliencia de red, respuesta en tiempo real y confiabilidad de los datos, protocolos como el *Diameter*, IPv6, RSVP, RTP y el SIP que es fundamental en redes de nueva generación y en redes todo IP.

La disponibilidad de una red de transporte en las redes de comunicaciones que permita un alto flujo de información a altas velocidades con un buen ancho de banda, se debe a la utilización de nuevas tecnologías de multiplexación de la información como WDM y MPLS, medios de transmisión como la fibra óptica, técnicas de modulación de datos como 64QAM, 256QAM y QPSK, aspectos que optimizan la disponibilidad y el *throughput* de red, generando un entorno óptimo para el despliegue de nuevas redes de telecomunicaciones.

El despliegue de la tecnología celular 4G se justifica en medida al aumento de aplicaciones, servicios y número de usuarios, que cada día exigen más velocidad de transmisión y recepción de información, mejores canales de comunicación con altos anchos de banda, disponibilidad y seguridad en la red, por eso es importante cumplir con las especificaciones y características de las redes de nueva generación con tecnología 4G, basados en los estándares internacionales y la normatividad legal vigente.

La tecnología LTE-Advanced en las redes inalámbricas de acceso que se implementan de acuerdo con las especificaciones de las redes de nueva generación, permiten alcanzar velocidades de transferencia de información en el enlace DL hasta 1,2 Gbps y en el enlace UL hasta 500 Mbps con un ancho de banda de 100 MHz y tiempos de retardo demasiado pequeños, condiciones óptimas para que usuarios accedan a contenidos e interactúen con aplicaciones en tiempo real y en cualquier momento o lugar.

El proceso y procedimiento para el diseño por integración de la red de acceso LTE-Advanced, debe ser estricto en su cumplimiento y de acuerdo con el instrumento recomendado en este trabajo, puesto que dejar o pasar por alto uno de estos ítems conlleva a implementar nodos de acceso con baja calidad y prestaciones, además no facilitará la convergencia e integridad de tecnologías, equipos, servicios y redes de comunicaciones de nueva generación.

La guía para el diseño por integración que se generó, permite a los proveedores, diseñadores, asesores e integradores de soluciones en redes de acceso inalámbrico con tecnología 4G, tener los parámetros, normas y recomendaciones necesarios para la expansión de la infraestructura de red de acceso existente con tecnologías de tercera generación en las comunicaciones digitales celulares.

La guía y su instrumento de control proyectada en el documento aseguran un buen diseño por integración de la red de acceso inalámbrico, de acuerdo con los comentarios y observaciones dadas por los entrevistados y que permiten asegurar el cumplimiento de la normatividad, los estándares y especificaciones de las redes de nueva generación, garantizando un nivel de satisfacción, eficiencia y confiabilidad del sistema.

5.2. RECOMENDACIONES.

Realizar un estudio investigativo de las medidas de la seguridad de las redes inalámbricas con tecnologías 4G y su impacto en la evolución hacia las redes de acceso inalámbrico 5G, teniendo como base las especificaciones de las redes de nueva generación (NGN).

Efectuar un estudio de la interferencia entre celdas cuando existen diferentes tecnologías de telefonía celular en un área determinada, incluyendo aspectos como latencia, tasa de descarga de datos, varianza de la latencia y pérdida de paquetes como estrategia para medir la calidad de servicio, la cobertura, disponibilidad, resiliencia y seguridad de la red de extremo a extremo.

Formalizar un estudio de investigación sobre el estándar IEEE 802.16 como alternativa para el diseño e implementación de este tipo de redes en el territorio Colombiano y en especial en la parte rural, donde el número de usuarios es limitado y la zona de cobertura es muy amplia.

Ampliar propuestas de optimización de redes de acceso inalámbrico regidos por la normatividad nacional y de acuerdo con los estándares internacionales que emiten los organismos encargados de la regulación de las telecomunicaciones, a través de herramientas de software para emular diseños que funcionen en la práctica sin traumatismo alguno.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Presidencia de la República de Colombia, «Alcaldía de Bogotá,» 01 Junio 1998. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/>. [Último acceso: 18 de abril 2014].
- [2] Lehpamer, Harvey. «Transmission Systems Design Handbook for Wireless Networks», Norwood, Estados Unidos de América: Artech House, INC, 2002.
- [3] 4G Américas, «4G Américas,» 4G Américas.org, [En línea]. Available: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=405>. [Último acceso: 23 de marzo 2014].
- [4] García, Javier Rodrigo y Morales S. Gregorio, «Instalaciones de radiocomunicaciones», Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A., 2012.
- [5] Adb-Elhamid Tala, Abu Najah y Hassanein Hossen S. «LTE, LTE-Advanced and WiMax. », Reino Unido: John Wiley & Son Ltd., 2011.
- [6] UIT-T, «Recomendación UIT-T Y.2001. Visión general de las redes de próxima generación,» Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Suiza, Diciembre de 2004.
- [7] Cooper M. Gary y Rothemberg Esteve C., «Arquitectura orientada al servicio en el ámbito de las redes de próxima generación,» Centro de investigación de las telecomunicaciones, CINTEL, Bogotá, 2008.
- [8] UIT-T, «Recomendación UIT-T Y.2011 Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación.,» Unión Internacional de las Telecomunicaciones, UIT., Suiza, Octubre de 2004.
- [9] UIT-T, «Recomendación UIT-T M.3010 Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones.», Unión Internacional de las Telecomunicaciones, UIT, Suiza, Febrero de 2000.
- [10] Cardona Narcis, Olmos J. José, García Mario & Monserrat J. Fernando. «3GPP LTE: Hacia la 4G móvil.», Barcelona, España.: Marcombo Boixareu, Editores, 2011.
- [11] Carreño G. Johany A, «NGN y su relación con el posicionamiento de los negocios,» RCT, Revista Colombiana de Telecomunicaciones, vol. 17, nº 56, pp. 18 - 25, 2010.

- [12] Poikselka Miika y Mayer Georg, «The IMS: IP Multimedia concepts and services», Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [13] Chakraborty Shyam, Grankilla Tomas, Peissa Jane y Sinnergreen Per, «IMS Multimedia Telephony over Cellular Systems», Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd., 2007.
- [14] Knightsen Keith y Morita Naotaka, «NGN Architecture: Generic Principles, Functional Architecture and Implementation» IEEE Communications Magazine, vol. 43, nº 10, pp. 49 - 56, Agosto, 2005.
- [15] Caballero J. Manuel y Artigas C. J. Manuel, «Redes de Banda Ancha», Barcelona, España: Marcombo, 1997.
- [16] Handley Mark y Jacobson Van, «RFC 2723. SDP: Session Description Protocol.» IETF.ORG, Estados Unidos, 1998.
- [17] Handley Mark, Perkins Coolin y Jacobson Van, «RFC 4566. SDP: Session description protocol» IETF. ORG, Julio 2006.
- [18] Pujolle Guy, «Management, Control and Evolution of IP Network», Newport Beach, USA: ISTE Ltd & Lavoisier, 2007.
- [19] Calhoun Pat, Loughney J, Guttman E. Zorn y Arkko J, «RFC 3588. Diameter Base Protocol.» IETF.ORG, 2003.
- [20] Barceló O. José M, Iñigo G. Jordi y Llorente Silvia, «Protocolos y aplicaciones Internet. », Barcelona, España: Editorial OUC, 2008.
- [21] Huidobro J. Manuel y Conesa P. Rafael, «Sistemas de Telefonía. », Madrid, España: Thomson, Paraninfo. 5a Edición, 2006.
- [22] Caballar José Antonio, VOIP: «La Telefonía en Internet. », Madrid, España: Paraninfo., 2007.
- [23] Stallings William, «Fundamentos en Seguridad en Redes. Aplicaciones y Estándares. », 2004: Pearson, Prentice Hall. 2a. Edición., Madrid, España.
- [24] Braden R. Bod, Zhan Lixia, Berson Steve, Herzog Shai y Jamin Sugih, «RFC 2205. Resource ReServation Protocol (RSVP) » IEEE Network, September 1997.

- [25] Voinea Jorge Ghe, «Redes de Comunicaciones. Administración y Gestión. », Almería, España: FYRED, Radiocomunicaciones., 2012.
- [26] Deering Stephen y Hinden Robert M, «RFC 2460. Internet Protocol, Versión 6 (IPV6) Specification» IETF.ORG, Diciembre, 1998.
- [27] Tanenbaum Andrew S, «Redes de Computadores. », México, México.: Pearson, Educación. Cuarta Edición., 2003.
- [28] Davidson Jonathan, James Peter, Bathia Manoj, Kalidinki Satish y Mukherjee Sudipto, «Fundamentos de VOIP. », Sao Pablo, Brasil: Bookman Companhia, Editores. Segunda Edición., 2008.
- [29] Terry L Anderson, Goves Christian, Pantaleo Marcelo y Taylor Tom, «RFC 3525. Gateway Control Protocol.», IET, GROUP, Junio 2003.
- [30] Taylor Tom, «RFC 5125. Reclasificación de RFC 3525, Control Protocol Versión1.,» Febrero, 2008.
- [31] España Boquera María Carmen, «Servicios Avanzados de Telecomunicaciones. », Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003.
- [32] UIT, «Recomendación UIT-T X.805 Arquitectura de Seguridad para Sistemas de Comunicaciones de Extremo a Extremo.,» Unión Internacional de Telecomunicaciones., Octubre, 2013.
- [33] Huidobro José Manuel y Millán Ramón Jesús, «Redes de Datos y Convergencia IP. », Madrid, España: Creaciones Copy Right, 2007.
- [34] Caballero José Manuel, «Redes de Banda Ancha», Barcelona, España: Marcombo S.A., 1998.
- [35] Campany F. José y Ortge T. Beatriz, «Redes Ópticas», Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2006.
- [36] Herrera P. Enrique, «Introducción a las Telecomunicaciones Modernas. », Balderas 95, México D.F.: Limusa S.A. Grupo Noriega Editores, 2004.
- [37] UIT-T, «Recomendación UIT-T G807/Y1302. Requisitos de la Red de Transporte con Conmutación Automática.,» Unión Internacional de Telecomunicaciones., Julio 2001.

- [38] Wayne Tomasi, «Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. », Naucalpan de Juárez, Estado de México.: Printer Hall. Pearson Educación. Cuarta Edición, 2003.
- [39] Ramírez L. Ramón, «Gestión del Desarrollo de Sistemas de Telecomunicación e Informáticos», Madrid, España.: Paraninfo., 2005.
- [40] Sallent R. oriol, Valenzuela G. José Luis y Comes Ramón Agustí, «Principios de Comunicaciones Móviles. », Barcelona, España.: Universidad Politécnica de Cataluña., 2003.
- [41] Figueiras Aníbal R, «Una Panorámica de las Telecomunicaciones», Madrid, España.: Prentice Hall, Pearson Educación., 2002.
- [42] Herrera P. Enrique, «Tecnologías y Redes de Transmisión de Datos. », Balderas 95, México D.F.: Limusa, Noriega Editores., 2003.
- [43] Huidobro José Manuel, «Redes y Servicios de Telecomunicaciones. », Madrid, España: Thompson, Paraninfo., 2006.
- [44] Méndez Ezequiel R, «Redes Inalámbricas para Zonas Rurales. », Madrid, España.: Graco. Primera Edición, 2008.
- [45] Inalámbricos IEEE-SA Technology and Development, Equipos Inalámbricos., «IEEE 802.11 Red local inalámbrica, también conocido como Wi-Fi. Seguridad en Redes.,» IEEE.ORG, Enero, 1997.
- [46] WIMAX Fórum Org, «wimaxforum.org,» 2001 - 2012. [En línea]. Available: <http://resources.wimaxforum.org/resources/documents/technical/release>. [Último acceso: 5 abril 2015].
- [47] Enríquez Andrés, Hamilton O. Jesús y Taha A. Bazil, «Banda Ancha Inalámbrica: WIMAX. », Madrid, España.: Omnia Science., 2014.
- [48] Marcombo S.A., «Telecomunicaciones Móviles.», Barcelona, España.: Marcombo S.A. Segunda Edición., 1998.
- [49] Black Uyles D, «Redes de Transmisión de Datos y Proceso Distribuido. », Madrid, España.: Díaz de Santos S.A, 1987.
- [50] García. R de A. JJ, «Los Satélites de Comunicaciones.», Barcelona, España.: Marcombo S.A., 1989.

- [51] UIT-T, «Recomendación UIT-T.M.3000. Visión de Conjunto de las Recomendaciones relativas a la RGT» Unión Internacional de las Telecomunicaciones., Febrero, 2000.
- [52] UIT-T, «Recomendación UIT-TM.3400. Supervisión de la calidad de funcionamiento de los sistemas y equipos internacionales de transmisión.,» Unión Internacional de las Telecomunicaciones., Noviembre, 1998.
- [53] Naidu Ellanti Maohar, Scott G. Steven, Raman Lakshmi G y Grover G. Wayne, «Next Generation Transport Networks. Data, Management and Control Plane. », New York, USA. Springer Science + Business Media, Inc, 2005.
- [54] Valenzuela Patricio, «Arquitectura de Sistemas de Comunicaciones Móviles», Santiago de Chile, Chile.: Departamento de ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile., 2009.
- [55] Haykin Simón, «Sistemas de Comunicación. », Madrid, España. Segunda edición, Limusa Wiley, 2002.
- [56] Bateman Andy, «Comunicaciones Digitales. Diseño para el mundo real. », Barcelona, España.: Marcombo, S.A., 1999.
- [57] Chao Lee, «Networking Systems Design and Development, CRC Press », Taylor & Francis Group., 2010.
- [58] Stuber Gordon L, «Principles of Mobile Communication », New York. Springer Science & Business Media, 2013.
- [59] UMTS Fórum Org, «UMTS, Promover la Evolución de la Banda Ancha Móvil.,» UMTS, Forum.org, Zúrich, Suiza., 1996.
- [60] 3GPP the 3rd Generation Partnership Project, «3GPP. TS 2300, Network Architecture»1998.
- [61] Sesia Stefanía, «Toufik Assam y Baker Matthew, LTE the UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice. », Reino Unido.: John Wiley & Sons Ltd, Second Edition, 2011.
- [62] Roebuck Kevin, «3GPP Long Term Evolution: High Impact Technology What You Need to Know. » Emereo Pty Limited., 2011.

- [63] Khan AH, Qadeer MA, Ansari JA y Waheed S, Department of Computation and Engineering, M. Qadeer, J. Ansari y S. Waheed, «4G as a Next Generation Wireless Network,» de International Conference on Future Computer and communication, Kuala Lumpur, 2009.
- [64] Subedi Saurav Kumer, «Fourth Generation of Mobile Communication Systems: Evolution, Objectives, Prospects and Challenges» de First Asian Himalayas Conference on Internet, 2009, Kathmandu, Nepal, November 2009.
- [65] 3GPP the 3rd Generation Partnership Project, «3GPP TR 36.913 Version 10.0.0. Release 10 - ETSI TR 136.913 V10.0.0, » 3GPP, the 3rd Generation Partnership Project, Abril 2011.
- [66] Cox Christopher, «An Introduction to LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. », Reino Unido.: John Wiley & Sons Ltd., 2012.
- [67] Comes Ramón Augusto, «LTE: Nuevas Tendencias en Telecomunicaciones Móviles. », Madrid, España.: Fundación Vodafone., 2010
- [68] Ahmady Sassan, «LE-Advanced. A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Release 10 and 11 Radio Access Technologies. », San Diego, USA: Academia Press, 2014.
- [69] Holma Harry y Toskala Antti, «LTE-Advanced. 3GPP solution for IMT-Advanced. », Reino Unido.: Wiley John & Sons Ltd., 2012.
- [70] Korhonen Juha, «Introduction to 4G Mobile Communication. », Artech House., 2014.
- [71] Rappaport Theodore S, «Wireless Communications. Principles and Practice», Dorling Kindersley, Second Edition, 2009.
- [72] Lee William C.Y, «Wireless and Cellular Telecommunications. », United State. McGraw Hill, Tercera Edición., 2006.
- [73] Khann Farooq, «LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. », Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [74] Mohammad Sharawi, «Evolved Cellular Network Planning and Optimization for UMTS and LTE. », Florida, Boca Ratón: Lingyang Song and Jia Shen. CRC Press, 2010.

- [75] Hernando R. José María, Riera S. José Manuel y Tomás Luis Mendo, «TRANSMISION POR RADIO. », Madrid, España: centro de Estudios Ramón Areces, S.A. séptima Edición, 2013.
- [76] Mohammad Sharawi, «Printer MIMO Antenna Engineering. », Norwood, MA. : Artech House, 2014.
- [77] Faruque Saleh, «Radio Frequency Channel Coding Made Easy. », Grand Ford, ND, USA Springer, 2016.
- [78] Condo Muhammad Awais and Carlo, «Flexible LDPC Decoder Architectures, VLSI Design. », vol. 2012, N° ID 730835, pp. 1 – 16, 2012.
- [79] Huidobro M. José Manuel y Conesa P. Rafael, «Sistemas de Telefonía. », Madrid, España: Thomson - Paraninfo. Quinta Edición., 2006.
- [80] Moreno E. Luis Fernando, «NETWORK PERFORMANCE EVALUATION WITH REAL TIME APPLICATION ENSURING QUALITY OF SERVICE WITH NS2», International Journal of Next-Generation Networks. Vol. 4, nº 3, 2012.
- [81] Huidobro José Manuel, «Sistemas Telemáticos. », Madrid, España. Editorial Thomson, Paraninfo. 3a Edición, 2005.

ANEXO 1.

Encuesta para la determinar la utilidad y pertinencia del documento titulado “Guía para el diseño por integración de la red de acceso inalámbrico de telefonía celular 4G conforme a la normatividad y especificaciones de las redes de nueva generación”.

NOMBRE. _____ **CARGO:** _____

EMPRESA: _____ **CIUDAD:** _____

1. Qué nivel de importancia le da usted a la implementación de redes de nueva generación para las telecomunicaciones en Colombia. ALTO ____ MEDIO ____ BAJO ____ Por qué? _____

2. Conocía la importancia de la normatividad de redes de nueva generación para la prestación de los servicios IP multimedia convergentes sobre redes heterogéneas fijas e inalámbricas como se hace en la actualidad. SI ____ NO ____ Por qué?

3. Ha mejorado la prestación de los servicios de telecomunicaciones con el diseño y puesta en funcionamiento de las redes de nueva generación en el país.

SI ____ NO ____ Por qué? _____

4. Es necesario conocer la normatividad NGN y sus especificaciones para el diseño e implementación de redes de telecomunicaciones en un territorio específico.

SI ____ NO ____ Por qué? _____

5. La estructura y funcionamiento de las redes de acceso NGN son fundamentales para implementar un sistema de telecomunicaciones con tecnología 4G.

SI ____ NO ____ Por qué? _____

6. Qué relevancia le da a las especificaciones NGN: Class of Service (CoS) y a la Resiliencia para el diseño e implementación de una red de telecomunicaciones con tecnología 4G. ALTA ____ MEDIA ____ BAJA ____ Por qué? _____

7. Las especificaciones NGN de Confiabilidad y Disponibilidad de la red y de la información son especificaciones fundamentales al momento de implementar un sistema de telecomunicaciones. SI ____ NO ____ Por qué? _____

8. Al momento de diseñar una red la especificación NGN de Seguridad de red extremo a extremo, qué nivel debe tener? ALTO ___ MEDIO ___ BAJO ___ Por qué? _____

9. Para el diseño por integración de un sistema de telecomunicaciones, recomienda tener una guía estructurada como ayuda para asegurar la integración de la totalidad de las normas, especificaciones y equipos que soportan el buen funcionamiento de una red NGN?. SI ____ NO ____ Por qué? _____

10. El instrumento de verificación propuesto para la validación del diseño por integración, es recomendable al momento de implementar una red de acceso NGN con tecnología 4G. SI ____ NO ____ Por qué? _____

11. Con la aplicación del Check List del instrumento de validación de la guía para el diseño por integración de la red de acceso 4G, se cumplen los parámetros y especificaciones de las redes de nueva generación. SI ____ NO ____ Por qué? _____

12. Los casos de estudios o escenarios al final del documento son útiles como ejemplo de cálculos en un diseño de detalle?. SI ____ NO ____ Por qué? _____

13. Los casos de estudio o escenarios del documento determinan diferencias entre los diversos proveedores de equipos y servicios de la red 4G basados en redes de nueva generación. SI ____ NO ____ Por qué? _____

Observaciones. _____

Muchas gracias por su amable colaboración!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

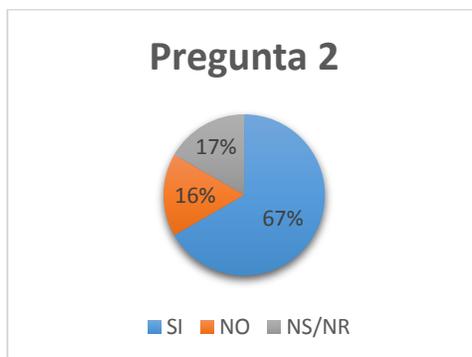
ANEXO 2.

TABULACIÓN DE LA ENCUESTA.

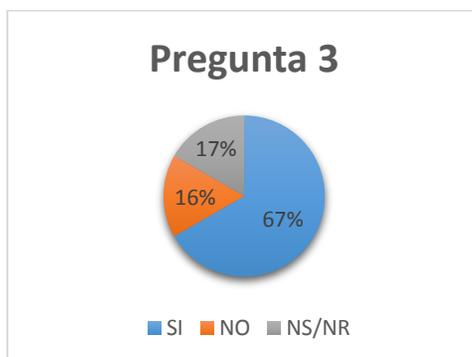
1. Qué nivel de importancia le da usted a la implementación de redes de nueva generación para las telecomunicaciones en Colombia.



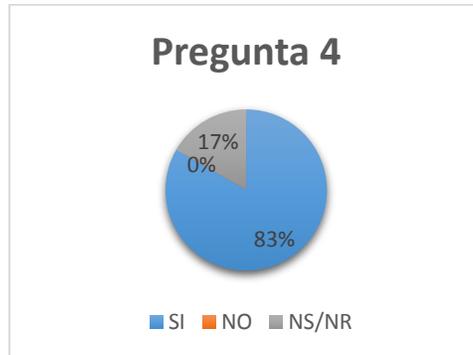
2. Conocía la importancia de la normatividad de redes de nueva generación para la prestación de los servicios IP multimedia convergentes sobre redes heterogéneas fijas e inalámbricas como se hace en la actualidad.



3. Ha mejorado la prestación de los servicios de telecomunicaciones con el diseño y puesta en funcionamiento de las redes de nueva generación en el país.



4. Es necesario conocer la normatividad NGN y sus especificaciones para el diseño e implementación de redes de telecomunicaciones en un territorio específico.



5. La estructura y funcionamiento de las redes de acceso NGN son fundamentales para implementar un sistema de telecomunicaciones con tecnología 4G.



6. Qué relevancia le da a las especificaciones NGN: Class of Service (CoS) y a la Resiliencia para el diseño e implementación de una red de telecomunicaciones con tecnología 4G



7. Las especificaciones NGN de Confiabilidad y Disponibilidad de la red y de la información son especificaciones fundamentales al momento de implementar un sistema de telecomunicaciones.



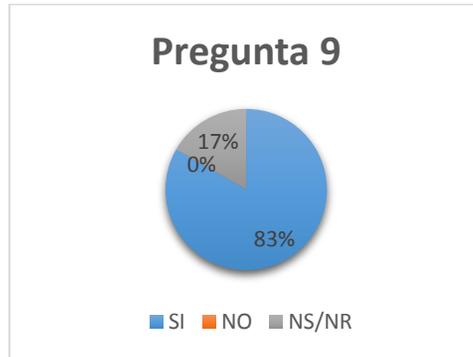
8. Al momento de diseñar una red la especificación NGN de Seguridad de red extremo a extremo, qué nivel debe tener?.



9. Para el diseño por integración de un sistema de telecomunicaciones, recomienda tener una guía estructurada como ayuda para asegurar la integración de la totalidad de las normas, especificaciones y equipos que soportan el buen funcionamiento de una red NGN?



10. El instrumento de verificación propuesto para la validación del diseño por integración, es recomendable al momento de implementar una red de acceso NGN con tecnología 4G.



11. Con la aplicación del Check List del instrumento de validación de la guía para el diseño por integración de la red de acceso 4G, se cumplen los parámetros y especificaciones de las redes de nueva generación.



ANEXO 3.



Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNode B BASE BAND UNIT

The Alcatel-Lucent 9926 Digital 2U eNodeB Base Band Unit is the Alcatel-Lucent converged product for W-CDMA, LTE-FDD and LTE-TDD Base Band Unit (BBU). It provides a high capacity, feature rich and reliable BBU solution for usage across multiple wireless access technologies.



The 9926 d2U Base Band Unit consists of several boards managing the eNodeB digital processing.

Core Control Module

The CCM-u (Core Control Module) provides a Gigabit Ethernet (2 SFPs, 2 RJ45 GE) network interface, internal communication with CEM boards, base band samples routing and summing. It is additionally responsible for CPU power to manage the eNodeB terminated flows, eNodeB synchronization, O&M functions, and termination of the CPRI interfaces to RRRHs which controls OAM management, part of call processing and internal/external data flow switching/combining, supporting external/internal alarm connectivity and external synchronization reference interface. Up to two of these modules can be installed (for a dual technology base band or redundancy) per 9926 LTE digital module.

Chanel Element Module

The CEM-u (Chanel Element Module), has two main functional elements, the base-band units (BBU), which perform all of the base-band signal processing functionality and the interface and control unit (ICU), which provides the data, control and timing interfaces to the base station. The CEM-u (modem unit) provides the scheduling Unit for Cell fast RRM, Layer 2 Unit for the support of MAC/RLC layers and Layer 1 unit to process base band samples controls part of call processing and base band transmit/receive digital signal processing. These modules are scalable from one to a maximum of three (with redundancy) per 9926 LTE digital module.

Both CCM-u and CEM-u modules are Field Replaceable Units (FRUs).

Additionally, the d2U houses an RBP (user Rack Back Plane), supporting all internal links between CCM-U and CEM-U modules and a RUC (Rack User Commissioning), which supports all commissioning of non-volatile memories, and fan alarms.

The 9926 LTE Digital Module is common between LTE and W-CDMA (9926 d2U). This means that the same digital rack can be configured by Software to operate in W-CDMA or LTE technology.

LTE deployment scenarios

Alcatel-Lucent intend to cover both Greenfield, standalone networks in new spectrum bands as well as offering a smooth evolution path for currently deployed GSM, WCDMA/HSPA and CDMA/EV-DO networks.

To this end, our LTE solution is designed to integrate into existing product offerings to support a graceful evolution to an LTE eNode B: The solution is modular and is composed of the digital or baseband unit (d2U eNB), which may be deployed in a distributed architecture with Remote Radio Heads (RRHs) or in classical Macro configurations with integrated Radio Modules (i.e. TRDUs).

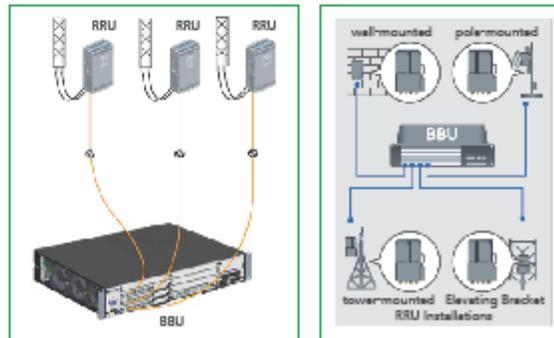
The d2U eNB offers wireless operators an easy way to build LTE coverage while re-using existing cabinets (GSM, W-CDMA, Outdoor Power Supply unit, existing 19 inch rack...). Thus it enables operators to deploy a true zero-footprint product as it can be integrated in any cabinet where a 2U and 19" slot is available. This allows operators to minimize their Total Cost of Ownership (TCO), to overcome site constraints and, to introduce LTE with best time-to-market.

DBS3900

eLTE Distributed Base Station



Used for radio access in an eLTE system and as an enterprise base station, the DBS3900 suits a wide range of applications that require precise Base Transceiver Station (BTS) capabilities. The DBS3900 includes two basic types of modules: a Base Band Unit (BBU) and a Remote Radio Unit (RRU). These modules can be flexibly configured to meet a variety of usage requirements. In addition, the DBS3900's small size, low power consumption, and flexible installation enable easy deployment.



High Performance Mobile Broadband Access Network

The DBS3900 supports high data rates. Downlink and uplink rates can reach up to 100 Mbit/s and 50 Mbit/s @ 20 MHz per cell, respectively. For coverage of remote sites such as offshore drilling platforms, the DBS3900 can provide ultra-long-distance coverage up to 100 kilometers. For railways, the DBS3900 provides up to 430 km/h high-speed train coverage.

World's Leading Professional Broadband Trunking

Based on LTE technology, the Huawei DBS3900 is the world's leading professional broadband trunking solution. Its advanced features include priority call, call hold, late entry, dynamic grouping, and fallback mode. In addition, the DBS3900 provides outstanding performance for traditional trunking with a group call setup time less than 300 ms and a pre-emptive priority call time less than 150 ms. Combining voice and real-time video trunking in the same base station reduces Capital Expenditure (CAPEX) costs compared to traditional trunking and data service solutions.

Multiband for Diversified Frequency Resources

The DBS3900 supports multiple frequency bands, including LTE-TDD 400 MHz/1.4 GHz/1.8 GHz/2.3 GHz and LTE-FDD 800 MHz. Wide frequency band availability simplifies network deployment and allows the system to adapt to various frequency policies with higher flexibility.



PUBLIC SAFETY LTE

RBS 6000 SERIES MACRO BASE STATIONS

More and more first responders and public safety agencies are considering wireless broadband for access to mission critical data and are looking for a reliable broadband connection, anywhere they operate, or wherever the next incident will be. The Ericsson RBS 6000 Series Base Stations meet the challenge for reliable, wide-area Public Safety LTE coverage.

ERICSSON LTE TECHNOLOGY LEADERSHIP

Ericsson is the world's leading provider of technology and services to telecom operators. As the undisputed leader in LTE development and standardization, Ericsson is the most trusted, most proven provider of standards-compliant LTE technology. Motorola Public Safety LTE networks are designed using the proven performance of Ericsson LTE platforms to deliver mission critical broadband services to those responsible for protecting lives and property.

NEXT GENERATION SITE

The enhanced Node B (eNodeB or eNB) is the base station component of the standards-defined LTE network. Motorola Public Safety LTE networks use the Ericsson RBS 6000 platform, a complete eNB package available in outdoor, indoor and open rack configurations. Designed for smart simplicity, the RBS 6000 Series features intelligent power and management systems, ensuring optimal operation, minimal maintenance and significantly lower power consumption to control operating costs.

FIELD-PROVEN PLATFORM

The RBS 6000 platform is the latest evolution of Ericsson's highly successful RBS Series base site equipment. With years of proven in-service performance, public safety organizations can take comfort in knowing that their networks have passed the test of serving millions of users prior to being asked to provide mission-critical services to first responders in high stress situations.